

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณลักษณะในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงชนิดกล่องกังวานคู่
แบบเฮล์มโฮลทซ์

TRANSMISSION LOSS CHARACTERISTICS OF A DOUBLE
HELMHOLTZ-RESONATOR SILENCER



ณัฐวุฒิ วิริยะจิตสมบูรณ์
NATTAWUT VIRIYACHITSOMBOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

อพ.

อว 361ค

2547

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

เลขหมู่.....

52468

ISBN 974-15-1153-1

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 14 ก.ย. 2547

11421939
b.....
i.....

**TRANSMISSION LOSS CHARACTERISTICS OF A DOUBLE
HELMHOLTZ-RESONATOR SILENCER**



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

2004

ISBN 974-15-1153-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------|--|
| Thesis Title | Transmission Loss Characteristics of a Double Helmholtz-Resonator Silencer |
| Student | Mr. Natthawut Viriyachitsomboon |
| Student ID. | 42062012 |
| Degree | Master of Engineering |
| Programme | Mechanical Engineering |
| Year | 2004 |
| Thesis Advisor | Asst. Prof. Ming Lokitsangtong |

ABSTRACT

This thesis presents the characteristic of noise reduction in duct by using the doubled Helmholtz-Resonator silencer. To calculate the value of noise – reducing capacity, Transmission Loss (TL) at the frequency 100 – 1200 Hz was considered by means of linear theory. In this study various parameters considered are as follow: Size of resonance chamber, distance between resonator, length and diameter of connector affected noise reduction of various frequencies. The resonators were installed on noise conducting duct of tubular and square type. The theoretical analysis was performed for the condition at room air temperature with and without flow, and then compared to the experimental results.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับ พฤติกรรมการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮลิคัมไฮลทซ์ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์มิ่ง โลกกิจแสงทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ Asst. Prof. Shuntaro Murakami ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ซึ่งช่วยให้เข้าใจในการทำวิจัยมากขึ้น

ขอขอบคุณคุณเกษม ธรรมโกศล ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมช่วยในการคำนวณ

ขอขอบคุณคุณธนะภูมิ เขียวอิม คุณธนา อิงคะประสิทธิ์กุล คุณวัชรภรณ์ ขจัดพาล และคุณการุณ เลาะมาน ที่ช่วยเหลืองานวิจัยนี้โดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคุณครูอาจารย์ที่เคารพที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ณัฐฉมิ วิริยะจิตสมบุญณ์

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 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 2 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 3 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดในการวิจัย..... | 4 |
| 1.5 ขอบเขตการวิจัย..... | 4 |
| 1.6 ขั้นตอนการศึกษา..... | 5 |
| บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| บทที่ 3 ทฤษฎี..... | 8 |
| 3.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียง..... | 8 |
| 3.2 อากาศ และคุณสมบัติของอากาศ..... | 9 |
| 3.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกส์..... | 11 |
| 3.4 คลื่นเสียงในอากาศ..... | 11 |
| 3.4.1 คลื่นอิสระเคลื่อนที่ไปข้างหน้า..... | 13 |
| 3.4.2 คลื่นที่เดินทางไปข้างหลัง..... | 16 |
| 3.5 การอ้อมของคลื่นที่ผ่านวัตถุที่ขวางหน้า..... | 19 |
| 3.6 ส่วนประกอบของคลื่น..... | 21 |
| 3.7 The Helmholtz Resonator..... | 24 |
| บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย..... | 27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| 4.1 การสร้างอุปกรณ์ประกอบในการทดลอง..... | 27 |
| 4.1.1 ห้องเก็บเสียง(Anechoic Room)..... | 27 |
| 4.1.2 ท่อนำเสียง..... | 27 |
| 4.1.3 ระยะระหว่างตัวเก็บเสียง..... | 27 |
| 4.1.4 ตัวลดเสียง..... | 27 |
| 4.1.5 ขนาดของข้อต่อ..... | 27 |
| 4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดลอง..... | 27 |
| 4.2.1 FFT Analyzer..... | 29 |
| 4.2.2 Driver Unit | 29 |
| 4.2.3 Amplifier | 29 |
| 4.2.4 Pre Amplifier..... | 29 |
| 4.2.5 Probe Tube..... | 29 |
| 4.2.6 Microphone | 29 |
| 4.2.7 Calibrator..... | 30 |
| 4.2.8 Oscillator..... | 30 |
| 4.2.9 Blower..... | 30 |
| 4.2.10 Inverter..... | 30 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 32 |
| 5.1 วิธีการทดลอง..... | 32 |
| 5.2 ผลการทดลอง..... | 32 |
| 5.2.1 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียงชนิดกลม..... | 32 |
| 5.2.2 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส..... | 87 |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 143 |
| 6.1 สรุปผลการวิจัย..... | 143 |
| 6.2 แนวทางวิจัยในอนาคตและข้อเสนอแนะ..... | 143 |
| 6.3 ประโยชน์ที่ได้รับ..... | 144 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม.....145

ภาคผนวก ก.....146

ภาคผนวก ข.....148

ประวัติผู้เขียน.....163



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|------------------------------------|------|
| 2.1. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| ก.1. การแก้ค่าที่ได้จากการวัด..... | 146 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์..... | 2 |
| 1.2 ปฏิกิริยาการเกิดคลื่นเสียง..... | 2 |
| 1.3 สัมประสิทธิ์การซึมซับเสียงต่อความถี่ของอุปกรณ์ลดเสียง..... | 3 |
| 1.4 การดัดแปลงให้เป็นอริฐก่อสร้างผนังอาคาร..... | 4 |
| 3.1 การเคลื่อนที่ของลูกสูบไปและกลับด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ทำให้เกิดคลื่นของเสียง..... | 8 |
| 3.2 กราฟระหว่างแอมพลิจูดกับเวลา หรือแอมพลิจูดกับระยะทาง..... | 9 |
| 3.3 ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์..... | 10 |
| 3.4 การแพร่ระนาบคลื่นในท่อ..... | 13 |
| 3.5 ความดันเสียงในระนาบการเคลื่อนที่เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า..... | 15 |
| 3.6 ความดันเสียงในระนาบการเคลื่อนที่เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปด้านหลัง..... | 17 |
| 3.7 ความดันเสียงของระนาบคลื่น..... | 18 |
| 3.8 การกระจายคลื่นผ่านท่อเล็ก..... | 20 |
| 3.9 ความสัมพันธ์ของคลื่นแบบฮาร์โมนิกส์กับการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมกัน..... | 21 |
| 3.10 ความสัมพันธ์ของคลื่นแบบฮาร์โมนิกส์กับการแทรกสอดของคลื่นแบบหักล้างกัน..... | 23 |
| 3.11 ผลการแทรกสอดของคลื่นเมื่อต่างเฟส คล้ายกับรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11..... | 24 |
| 3.12 ความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวลที่หน้าตัดท่อนำเสียงก่อนตัวเก็บเสียง..... | 25 |
| 3.13 ความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวลที่หน้าตัดท่อนำเสียง..... | 26 |
| 4.1 ค่าการลดเสียงและ Phase angle..... | 27 |
| 4.2 การติดตั้งและขนาดของตัวลดเสียง..... | 28 |
| 4.3 แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบมีความเร็วลมและแบบไม่มีความเร็วลม..... | 28 |
| 4.4 Fast Fourier Transform Analyzer ที่ใช้ในการทดลอง..... | 29 |
| 4.5 การติดตั้ง Probe Tube เข้ากับล้อเลื่อน..... | 29 |
| 4.6 Driver Unit เมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียง..... | 30 |
| 4.7 Calibrator (From Bruel & Kjaer Instruments.)..... | 30 |
| 4.8 Oscillator แหล่งกำเนิดความถี่..... | 31 |
| 4.9 Inverter Toshiba รุ่น VF 700..... | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.1 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.81$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร34

5.2 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร36

5.3 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....38

5.4 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.57$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร40

5.5 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.57$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....42

5.6 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....44

5.7 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.90$ ที่ระยะห่าง 0.150 เมตร46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.8 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.105 เมตร48

5.9 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร.....50

5.10 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร52

5.11 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร.....54

5.12 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.81$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร56

5.13 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร58

5.14 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.15 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร62

5.16 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร64

5.17 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร66

5.18 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร68

5.19 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร70

5.20 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร72

5.21 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.22 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....76

5.23 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....78

5.24 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....80

5.25 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....82

5.26 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....84

5.27 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.67$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....86

5.28 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.81$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.29 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร90

5.30 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....92

5.31 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.57$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร94

5.32 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.57$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....96

5.33 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร.....98

5.34 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.90$ ที่ระยะห่าง 0.150 เมตร100

5.35 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.105 เมตร102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.36 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร.....104

5.37 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร106

5.38 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร.....108

5.39 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.81$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร110

5.40 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร112

5.41 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....114

5.42 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.43 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร118

5.44 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร120

5.45 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร122

5.46 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร124

5.47 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร126

5.48 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร128

5.49 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

5.50 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....132

5.51 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....134

5.52 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....136

5.53 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....138

5.54 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.67$

และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร.....140

5.55 ผลของมัคนัมเบอร์ต่อค่าการลดเสียง.....141

5.56 ผลของการติดตั้งตัวเก็บเสียงสลับตำแหน่ง.....141

5.57 ผลการเปรียบเทียบ $\Delta \left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)$ ต่อค่าการลดเสียงของท่อกลม.....142

5.58 ผลการเปรียบเทียบ $\Delta \left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)$ ต่อค่าการลดเสียงของท่อสี่เหลี่ยม.....142

ก.1 Davis's Curve.....147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

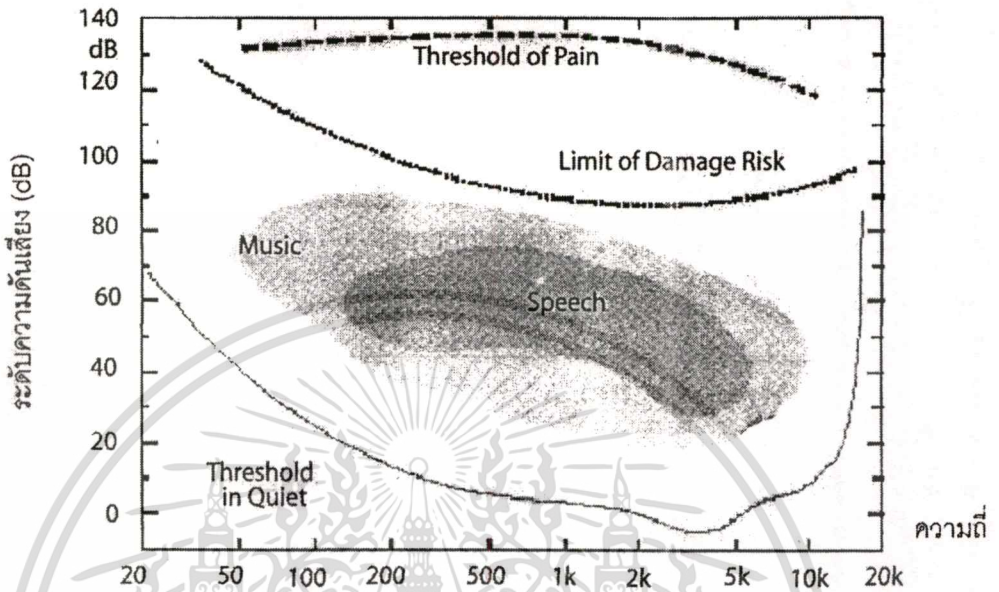
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เสียงเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของมนุษย์ เรา รู้จักคุ้นเคยกับเสียงมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น เสียงฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ฝนตก ลมพัด เป็นต้น และเสียงที่เกิดจากมนุษย์ทำขึ้น เช่น เสียงจากยานพาหนะ เครื่องจักร เสียงดนตรี เสียงสัญญาณเตือนภัย เป็นต้น มนุษย์ใช้ประโยชน์จากเสียงในกิจกรรมประจำวันต่างๆ มากมาย เช่น การสนทนา เตือนภัยหรือบอกสัญญาณ กำหนดตำแหน่งของวัตถุ ทหารยะทาง เป็นต้น มนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่ระดับความดันเสียง 0-130 dB และช่วงความถี่ 20-20,000 Hz ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นของเซลล์ขนภายในหูชั้นใน และมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง กล่าวคือที่ระดับเสียงเท่ากัน แต่มนุษย์จะได้ยินเสียงเป็นความดังที่ไม่เท่ากันทุกความถี่ จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 20 Hz ระดับเสียงต้องดัง 80 dB มนุษย์จึงจะเริ่มได้ยินเสียงนั้น ที่ความถี่ 1,000 Hz แค่เพียง 5 dB ก็สามารถได้ยินเสียงนั้นแล้ว และมนุษย์จะมีความอ่อนไหวหรือความไวต่อการได้ยินมากที่สุดที่ความถี่ 4,000 Hz ตามปกติขีดเริ่มการได้ยินของมนุษย์อยู่ที่ประมาณเท่าเส้นความดังต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับขอบเขตของเสียงดนตรี จะมีระดับเสียงประมาณ 20-90 dB ช่วงความถี่ประมาณ 50-10,000 Hz ขอบเขตของเสียงสนทนาของมนุษย์จะมีระดับเสียงประมาณ 25-80 dB ช่วงความถี่ประมาณ 100-14,000 Hz และขีดเริ่มของความเจ็บปวดของมนุษย์อยู่ที่ประมาณ 130 dB

ในด้านการรับรู้ของมนุษย์ต่อเสียงนั้น อาจกล่าวได้ว่า เสียงรบกวนคือเสียงที่มนุษย์ไม่ต้องการได้ยิน หรือไม่พึงประสงค์จะรับรู้ ซึ่งความรู้สึกต่อเสียงนี้ จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละคน เมื่อได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกันอาจเป็นเสียงรบกวนของคนหนึ่ง ในขณะที่อีกคนหนึ่งรู้สึกชอบอยากได้ยิน แต่ก็จะมีเสียงบางเสียงที่คนส่วนใหญ่รู้สึกว่าเป็นเสียงรบกวน เช่น เสียงการขึ้นลงของเครื่องบิน เสียงจากการแข่งรถยนต์ในสนามแข่ง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการจะตัดสินว่าเป็นเสียงรบกวนหรือไม่นั้น มีเรื่องของความรู้สึกเข้ามาเกี่ยวข้องในการพิจารณาแยกแยะความรู้สึก การรับรู้เสียงของมนุษย์ด้วย สำหรับผลกระทบที่สำคัญของการได้รับเสียงที่ดังเกินไป และติดต่อกันเป็นระยะเวลาอันยาวนานนั้น คืออันตรายที่เกิดต่อระบบการได้ยินของมนุษย์ โดยจะทำให้ระบบประสาทการได้ยินค่อยๆ เสื่อมลง โดยการเสื่อมของระบบประสาทการได้ยิน จะแบ่งเป็น 2 ระยะคือ การเปลี่ยนแปลงการได้ยินแบบชั่วคราว หมายถึง อาการหูตึงที่เกิดขึ้นระยะหนึ่งแล้วหายเป็นปกติได้หลังจากที่ไม่ได้อยู่ในที่ที่มีเสียงดัง และการสูญเสียการได้ยินแบบถาวร หมายถึง อาการหูตึงที่เกิดขึ้นแล้วไม่หายคงอยู่เช่นนั้นตลอดไป การสูญเสียการได้ยิน มักจะเกิดขึ้นกับบุคคลที่ทำงานในสถาน

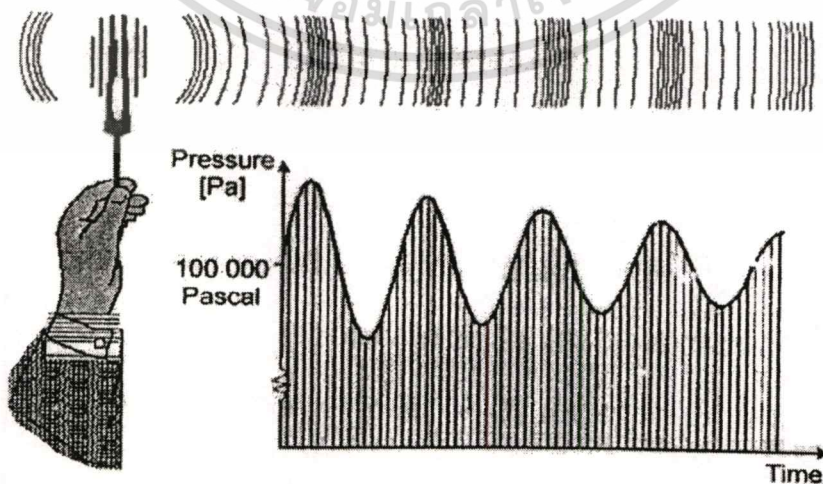
ประกอบกรที่มีกิจกรรมที่เกิดเสียงดังอยู่เป็นประจำ หรือบุคคลที่อาศัยอยู่ในสถานที่ที่มีเสียงดังเกินไปเป็นประจำ ซึ่งเสียงที่มีความถี่สูงจะรบกวนมากกว่าเสียงที่มีความถี่ต่ำ และเสียงบริสุทธิ์จะรบกวนมากกว่าเสียงที่ประกอบไปด้วยหลายความถี่



รูปที่ 1.1 ขอบเขตการได้ยินของมนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ ที่มีการติดตั้งแบบวางเรียงกันตามแนวท่อ โดยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ความยาวของข้อต่อ (Connector) และระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียงทั้งสอง ว่ามีประสิทธิภาพในการลดเสียงในช่วงความถี่ใด



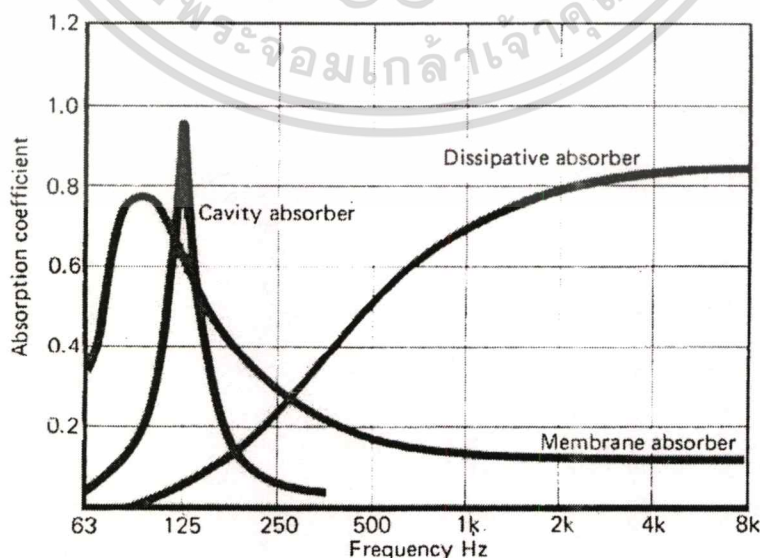
รูปที่ 1.2 ปรากฏการณ์การเกิดคลื่นเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เมื่อเคาะล้อมเสียงจะมีการสั่นของโมเลกุลของล้อมเสียง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศรอบๆล้อมเสียง ดังรูปที่ 1.2 เกิดคลื่นออกมาโดยรอบล้อมเสียง คล้ายกับคลื่นน้ำเมื่อเราโยนก้อนหินลงไปในน้ำ เรียกว่าการแผ่กระจายของคลื่นเสียง คลื่นเสียงที่เราได้ยินนั้นไม่ว่าจะเป็นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงใด ส่วนใหญ่จะเป็นเสียงที่ซับซ้อนที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงที่มีความถี่และระดับความดันเสียงต่างๆเข้าด้วยกัน ในการศึกษาเรื่องฟิสิกส์ของคลื่นเสียงเราอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ให้เข้าใจง่ายขึ้นในรูปแบบของ Sine wave เช่นการเคาะล้อมเสียงเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศ ที่มาจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศโดยรอบ เป็นส่วนอัดส่วนขยายเรียกว่า ความดันเสียง เคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของตัวกลางไปยังจุดรับเสียง ซึ่งงานวิจัยนี้จะพิจารณาเสียงที่ส่งผ่านไปในระบบท่อ โดยจะจำกัดเสียงให้ลดน้อยลงด้วยตัวเก็บเสียง 2 ตัวที่ติดตั้งแบบวางเรียงกันตามแนวท่อนำเสียงกันโดยที่แต่ละตัวมีความสามารถในการลดเสียงที่ความถี่ต่างกันก่อนที่เสียงจะผ่านไปยังส่วนปลายท่อ ซึ่งเราสามารถวัดประสิทธิภาพการลดเสียง โดยใช้ตัวแปร Transmission Loss (TL) ในงานวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการเกิดเสียงรบกวนภายในท่อที่สามารถกำหนดความถี่ช่วงความถี่ได้ โดยมีสมมุติฐานของการศึกษาคือ

1. ความดันเสียงมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความดันสัมบูรณ์เฉลี่ยในระบบ
2. ท่อนำเสียงไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นเสียง
3. ผนังของตัวเก็บเสียงต้องไม่ดูดกลืนและนำพลังงานเสียง
4. อิทธิพลของความหนืดมีผลน้อยมาก
5. ผลการทดลองจะต้องมีการปรับแก้การสะท้อนกลับที่เกิดขึ้นจริง
6. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะต้องผ่านการปรับเทียบ (Calibrate)

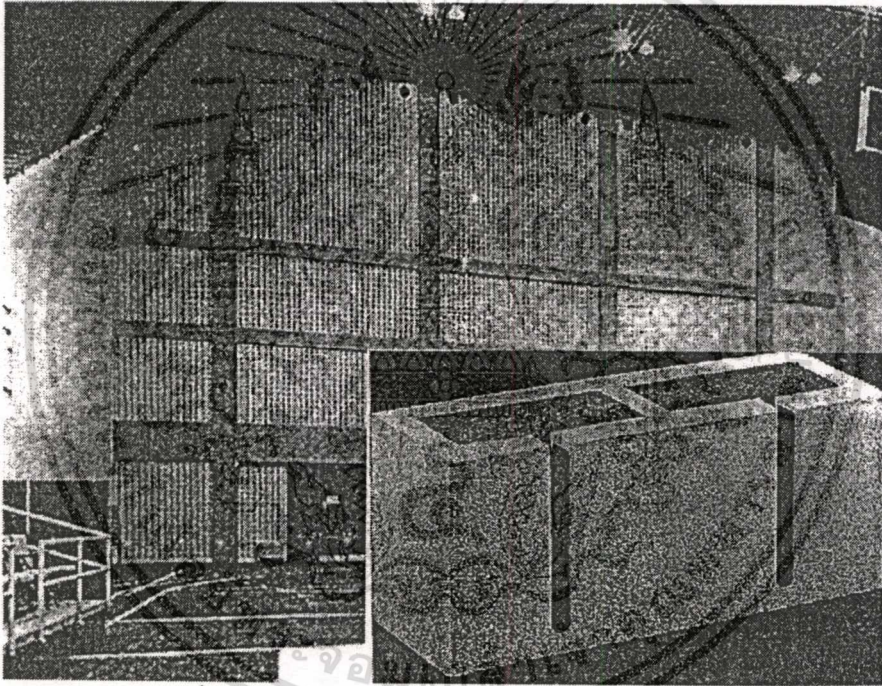


รูปที่ 1.3 สัมประสิทธิ์การซึมซับเสียงต่อความถี่ของตัวเก็บเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดในการวิจัย

เนื่องจากตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ เป็นตัวเก็บเสียงที่มีสัมประสิทธิ์การซึมซับเสียงที่ดี ชนิดหนึ่ง ในขณะที่มีโครงสร้างและการติดตั้งง่าย แต่ช่วงความถี่ในการลดเสียงของอุปกรณ์ชนิดนี้ มีไม่มากนัก ดังรูปที่ 1.3 ตัวอย่างการใช้งานของตัวเก็บเสียงชนิดนี้พบได้ในท่อทางเดินไอดีใน เครื่องยนต์ ท่อลมของระบบปรับอากาศภายในอาคาร หรือมีการดัดแปลงใช้เป็นอิฐก่อสร้างผนัง อาคารเพื่อป้องกันเสียงสะท้อน ดังรูปที่ 1.4 จากการศึกษาพบว่าถ้านำตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ขนาดต่างๆมาติดตั้งแบบวางเรียงกันตามแนวท่อนำเสียง จะมีความสามารถในการลดเสียง ในช่วงความถี่ที่เพิ่มขึ้นได้ และสามารถเพิ่มค่าการลดเสียงในช่วงที่ต้องการได้ โดยออกแบบขนาด ของตัวเก็บเสียงให้มีขนาดเหมาะสมกับความช่วงความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1.4 การดัดแปลงใช้เป็นอิฐก่อสร้างผนังอาคาร

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. รูปร่างของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นลักษณะท่อกลม
2. ในการศึกษาพฤติกรรมของการลดเสียงในระบบท่อจะศึกษาโดยใช้ท่อนำเสียง 2 ประเภท
 - 2.1 ท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร
 - 2.2 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 45x45 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร
3. การติดตั้งตัวเก็บเสียงเป็นแบบวางเรียงกันตามแนวแกนท่อ โดยมีระยะห่างของการ ติดตั้งเท่ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเก็บเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงเป็นแบบไม่มีความเร็วลม และมีความเร็วลมที่ 10, 20, 30 และ 40 m/s
5. การศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของตัวเก็บเสียงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียล

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

ในการศึกษาคุณลักษณะการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ ต้องทราบว่าตัวเก็บเสียงนั้นมีช่วงความถี่ในการลดเสียงอยู่ในช่วงความถี่ใด จากนั้นนำตัวเก็บเสียงขนาดต่างๆมาติดตั้งบนท่อนำเสียงแบบวางเรียงกันตามแนวท่อ โดยท่อนำเสียงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.053 เมตร และ ขนาด 0.045x0.045 เมตร มีตัวกำเนิดเสียง (Driver unit) ติดตั้งที่ปลายท่อโดยต่อกับอุปกรณ์กำเนิดความถี่ (Oscillator) การวัดสัญญาณเสียงใช้ไมโครโฟนวัดความดันเสียงผ่าน Probe tube ซึ่งสอดผ่านเข้าไปตลอดความยาวของท่อนำเสียงและอ่านค่าที่ FFT Analyzer ค่าการลดเสียงของตัวเก็บเสียงคือความแตกต่างระหว่างก่อนเข้าตัวเก็บเสียงและหลังตัวเก็บเสียง ทำการทดลองกรณีมีความเร็วลมในท่อนำเสียง ที่ 10, 20, 30 และ 40 m/s ค่าที่ได้นำไปแก้ค่าการสะท้อนกลับของเสียง โดยใช้ทฤษฎี Davis curve และนำค่าการลดเสียงมาแสดงผลความสัมพันธ์บนกราฟระหว่าง Transmission Loss(dB) กับ Frequency(Hz) เพื่อหาค่าความถี่ของการลดเสียงที่แท้จริงของตัวเก็บเสียงนั้นๆ

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tuchida ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของการใช้ Effective Length, l_e แทนการใช้ความยาว l ของคอตัวเก็บเสียง โดยทดลองติดตั้งตัวเก็บเสียง 1 ตัว บนท่อนำเสียงชนิดพื้นที่หน้าตัดกลมและกรณีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส แบบไม่มีความเร็วลมและมีความเร็วลมในท่อ นำเสียง

บุญชัย ทำการศึกษาหาสมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิดเฮล์มโฮลทซ์ โดยการหาค่าการลดเสียงที่ความถี่ 0-600Hz มีการต่อตัวลดเสียงแบบ อนุกรม และแบบขนานหลายแบบ ซึ่งใช้ท่อ นำเสียงแบบต่างๆกัน แบ่งเป็นกรณีไม่มีความเร็วลมและมีความเร็วลม ที่ 0,10,20 และ 30 m/s ตามลำดับ อาศัยการคำนวณจากทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้น 1 มิติ เทียบกับการทดลองพบว่า การวางตัวลดเสียงแบบอนุกรมจะลดเสียงได้ดีกว่าแบบขนาน และเมื่อมีการมีการติดตั้งร่วมกันให้มีจำนวนมากขึ้นจะทำให้ลดเสียงได้มากขึ้น พื้นที่หน้าตัดของคอเมื่อมีมากขึ้นค่าการลดเสียงจะเพิ่มขึ้นด้วย

Hotozuka ทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของการใช้ Effective Length, l_e แทนการใช้ความยาว l โดยเปรียบเทียบผลของจำนวนรูของคอตัวเก็บเสียง โดยทดลองติดตั้งตัวเก็บเสียง 1 ตัว แบบไม่มีความเร็วลมและมีความเร็วลมในท่อ นำเสียงที่ 0, 10, 20, 30, 40,50 และ 60 m/s

ปราโมทย์ ศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงโดยใช้ตัวลดเสียงชนิดเฮล์มโฮลทซ์ที่สามารถปรับปริมาตรได้ ติดตั้งที่ผนังท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อหาค่าการลดเสียงที่ความถี่สูงเปรียบเทียบกับ การทดลอง กรณีไม่มีความเร็วลมและมีความเร็วลมที่ 10, 20,30 และ 40 m/s จากการศึกษาพบว่าปริมาตรของตัวลดเสียงน้อยจะสามารถลดเสียงที่ความถี่สูง ส่วนปริมาตรมากสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ต่ำ และตัวลดเสียงชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาลดเสียงในระบบท่อได้ดี

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้อีกดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ปี พ.ศ. | ผู้ทำวิจัย | ชื่อเรื่องงานวิจัย |
|---------|---------------|---|
| 2520 | Richard Oboka | Comparison of Transmission loss and Insertion loss of a Helmholtz Resonator |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

| ปี พ.ศ. | ผู้ทำวิจัย | ชื่อเรื่องงานวิจัย |
|---------|---|---|
| 2534 | รศ.อัครเดช สินธุภักดิ์, Shuntaro Murakami ,Minuru Maeda | Acoustical Performance of Helmholtz's Type Resonators |
| 2534 | รศ.อัครเดช สินธุภักดิ์, Shuntaro Murakami, Minuru Maeda | Effect of flow on Transmission Loss Characteristic of Expansion Chamber Mufflers |
| 2539 | รศ.อัครเดช สินธุภักดิ์, Shuntaro Murakami, Minuru Maeda | Effect of flow on Transmission Loss Characteristic of Helmholtz Type Resonators |
| 2542 | บุญชัย ศิลปะกิจวงษ์ชัย | สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz |
| 2544 | ปราโมทย์ เรืองฤทธิ์ | พฤติกรรมเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูงแบบ Helmholtz |

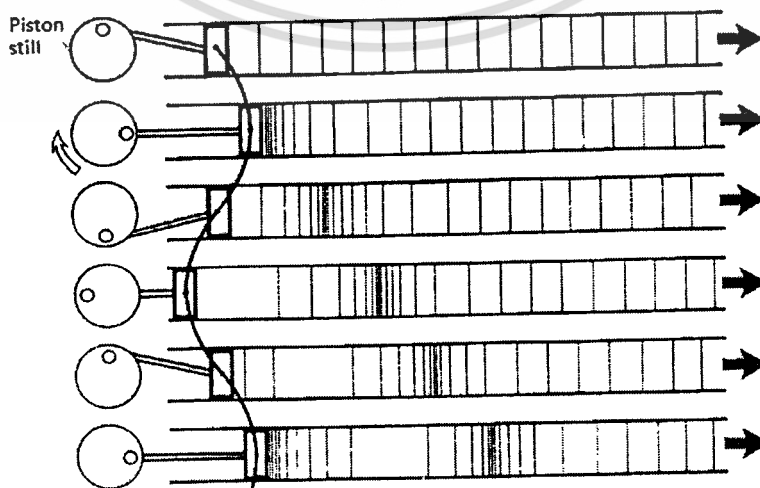


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ทฤษฎี

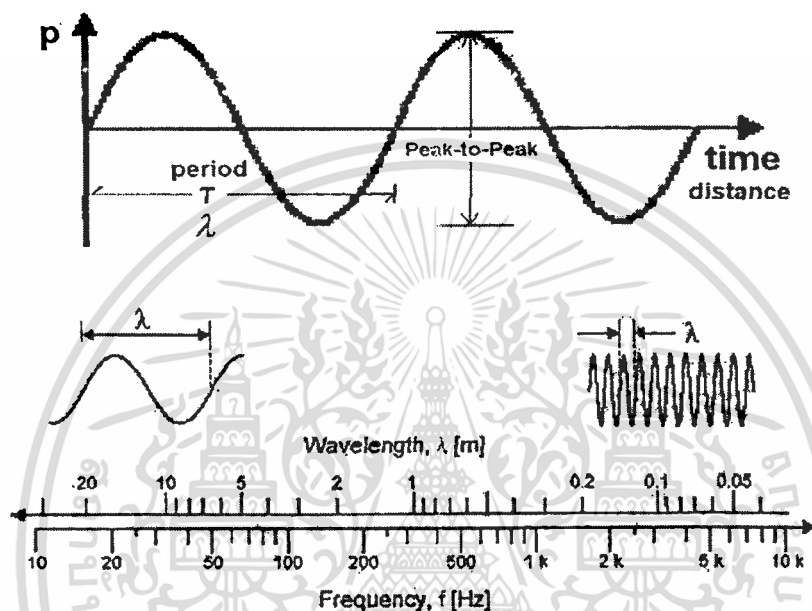
3.1 พฤติกรรมของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) เมื่อเคาะฆ้องเสียงจะมีการสั่นของโมเลกุลของส้อมเสียงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศรอบๆส้อมเสียง เกิดคลื่นออกมาโดยรอบส้อมเสียง คล้ายกับคลื่นน้ำเมื่อเราโยนก้อนหินลงไปน้ำ เรียกว่าการแผ่กระจายของคลื่นเสียง คลื่นเสียงที่เราได้ยินนั้นไม่ว่าจะเป็นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงใด ส่วนใหญ่จะเป็นเสียงที่ซับซ้อนที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงที่มีความถี่และระดับความดันเสียงต่างๆเข้าด้วยกัน ในการศึกษาเรื่องฟิสิกส์ของคลื่นเสียง เราอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ให้เข้าใจง่ายขึ้นในรูปแบบของ Sine wave เช่นการเคาะฆ้องเสียงเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศ ที่มาจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศโดยรอบ เป็นส่วนอัดส่วนขยายเรียกว่า ความดันเสียงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของตัวกลางไปยังจุดรับเสียง พารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่จะอธิบายธรรมชาติของการสั่นของโมเลกุลอากาศ จากการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศมีอยู่ 2 พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความถี่ของเสียง และความยาวคลื่น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ทิศทางการแผ่กระจาย และเวลาที่เสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้รับเสียง การเคลื่อนที่ของลูกสูบไปและกลับด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ทำให้เกิดคลื่นของเสียงขยายไปตามท่อ ความเร็วของการหมุนของข้อเหวี่ยงจากจุดเริ่มต้นจนกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.1 เรียกว่า ความถี่ของคลื่น มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (Hz) จุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่สูงสุด ถึงจุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ต่ำสุด เรียกว่า แอมพลิจูด



เอกสารรูปที่ 3.1 การเคลื่อนที่ของลูกสูบไปและกลับด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ทำให้เกิดคลื่นของเสียง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านำมาเขียนกราฟระหว่างแอมพลิจูดกับเวลา หรือแอมพลิจูดกับระยะทางจะได้กราฟรูป Sine wave ดังรูปที่ 3.2 ความยาวคลื่นเสียงคือ ระยะทางจากยอดคลื่นหนึ่งไปอีกยอดคลื่นหนึ่ง หรือระยะทางการเกิดคลื่น 1 คลื่น มีหน่วยเป็นเมตร และความยาวคลื่นมีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมเสียง



รูปที่ 3.2 กราฟระหว่างแอมพลิจูดกับเวลา หรือแอมพลิจูดกับระยะทาง

3.2 อากาศ และคุณสมบัติของอากาศ

เสียงเป็นปรากฏการณ์ประเภทคลื่นซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเกิดการรบกวนส่งผ่านไปยังตัวกลาง (Media) ที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้คืออากาศ (Air) ผลของการรบกวนนั้นจะทำให้ความดันและการจัดของอนุภาคของตัวกลางนั้นเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถตรวจจับได้โดยเครื่องมือวัดหรือมนุษย์ การเคลื่อนที่ของอนุภาคของอากาศซึ่งเกิดจากผลของการรบกวนของแหล่งกำเนิด จะมีพฤติกรรมคล้ายสปริง ซึ่งค่านิสสปริงจะมีค่าหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลและชนิดของการอัด ซึ่งความดันที่เปลี่ยนไปที่เกิดในอากาศจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ปริมาตรที่เปลี่ยนไป จะมีความสัมพันธ์ตามสมการ

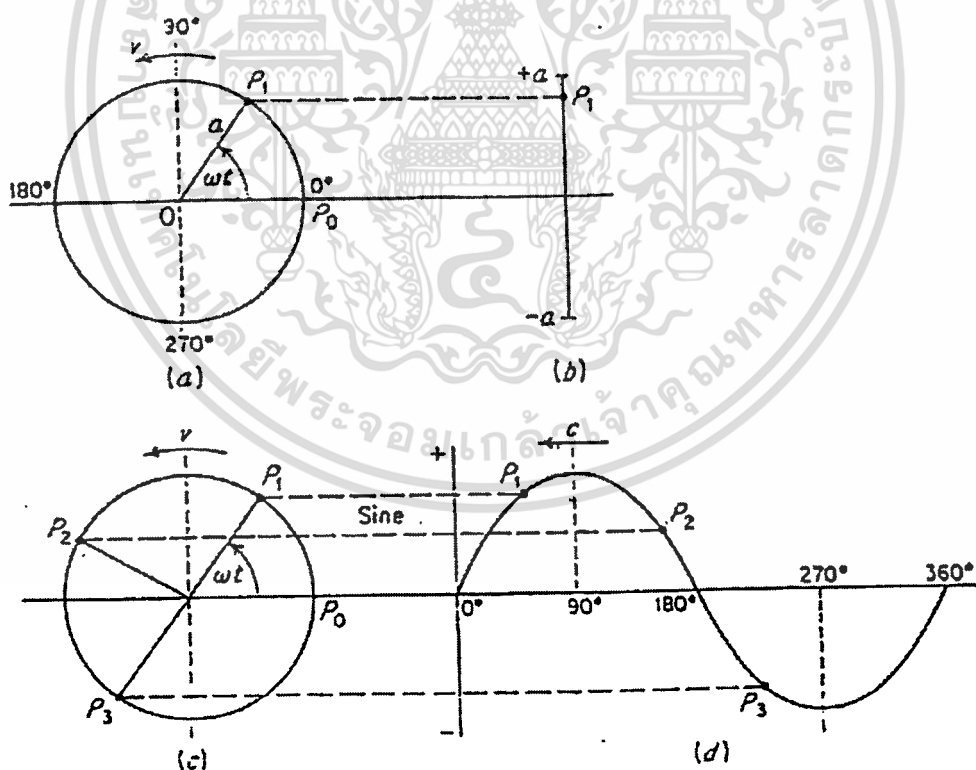
$$\Delta p = -E \frac{\Delta V}{V} = E \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δp คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลง, V คือปริมาตร E คือ ค่า Bulk Modulus และ ρ คือความหนาแน่นของตัวกลาง สำหรับกระบวนการอัดที่ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างช้าๆ การอัดจะเป็นแบบ Isothermal เพราะมีเวลาเพียงพอที่ความร้อนจากการอัดไหลไประบายที่ทางอื่น ซึ่งอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าคงที่ แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มมากขึ้น เพราะอากาศที่หดตัวและขยายตัวไม่มีเวลาเพียงพอที่จะระบายความร้อนไปที่อื่น จะเรียกกระบวนการอัดแบบนี้ว่า Adiabatic อุณหภูมิอากาศจะมีความเร็วมากขึ้นอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ถ่ายเทไม่ทันซึ่งทำให้จำนวนการชนต่อวินาที และโมเมนตัมเพิ่มมากขึ้นตามหลักของ Kinetics ที่กล่าวว่า

$$V \propto \sqrt{T} \quad (3.2)$$

V คือความเร็วของอนุภาคและ T คืออุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ในการศึกษาเรา กำหนดให้คลื่นเสียงเป็นการอัดตัวของอนุภาคอากาศแบบ Adiabatic



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก a) จุด P_1 เคลื่อนที่เป็นวงกลมเท่ากับความเร็ว V b) การเคลื่อนที่ระหว่าง $+a$ และ $-a$, c) และ d) การ Projection ของจุดต่างของการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก

กล่าวได้ว่าความหนาแน่นความดัน และอุณหภูมิของอากาศ จะสามารถแพร่คลื่นเสียงผ่านได้ จะพิจารณารูปแบบที่ง่ายของเสียงเป็นอันดับแรก คือเสียงความถี่เดียว (Pure Tone) โดยการพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก แสดงทางเดินของจุดที่กำลังเคลื่อนที่ไปรอบวงกลม ณ ความเร็วเดียวกัน ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 3.3 (a) สมมติว่าจุด P_1 เคลื่อนที่ไปรอบ ๆ วงกลม ณ ความเร็วคงที่ การเคลื่อนที่จุดนั้นบนพื้นราบ ก็จะลากกลับไปมาเหมือนกับจุดที่ไปรอบ ๆ วงกลมแทนที่จะลากซ้อนกันไปตามเส้นทางแสดงดังในรูปที่ 3.3 (b) ผลการลากเส้นก็คือรูปแบบของกราฟ Trigonometric Function เป็นอัตราของด้านที่ตรงข้ามกับมุมในสามเหลี่ยมทางขวาต่อด้านยาวที่สุดของสามเหลี่ยม การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก ซึ่งจะเปลี่ยนในขนาดกับเวลาตามลักษณะที่แสดงในรูปที่ 3.3 (c) กับ (d) การเคลื่อนที่ทำให้เกิดฟังก์ชัน ของเวลาที่คล้ายกับ Sine wave ดังที่ระบุไว้ในรูปที่ 3.3 (d)

3.4 คลื่นเสียงในอากาศ

คลื่นเสียงเกิดขึ้นมาและเคลื่อนที่ผ่านอากาศได้อย่างไร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการอธิบายคลื่นเสียงจะถูกกำหนดด้วยการเคลื่อนที่ มีความเร็วกับความดันเสียง ความเร็วเป็นอัตราการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น หรือเป็นการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลา ถ้าการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาเพิ่มขึ้น ขนาดของคลื่นเสียงจะเพิ่มขึ้น และความเร็วก็จะเพิ่มตามกันไปด้วย ปัญหาอย่างหนึ่งของการใช้ความเร็วในการอธิบายขนาดของคลื่นเสียง คือ การขาดแคลนเครื่องมือที่เหมาะสมในการวัด ซึ่งจะเปลี่ยนความเร่งของอนุภาคหรือโมเมนต์เป็นแรง การวัดแรงจะใช้บนพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อหน่วยพื้นที่ หรือความดันได้ ความดันถูกบันทึกไว้เป็นคลื่นเสียง มักจะมีการผันแปรเล็กน้อยจากความดันบรรยากาศปกติ การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยนี้เรียกว่าความดันเสียง (Sound Pressure) ก่อนหน้านี้ออกว่าความถี่เป็นอัตราซึ่ง ลูกสูบทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปและกลับ อันนี้จะหมายถึงจำนวนครั้งต่อวินาที ที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งจากจุดต่ำสุดไปยังจุดที่สูงที่สุด ซึ่งอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ตอนแรก คือความถี่ของคลื่นเป็นจำนวนรอบต่อวินาที เป็นวงกลมครบ 1 รอบ เวลาที่ต้องการสำหรับแต่ละรอบ เรียกว่าคาบของคลื่น การสั่นของลูกสูบในท่อเป็นเหตุให้โมเลกุลของอากาศกดอัดและขยายคลื่นไปตามท่อ โดยการทดลองสามารถกำหนดได้ว่าความยืดหยุ่นของอากาศคงที่ ความดันของอากาศคือความกดอากาศนั่นเอง การที่ความดันคงที่จะกลายเป็นอัตราส่วนของความร้อนจำเพาะของอากาศ ณ ความดันคงที่ ด้วยเหตุนี้ ความเร็วของเสียงในอากาศได้จากสมการ

$$c = \sqrt{\frac{1.4P_0}{\rho_0}} \quad (3.3)$$

P_0 เป็นความกดอากาศและ ρ_0 เป็นความหนาแน่นของอากาศ สันนิษฐานว่าอากาศมีพฤติกรรมเหมือนก๊าซอุดมคติ อุณหภูมิและความหนาแน่น สามารถแสดงได้ว่า ความเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศเท่านั้น สมการสำหรับความเร็วของเสียงในหน่วยของอังกฤษจะได้เป็น

$$c = 49.03\sqrt{R} \quad (3.4)$$

R เป็นอุณหภูมิในหน่วย Rankin(R) นั่นคือ 459.70 บวกอุณหภูมิในหน่วยฟาเรนไฮต์ สมการสำหรับความเร็วของเสียงในรูปของ เมตรต่อวินาที จะได้

$$c = 20.05\sqrt{T} \quad (3.5)$$

T เป็นอุณหภูมิสมบูรณ์ (K) นั่นคือ 273.20 บวกอุณหภูมิในหน่วยเซลเซียส ความถี่และความเร็วเสียงจะสัมพันธ์กันโดยผ่านทางความยาวคลื่น ความยาวของคลื่นเสียงเป็นระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่าง 1 คาบหรือรอบคลื่น 100 cps จะเคลื่อนไปในระยะ 1.13 ft ใน 1 รอบเมื่อความเร็วของเสียงเป็น 1130 ft / sec ด้วยเหตุนี้ ความเร็วของเสียงจะเท่ากับผลคูณของความถี่กับความยาวคลื่น

$$c = f\lambda \quad (3.6)$$

ซึ่ง c = ความเร็วของเสียง ft / sec หรือ m / sec

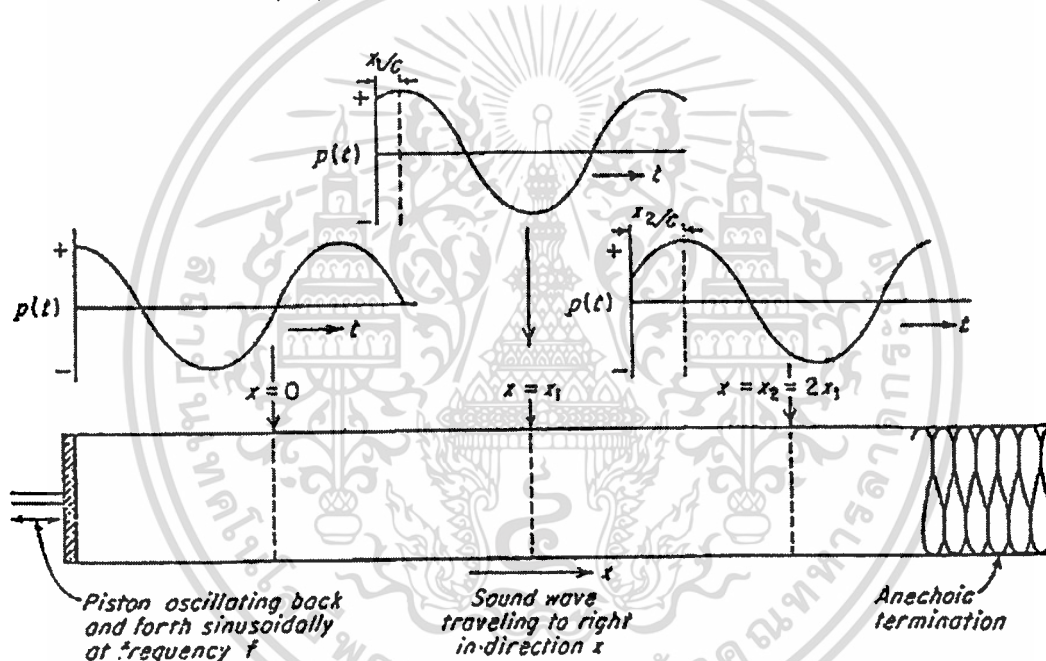
f = ความถี่ cps

λ = ความยาวคลื่น ft หรือ m

ความเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอากาศเท่านั้น และคงที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนดให้ หรืออีกนัยหนึ่งความยาวคลื่นจะลดลงในขณะที่ความถี่จะเพิ่มขึ้น ถ้าความถี่เป็น 1000 cps และความยาวคลื่นจะเป็น 1.13 ft

3.4.1 คลื่นอิสระเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ไปตามท่อ โดยเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่เข้า ออกของลูกสูบที่ปลายด้านหนึ่งของท่อดังรูปที่ 3.4 สมมุติให้ท่อยาวไม่มีที่สิ้นสุด หรือส่วนปลายไม่มีการสะท้อนกลับ ดังนั้นผลที่เกิดขึ้นที่ปลายท่อคือคลื่นเสียงที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากลูกสูบที่เคลื่อนที่ไปตามท่อ คลื่นแบบนี้รู้จักในนามของคลื่น 1 มิติ (One-Dimensional Plane หรือ Free Progressive wave) ลักษณะคลื่น 1 มิติจะสัมพันธ์กับรายละเอียดของตัวแปรในรูปของการเคลื่อนที่ ระนาบหมายถึงคลื่นที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยจะขนานกับคลื่นอื่น ๆ และการเลื่อนตำแหน่งไปข้างหน้าของคลื่นซึ่งไม่มีรบกวนจากผนังของท่อ สังเกตเห็นได้ว่า ณ จุดใด ๆ ตามท่อ สามารถวัดค่าความดันที่เกิดขึ้น ๆ ลง ๆ บนและล่าง ความดันดังกล่าวหมายถึงความดันเสียงและอัตราความเร็วของอากาศที่ผันแปร โดยทั่วไปจะเป็นเดซิเบล (dB) หรือ N/m^2 หน่วยของอัตราความเร็ว โดยทั่วไปจะเป็น cm/sec



รูปที่ 3.4 การแพร่ของระนาบคลื่นจากซ้ายไปทางขวาในท่อ 3 จุด $x=0, x=r_1$ และ $x=x_2=2r_1$

คลื่นเสียงจะถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งหนึ่งไปสู่จุดหนึ่ง เกิดจากโมเลกุลในอากาศที่มีอยู่ตามเส้นทางของคลื่นเสียงถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไป พลังงานคือความสามารถในการทำงาน ที่ว่าคลื่นเสียงบังคับโมเลกุลให้เคลื่อนตัวมีความหมายว่า คลื่นมีพลังงานรวมอยู่ในตัวหมายถึงพลังงานที่ไหลผ่านพื้นที่หน่วยหนึ่งในเวลาหนึ่ง จะเป็น $watt/cm^2$ การเพิ่มความเร็วของอนุภาคจากกฎของ (Newton's Second law) ความดันที่ต้องการสำหรับกด หรือขยายตัวของก๊าซ จะต้องเป็นไปตามกฎของ Boyle-Charles จากนั้นคลื่นเสียงจะแกว่งอย่างรวดเร็ว เพียงพอที่จะทำการ

กอดัดของก๊าซเป็นขบวนการ Adiabatic ในที่สุดและจากกฎการอนุรักษ์มวล จะทำให้เกิดสมการที่เหมือนกัน 3 สมการ เมื่อนำมารวมกันก็จะได้สมการคลื่น 1 มิติเป็น

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} p \quad (3.7)$$

ซึ่ง p = ความดันเสียง ft / sec หรือ m / sec

c = ความเร็วของเสียงในอากาศ

$\omega = 2\pi$

f = ความถี่ของคลื่น

x = ทิศทางที่คลื่นจะเดินทางไป

พิจารณารูปที่ 3.4 กรณีเกิดคลื่นเสียงเดินทางไปทางขวา และไม่สะท้อนกลับ หรือกล่าวอีกในหนึ่งคือปลายด้านขวามือของท่อไม่มีการสะท้อนกลับของเสียง (Anechoic) ดังนั้นพลังงานทั้งหมดที่เกิดจากลูกสูบ ก็จะถูกดูดกลืนที่ส่วนปลายเป็นระนาบ ตามแกน $x = 0$ ระนาบนี้ความดันเสียงจะผันแปร ที่ความถี่เดียวกันกับลูกสูบ และจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ P_R ดังนั้น

$$[p(t)]_{x=0} = P_R \cos \omega t \quad (3.8)$$

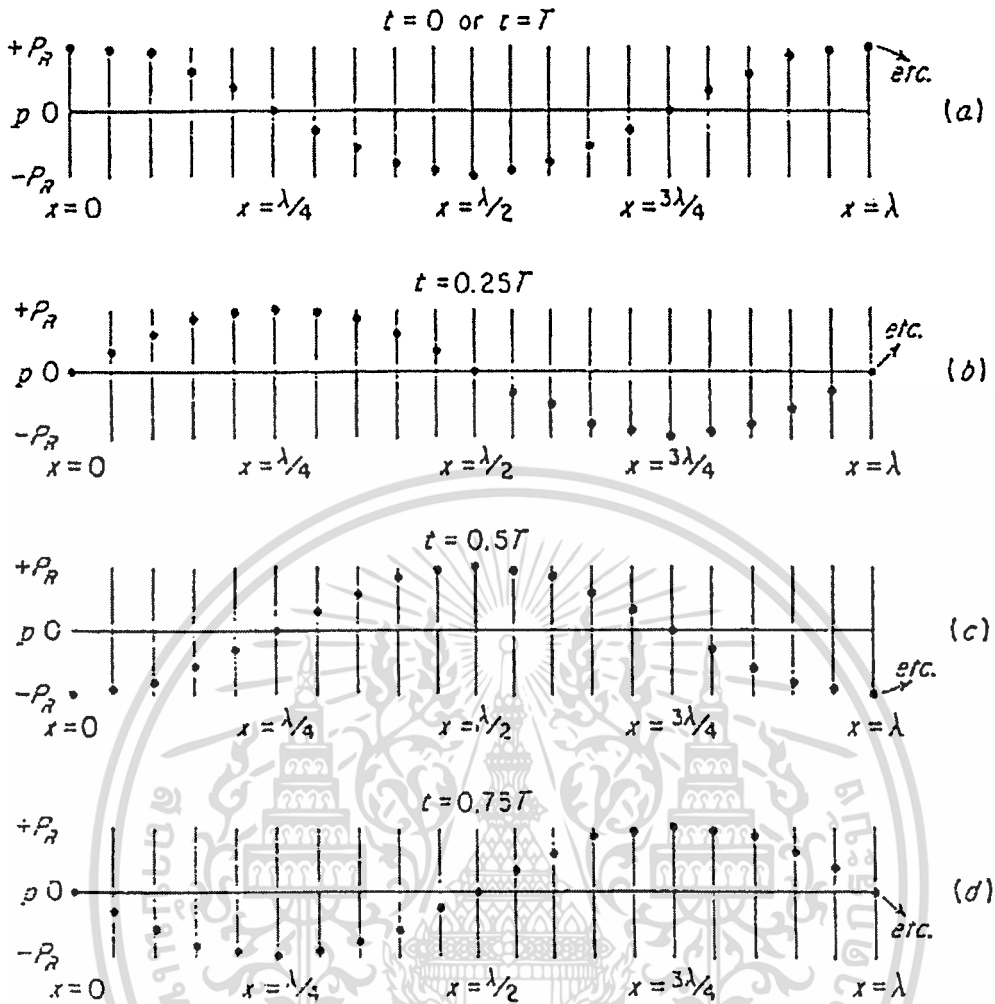
จากรูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพซึ่งแสดงความดันเสียงเปรียบเทียบกับระยะทาง x เราจะสังเกตได้ว่าแผนภาพแต่ละอันมีเส้นแนวตั้ง 20 แห่งไปตามทิศทาง x เส้นเหล่านี้จะช่วยในการพิจารณาตำแหน่งของคลื่นที่กำลังเดินทาง ในทางปฏิบัติคลื่นที่เดินทางแบบนี้อาจมีอยู่จริงถ้าความถี่ต่ำกว่า 500 pcs ตัวอย่างท่อขนาดยาวมาก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ตัวกำเนิดเสียงจะถูกวางไว้ที่ปลายด้านซ้ายของท่อและส่วนปลายอีกด้านของท่อไม่มีการสะท้อนกลับที่ปลายด้านขวาความถี่ของแหล่งกำเนิดเป็น 100 pcs ดังนั้น ความยาวคลื่นจะเป็น

$$\lambda = \frac{c}{100} = \frac{344}{100} = 3.44m \quad (3.9)$$

ซึ่ง c คือ ความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 344 m/sec เวลาที่ใช้สำหรับให้คลื่นเดินทาง 1 ความยาวคลื่น (3.44 m) นั่นคือคาบของการเคลื่อนที่ที่จะเป็น

$$T = \frac{\lambda}{c} = \frac{3.44}{344} = 0.01\text{sec} = \frac{1}{f} \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ก่อนอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ความดันเสียงในระนาบการเคลื่อนที่เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

สังเกตกราฟรูปที่ 3.5 (a) ที่แต่ละแห่งของทั้ง 20 จุดตลอดทางของคลื่น ตำแหน่งของจุดจะแสดงความดันเสียงความดันเสียงนี้จะอยู่เหนือเส้นศูนย์ โกลด์ ๆ กับปลายด้านซ้ายและขวา จะอยู่ต่ำกว่าเส้นศูนย์ที่ระหว่างเส้นศูนย์กลางจะเป็นเส้นเครื่องวัดความดัน (Barometric-pressure) จากรูปที่ 3.5 (a) คือที่เวลา $t = 0$ การกระจายความดันเสียงไปในช่องว่างเหนือระยะทางซึ่งถูกเลือกให้เป็นความยาวคลื่น ในเวลาต่อมาที่ $t = 0.0025 \text{ sec}$ คลื่นได้เดินทางไปทางขวา ระยะเท่ากับ $1/4$ ความยาวคลื่น (ดูกราฟ (c) และ (d) ในรูปที่ 3.5) คลื่นได้เคลื่อนที่เป็นระยะทางไป 0.86 เมตร และสุดท้ายที่ $t = 0.01$ คลื่นก็เดินทางได้เต็มความยาวคลื่น จากนั้นลำดับชั้นการเกิดทั้งหมดของกราฟทั้ง 4 เคลื่อนที่ซ้ำตัวเองเหมือนกับคลื่นจะยังคงเดินทางไปทางขวาจากแหล่งกำเนิดจะเห็นว่า ณ แต่ละตำแหน่ง ความดันเสียงจะเดินทางไปตามเส้นแนวตั้งที่แสดงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันคลื่นใด ๆ ที่มีอยู่ตามเส้นแนวตั้งอันหนึ่งที่ได้รับ จะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งถัดไปทางขวา ที่ $T/20 = 0.01/0 = 0.005 \text{ sec}$ สามารถแสดงการเคลื่อนที่ในทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$p(x,t) = P_R \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \quad (3.11)$$

ซึ่ง P_R = จุดยอดของระดับความดันเสียง, Newton / m^2

x = ระยะทางที่คลื่นเดินทางไป, m

t = เวลา, sec

c = ความเร็วของเสียง 344 m / sec

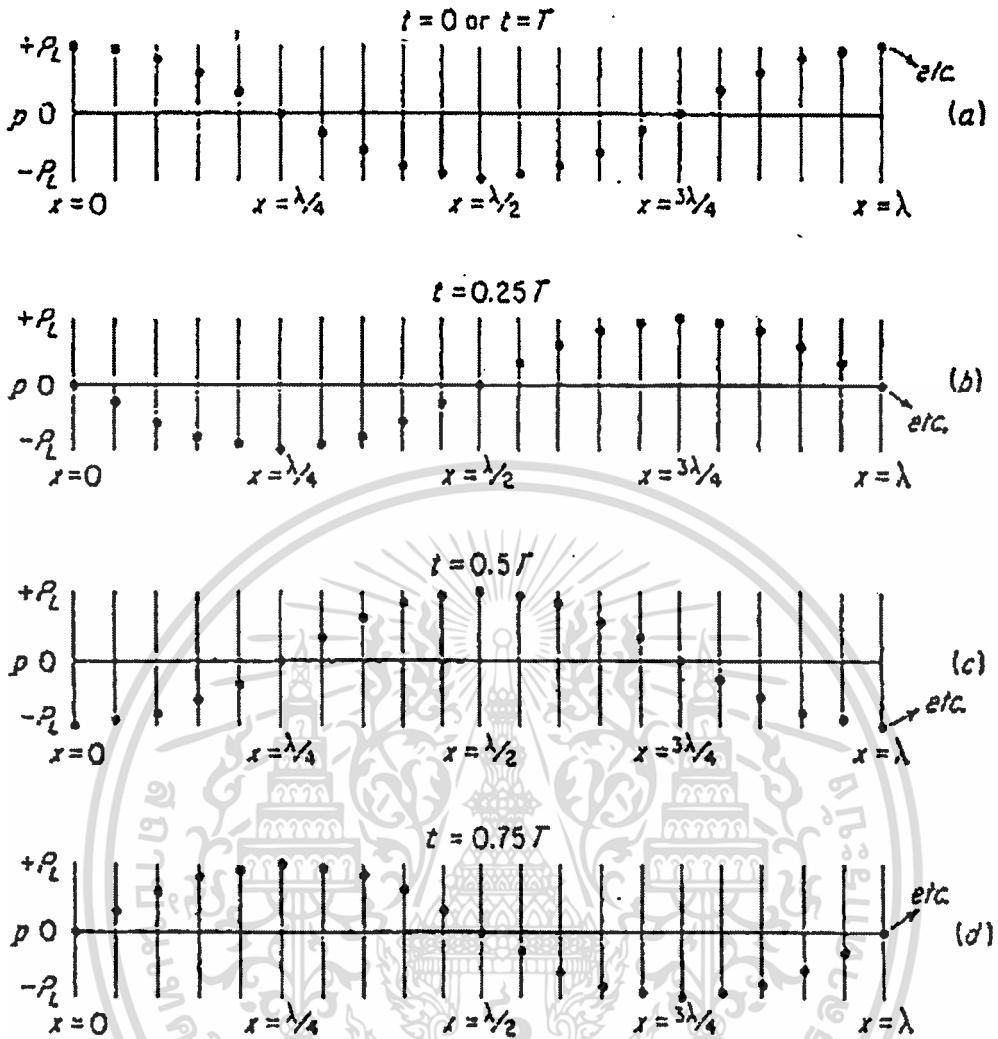
$\omega = 2 f\pi$ ความถี่เชิงมุม radians / sec

จากสมการจะเห็นว่าคลื่นเสียงจะเคลื่อนไปทางขวาโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงความดันจุดยอดนั่นคือ P_R ไม่เป็นฟังก์ชันของ x ณ จุดใด ๆ ของ x ความดันเสียงจะแปรผันตามความถี่เชิงมุมเดียวกัน นั่นคือที่ $x=0$ จะเห็นว่าความดันจะแปรผันตามเหมือนในสมการที่ 3.6 จุดที่ $x = \lambda/4$ ฟังก์ชันเดียวกันจะปรากฏขึ้น ยกเว้นว่าความดันจะไปถึงจุดสูงสุดของมัน ณ ช่วง เวลาที่ $t = 0.25 \text{ sec}$ เราอาจจะพูดได้ว่า phase shift ของ $\omega x/c = \omega(\lambda/4)c\pi/2$ ได้เกิดขึ้นที่จุด $x = \lambda/2$ ความดันเสียงจะไปถึงจุดสูงสุดที่ $t = \lambda/2 / c = 0.05 T$ (phase shift) ในตอนนี้จะเป็น 2π ในของรูปที่ 3.5 ซึ่ง $f = 100 \text{ cps}$ จะได้

$$p(x,t) = P_R \cos \left[628 \left(t - \frac{x}{344} \right) \right] \quad (3.12)$$

3.4.2 คลื่นที่เดินทางไปข้างหลัง

คลื่นที่เดินทางไปข้างหลังเป็นคลื่นหนึ่ง ซึ่งเดินทางไปในทิศทางตรงข้ามของ x สามารถเกิดขึ้นได้โดยการตั้งแหล่งกำเนิดเสียงไว้ที่ปลายด้านขวามือของท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และให้การแผ่รังสีไปทางซ้ายและสะท้อนกลับไปทางด้านขวามือของท่อ ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีเสียงสะท้อนกลับ และด้วยวิธีนั้นมันจะหันเหคลื่นที่เดินทางไปข้างหน้าในการเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ



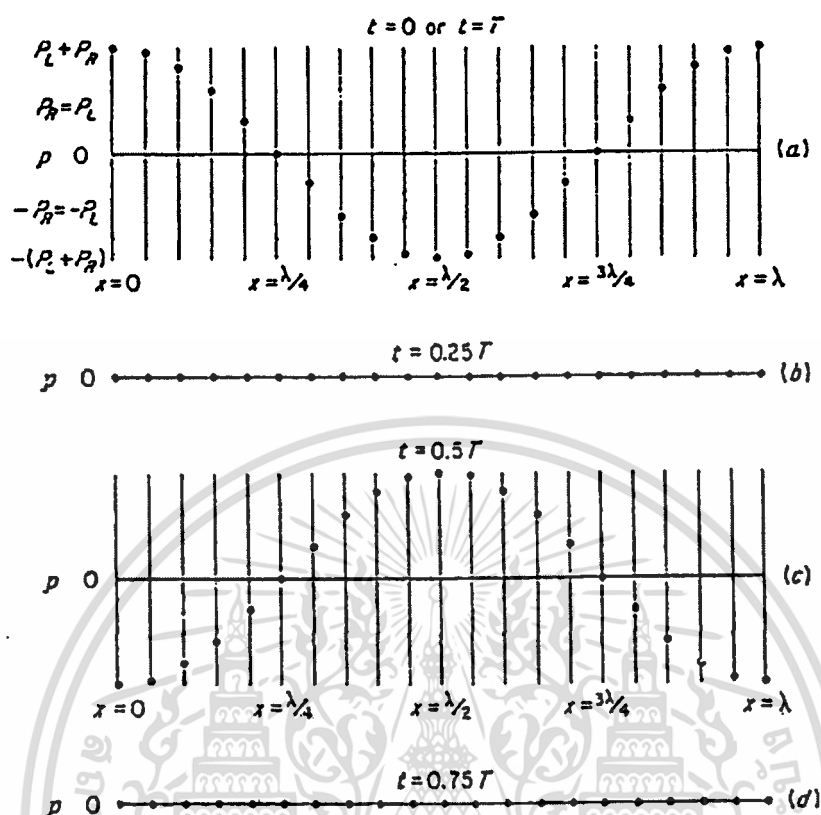
รูปที่ 3.6 ความดันเสียงในระนาบการเคลื่อนที่เมื่อมีการเคลื่อนที่ไปด้านหลัง

$$p(x,t) = P_L \cos \left[\omega \left(t + \frac{x}{c} \right) \right] \quad (3.13)$$

การเปลี่ยนแปลงเพียงอย่างเดียวจากสมการที่ 3.11 จะอยู่ในสัญลักษณ์ที่ตามหลังตัวด้วย t ในสมการ กรณีการเดินทางไปข้างหลังได้ถูกแสดง ไว้ใน รูปที่ 3.6 จะเห็นว่าความดันเสียงใด ๆ ซึ่งมีอยู่ที่เส้นใดเส้นหนึ่ง ก็จะมีอยู่ที่เส้นทางถัดไปทางซ้ายภายหลัง $t/20$ sec เรียกว่า Phase Shift คลื่นที่เดินทางไปทั้งข้างหน้าและข้างหลังในขั้นตอนถัดไป ได้โดยการบวกสมการที่ 3.12 กับ 3.13 เข้าด้วยกัน จะได้สมการที่ 3.14 สำหรับ $f = 100$ cps

$$p(x,t) = P_R \cos \left[628 \left(t - \frac{x}{344} \right) \right] + P_L \cos \left[628 \left(t + \frac{x}{344} \right) \right] \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง การใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความดันเสียงของระนาบคลื่น

การรวมสมการเข้าด้วยกันจะเห็นได้ว่าคลื่นทั้ง 2 ตัวที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 กล่าวอีกนัยหนึ่ง เป็นการรวมทางพีชคณิตอย่างง่าย ๆ ของรูปที่ 3.5 และ 3.6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ความดันเสียงที่จุดหนึ่งจะเกิดขึ้น ณ จุดถัดไปทางด้านขวาหรือทางด้านซ้าย ในช่วงเวลาเล็กน้อยคลื่นก็จะเดินทางต่อไปอีก เห็นว่าที่แต่ละจุดในช่องว่างความดันเสียงจะเพิ่มขึ้น และลดลงเป็นเส้นโค้งตรงกับเวลา ยกเว้นที่จุด $x = \pi/4$ กับ $x = 3\pi/4$ ที่นั้นความดันจะเป็นศูนย์เสมอ ค่าสูงสุดของการผันแปรความดัน ณ จุดที่แตกต่างจะมากที่สุดที่ $x = 0$, $x = \pi/2$ และ $x = \pi$ ความดันเสียงที่จุดทั้ง 9 จุด ระหว่าง $x = \pi/4$ กับ $x = 3\pi/4$ จะเปลี่ยนแปลงพร้อมกันเสมอ นั่นคือ เพิ่มขึ้นหรือลดลง แม้ว่าจำนวนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงแตกต่างกันความดันเสียงสำหรับจุด 5 จุด ทางซ้ายของ $x = \pi/4$ และทางด้านขวาของ $x = 3\pi/4$ จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงพร้อมกันด้วยนั้น แต่การเปลี่ยนแปลงความดันเสียงสำหรับจุด 9 จุด อยู่ระหว่าง $x = \pi/4$ และ $x = 3\pi/4$ สมมติว่า $P_R = P_L = P$ สามารถแสดงโดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์ได้ว่า จำนวนเทอม 2 เทอมในสมการที่ 3.14 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(x,t) = 2P \left[\cos 2\pi \left(t - \frac{x}{\lambda} \right) \right] \cos \omega t \quad (3.15)$$

ความเร็วของอนุภาค (Particle Velocity) จากสมการ Newtonian ในรูปของความดันเสียง p เราพบว่าในกรณีการเคลื่อนที่ของระนาบคลื่นของรูปที่ 3.4 และ 3.5

$$u = \frac{P}{\rho_0 c} \quad (3.16)$$

u คือความเร็วของอนุภาคและ ρ_0 คือความหนาแน่นของอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ 3.16 เราจะได้ว่า

$$u(x,t) = \frac{P_R}{\rho_0 c} \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \quad (3.17)$$

$$I = \overline{\rho u} \quad (3.18)$$

แทนค่าสมการที่ 3.11 และ 3.17 ลงในสมการที่ 3.18 ค่าสูงสุดของความดันเสียง

$$I(t) = \frac{P_{\max}^2}{\rho_0 c} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right] \quad (3.19)$$

เนื่องจากเวลาเฉลี่ยของ Cosine เป็นศูนย์ ค่าสูงสุดของความดันเสียงจึงเป็น

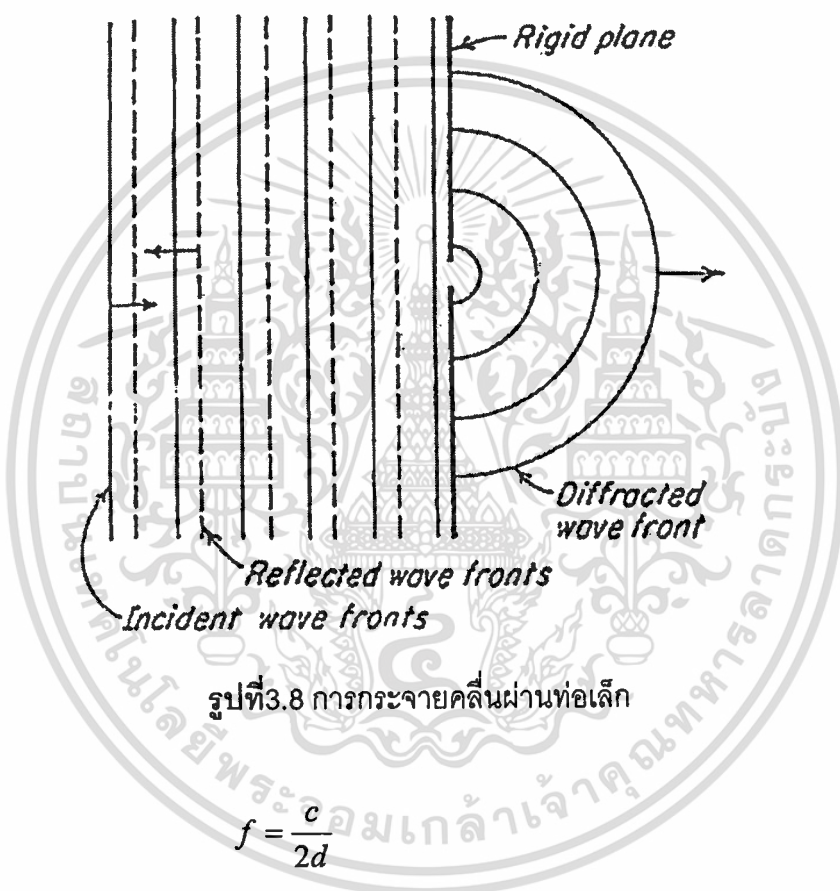
$$I = \left[\frac{P_{\max}}{\sqrt{2}} \right]^2 \frac{1}{\rho_0 c} \quad (3.20)$$

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho_0 c} \quad (3.21)$$

3.5 การอ้อมของคลื่นที่ผ่านวัตถุที่ขวางหน้า

การเคลื่อนที่ของคลื่นถูกอธิบายไว้ว่าไม่มีอุปสรรคหรือการเปลี่ยนแปลงในตัวกลางที่ถ่ายทอด คลื่นเหล่านี้สามารถอยู่ได้เฉพาะในช่องว่างอิสระเท่านั้นทันทีที่ปิดช่องว่างนั้น หรือ วางสิ่งกีดขวางในเส้นทางคลื่นรูปร่างของคลื่นก็จะถูกเปลี่ยนไป การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในเรื่องการทำปฏิกิริยาของคลื่นของสิ่งกีดขวาง เป็นสิ่งที่ซับซ้อนมากแต่ก็เป็นเรื่องที่ยากที่สุดสิ่งที่เป็นตัวบอก ว่าหน้าคลื่นสามารถถูกทำให้เปลี่ยนได้ก็อาจตรวจสอบกรณีของระนาบคลื่นที่ปะทะกับพื้นผิวเรียบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดใหญ่ ซึ่งเต็มไปด้วยรูเล็ก ๆ เสียงจะทะลุผ่านรูเล็ก ๆ รูปแบบของคลื่นทรงกลมเสียงนั้นที่กระทำตัวในลักษณะที่อธิบายไว้สามารถแสดงได้ทั้งทางการวิเคราะห์ และทางการทดลอง การวิเคราะห์ซึ่งศึกษาปรากฏการณ์นี้รู้จักกันในนามของทฤษฎี Diffraction และคลื่นเสียงอันใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นมาจะรู้จักกันในนามของ Diffraction Wave Standing Wave จะอยู่ในสถานที่ปิด ซึ่งมีพื้นผิวหน้าขนานกันและกัน ในห้องรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากอาจจะมี Standing Wave ความถี่กำหนด Standing Waves สามารถคงอยู่ได้จะสัมพันธ์กับการแบ่งแยะระหว่างพื้นผิวที่มีการสะท้อน ความถี่ที่ต่ำที่สุดสำหรับ Resonant Standing Wave ในระบบ 1 มิติจะได้



ซึ่ง f = ความถี่ที่ต่ำที่สุดสำหรับ resonant standing wave

c = ความเร็วเสียง

d = ระยะทางที่แยกพื้นผิวที่มีการสะท้อน 2 พื้นผิว

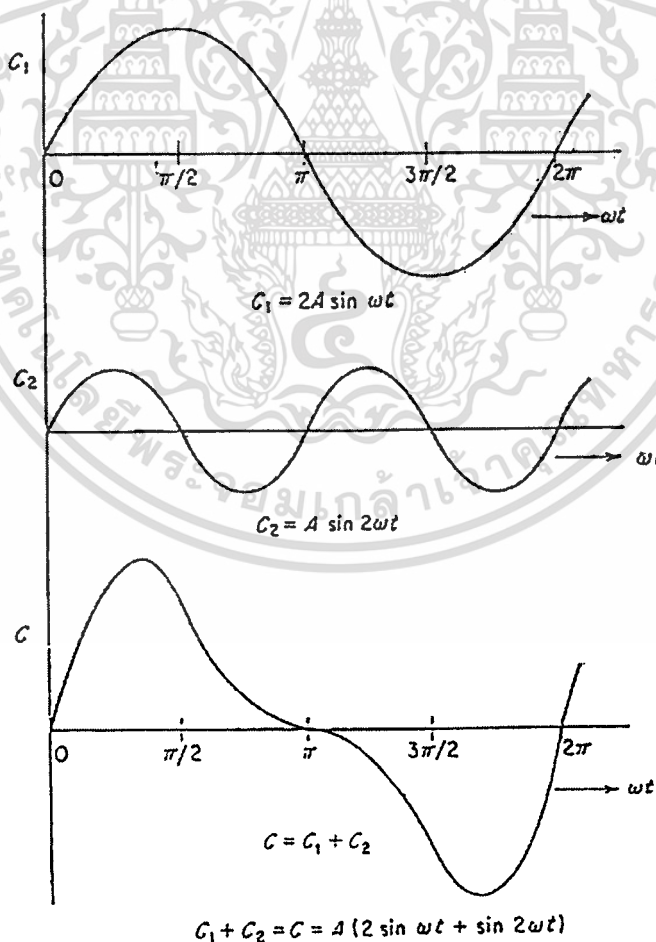
$$f = \frac{nc}{2d} \quad (3.23)$$

ซึ่ง n เป็นจำนวนเต็ม : 1,2,3,.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ส่วนประกอบของคลื่น

การรวมกันของคลื่นที่สัมพันธ์กันอย่างฮาโมนิกส์และอินฮาโมนิกส์ ได้พิจารณาคคลื่นที่มีความถี่เดียวเท่านั้น ในธรรมชาติคลื่นที่มีความถี่เดียว (Pure Tone) จะไม่พบมากนักโดยปกติจะเป็นคลื่นเชิงซ้อน (Complex Wave) ด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์เรื่องการวิเคราะห์แบบฟูเรียร์สามารถแสดงให้เห็นว่าคลื่นเสียงใด ๆ ซึ่งซ้ำตัวเองเป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอสามารถพิจารณาเป็นการรวมตัวของคลื่น sine รูปแบบของคลื่นลัพธ์ที่ได้ใช้กระบวนการของ Superposition ณ เวลาใด ๆ แนวคิดของเฟสที่เกี่ยวข้องระหว่าง Individual components ทำให้สมมุติได้ตามการวิเคราะห์วิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการอ้างอิงเฟสที่สัมพันธ์กันของฮาโมนิกส์ที่บางจุดซึ่งกำหนดไว้ในช่วงเวลา (อ้างอิงเป็น $t = 0$) จนถึงเฟสของ ค่าเวลาถูกเลือกขึ้นมาดังนั้นค่าพื้นฐานจะมีทั้งค่าศูนย์สามารถแทนได้เป็น $\sin \omega t$ หรือมีทั้งค่าบวกสูงสุดสามารถแทนด้วย $\cos \omega t$ สมการก็สามารถเขียนได้เป็น $\sin n(\omega t + \theta_n)$ หรือ cosine $n(\omega t + \theta_n)$ ในที่นี้ n^{th} คือ ลำดับของ การเคลื่อนที่แบบฮาโมนิกส์นั้นคือ 2,3,4



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของคลื่นแบบฮาโมนิกส์กับการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มจำนวนคลื่นเพื่อจะทำให้เกิดคลื่นเชิงซ้อนกำหนดรายละเอียดคุณสมบัติอื่น ๆ ของคลื่น ตัวอย่างเช่นค่าสูงสุดของคลื่นเชิงซ้อนที่ถูกประกอบด้วยองค์ประกอบที่สัมพันธ์กันอย่างกลมกลืนกับขนาดเท่านั้นแต่ต้องอาศัยเฟสที่สัมพันธ์กัน

$$P_1(t) = P_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) \quad (3.24a)$$

$$P_2(t) = P_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad (3.24b)$$

ซึ่ง ω_1 กับ ω_2 เป็นความถี่มุม (Angular) และ θ_1 กับ θ_2 เป็นมุมเฟสตามลำดับ

$$p(t) = P_1(t) + P_2(t) = P_1 \cos(\omega_1 t + \theta_1) + P_2 \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad (3.25)$$

ในการตัดสินค้า ของผลบวกนี้ วงจรในเครื่องมือวัดระดับเสียงจะเป็นรากใช้เวลาเฉลี่ย แสดงรากที่สองของผลลัพธ์ บนเครื่องแสดงผล เมื่อ $p(t)$ ถูกทำให้เป็นรากที่สองจะได้ผลต่างในเฟส ณ จุดเวลาชั่วขณะเดียวก็ตาม ความดันที่ถูกวัดด้วยไมโครโฟนจะเป็น

$$[p(t)]^2 = \frac{P_1^2 + P_2^2}{2} + \frac{P_1^2 \cos 2(\omega_1 t + \theta_1)}{2} + \frac{P_2^2 \cos 2(\omega_2 t + \theta_2)}{2} + 2P_1 P_2 \cos 2(\omega_1 t + \theta_1) + \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad (3.26)$$

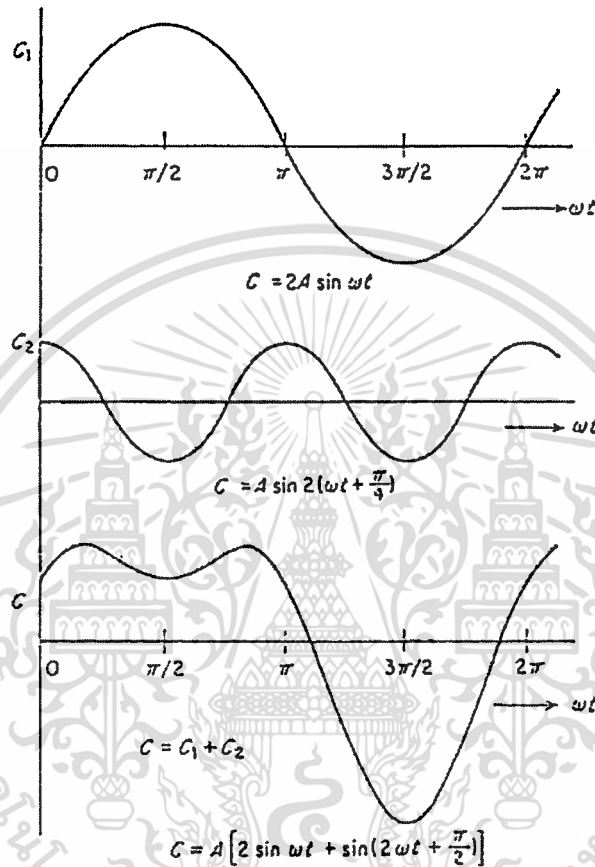
รู้ว่าการเฉลี่ยของแต่ละ Single Cosines เป็นศูนย์สามารถนำมาแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ได้ว่าเฉลี่ยของผลคูณของ 2 Cosines ก็เป็นศูนย์ด้วยในทุก ๆ ค่ายกเว้นเฉพาะที่มีความถี่เหมือนกันผลที่ได้สามารถเขียนความสัมพันธ์ของความดันเสียงเฉลี่ย (ด้วย $\omega_1 \neq \omega_2$) ดังนี้

$$p^2 = \left[\frac{P_1}{\sqrt{2}} \right]^2 + \left[\frac{P_2}{\sqrt{2}} \right]^2 \quad (3.27)$$

จะเห็นว่า $P_1/\sqrt{2} =$ ความดันเสียงจริงของคลื่นแรก และ $P_2/\sqrt{2} =$ ความดันเสียงจริงของคลื่นสอง เพราะค่าเฉลี่ยของคลื่นเป็นที่รู้จักกันว่าเป็น $1/\sqrt{2}$ เท่าของค่าสูงสุดดังนั้นสำหรับคลื่นที่ 2 คลื่นที่มีความถี่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_1, P_1 และ P_2 เป็นความดันเสียงเฉลี่ยภายใต้เงื่อนไขที่ว่า $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ ปริมาณ 2 อัน P_1 กับ P_2 จะประกอบด้วยคลื่น Sine ที่สามความถี่เดียวกัน ซึ่งต่างกันที่ขนาดกับเฟส



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ของคลื่นแบบฮาร์โมนิกส์กับการแทรกสอดของคลื่นแบบหักล้างกัน

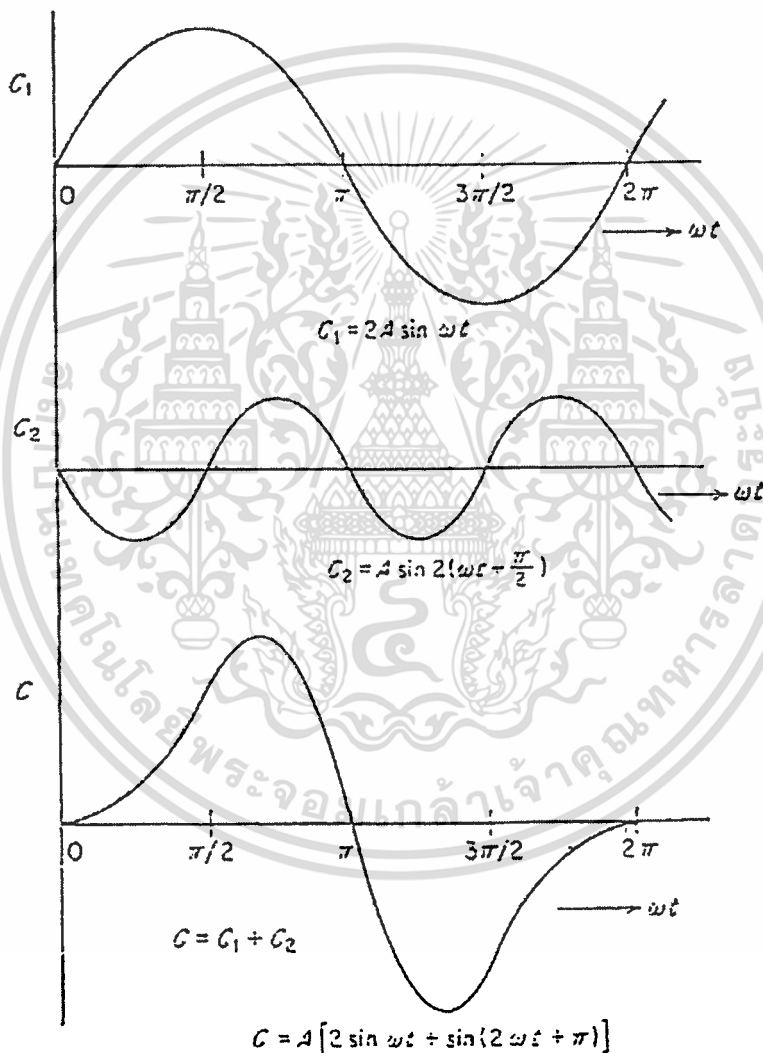
$$\begin{aligned}
 p(t) &= p_1(t) + p_2(t) \\
 &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)} \cos(\omega t + \theta_3) \\
 &= P_3 \cos(\omega t + \theta_3)
 \end{aligned}
 \tag{3.29}$$

ซึ่ง θ_3 เป็นมุมเฟสใหม่ความดันเสียงเฉลี่ยจะเป็น

$$P = \frac{P_3}{\sqrt{2}} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos 2(\theta_1 - \theta_2)}
 \tag{3.30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P, P_1 และ P_2 เป็นความดันเสียงเฉลี่ยการเปรียบเทียบสมการ 3.30 และ 3.28 แสดงให้เห็นความสำคัญของเฟสเมื่อทำการรวมคลื่น sine ทั้งสองตัวที่มีความถี่เหมือนกัน ถ้าเฟสต่างกันเป็นศูนย์ คลื่นทั้งสองในเฟส และความดันรวม ก็จะอยู่ที่ค่ามากที่สุดถ้าต่างกัน 180° ความดันรวมก็จะมีค่าน้อยที่สุดในทางปฏิบัติความดังของเสียงจริงคลื่นทั้งสองที่ซึ่งมีความถี่แตกต่างกัน ซึ่งคลื่นทั้งสองถูกเพิ่มเข้ามารวมด้วยกันตามสมการที่ 3.30 เพื่อจะให้ได้ความดังจริงอันใหม่ ดังนั้นความดังนี้กับความดังส่วนที่เหลืออยู่ จะถูกรวมยอดตามสมการที่ 3.28

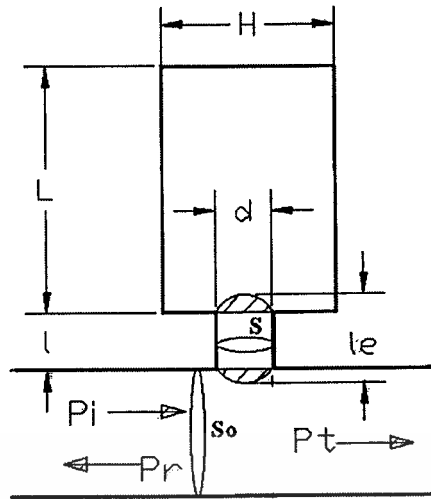


รูปที่ 3.11 ผลการแทรกสอดของคลื่นเมื่อต่างเฟส คล้ายกับรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

3.7 The Helmholtz Resonator

Munjal ได้แสดงผลของความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวล ที่หน้าตัดท่อนำเสียง โดยตรง ดังรูปที่ 3.12 ณ จุดต่อก่อนเข้าและหลังเข้า ตัวเก็บเสียงในรูปของเมทริกซ์ถ่ายโอน ได้เป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวลที่หน้าตัดท่อนำเสียงก่อนตัวเก็บเสียง

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \frac{1}{2M + \frac{Z_r}{Z_0}} \begin{bmatrix} M + \frac{Z_r}{Z_0} & M^2 Z_0 \\ \frac{1}{Z_0} & M + \frac{Z_r}{Z_0} \end{bmatrix} \tag{3.31}$$

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S_0} \tag{3.32}$$

ρ_0 คือความหนาแน่นของตัวกลาง, c คือความเร็วเสียง, M คือแมคคัมเบอร์, Z_0 เป็นความต้านทานของท่อและ Z_r คือความต้านทานเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแสดงโดย

$$Z_r = R + j(X + R) \tag{3.33}$$

$$R = \frac{16l}{\pi d^3} \sqrt{\pi \mu \rho_0} f \tag{3.34}$$

$$X = \frac{2\pi f \rho_0 l_e}{S} - \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f V} \tag{3.35}$$

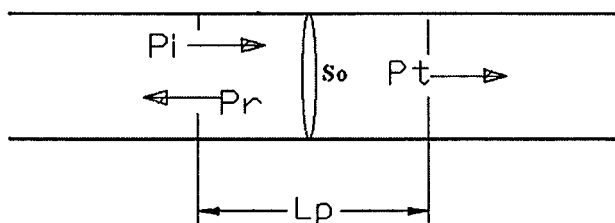
R คือความต้านทานของข้อต่อและ X เป็นความต้านทานของปริมาตรภายใน, μ คือสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลาง, f คือความถี่ และ f_r คือความถี่กำหนดโดย

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V l_e}} \tag{3.36}$$

$$l_e = l + \beta d \tag{3.37}$$

เมทริกซ์ถ่ายโอน สำหรับท่อนำเสียงดังรูปที่ 3.13 ระหว่างตัวเก็บเสียงเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวลที่หน้าตัดท่อนำเสียง

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = e^{-jkL_p M} \begin{bmatrix} \cos kL_p & jZ_0 \sin kL_p \\ \frac{j \sin kL_p}{Z_0} & \cos kL_p \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

$$k = \frac{2\pi f}{c(1-M^2)} \quad (3.39)$$

ดังนั้นจากแบบจำลองตัวเก็บเสียง สมการหาค่าการลดเสียงเมื่อผ่านตัวเก็บเสียง

$$\begin{bmatrix} \frac{P_i + P_r}{Z_0} \\ \frac{P_i - P_r}{Z_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{P_t}{Z_0} \\ \frac{P_t}{Z_0} \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

และสมการการหาค่า Transmission loss (TL) คือ

$$TL = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2 \quad (3.41)$$

โดย \$P_i\$ คือความดันเสียงที่ทางเข้า \$P_r\$ คือความดันเสียงที่สะท้อนกลับและ \$P_t\$ คือความดันเสียงที่ส่งผ่าน

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 การสร้างอุปกรณ์ประกอบในการทดลอง

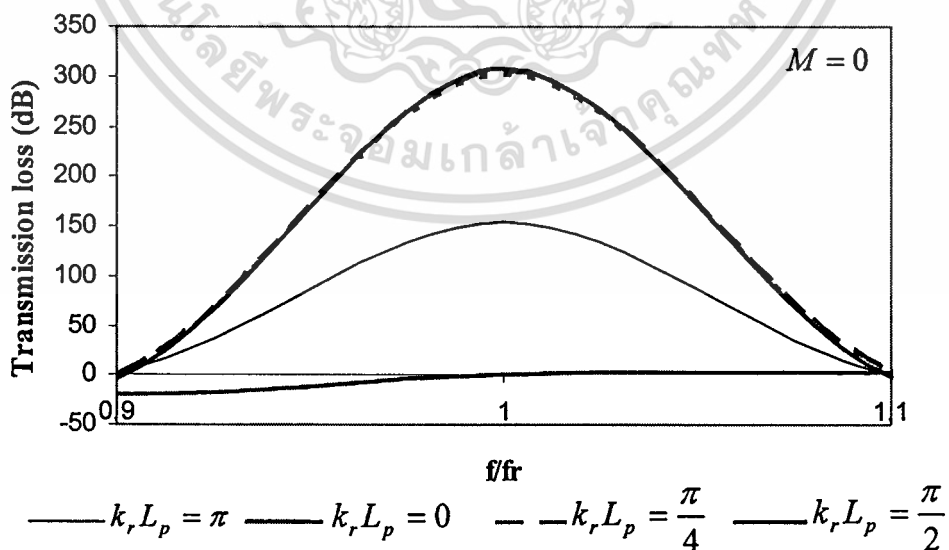
4.1.1 ห้องเก็บเสียง (Anechoic Room) จะต้องมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและป้องกันการสะท้อนกลับ ลักษณะโครงสร้างของห้องเก็บเสียงเป็นห้องที่ขนาด 3x4x3 เมตรบุด้วยใยแก้วทั้ง 6 ด้าน

4.1.2 ท่อนำเสียงแบบกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.051 เมตร หนา 5 มิลลิเมตร และท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดภายใน 0.045x0.045 เมตร หนา 5 มิลลิเมตร มีความยาวมากกว่า 5 เมตร

4.1.3 ระยะระหว่างตัวเก็บเสียง (L_p) ที่เลือกใช้ในการทดลองคือ 0.06, 0.1050 และ 0.1450 เมตร โดยพิจารณาจากค่าการลดเสียงและ Phase angle ที่ $\frac{\pi}{4} \leq k_r L_p \leq \frac{\pi}{2}$ ซึ่งมีค่าการลดเสียงสูงสุด ดังรูปที่ 4.1

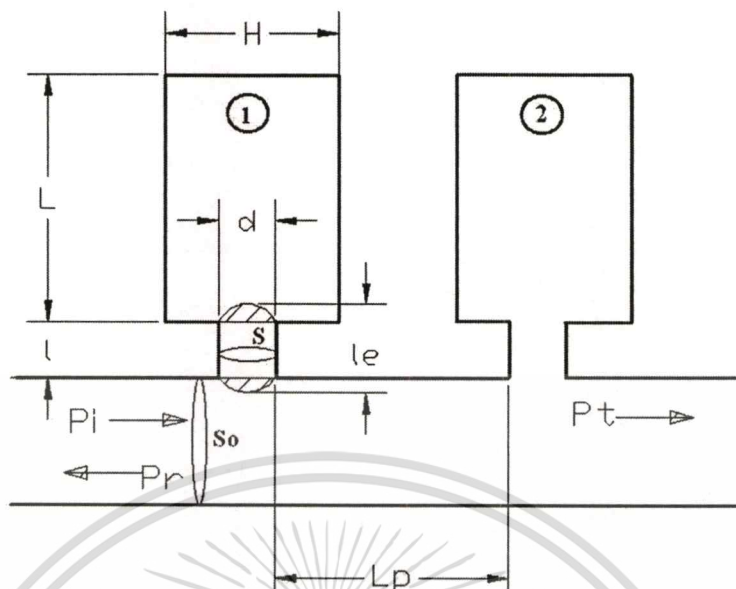
4.1.4 ตัวเก็บเสียงที่เลือกออกแบบให้เป็นลูกสูบเพื่อให้สามารถเลือกปรับปริมาตรของตัวเก็บเสียงได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(H) 0.0513, 0.0967 และ 0.1493 เมตรดังรูปที่ 4.2

4.1.5 ขนาดของข้อต่อ(Connector) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 0.03 เมตร และมีความยาว (l) 0.015, 0.02 และ 0.03 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ค่าการลดเสียงและPhase angle

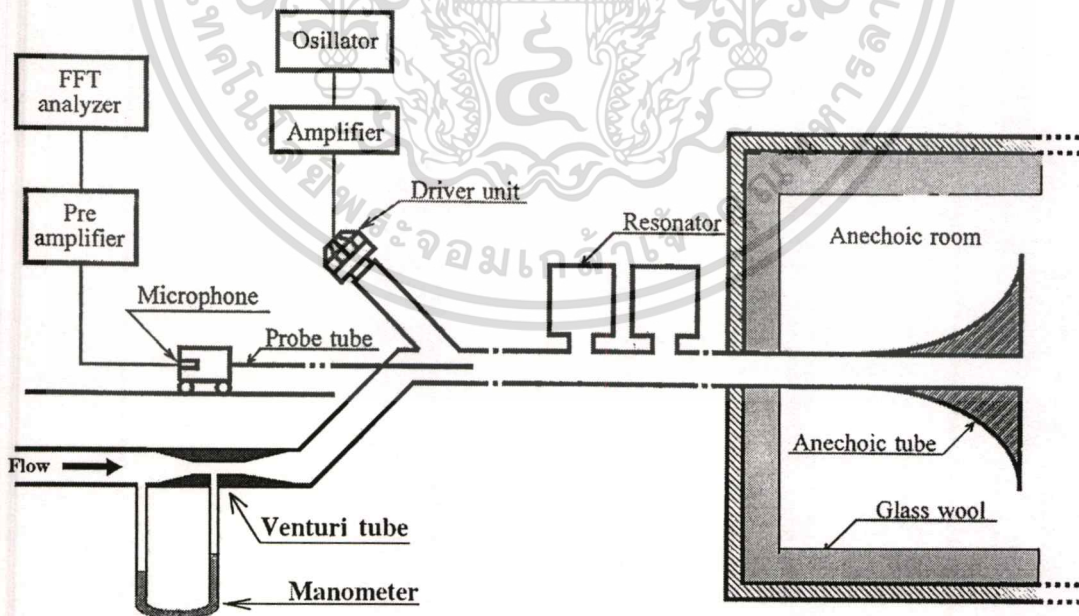
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การติดตั้งและขนาดของตัวเก็บเสียง

4.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดลอง

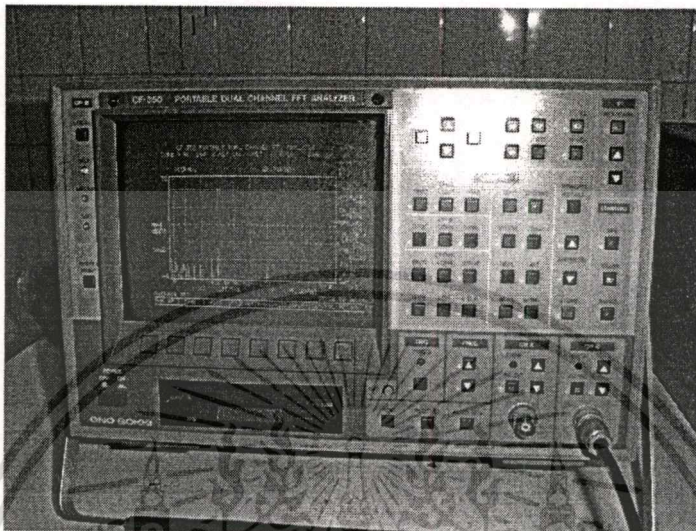
ในการทดลองการลดเสียงมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 4.3 โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดทำหน้าที่ดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์สำหรับการทดลองแบบมีความเร็วลมและแบบไม่มีความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer) คือเครื่องมือวัดแปลงสัญญาณความดันเสียงให้มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่ง FFT สามารถวัดค่าความถี่ที่ต้องการ ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของคลื่นเสียงที่เกิดค่าความดันสูงสุดในตำแหน่งนั้น ๆ



รูปที่ 4.4 Fast Fourier Transform Analyzer ที่ใช้ในการทดลอง

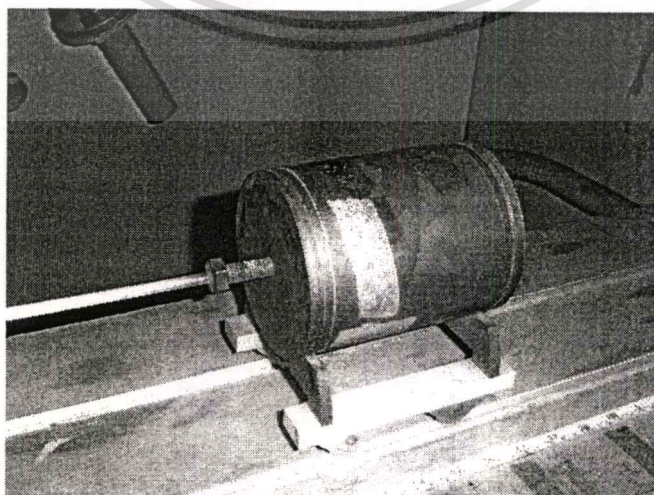
4.2.2 Probe Tube จะถูกสอดอยู่ในท่อนำเสียงและวัดสัญญาณโดยผ่านมายัง Microphone ดังรูปที่ 4.5

4.2.3 Amplifier เป็นตัวขยายความดันเสียงก่อนเข้า Driver Unit

4.2.4 Pre Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความดันเสียงก่อนเข้า FFT Analyzer

4.2.5 Driver Unit ทำหน้าที่ส่งผ่านเสียงไปยังท่อนำเสียงดังรูปที่ 4.6

4.2.6 Microphone ใช้ในการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นสามารถวัดความถี่สูงได้ดี



รูปที่ 4.5 การติดตั้ง Probe Tube เข้ากับล้อเลื่อน

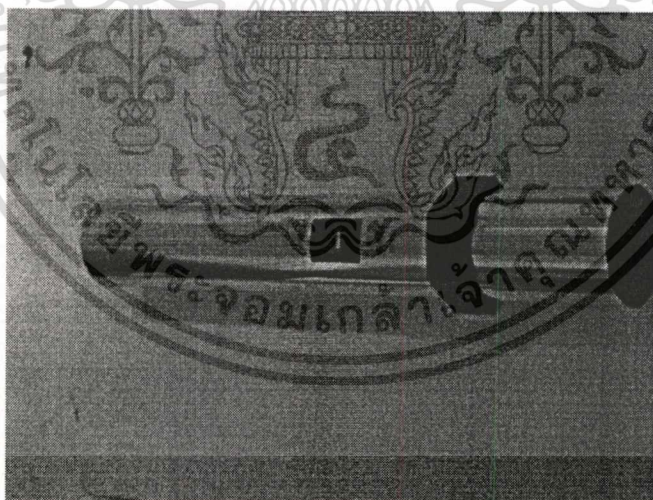
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทั้งฉบับเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 Calibrator เครื่องมือสำหรับปรับเทียบไมโครโฟนรูปที่ 4.7 เปรียบเทียบกับ FFT Analyzer ให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง

4.2.8 Oscillator แหล่งกำเนิดความถี่ของคลื่นเสียงโดยการปรับค่าความถี่รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.6 Driver Unit เมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียง

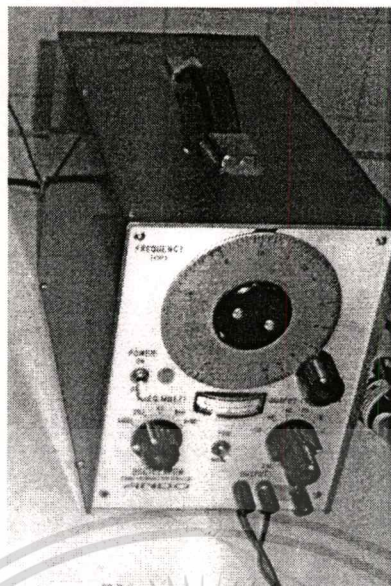


รูปที่ 4.7 Calibrator (From Bruel & Kjaer Instruments.)

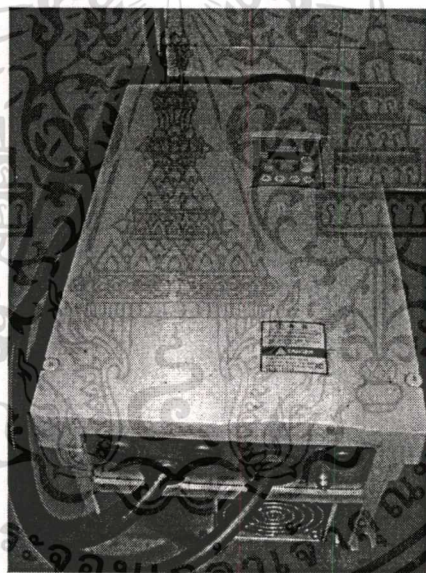
4.2.9 Blower ต้นกำเนิดของความเร็วลมสำหรับอุปกรณ์ในระบบท่อแบบมีความเร็วลม

4.2.10 Inverter ใช้สำหรับปรับค่าความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 Oscillator แหล่งกำเนิดความถี่



รูปที่ 4.9 Inverter Toshiba รุ่น VF 700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 วิธีการทดลอง

5.1.1 ติดตั้งตัวเก็บเสียงแบบเฮลิคัมโฮลท์ ที่ท่อนำเสียงชนิดกลม

5.1.2 ทำการปรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดความดันเสียงและ ส่งผ่านความดันเสียงมาที่ท่อนำเสียง

5.1.3 เลื่อนไมโครโฟนหาระยะที่มีระดับความดันเสียงมากที่สุด ก่อนผ่านตัวเก็บเสียงแบบและหลังผ่านตัวเก็บเสียง

5.1.4 ปรับความถี่ที่ Oscillator ที่ละน้อย และทำการวัดระดับความดันเสียงตามข้อที่ 5.1.3 เพื่อหาว่ากล่องเก็บเสียงแบบเฮลิคัมโฮลท์ สามารถลดเสียงได้มากที่สุดในช่วงใด

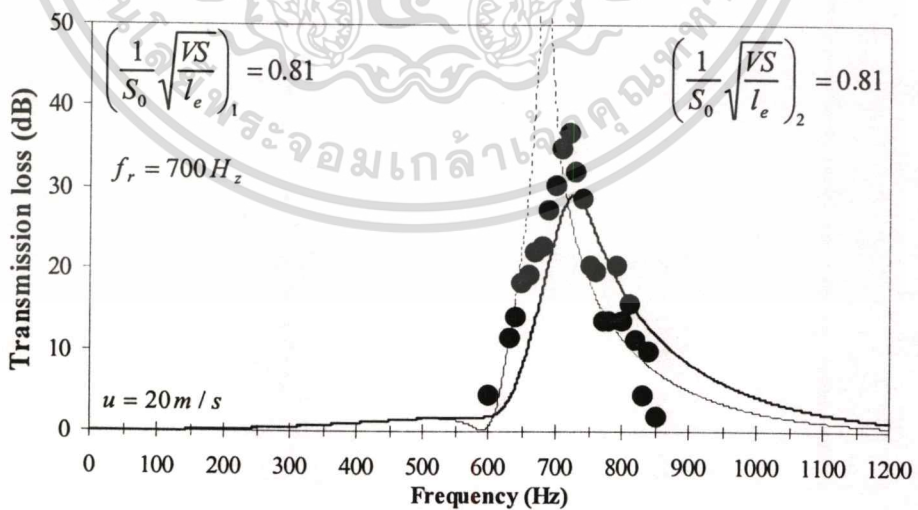
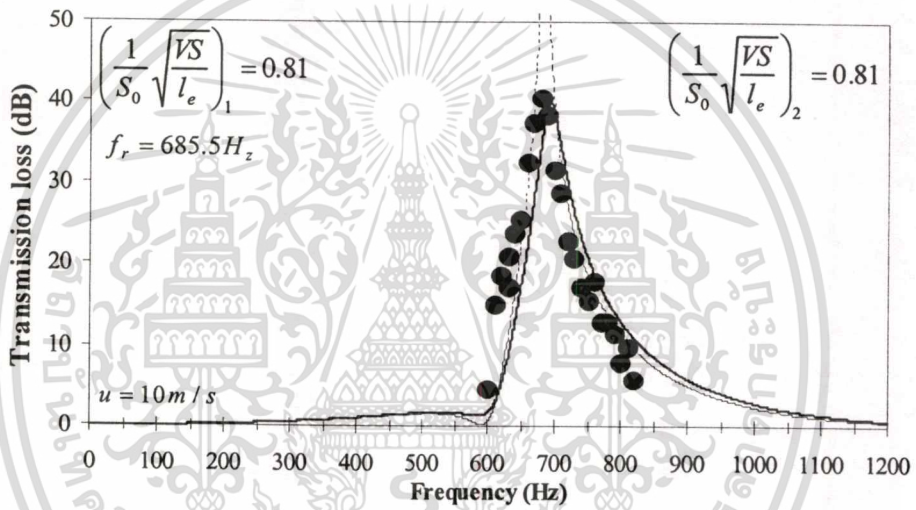
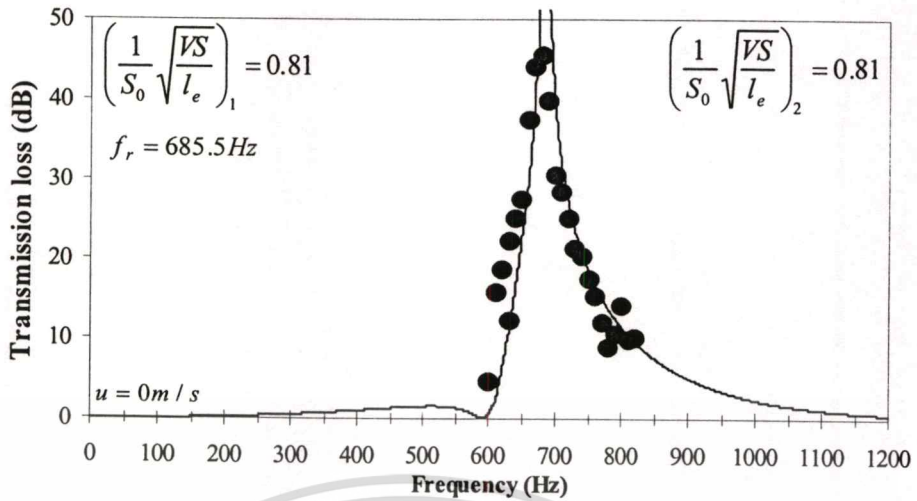
5.1.5 เปิด Blower เพื่อให้มีความเร็วลมในท่อนำเสียงที่ทำการทดลอง โดยปรับความเร็วลมที่ Inventor อ่านค่าความเร็วลมที่ได้จาก Manometer ให้มีความเร็วลม 10, 20, 30 และ 40 m/s ทำการทดลองซ้ำข้อ 5.1.3-5.1.4

5.1.6 ทำการติดตั้งตัวเก็บเสียงบนท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และทำการทดลองซ้ำข้อ 5.1.2-5.1.5

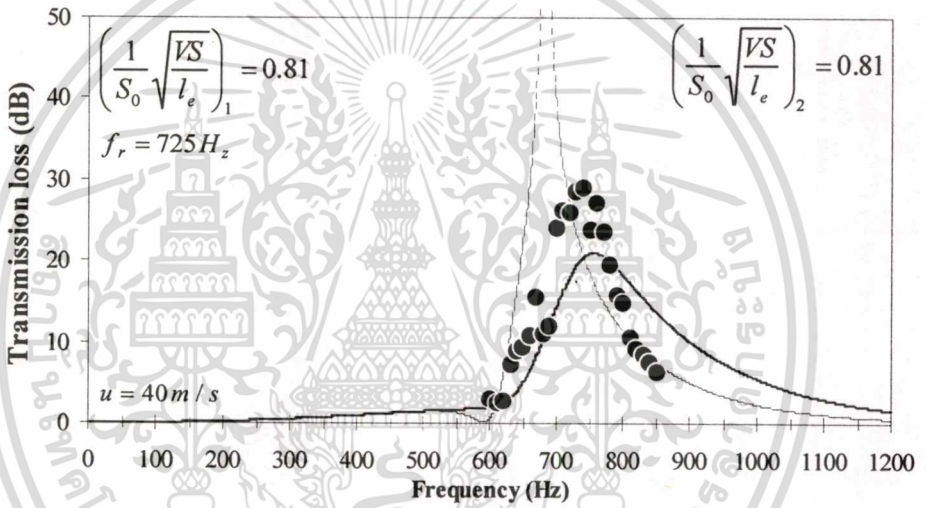
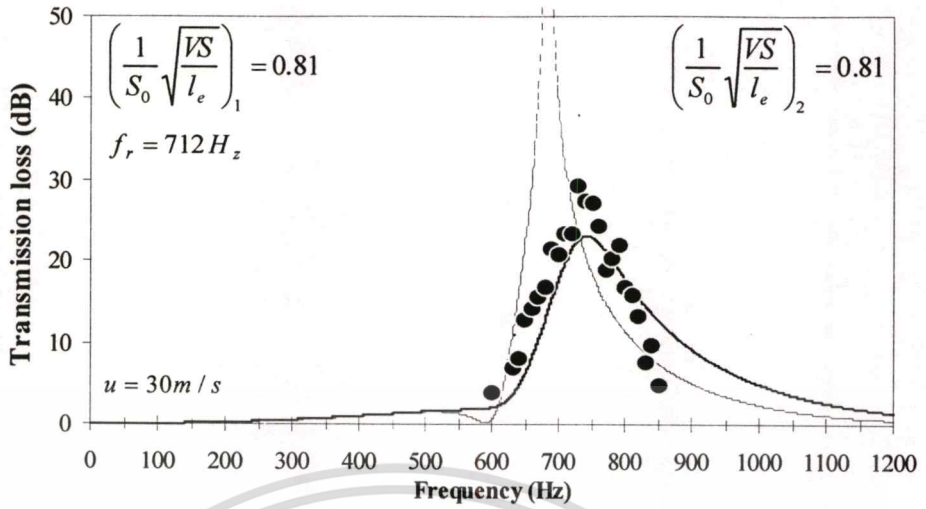
5.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการวัดระดับความดันเสียงมากที่สุดโดยการวัด ก่อนผ่านตัวเก็บเสียง และ หลังตัวเก็บเสียงแบบเฮลิคัมโฮลท์แล้ว และบันทึกผลการทดลอง จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ทำการปรับค่าความถูกต้องกับ Davis Curve นำผลที่ปรับค่าความถูกต้องแล้ว ซึ่งเรียกว่า Transmission Loss (TL) มาแสดงผลอยู่ในรูปของกราฟเพื่อสะดวกในการศึกษา

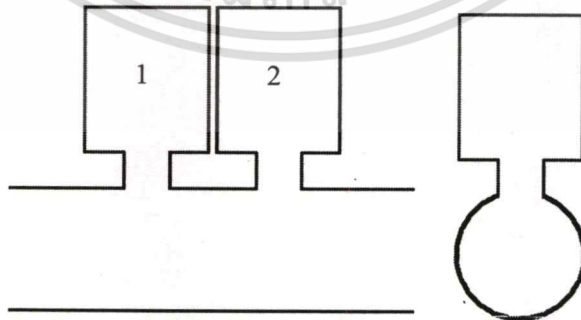
5.2.1 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียงชนิดกลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



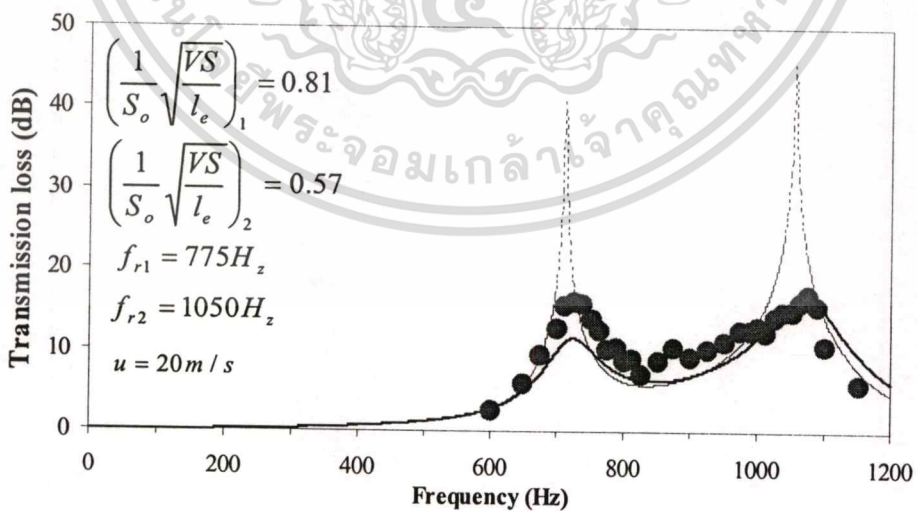
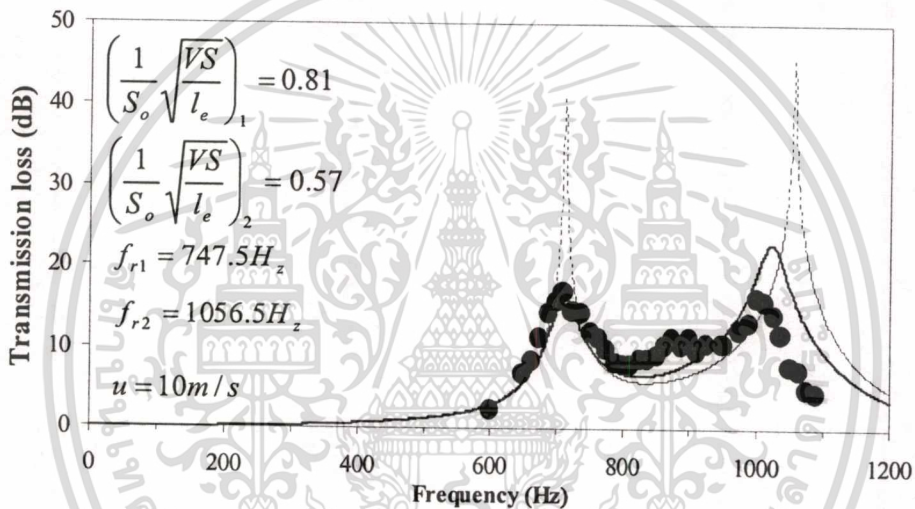
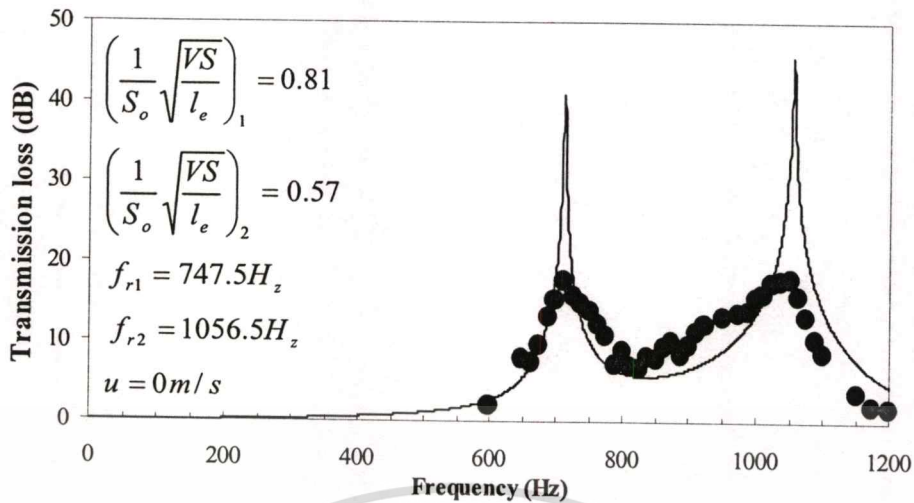
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



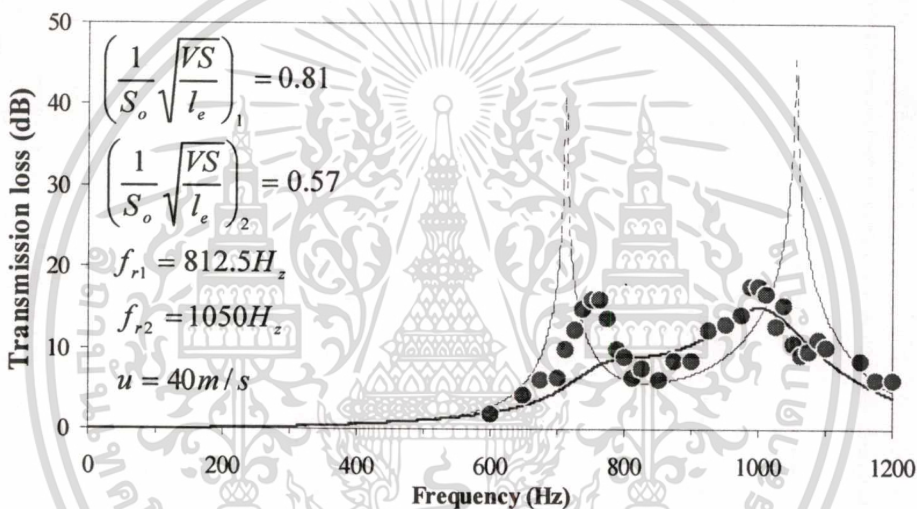
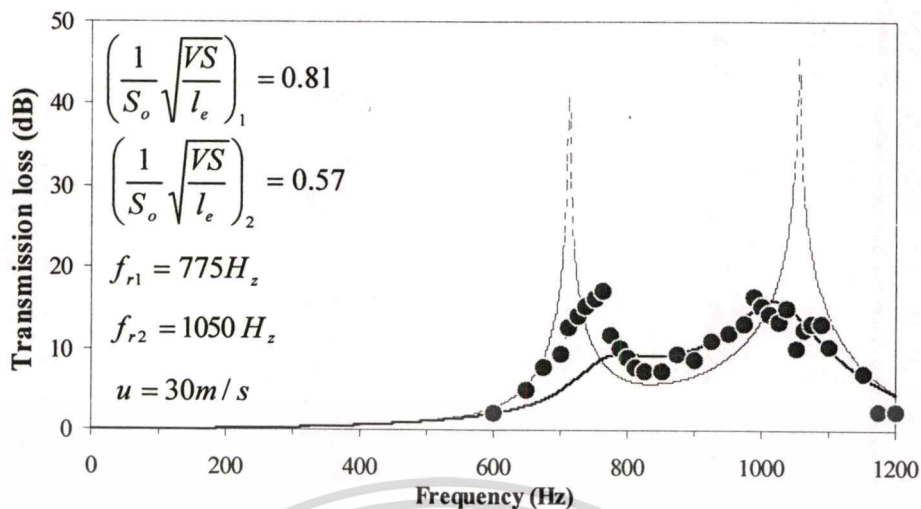
รูปที่ 5.1 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.81$ และ $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.81$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

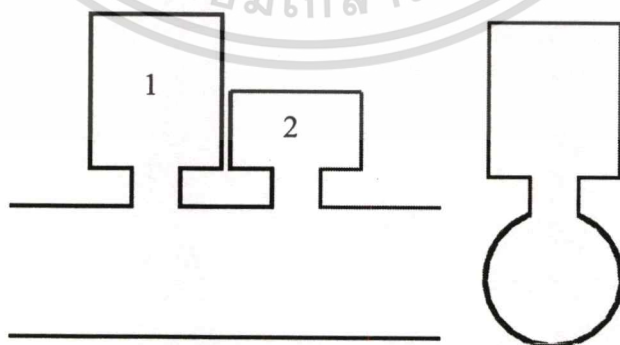
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



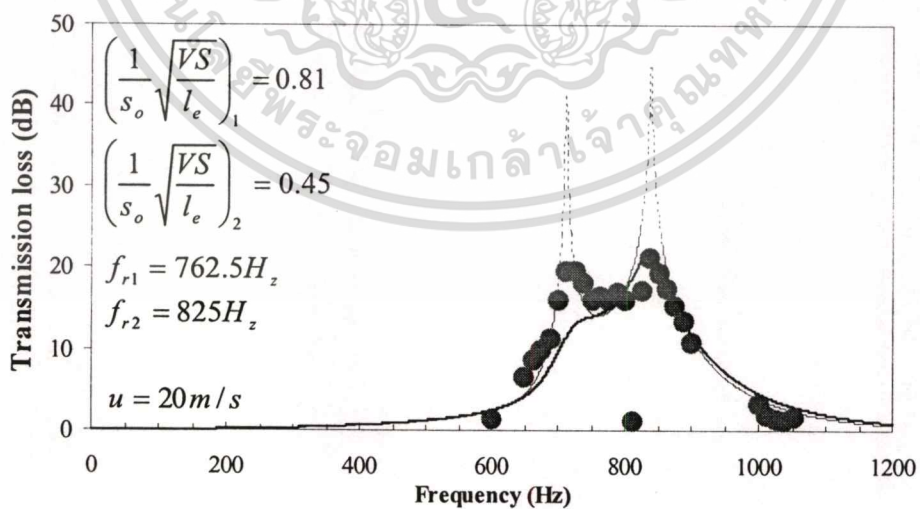
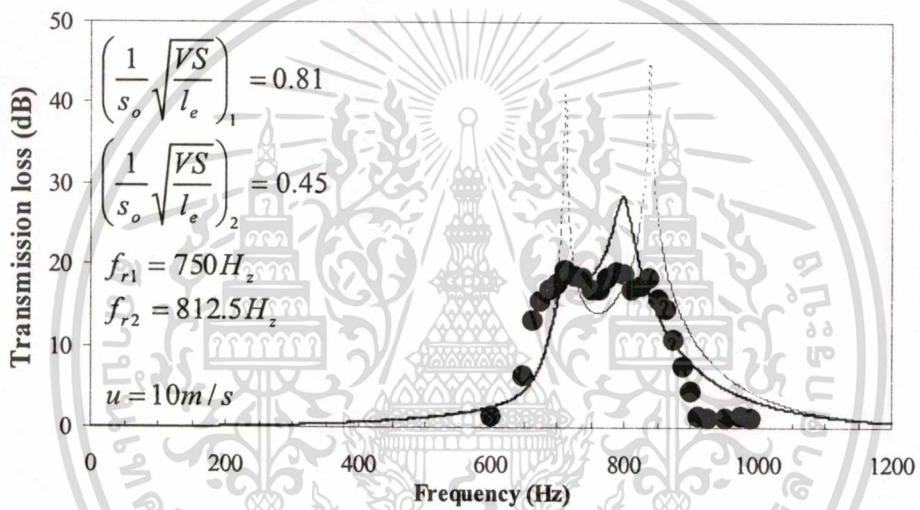
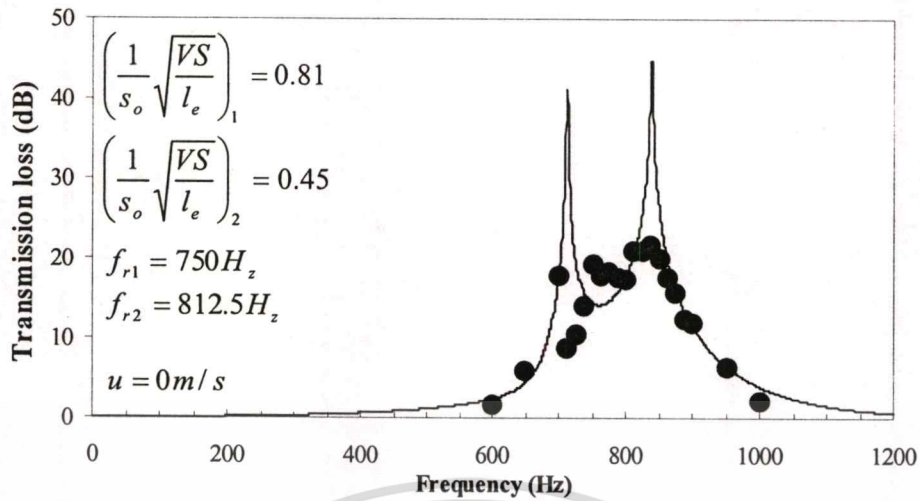
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



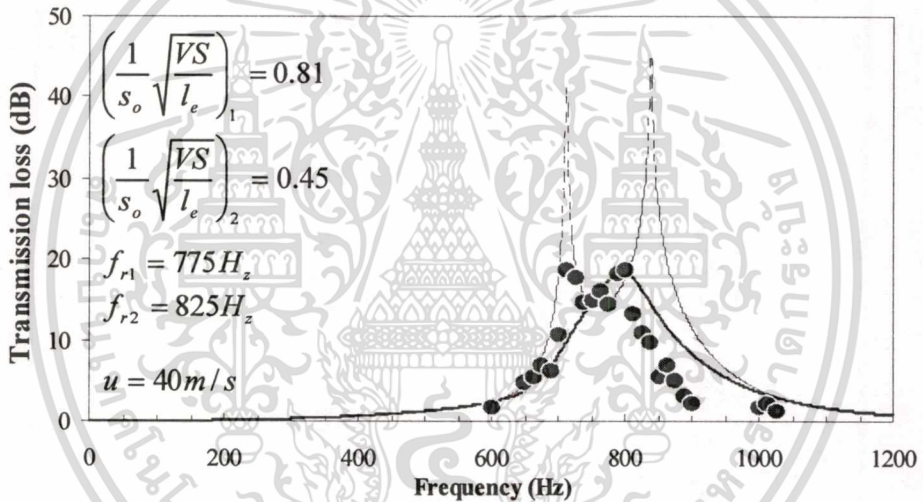
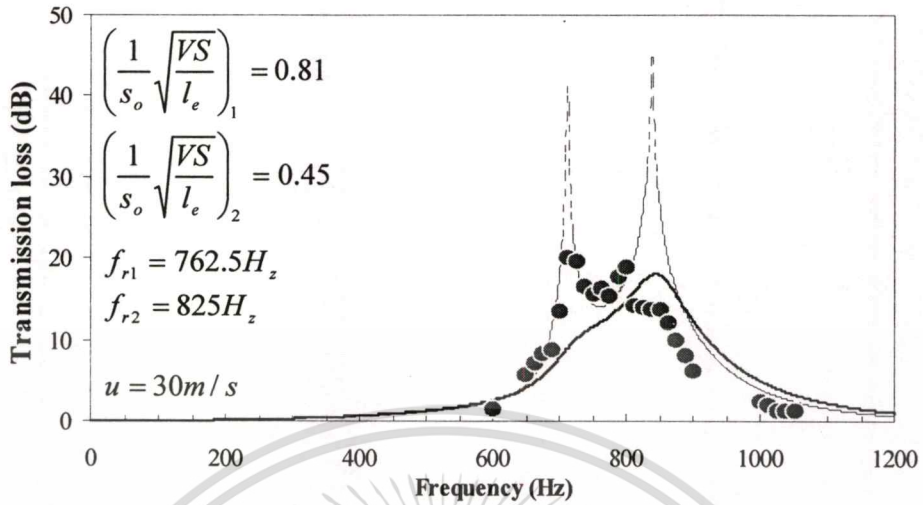
รูปที่ 5.2 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.81$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.57$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

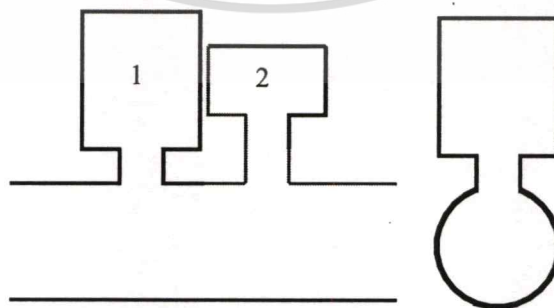
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



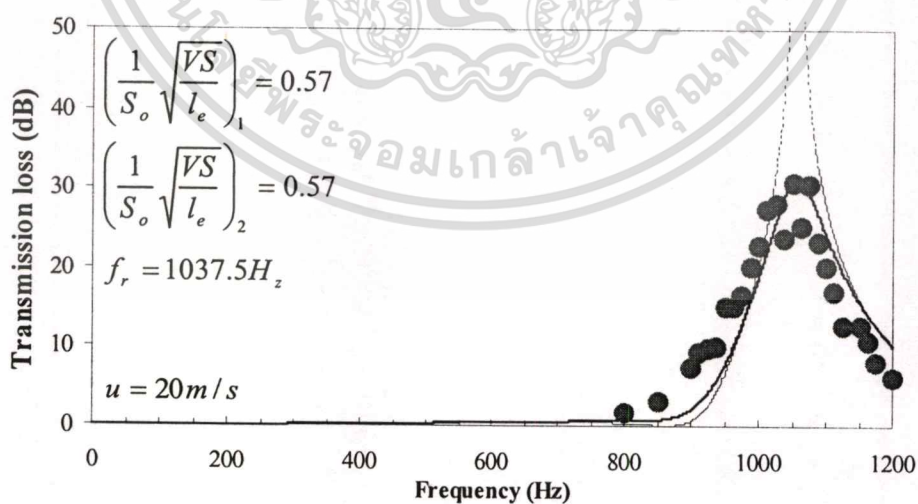
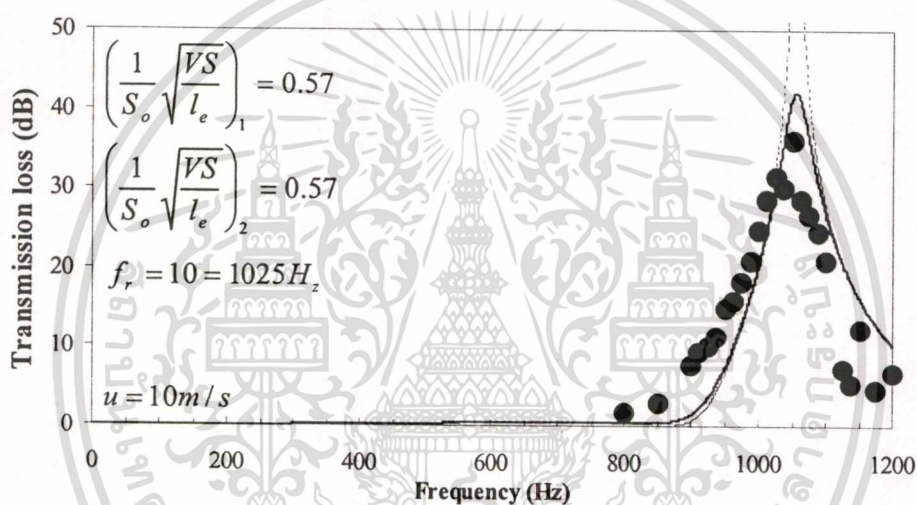
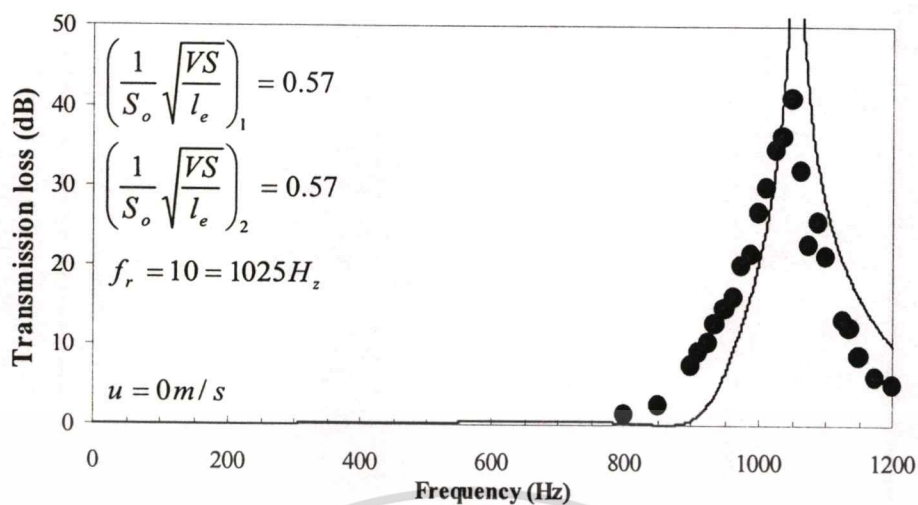
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



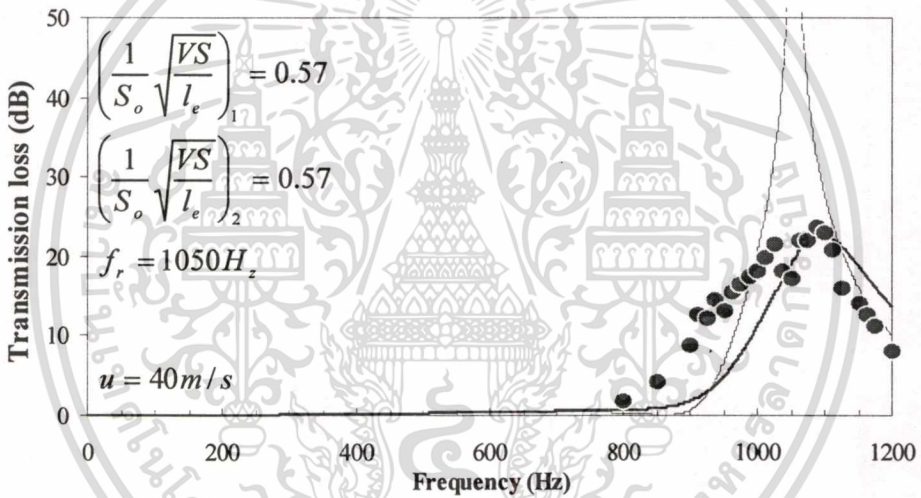
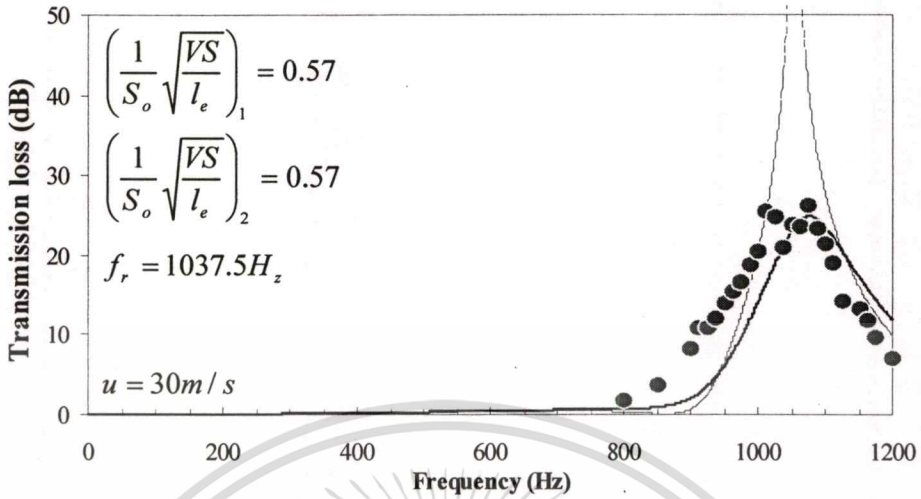
รูปที่ 5.3 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.81$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

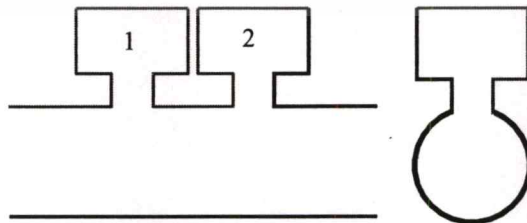
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



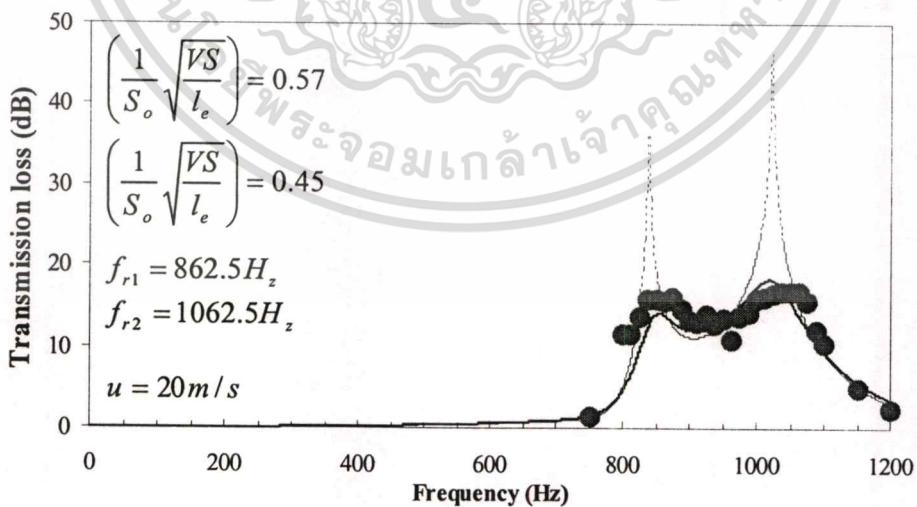
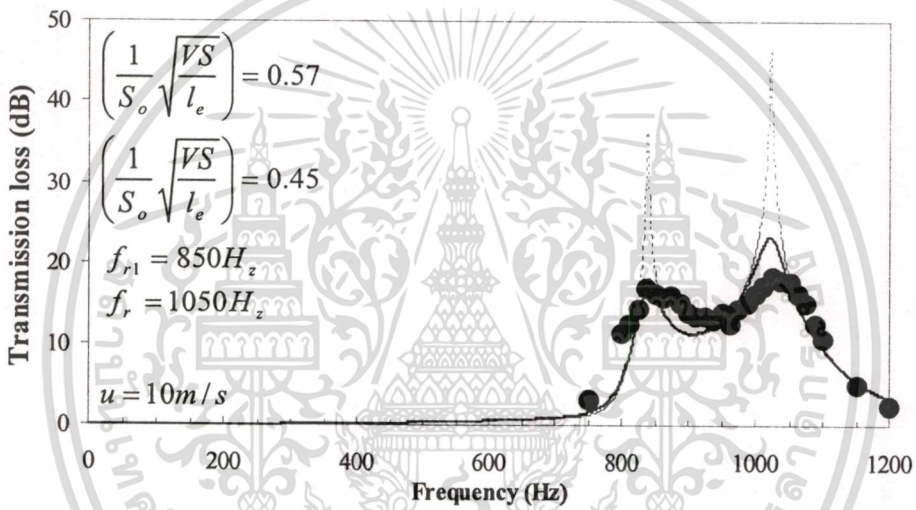
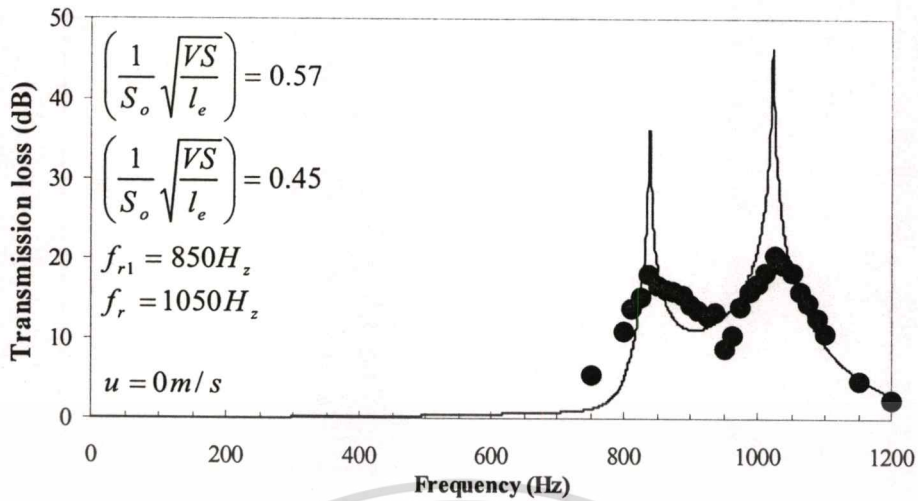
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



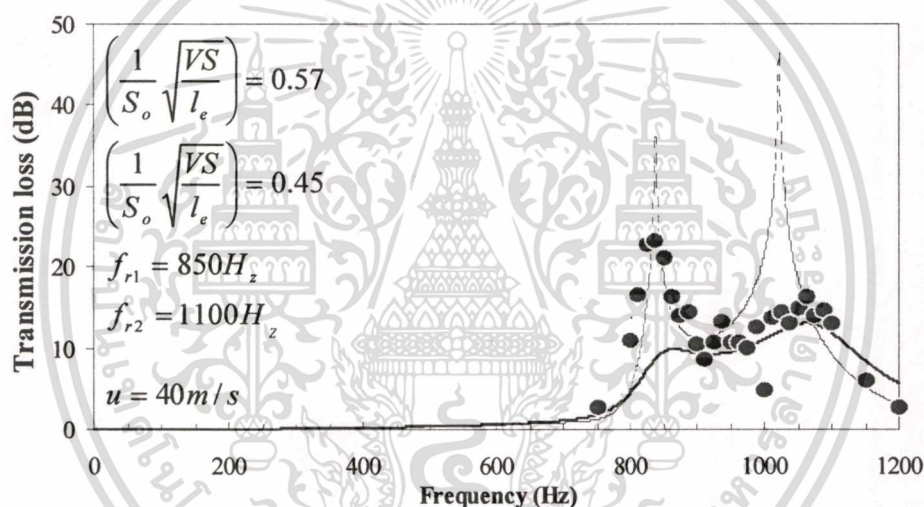
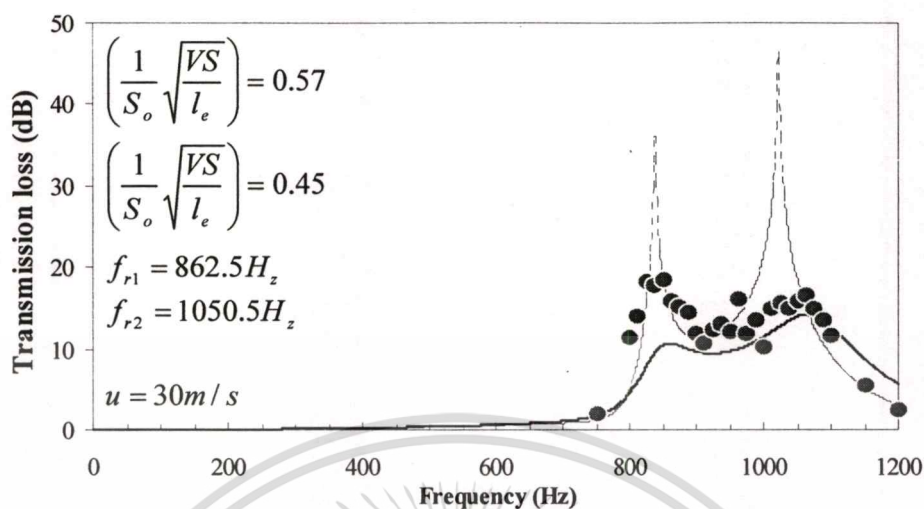
รูปที่ 5.4 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.57$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.57$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

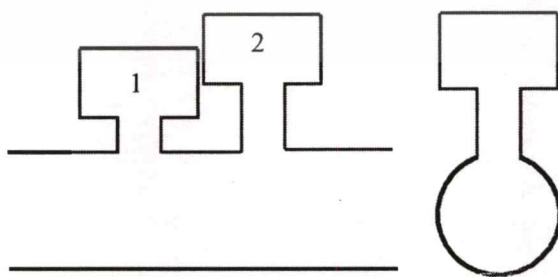
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



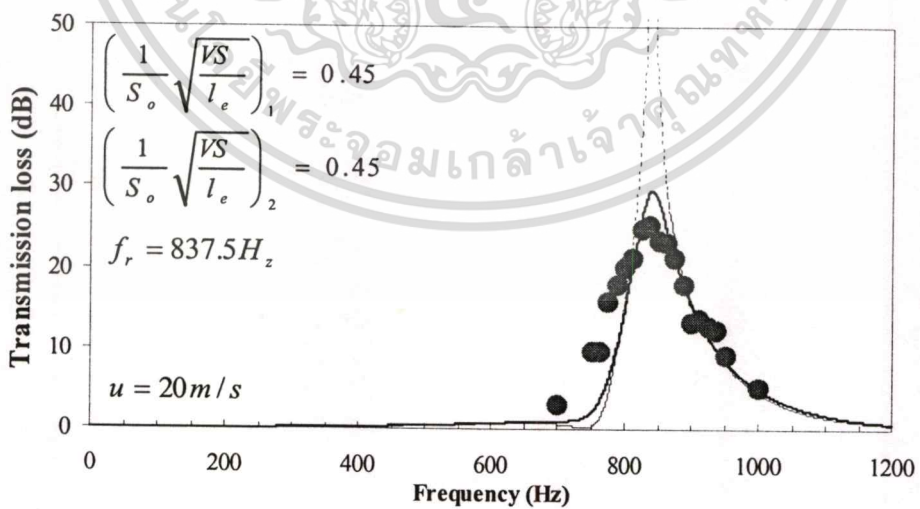
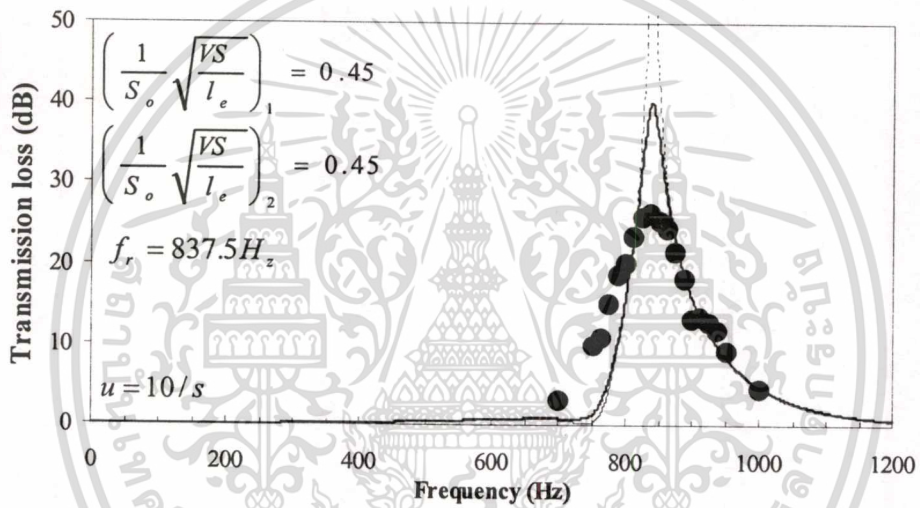
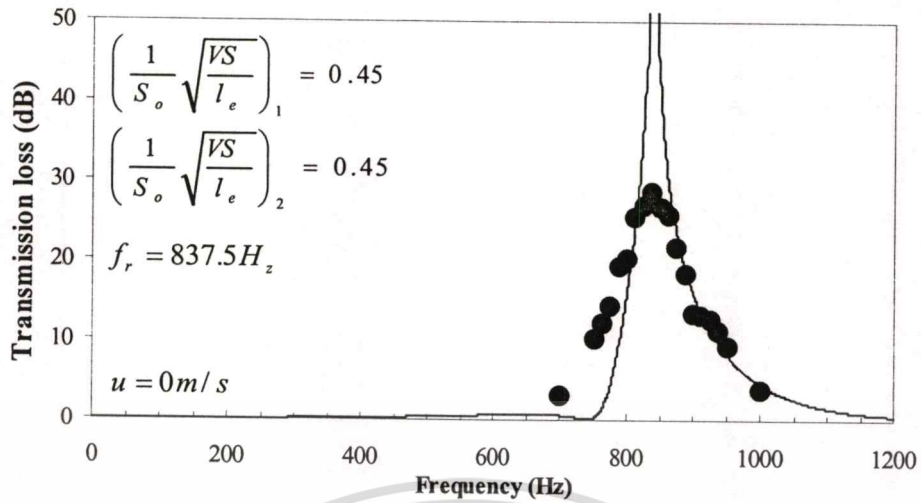
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



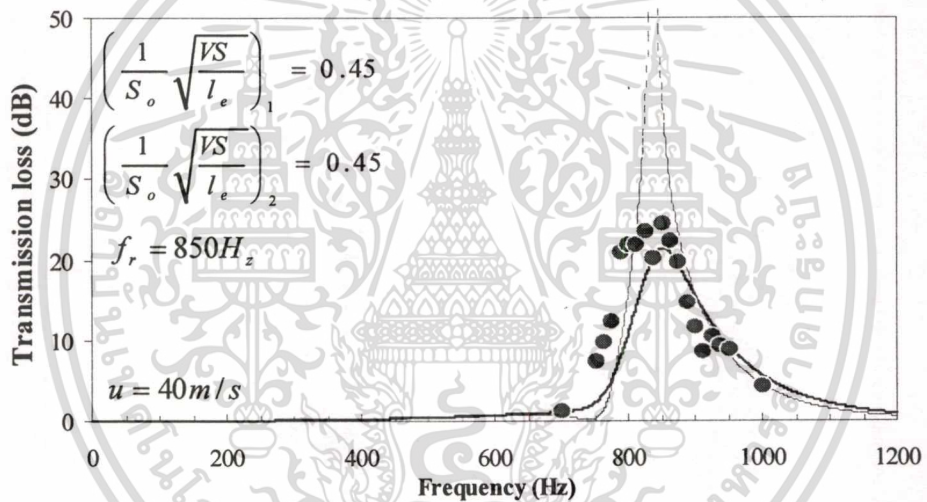
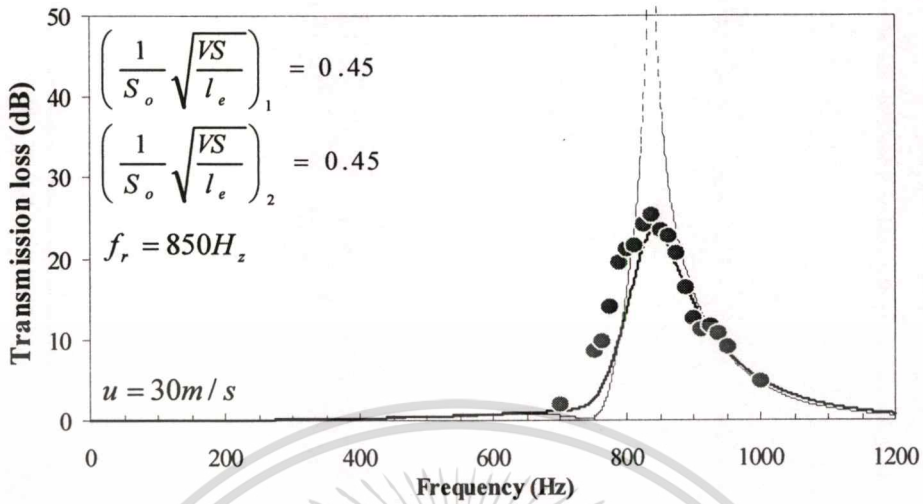
รูปที่ 5.5 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.57$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

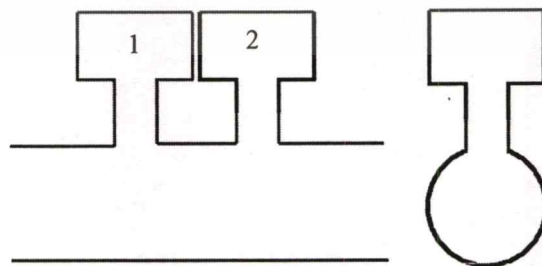
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



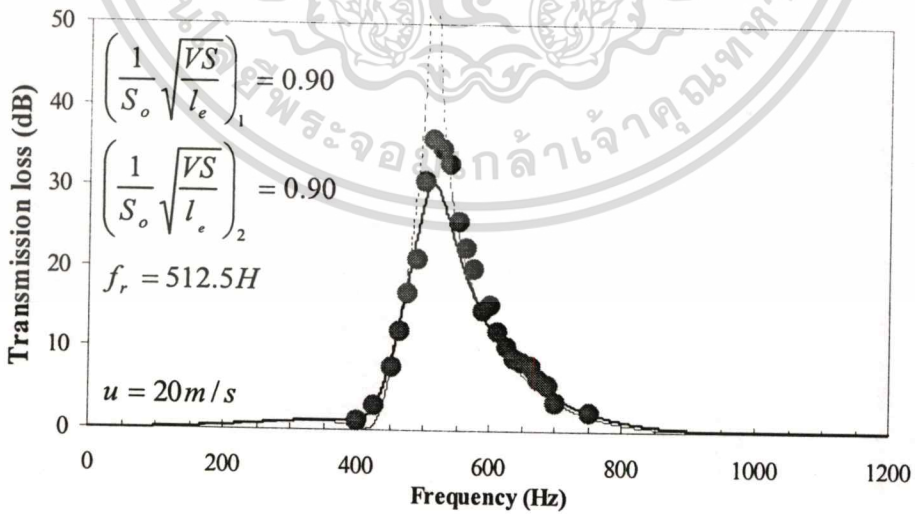
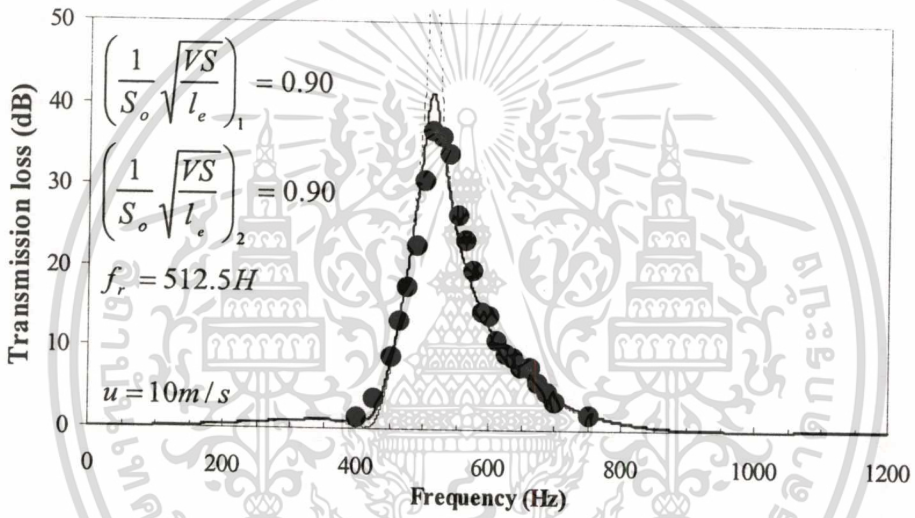
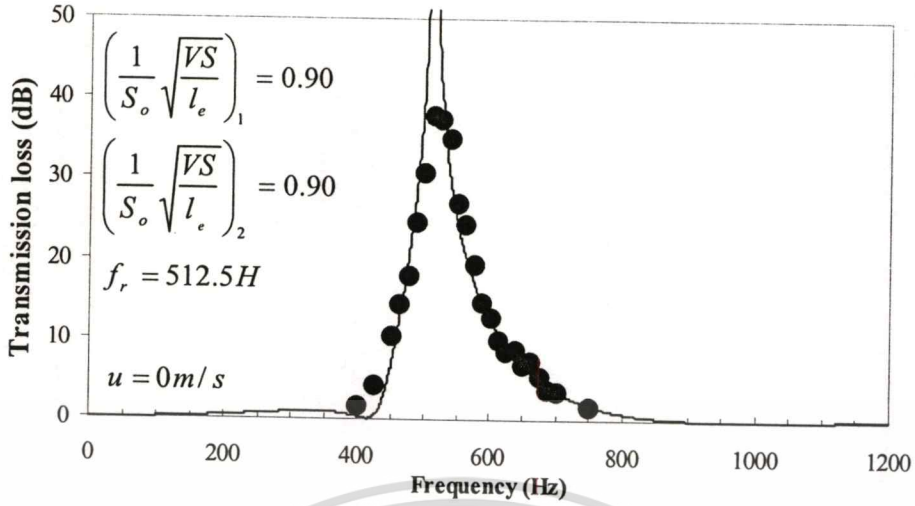
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



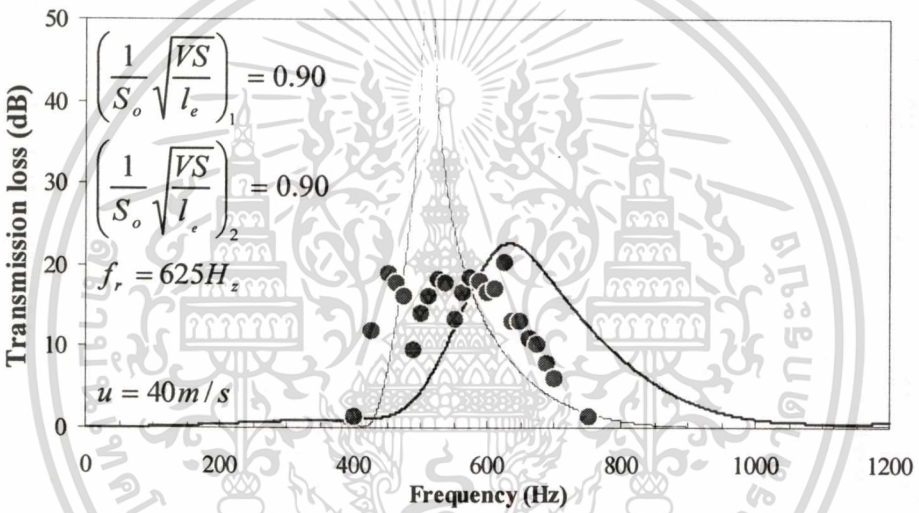
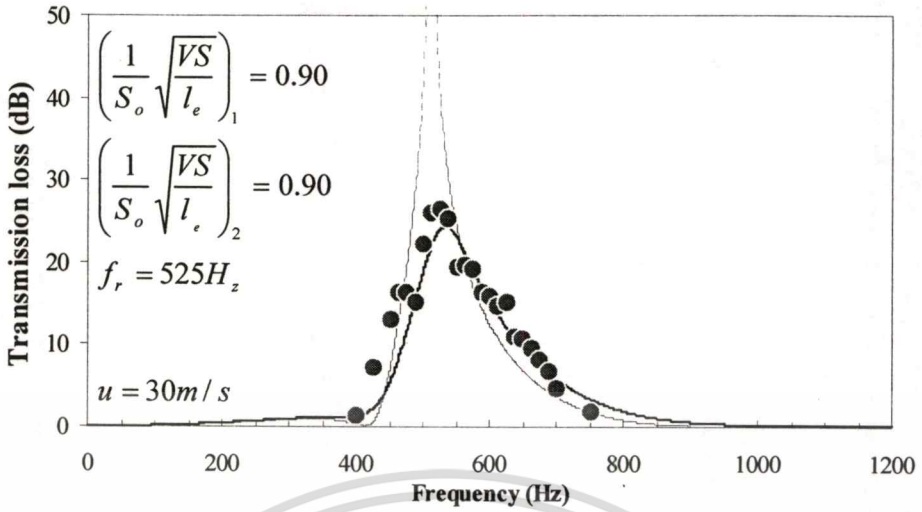
รูปที่ 5.6 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$

ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

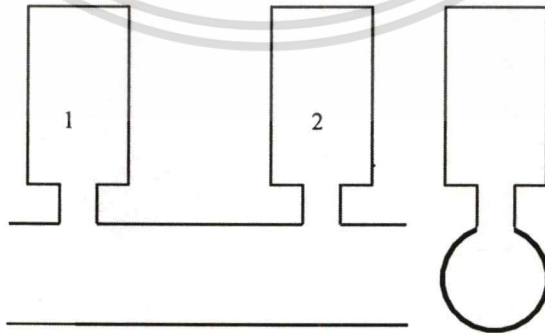
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



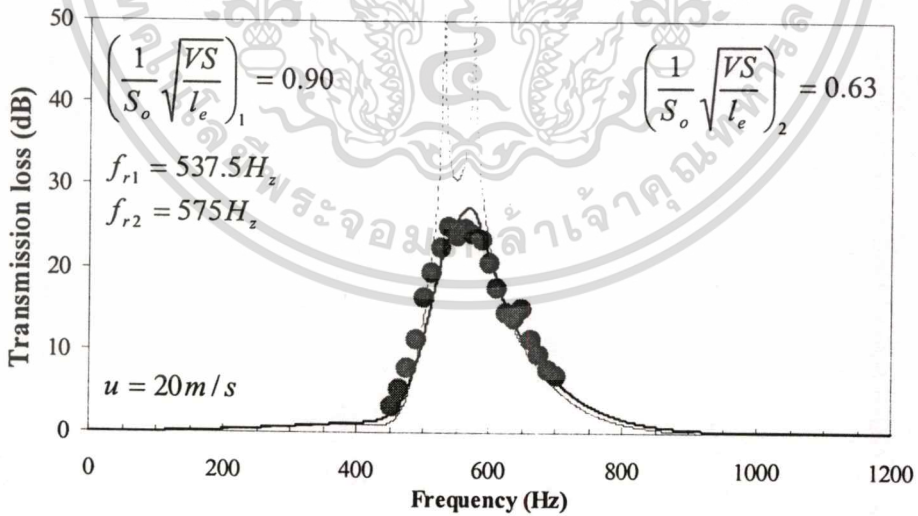
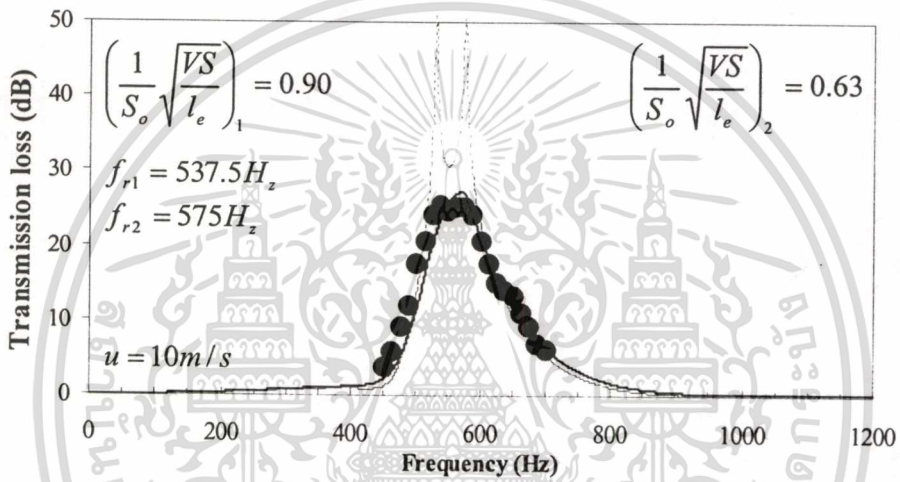
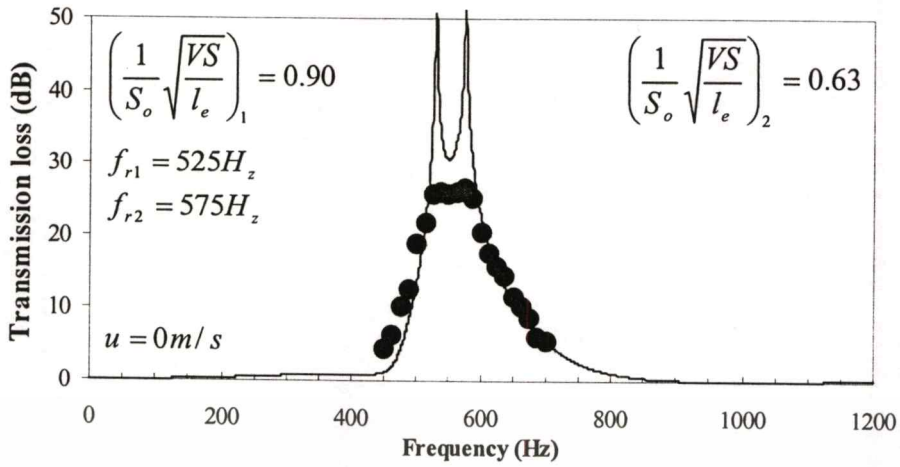
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



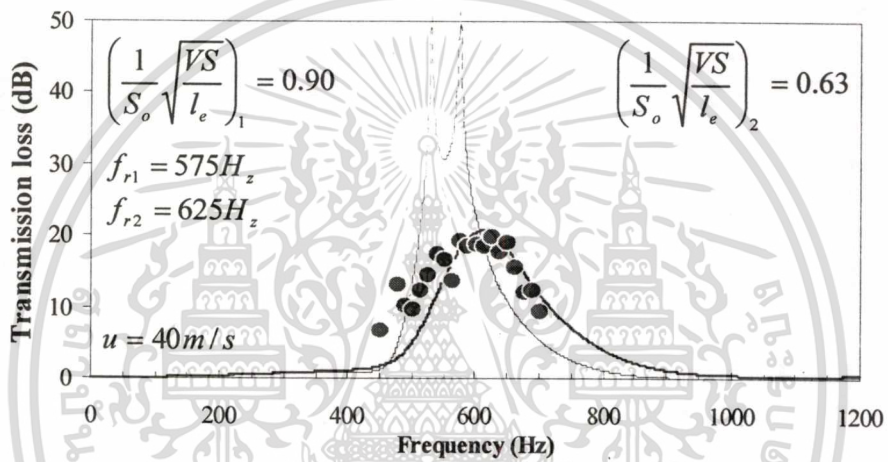
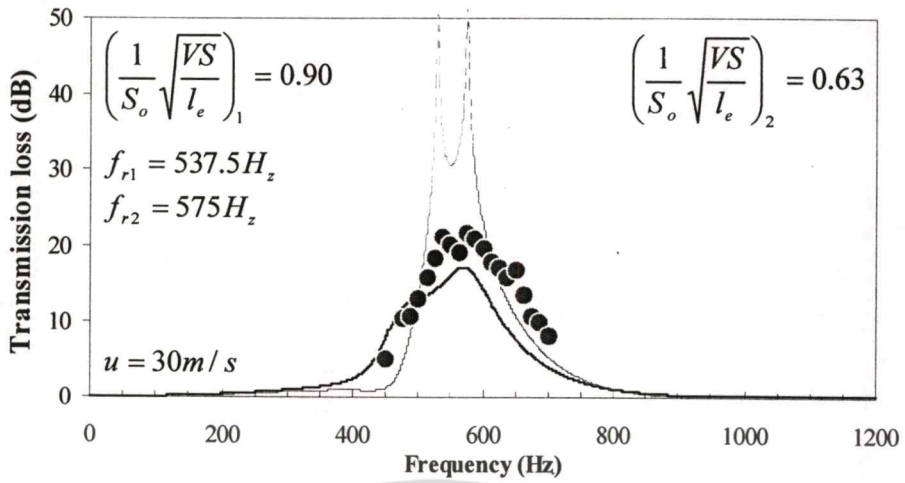
รูปที่ 5.7 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.90$

ที่ระยะห่าง 0.150 เมตร

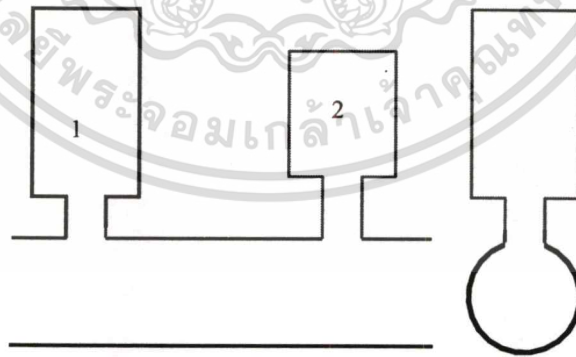
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



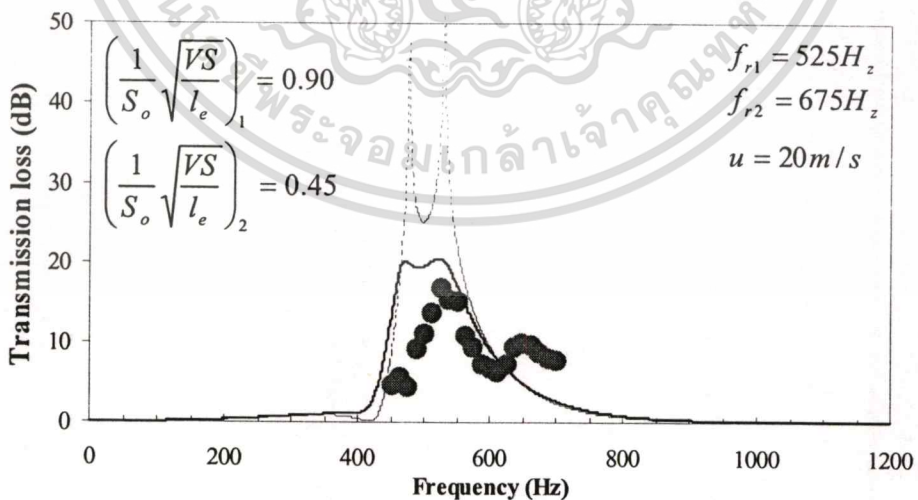
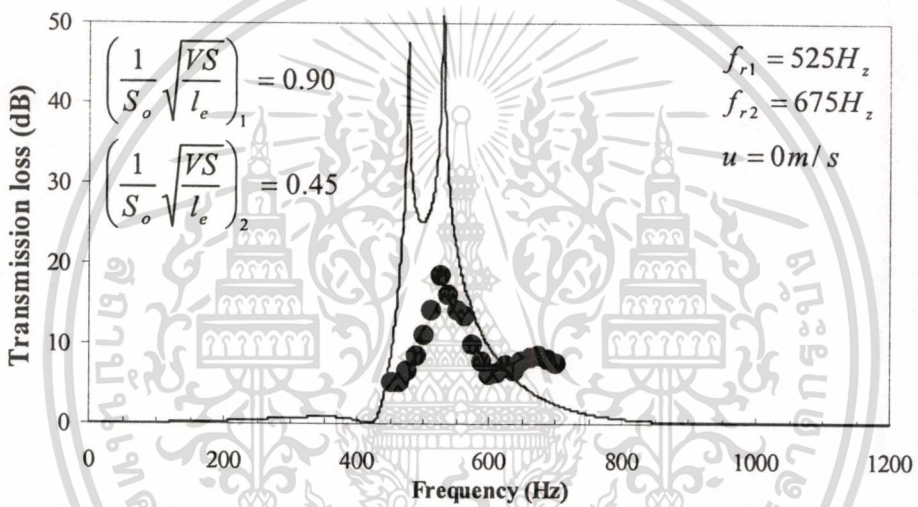
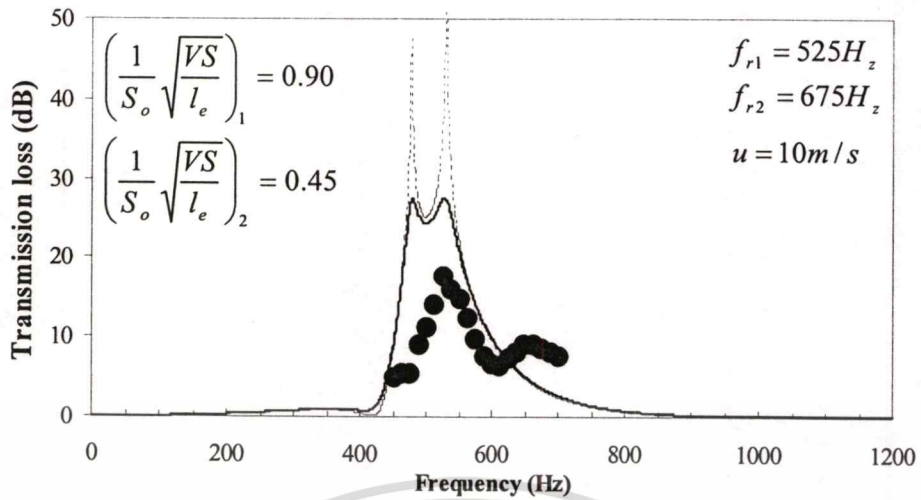
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



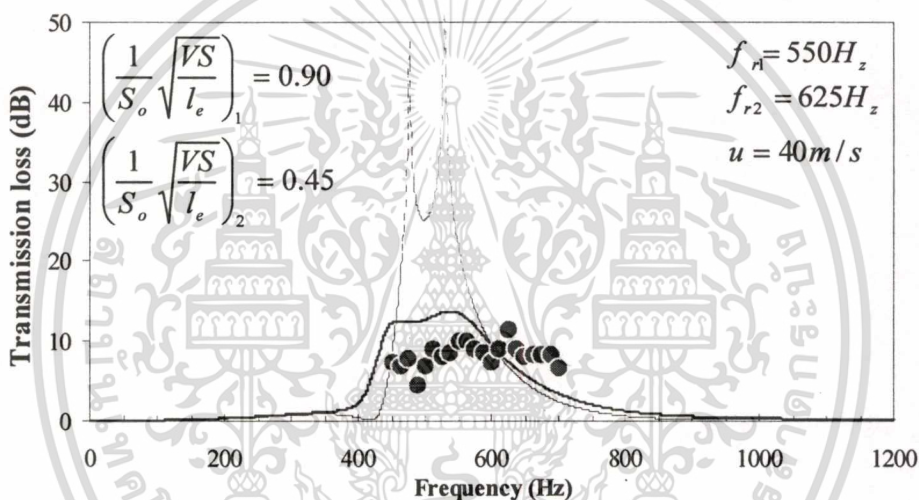
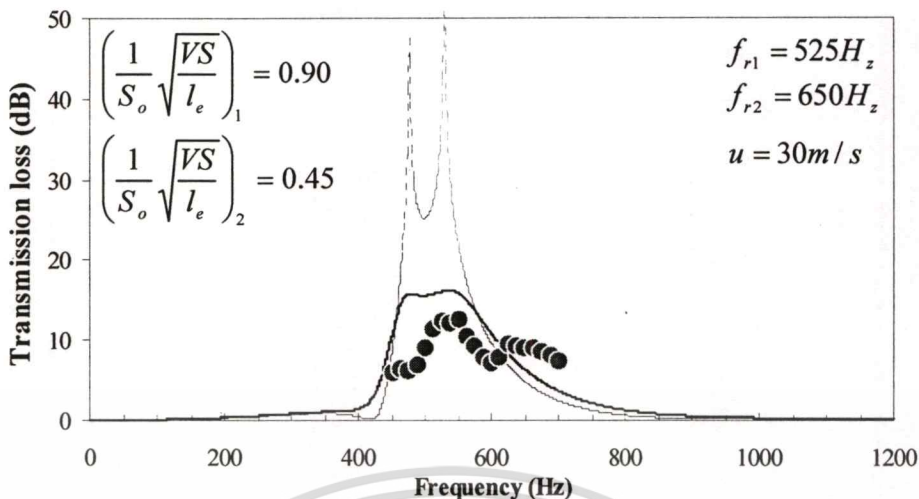
รูปที่ 5.8 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$

ที่ระยะห่าง 0.105 เมตร

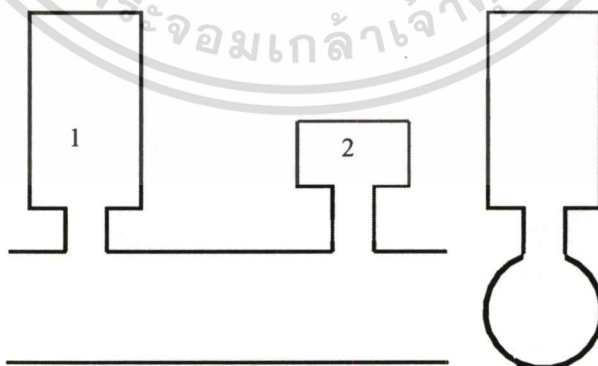
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



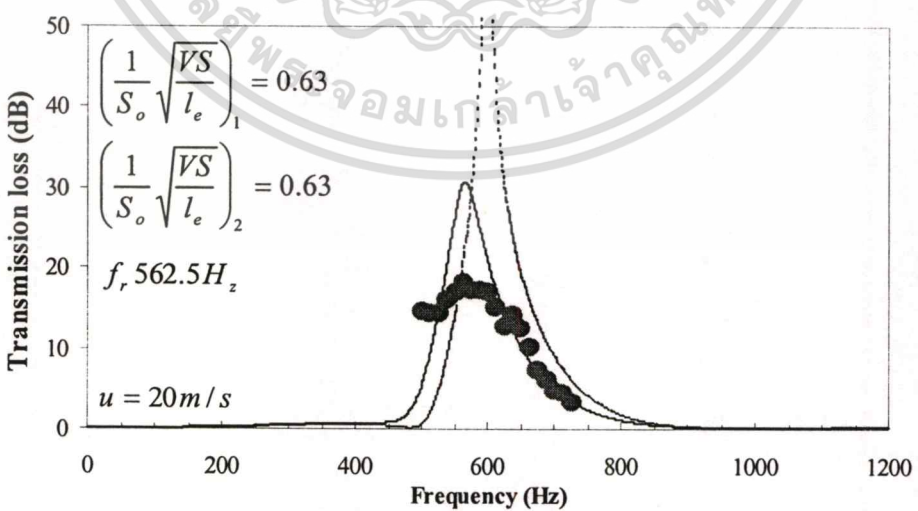
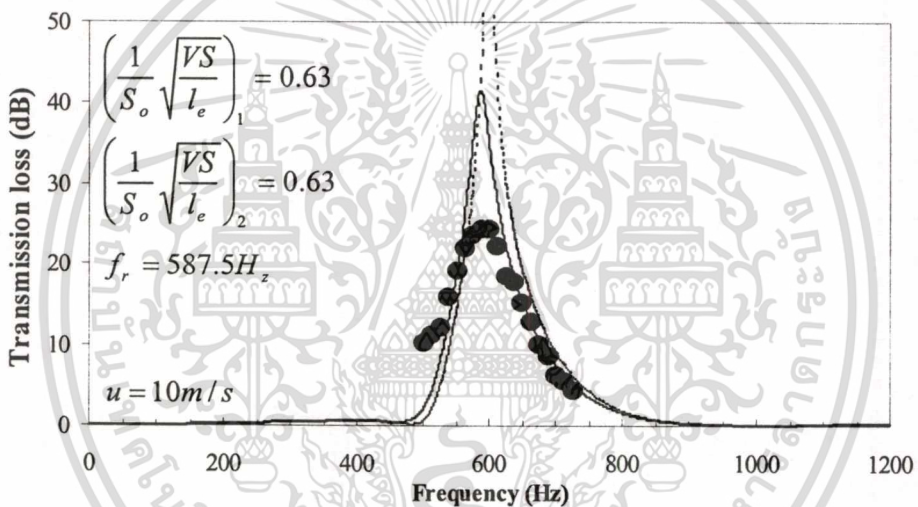
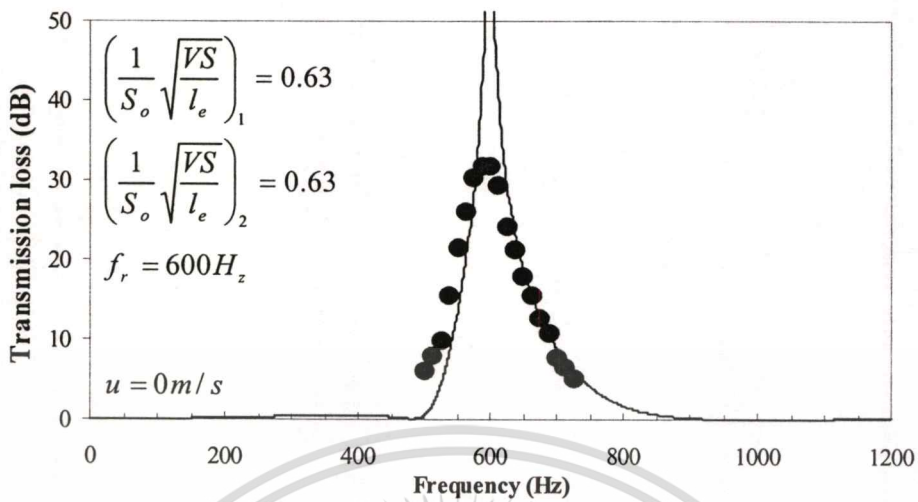
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



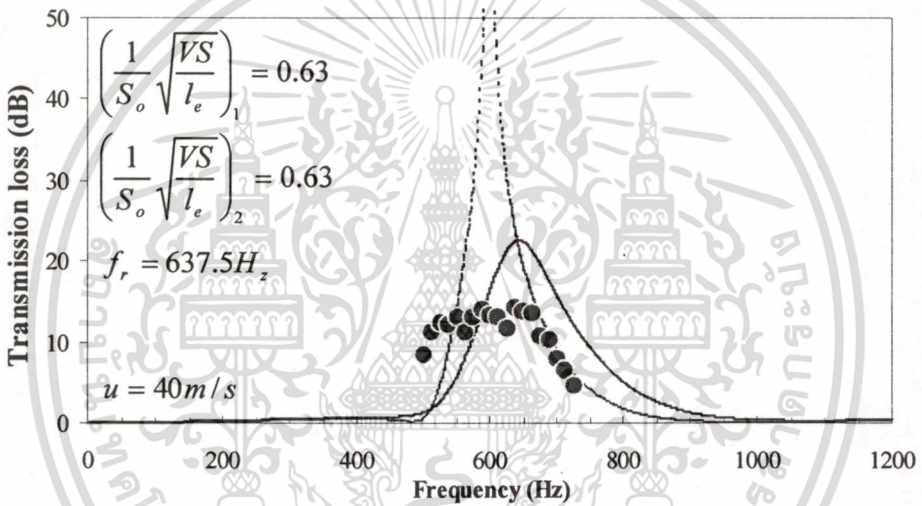
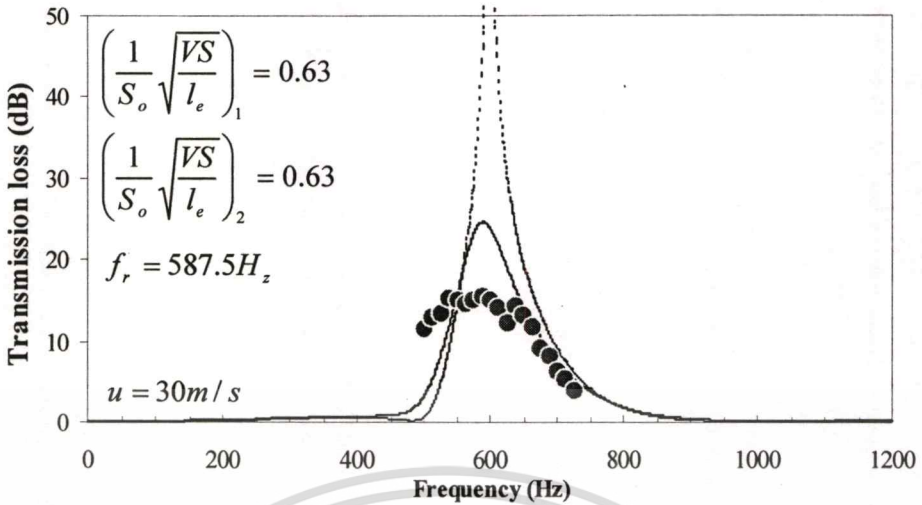
รูปที่ 5.9 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$

ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

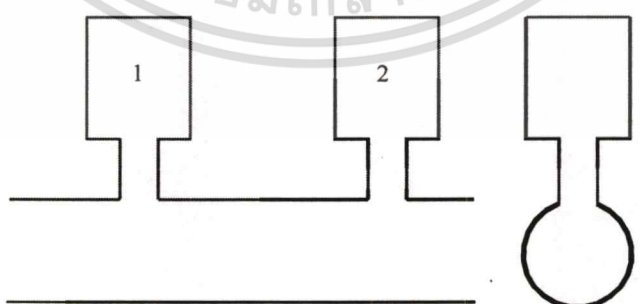
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



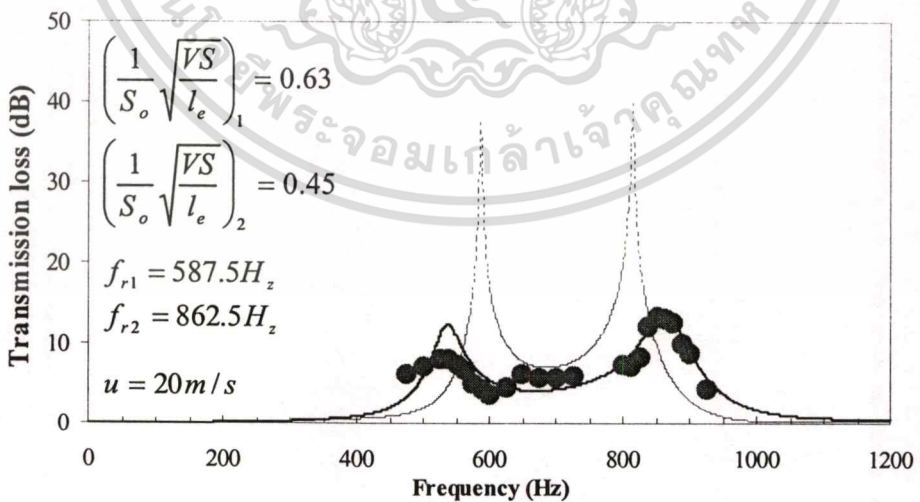
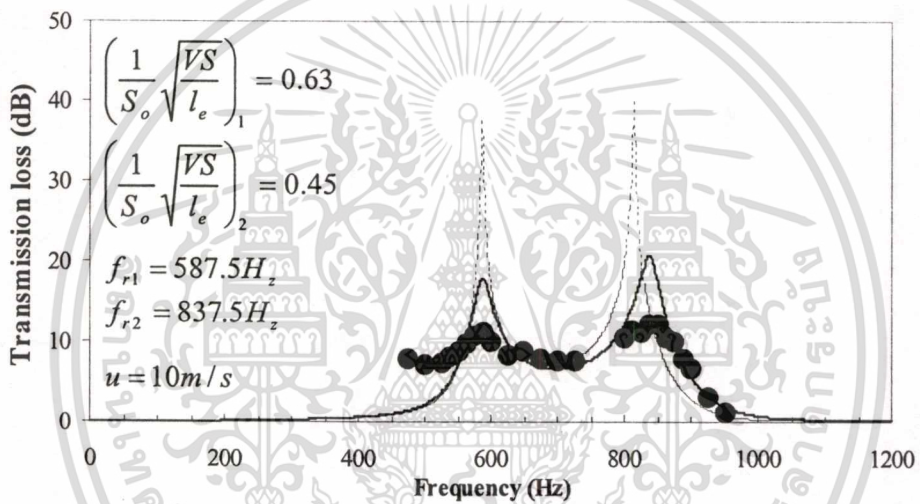
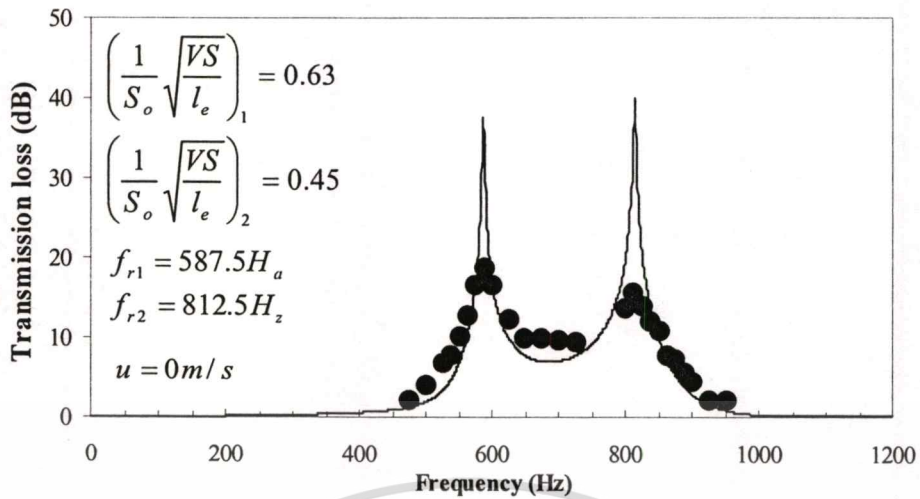
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



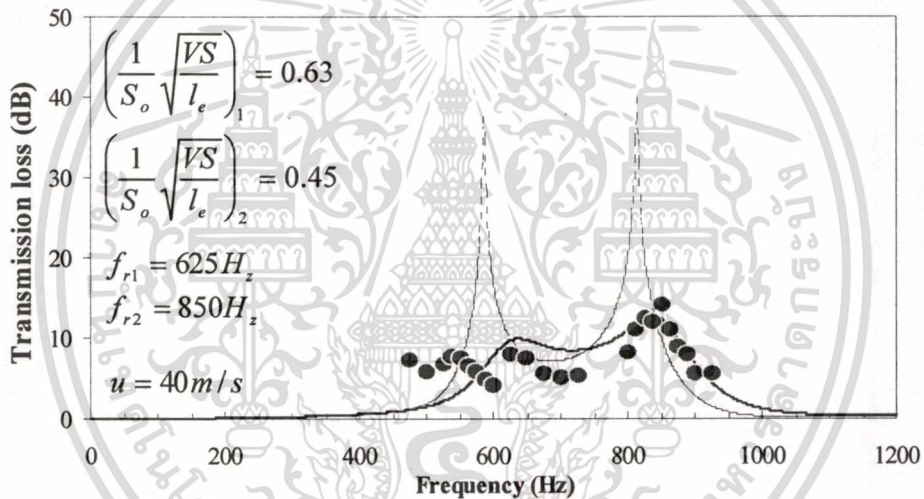
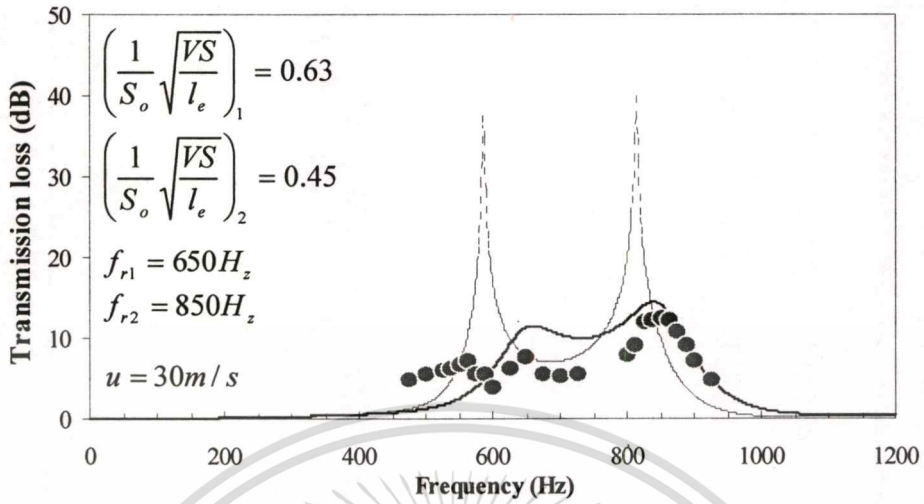
รูปที่ 5.10 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

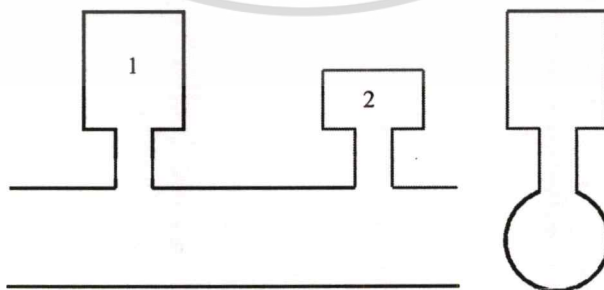
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



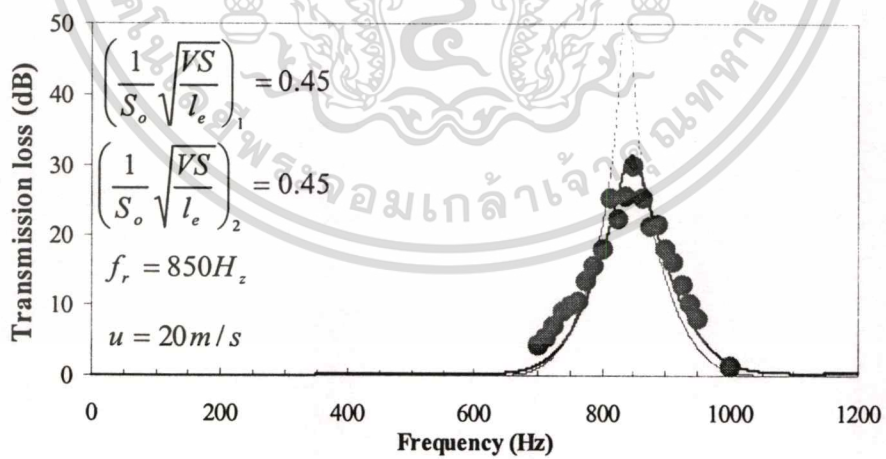
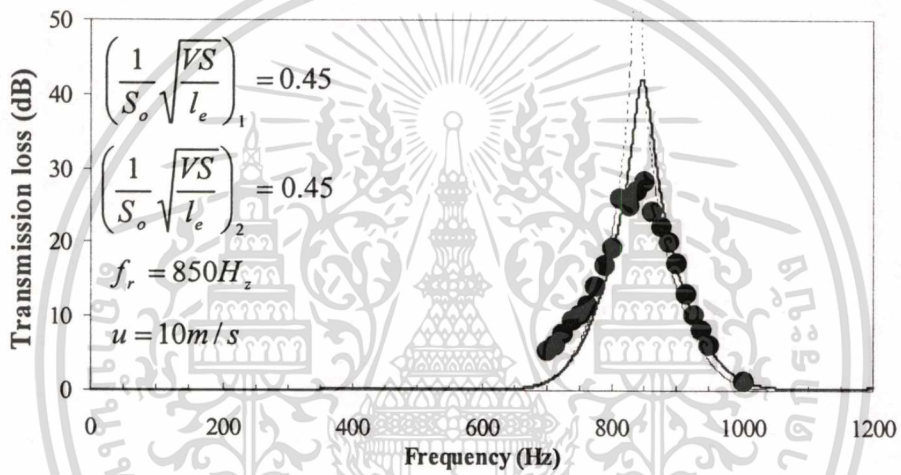
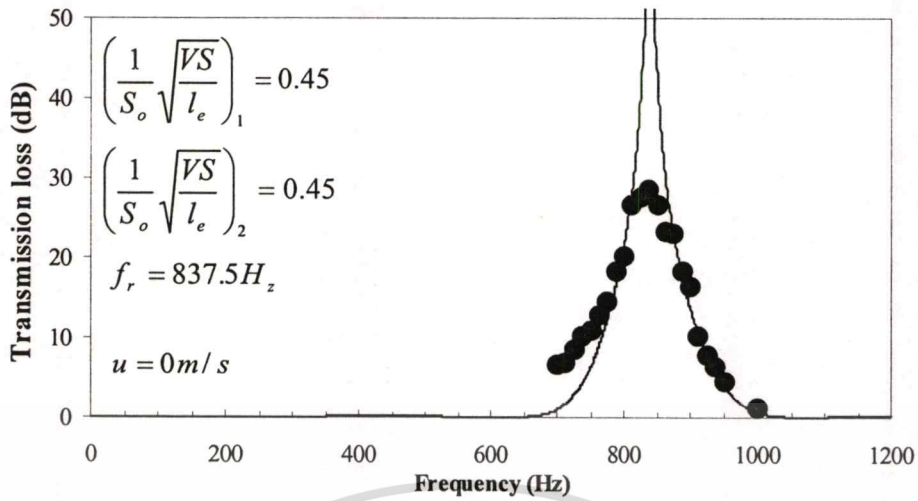
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



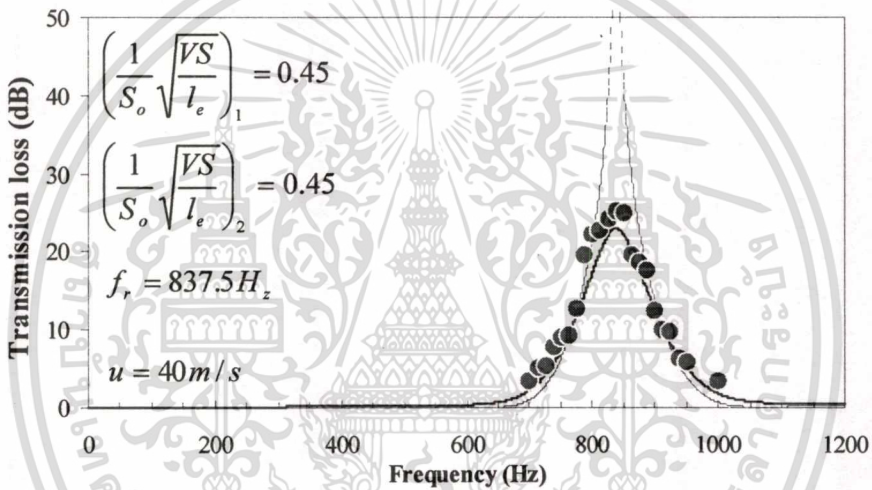
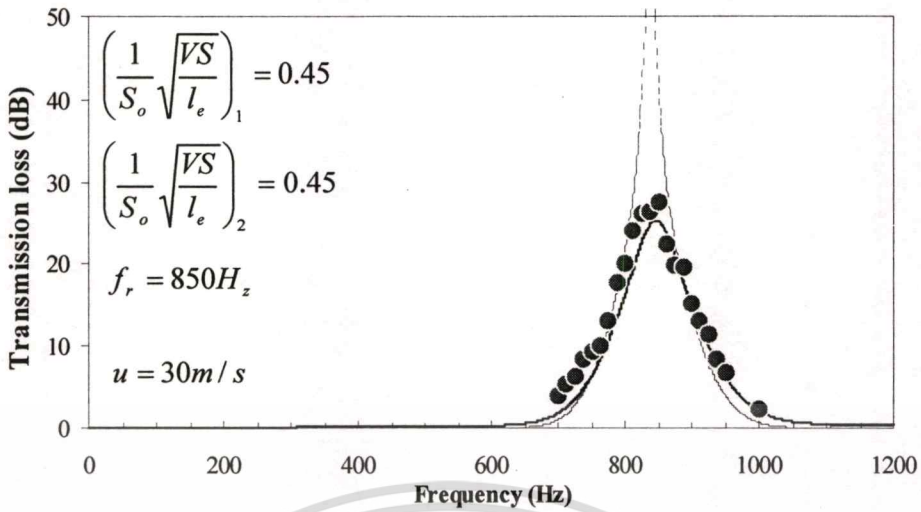
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

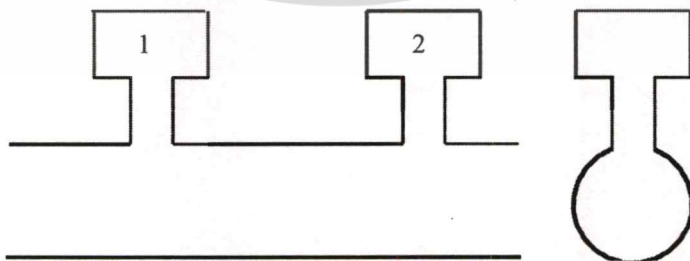
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



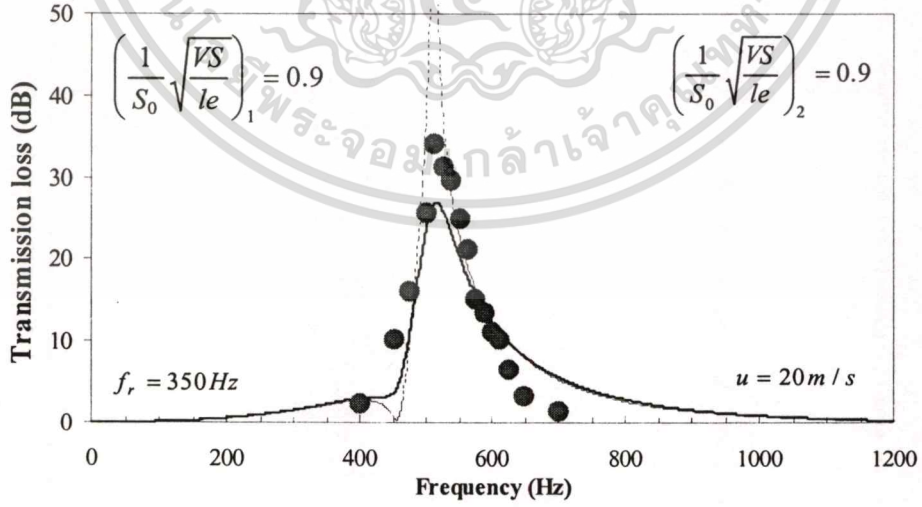
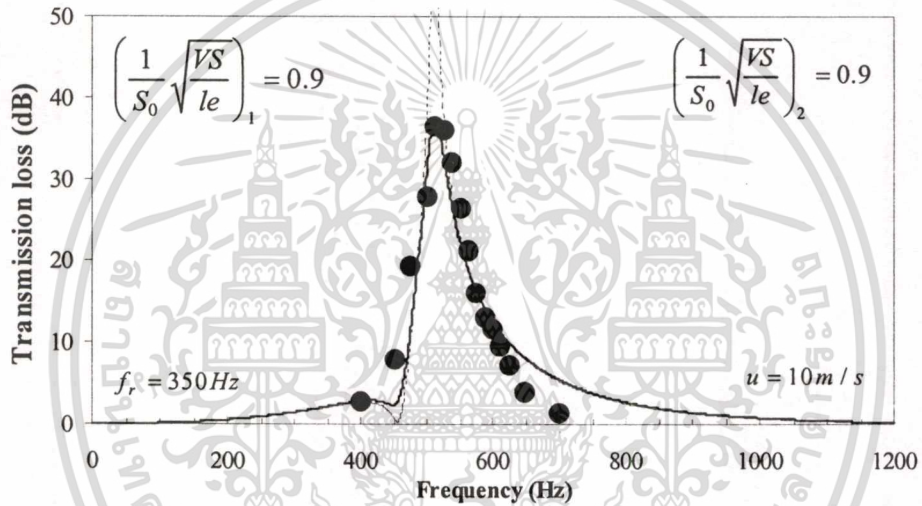
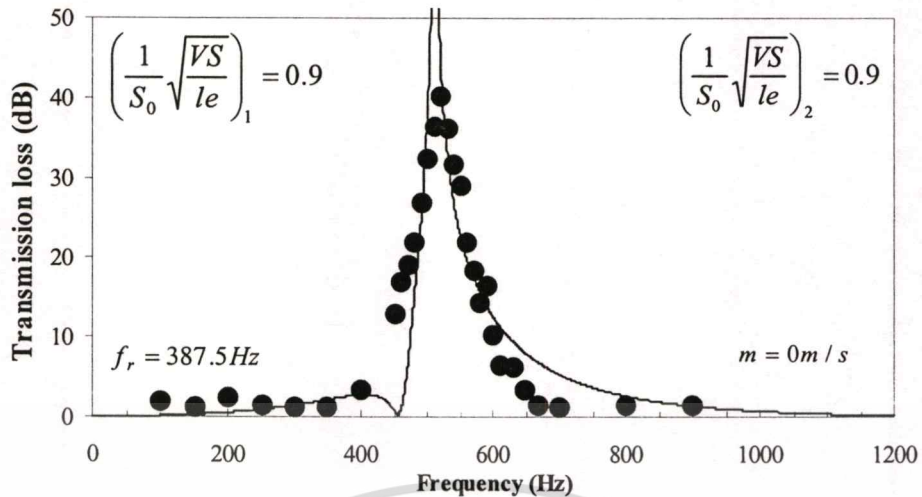
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



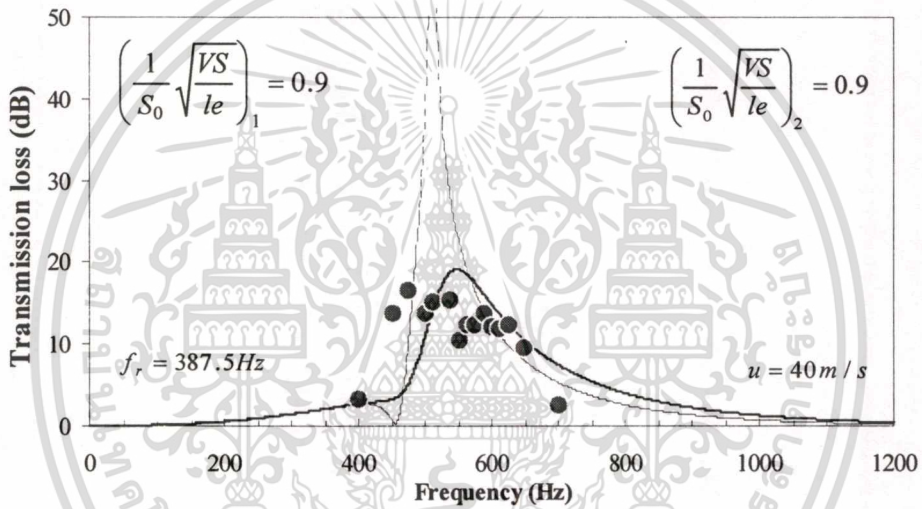
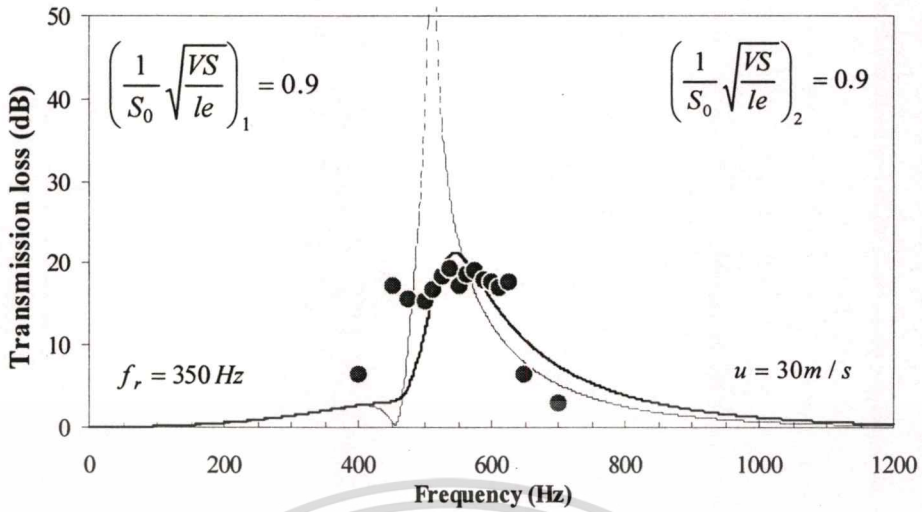
รูปที่ 5.12 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.45$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

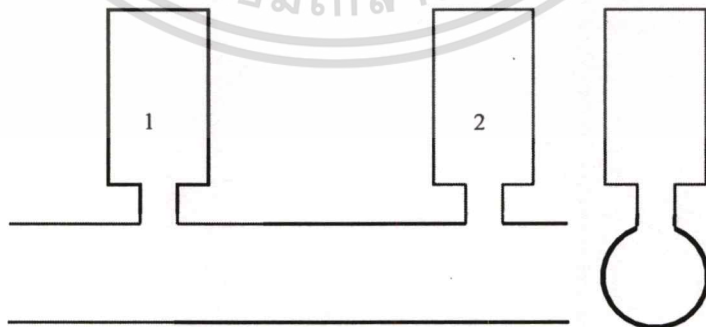
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



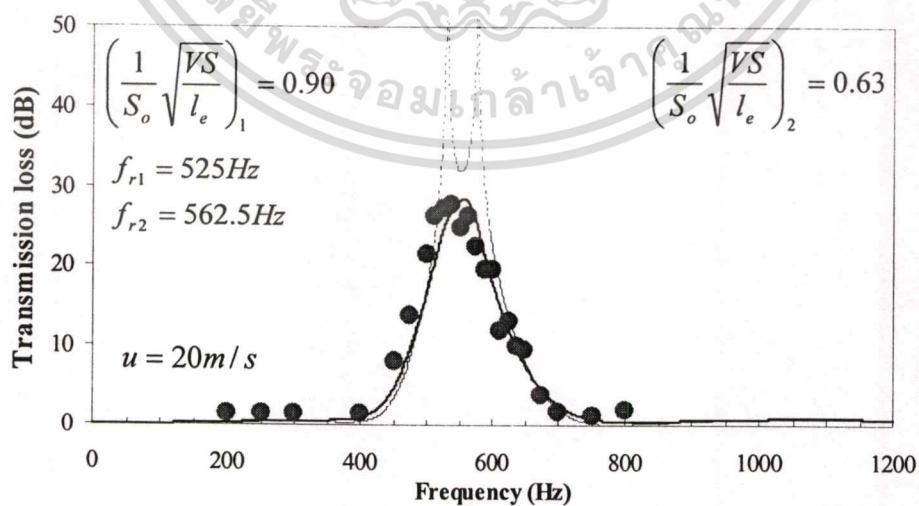
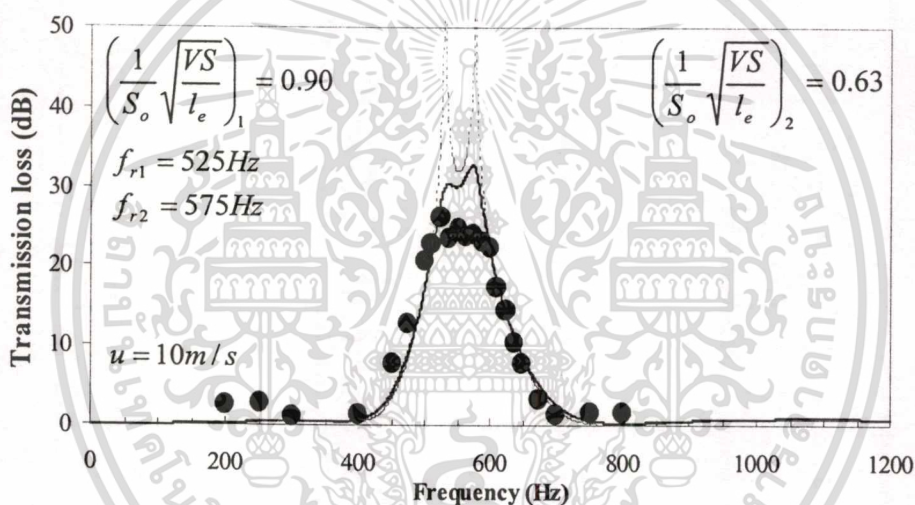
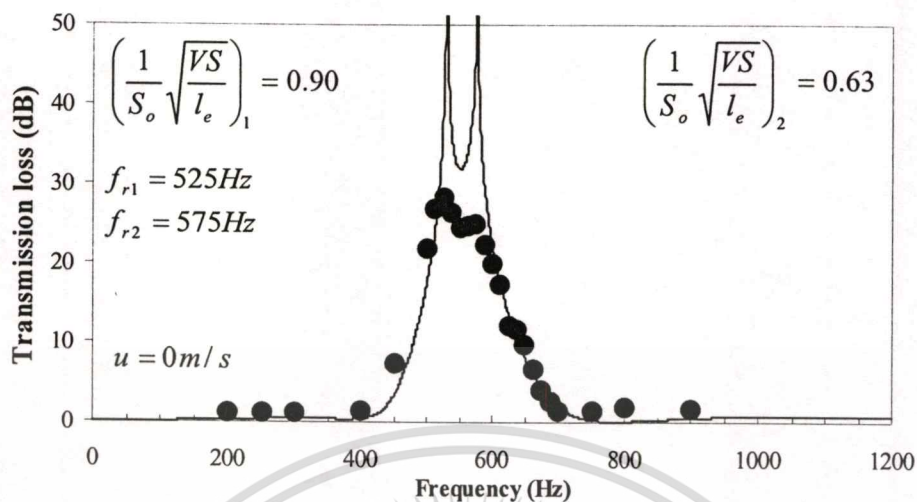
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ M=0
 - - - ผลการคำนวณ M=0



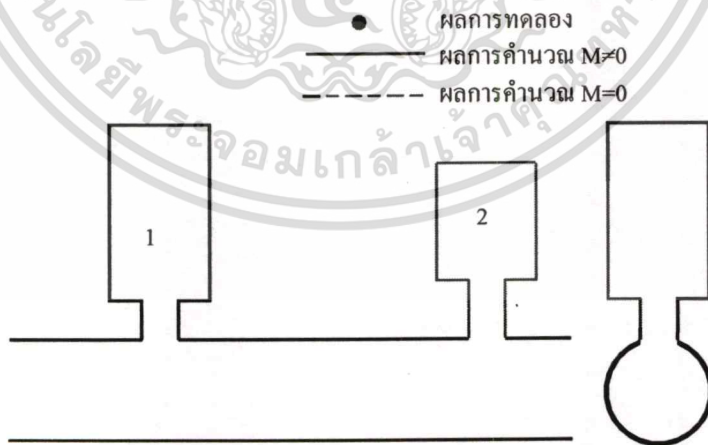
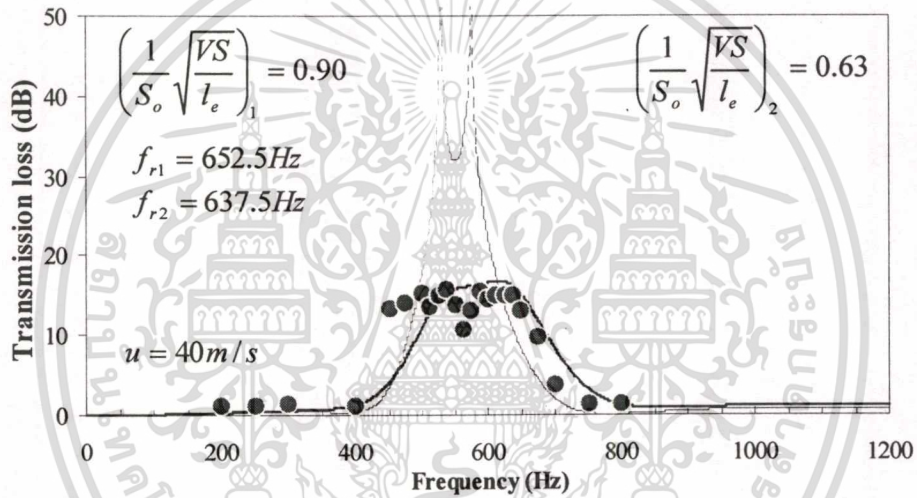
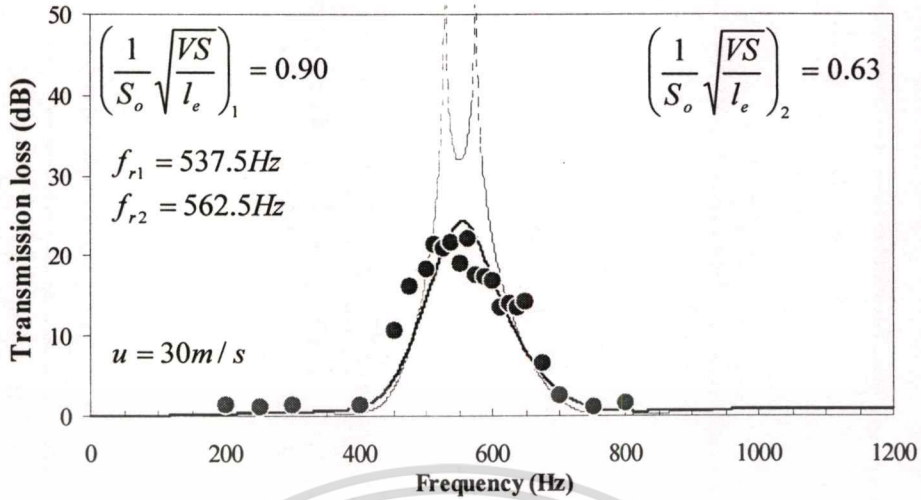
รูปที่ 5.13 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.90$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



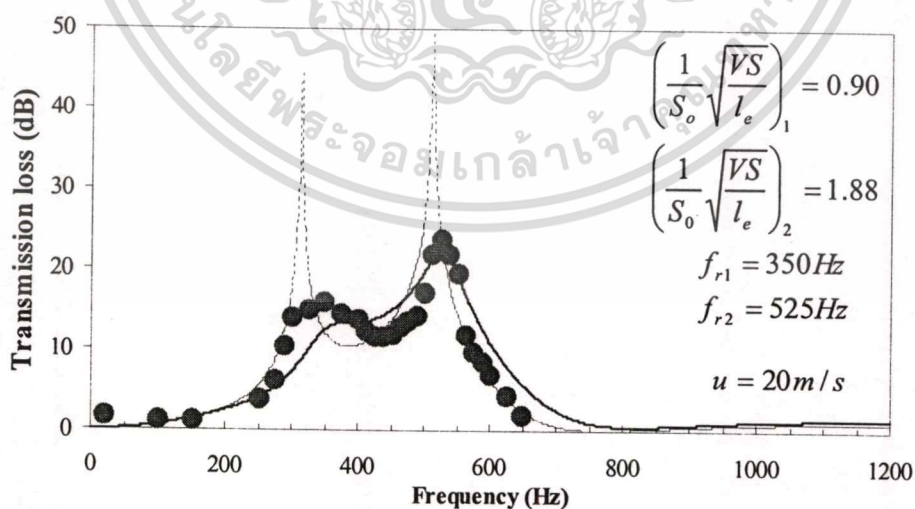
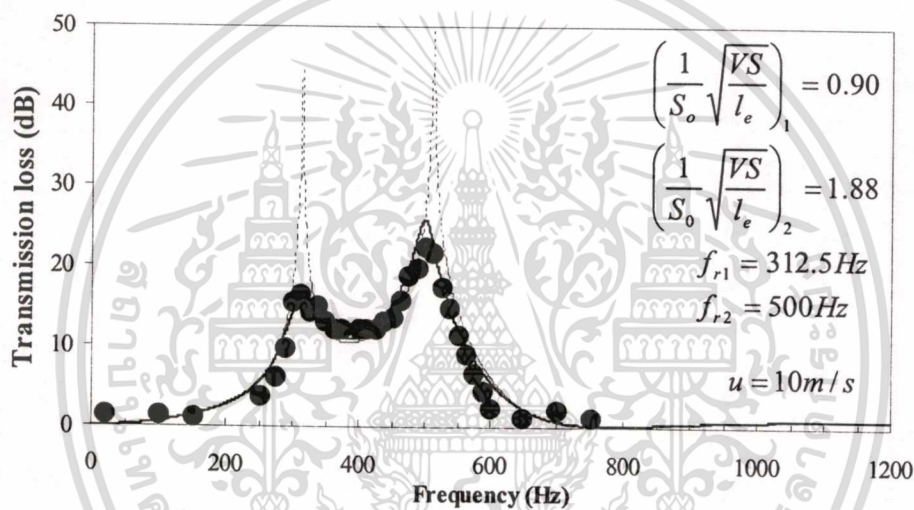
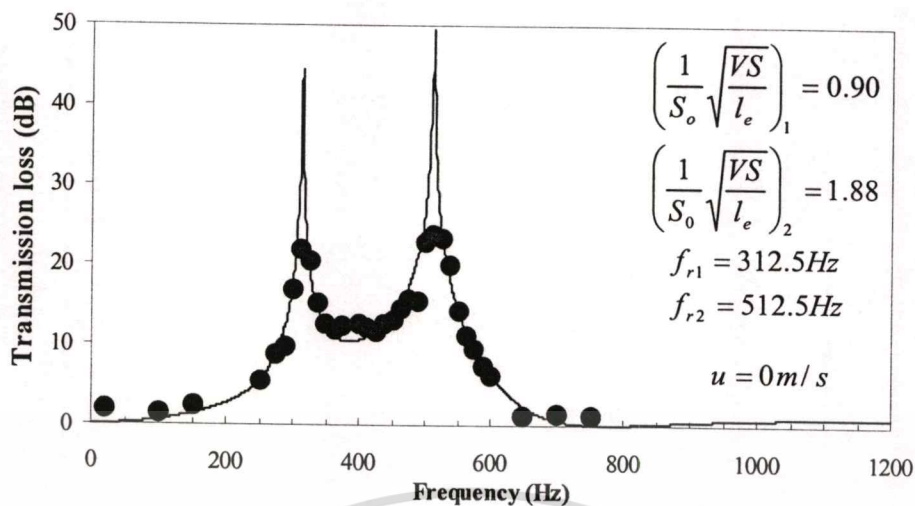
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



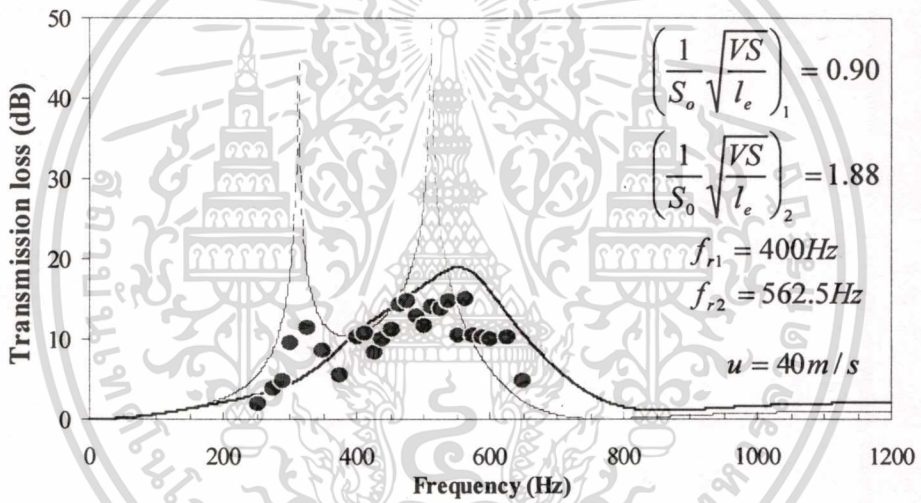
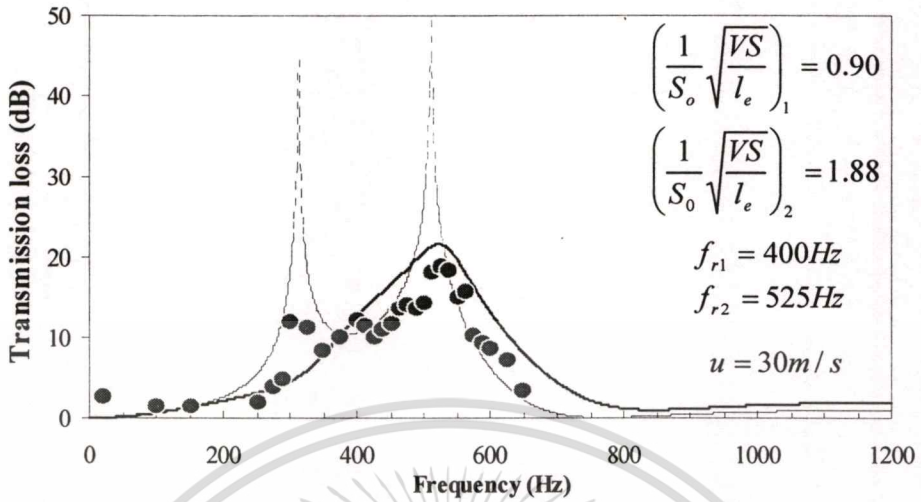
รูปที่ 5.14 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.63 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.1450 \text{ เมตร}$$

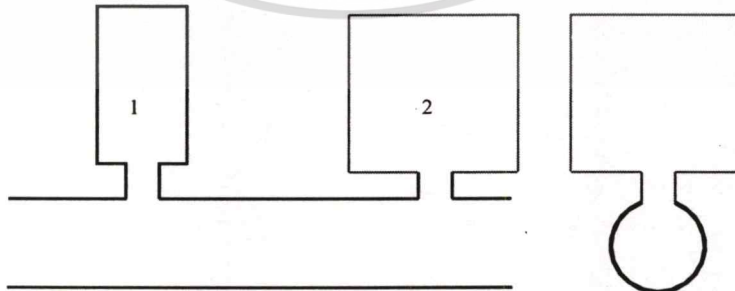
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



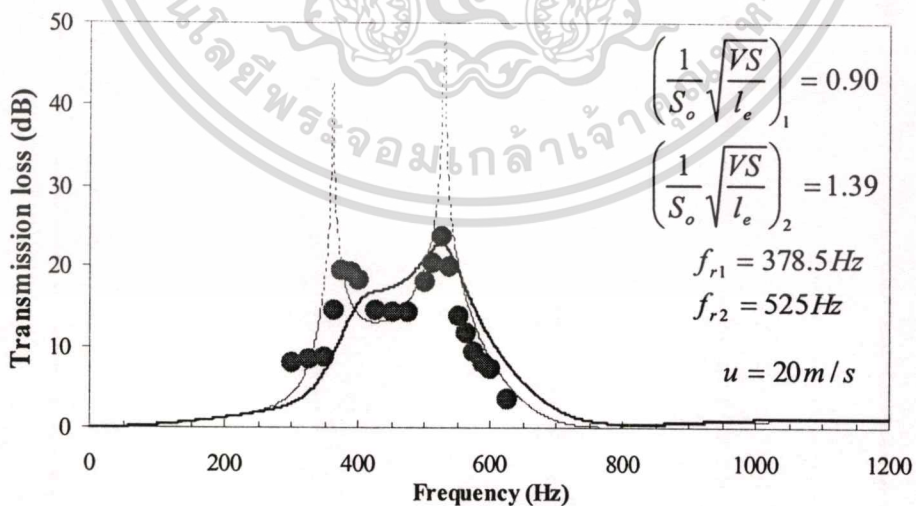
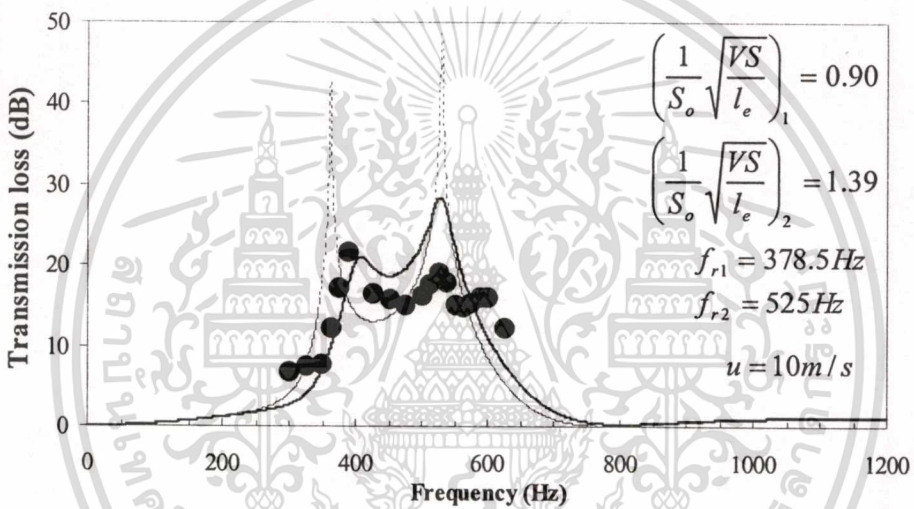
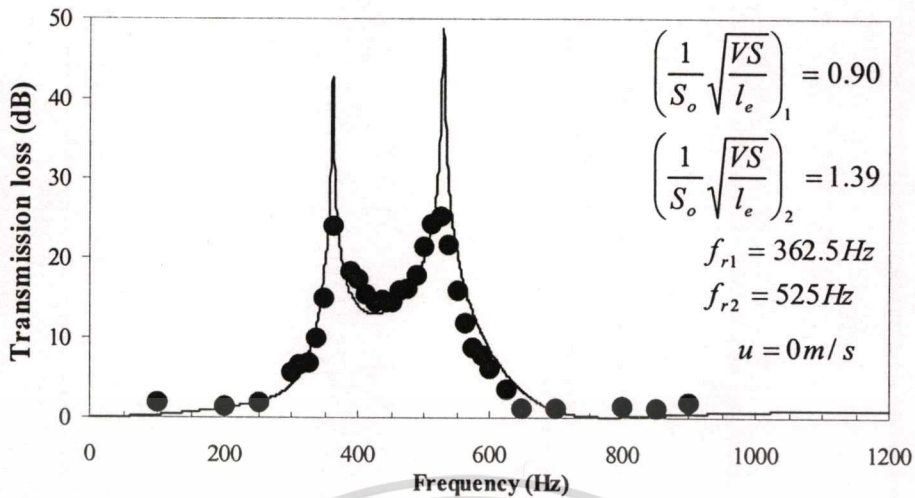
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



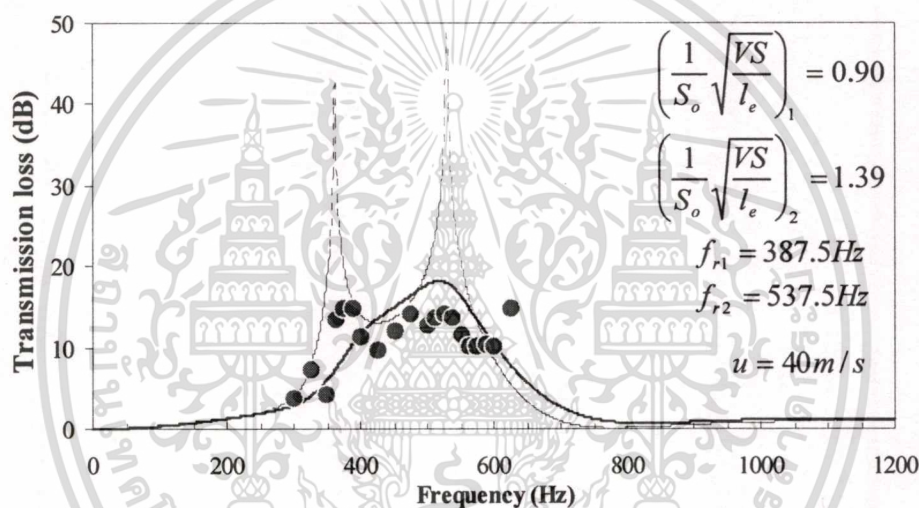
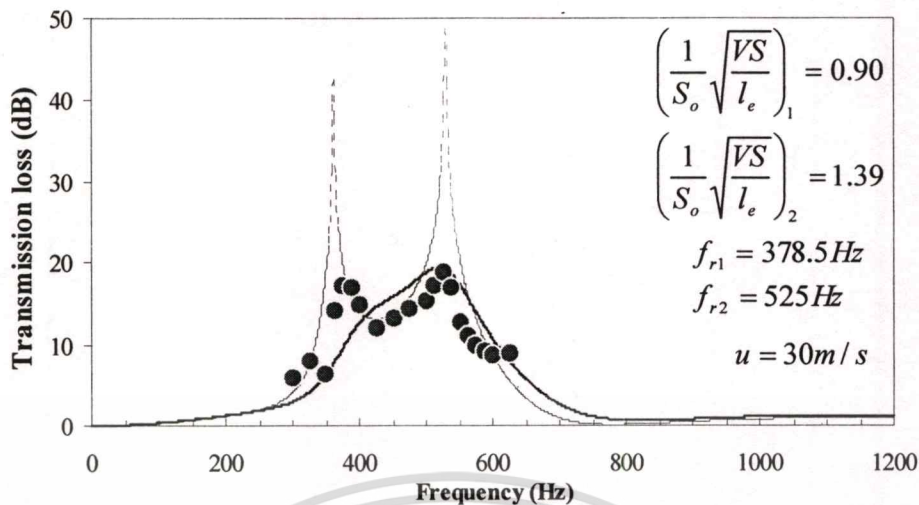
รูปที่ 5.15 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

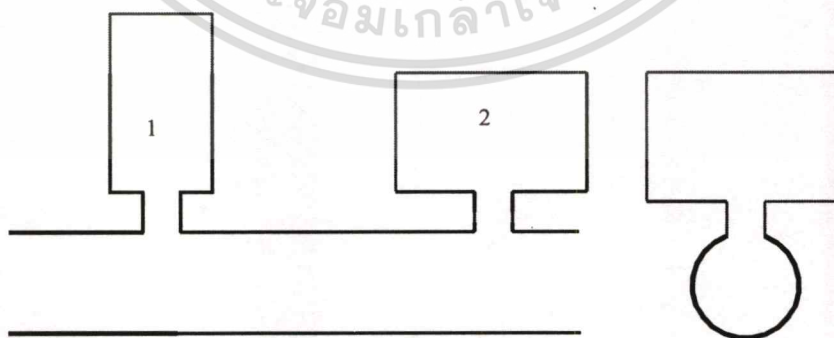
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



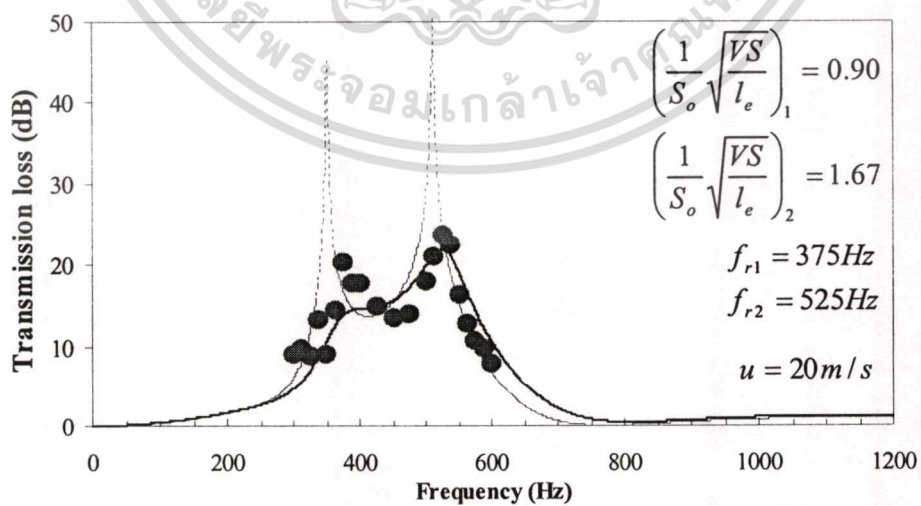
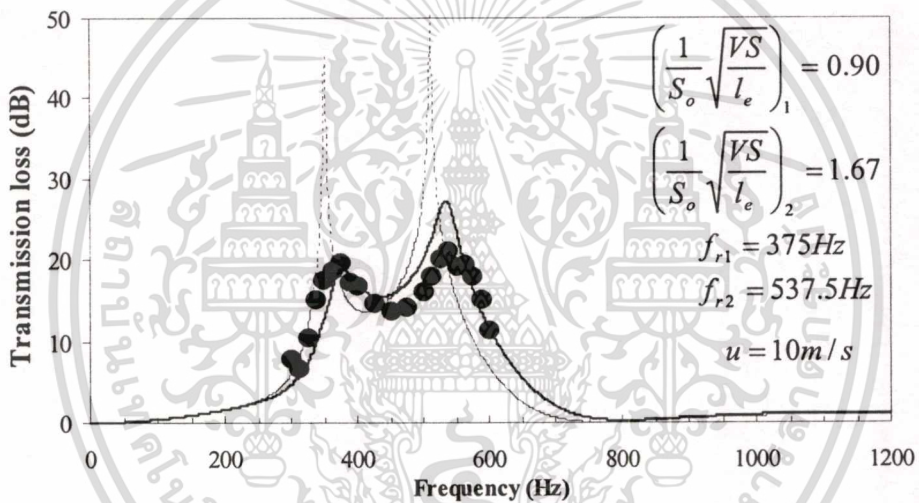
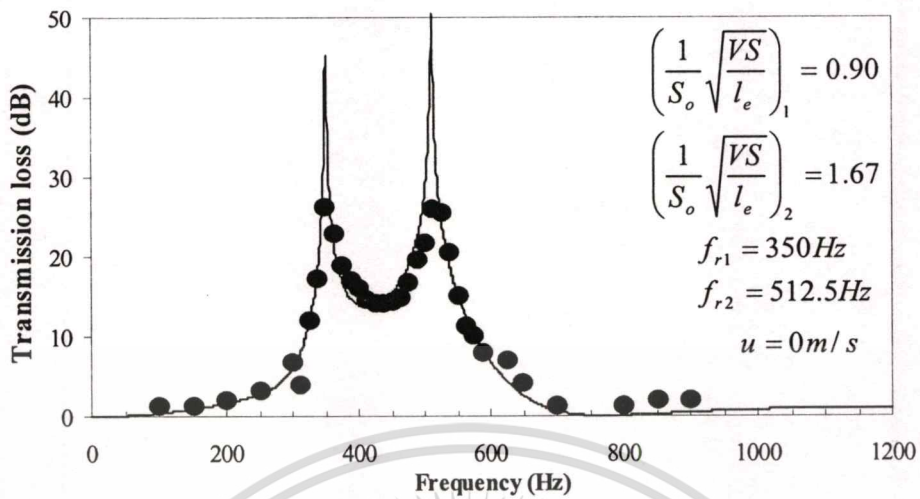
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



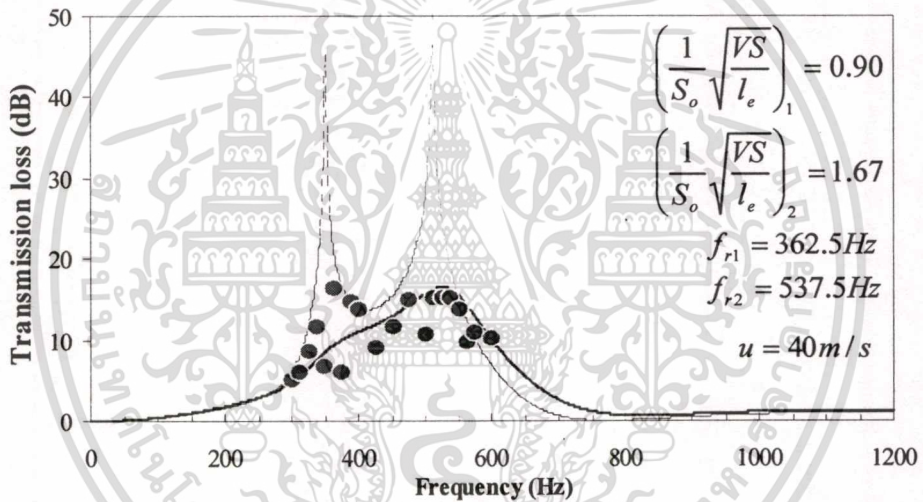
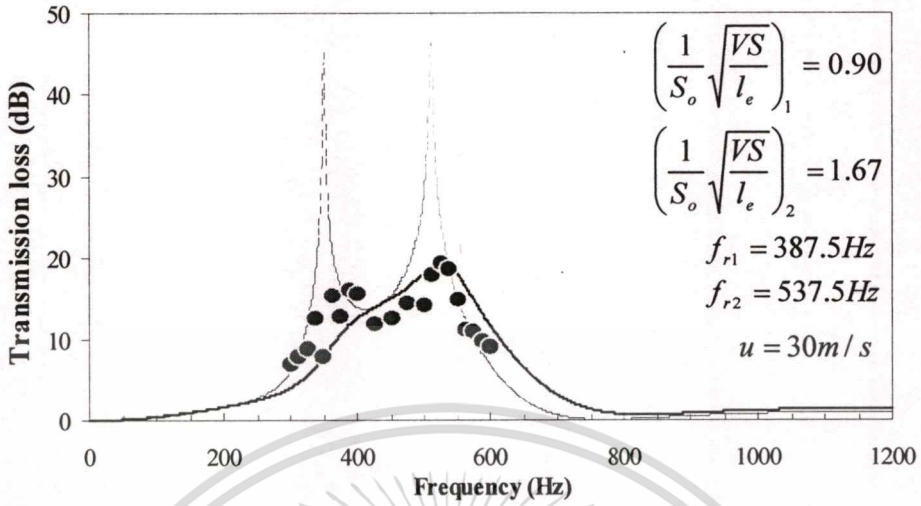
รูปที่ 5.16 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.39 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.1450 \text{ เมตร}$$

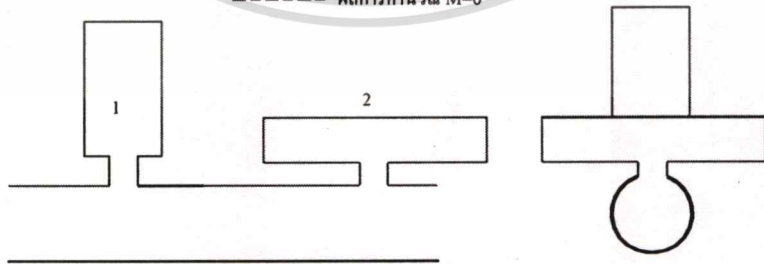
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



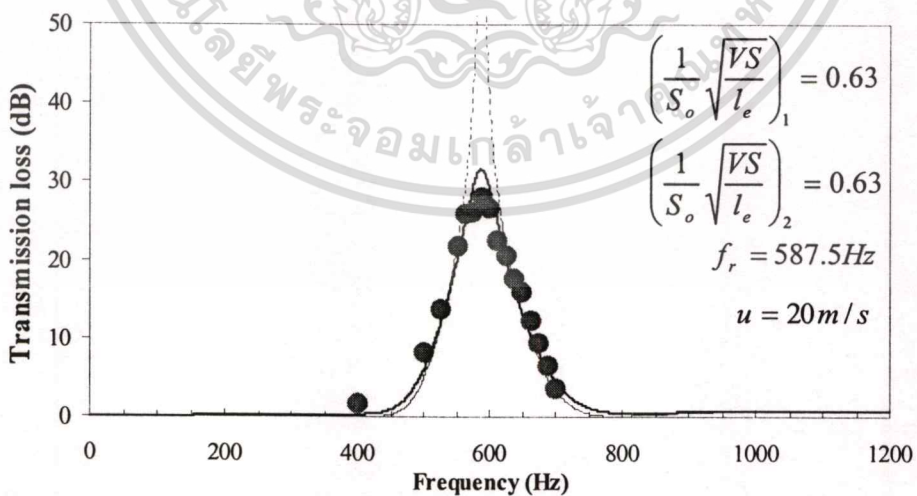
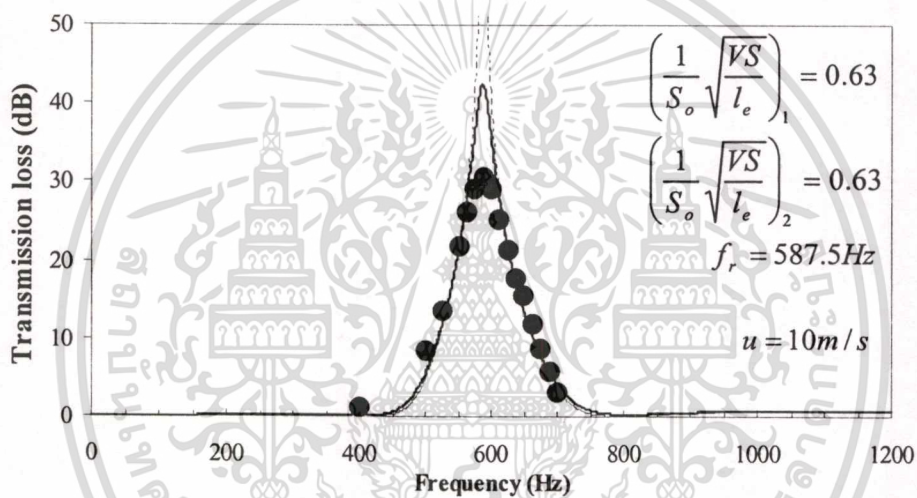
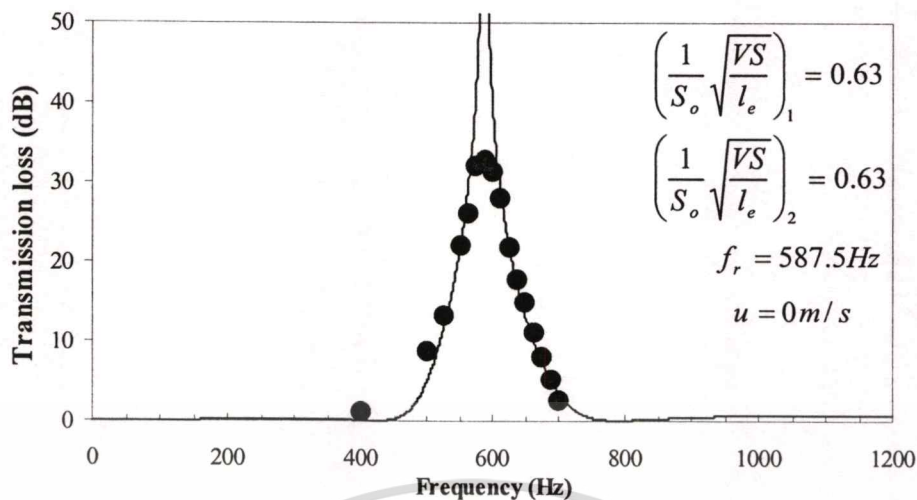
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ M≠0
 - - - ผลการคำนวณ M=0



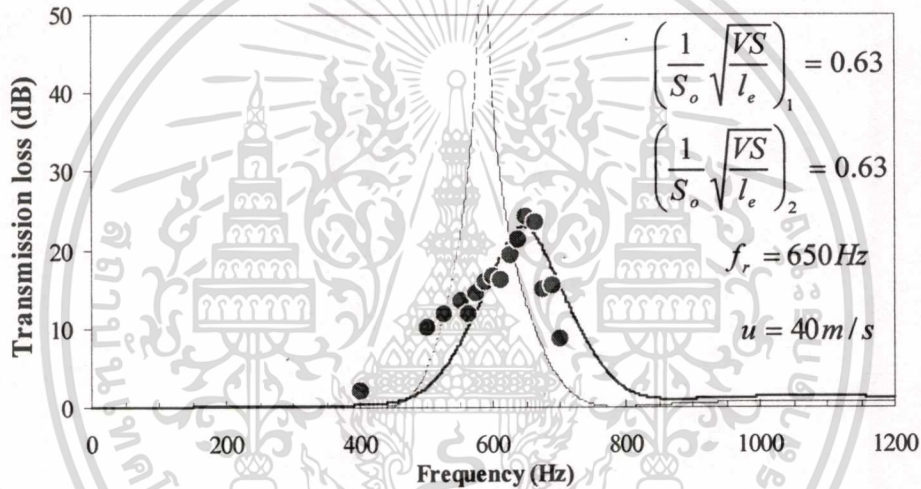
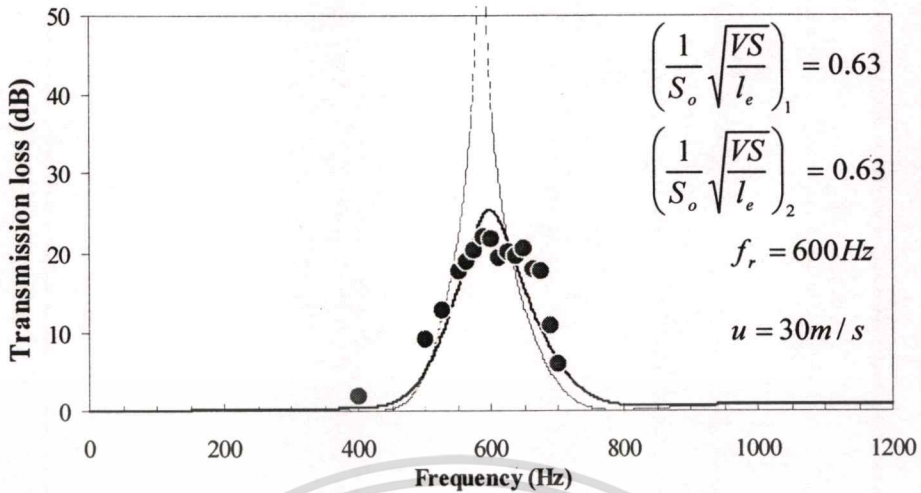
รูปที่ 5.17 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

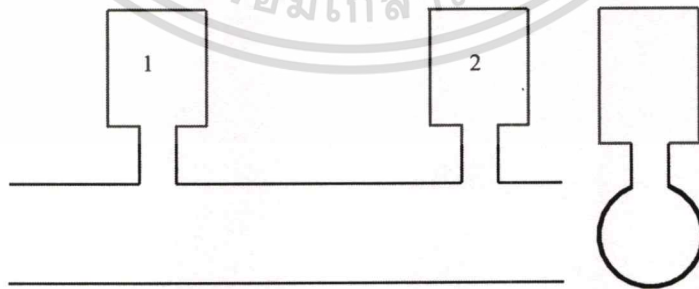
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



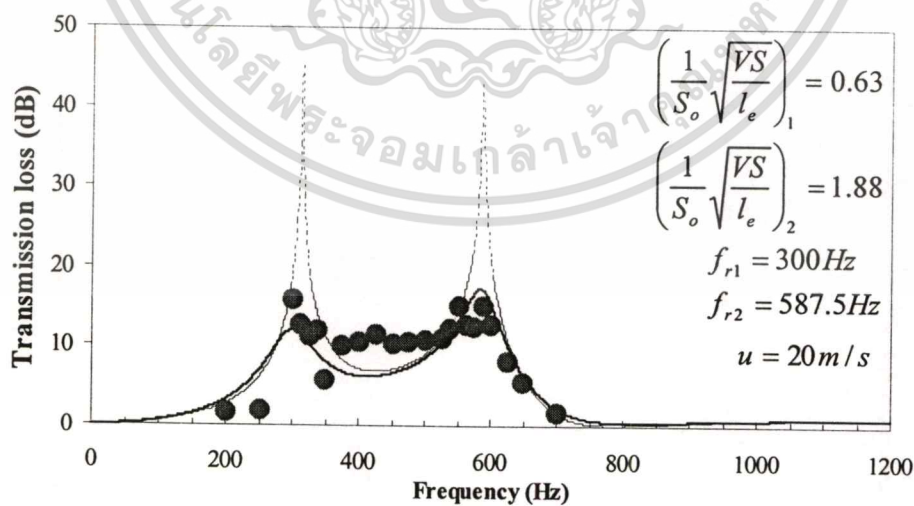
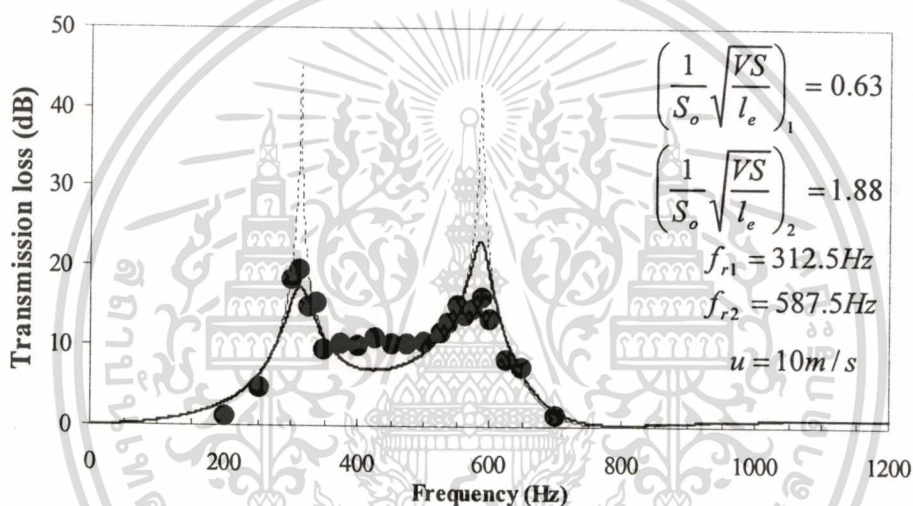
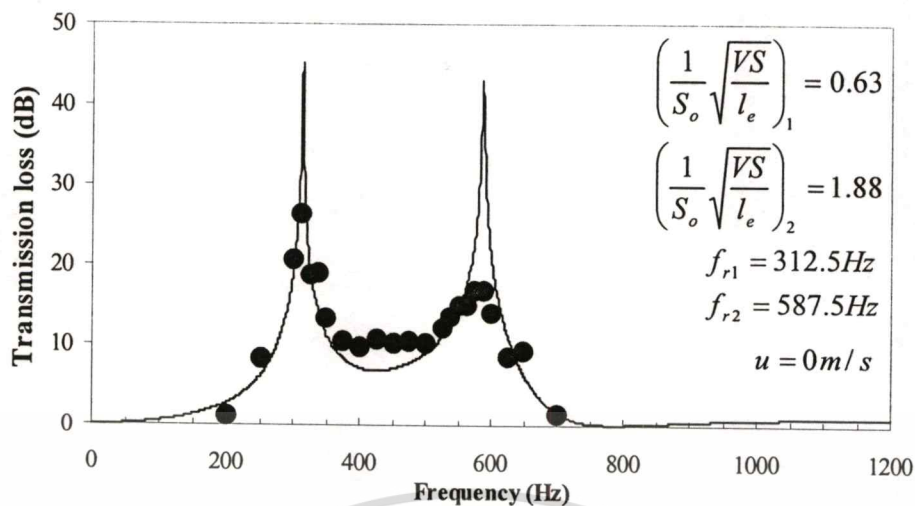
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



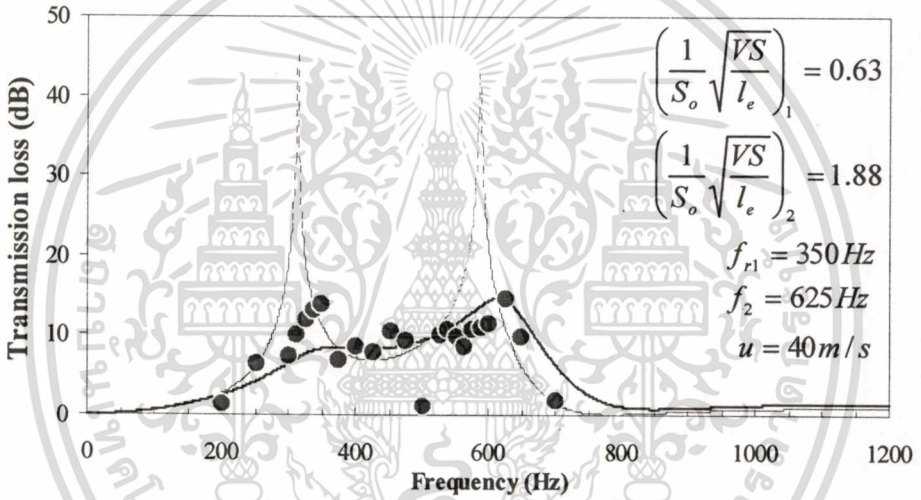
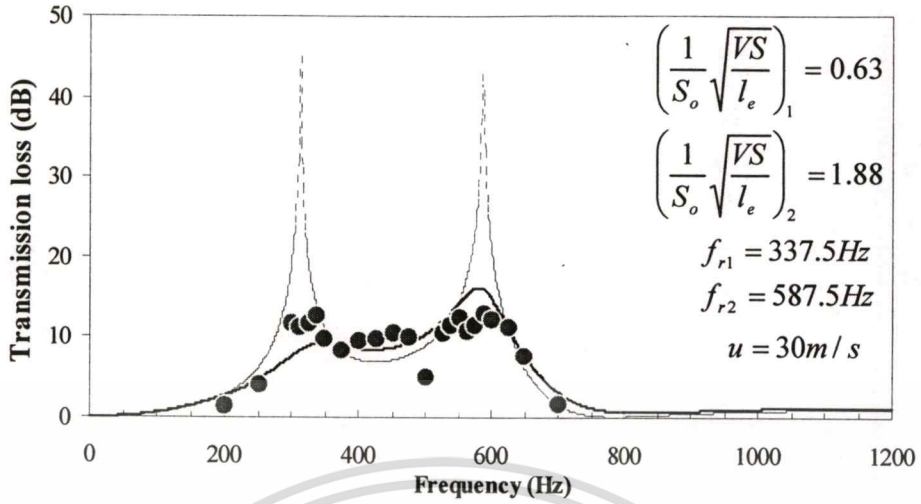
รูปที่ 5.18 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.63 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.1450 \text{ เมตร}$$

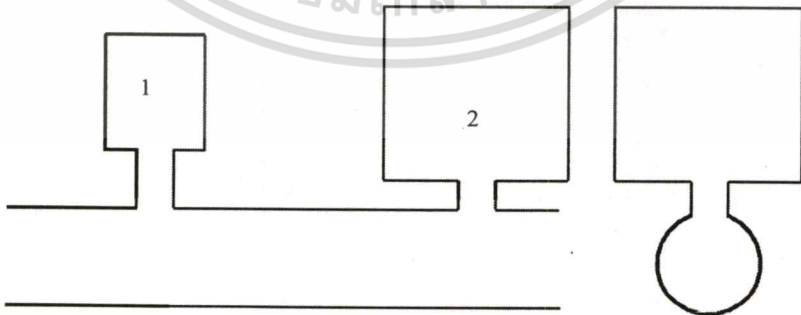
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



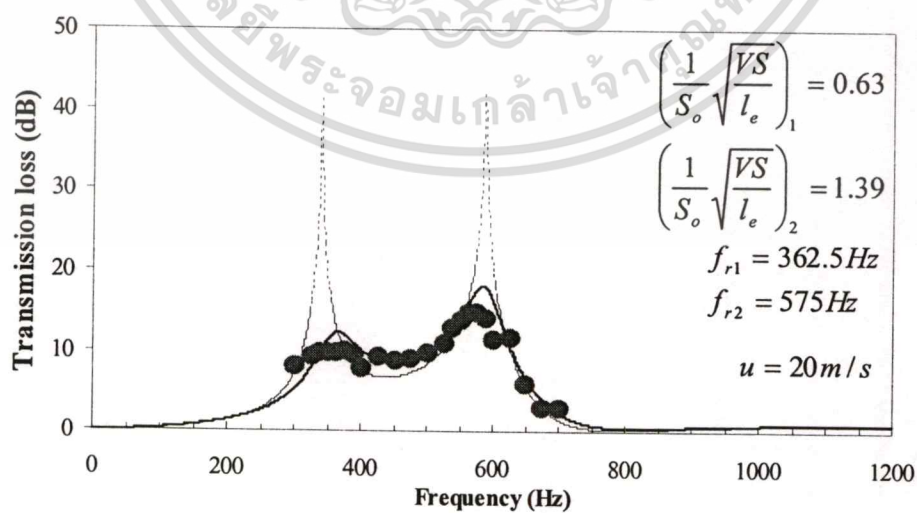
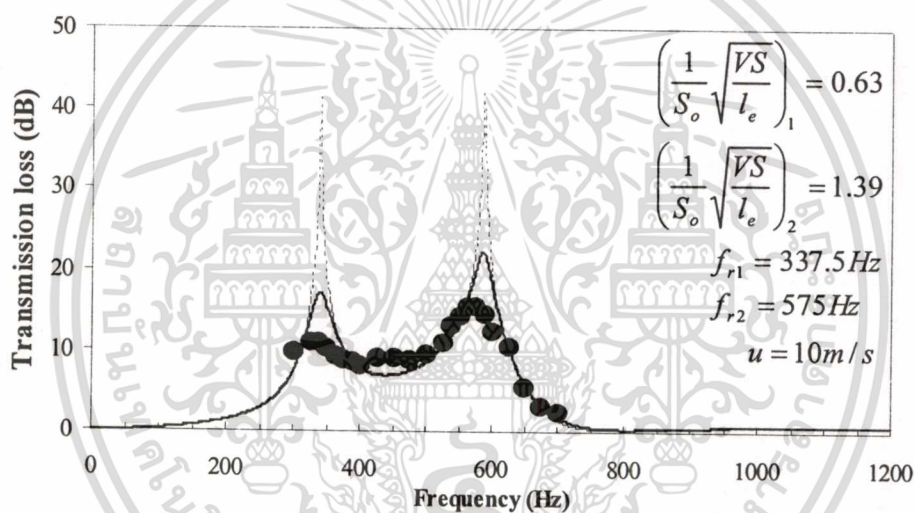
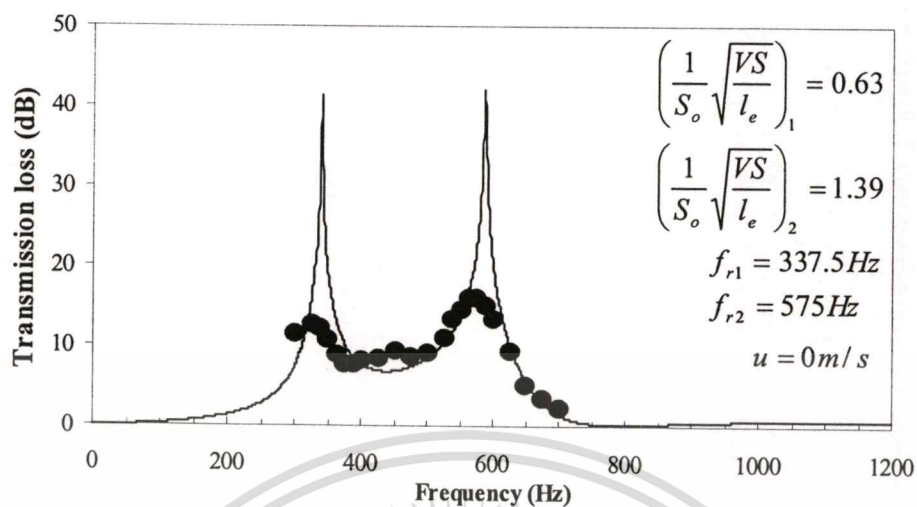
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



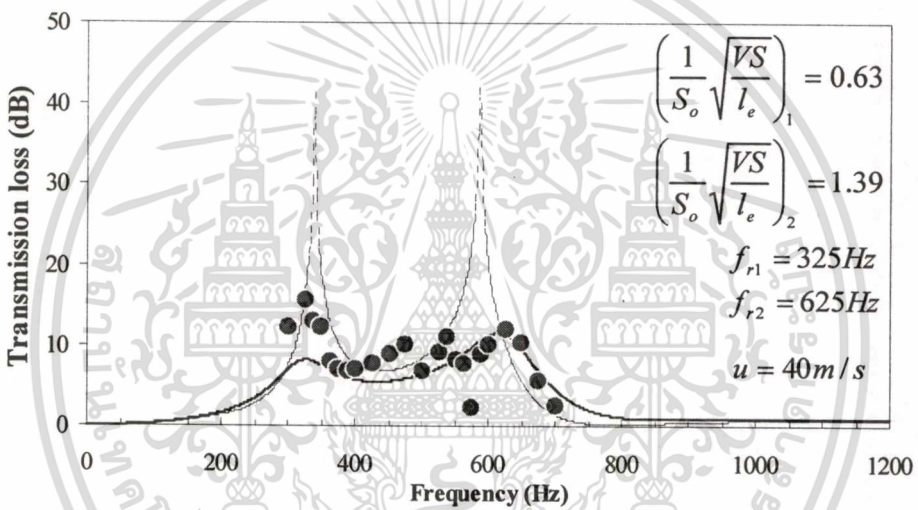
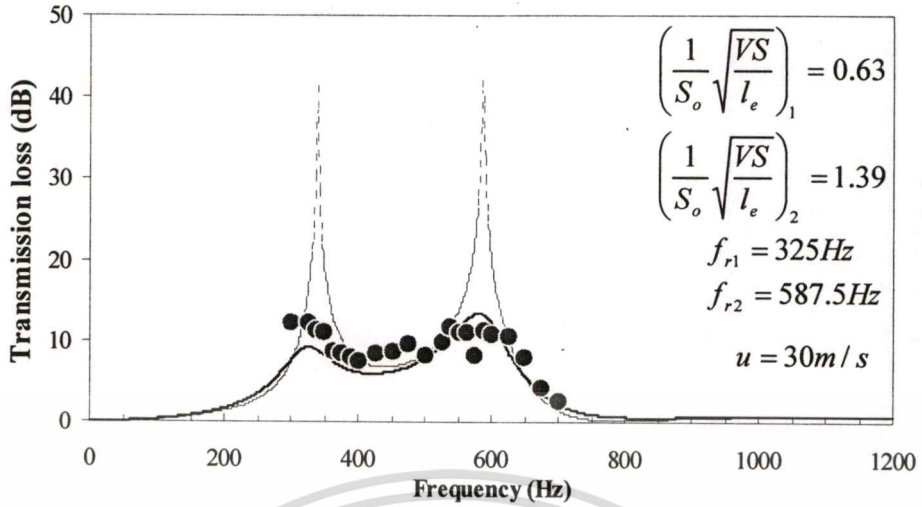
รูปที่ 5.19 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

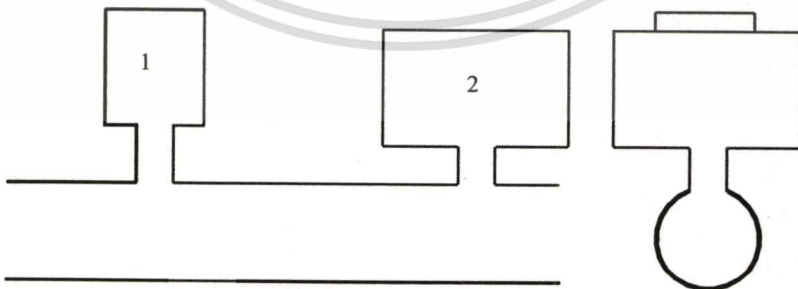
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



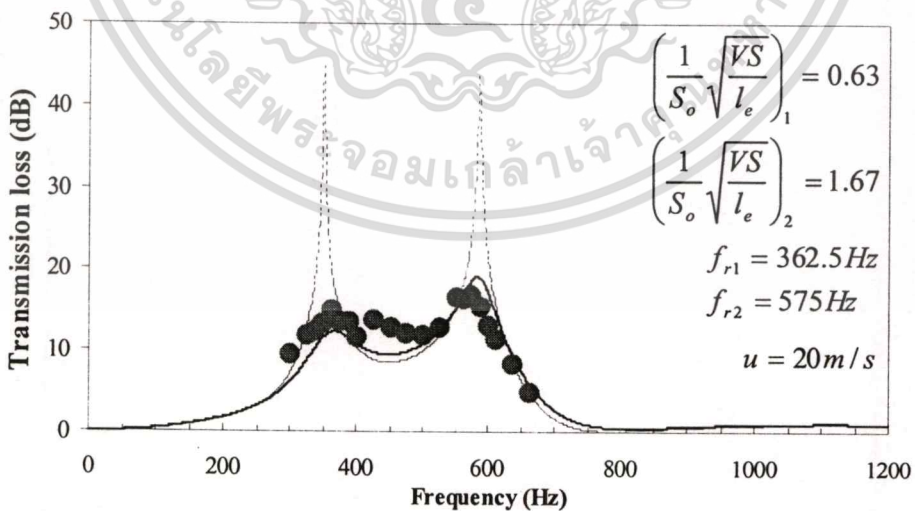
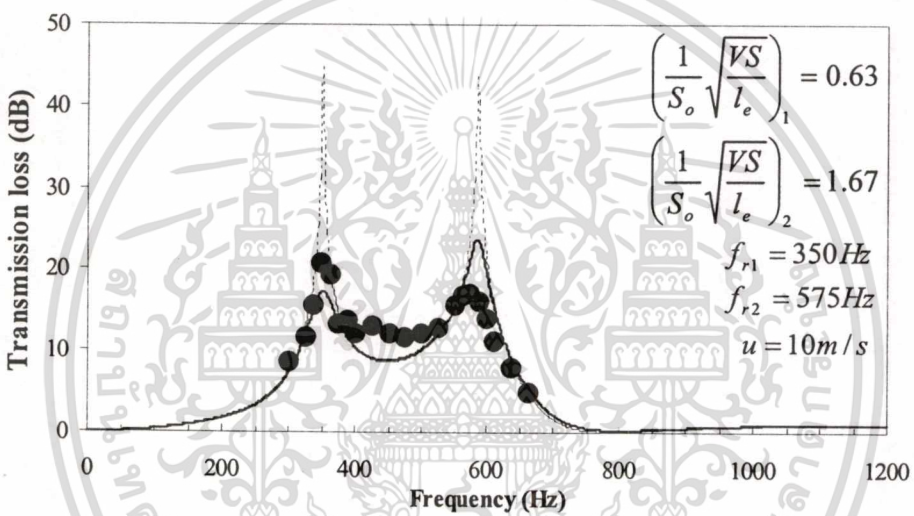
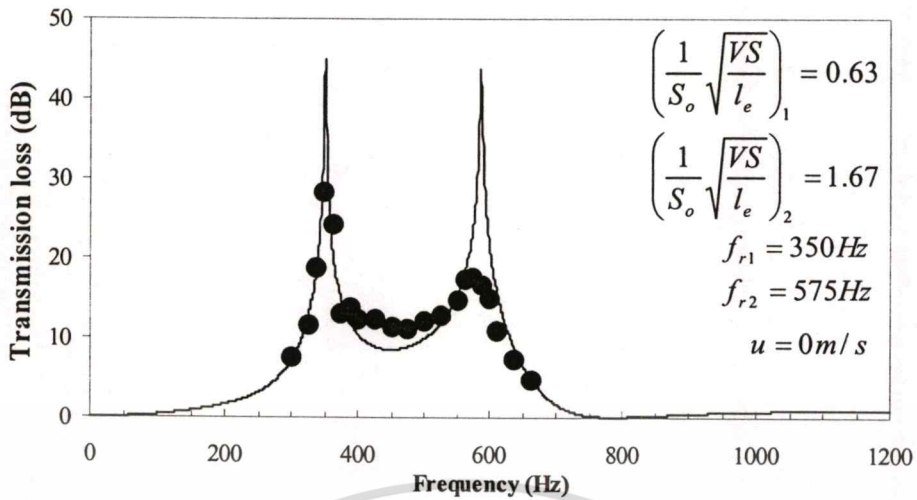
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



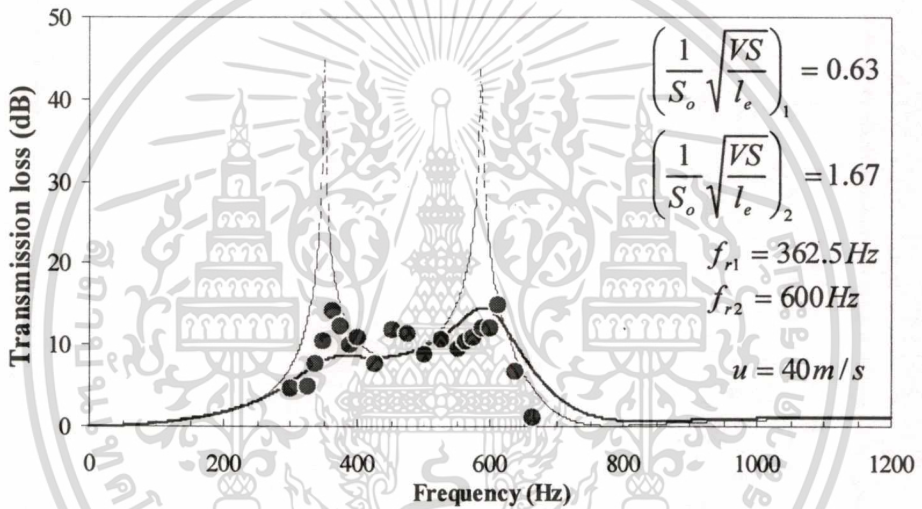
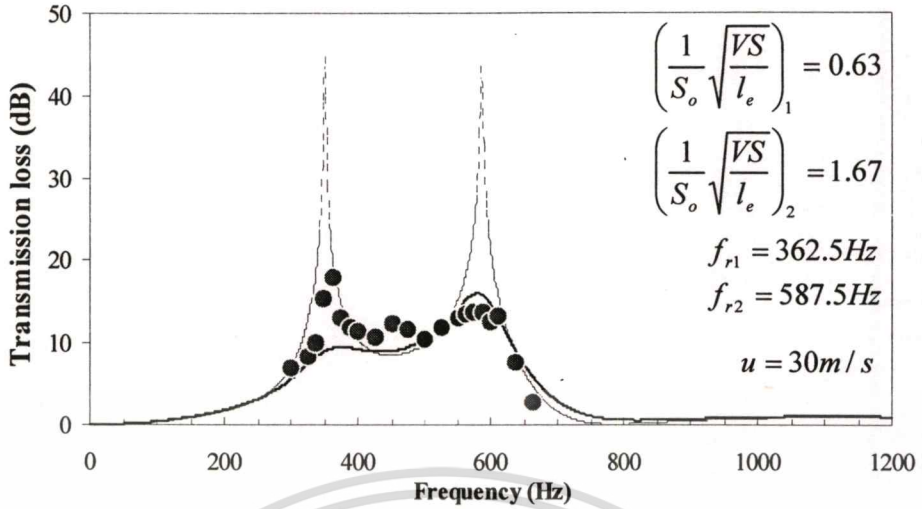
รูปที่ 5.20 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

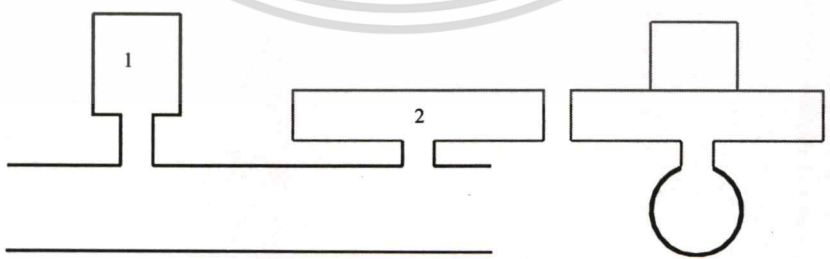
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



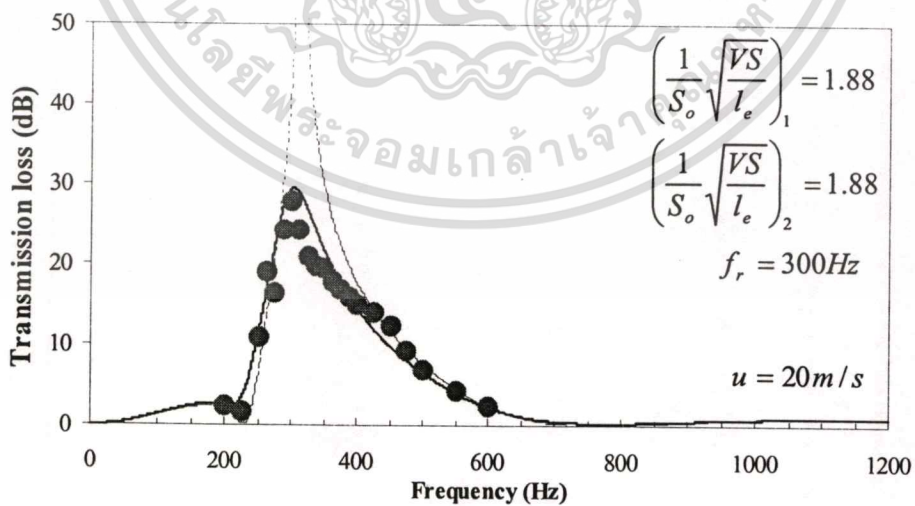
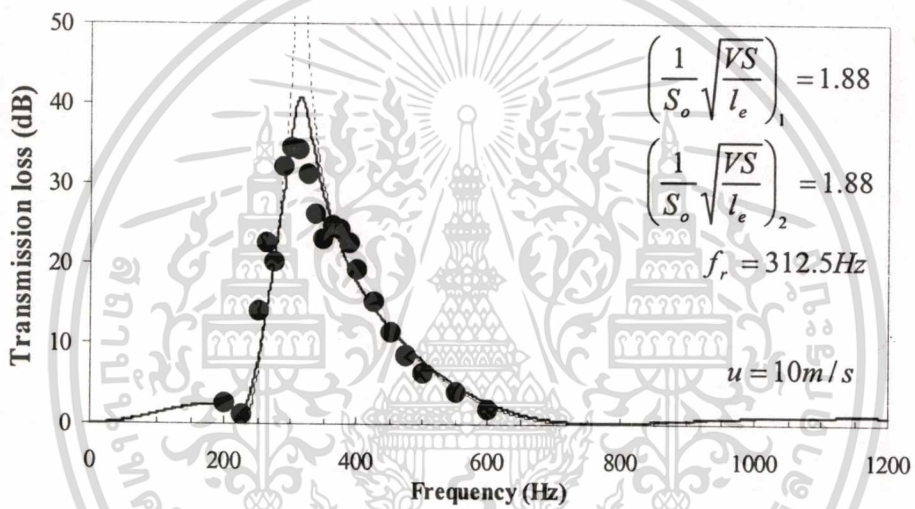
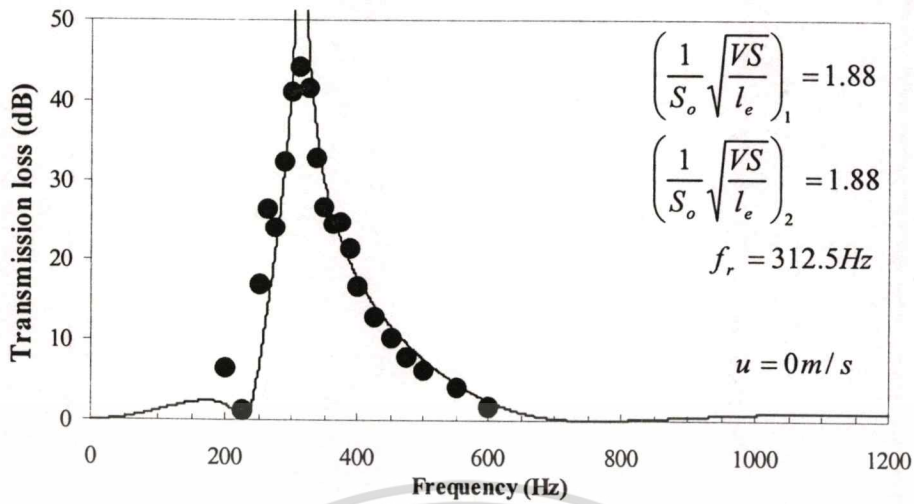
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



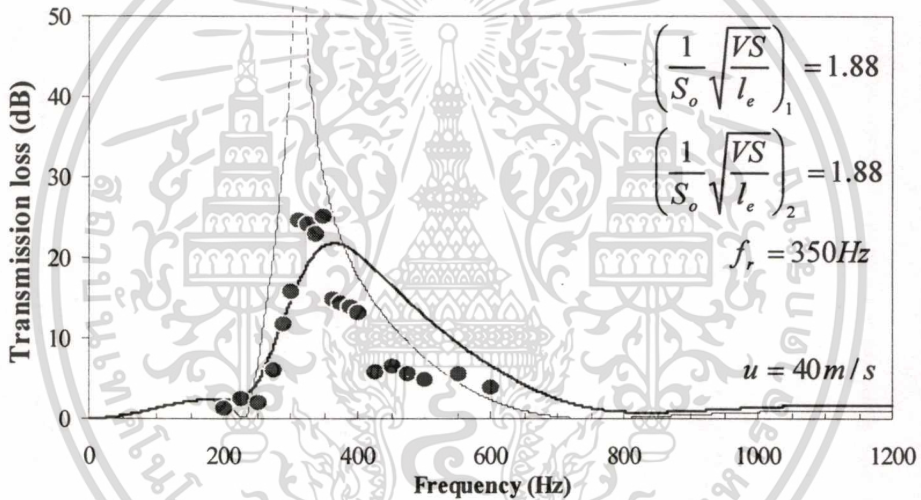
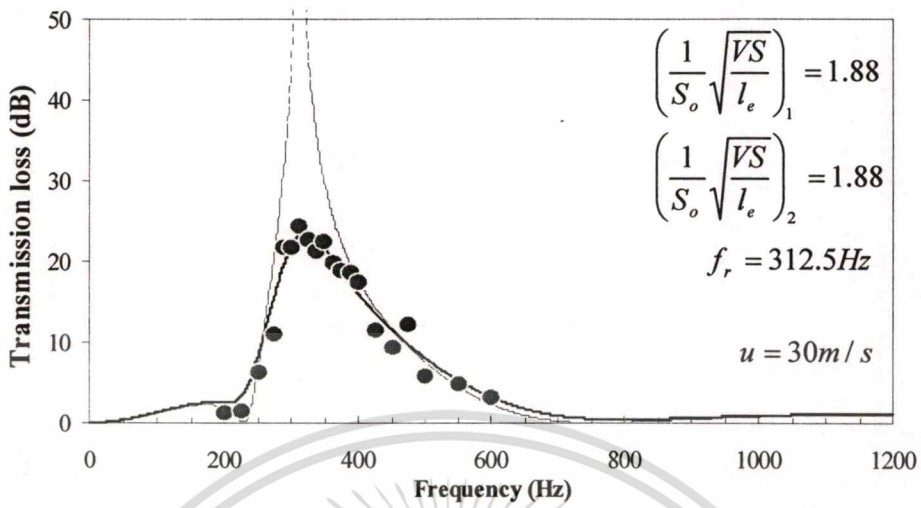
รูปที่ 5.21 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

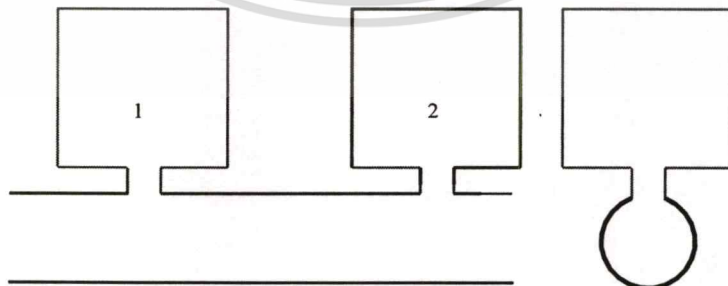
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



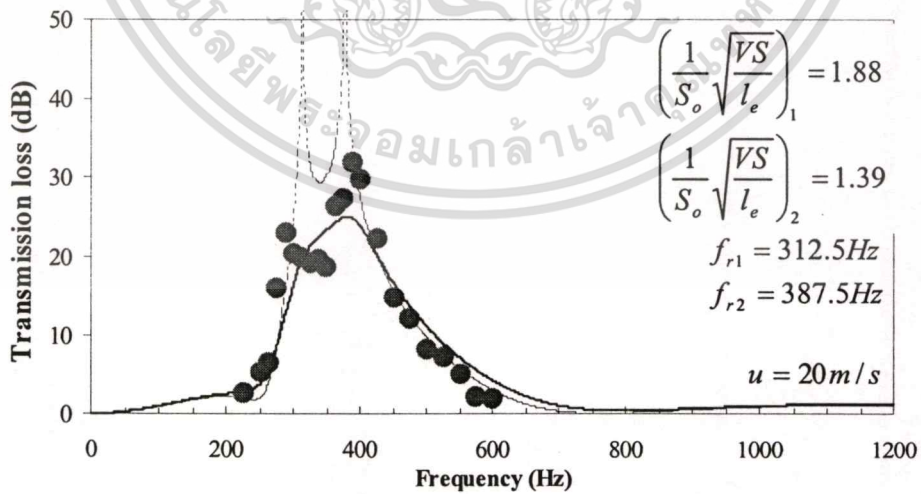
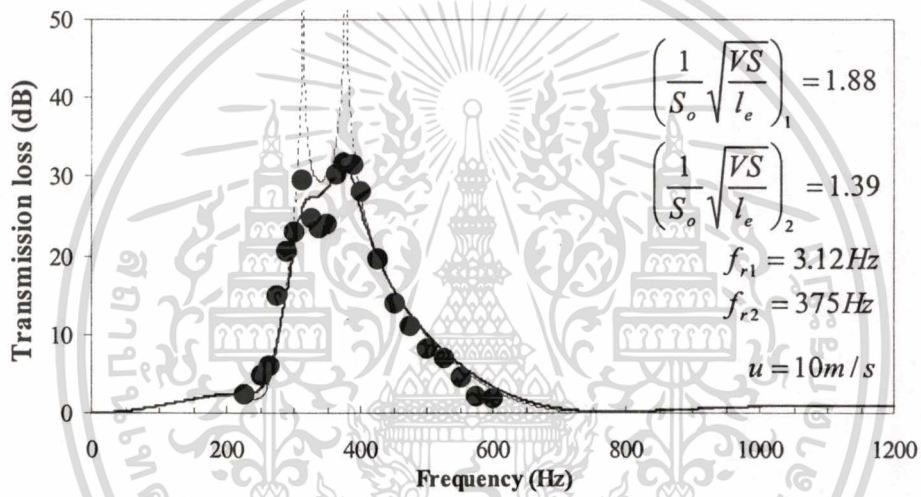
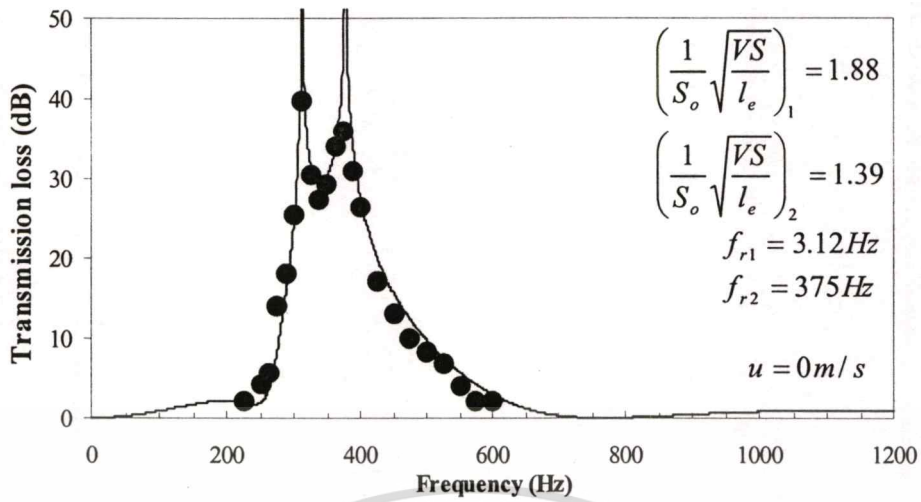
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



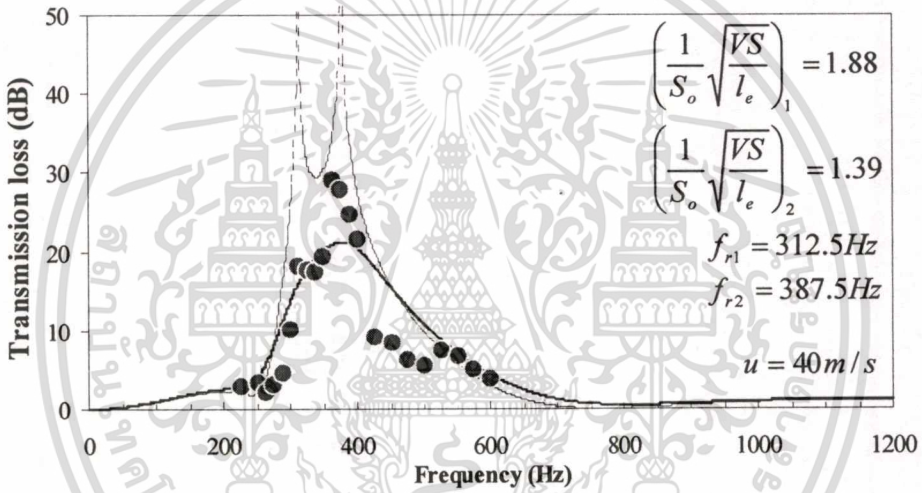
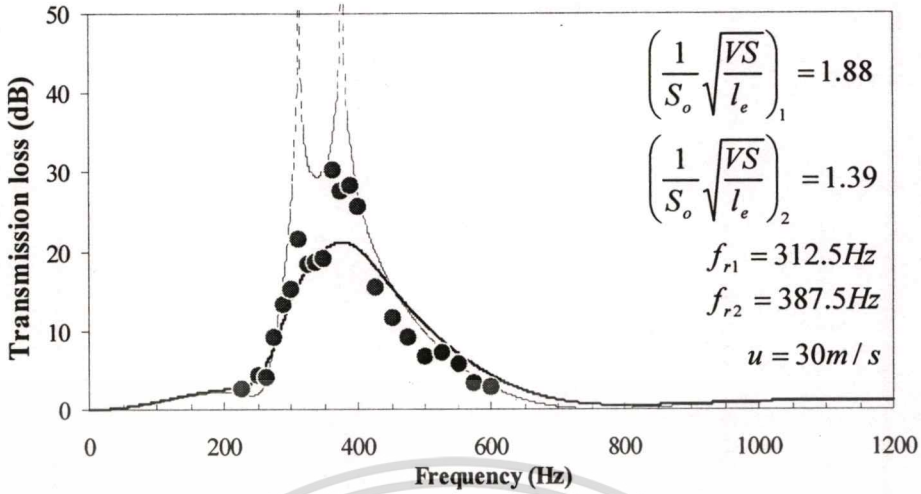
รูปที่ 5.22 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

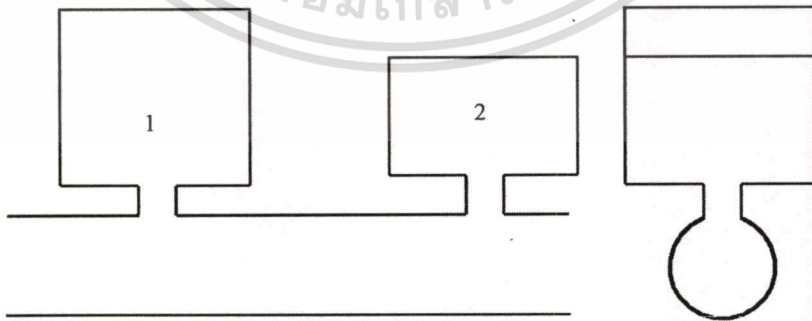
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



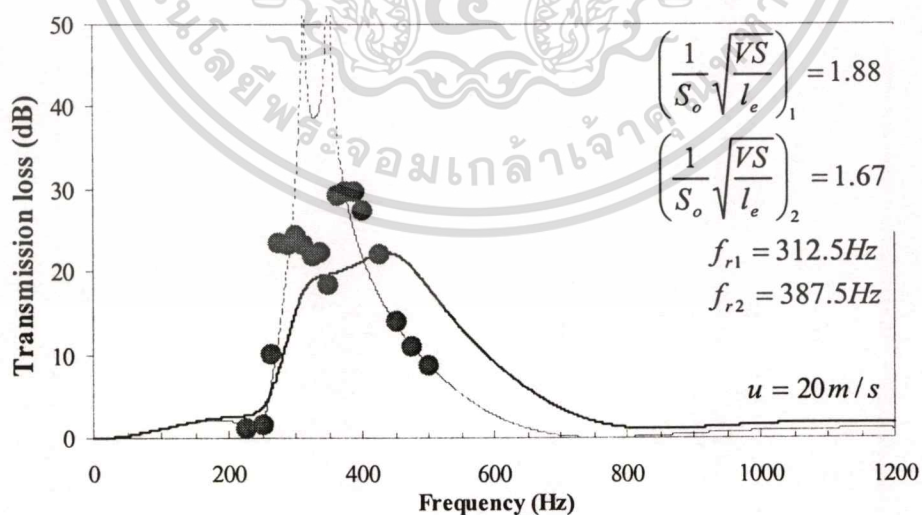
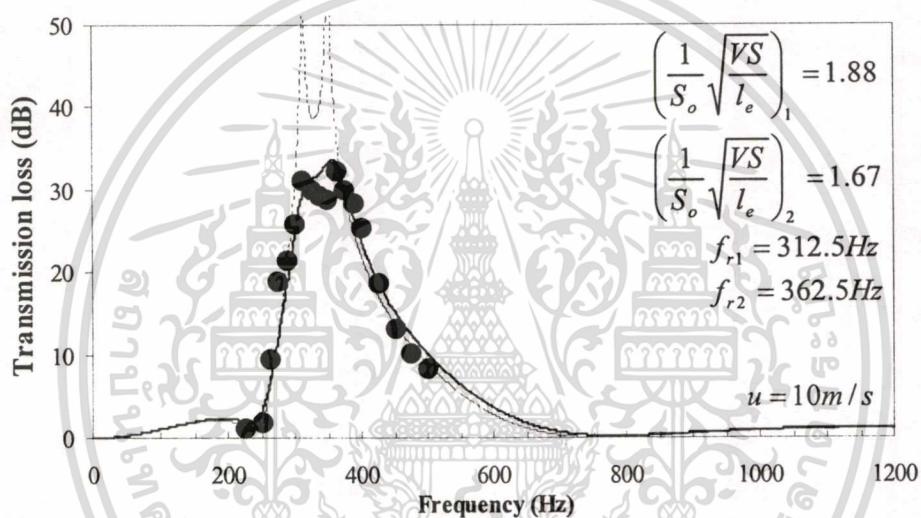
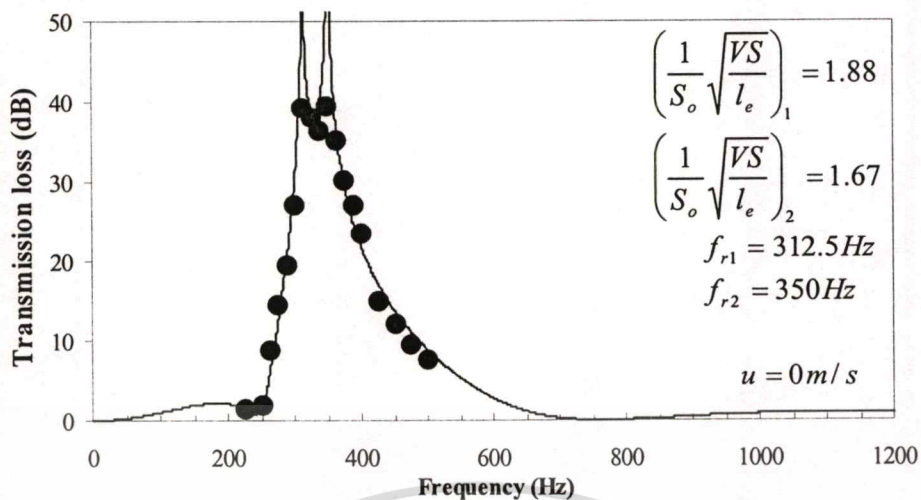
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



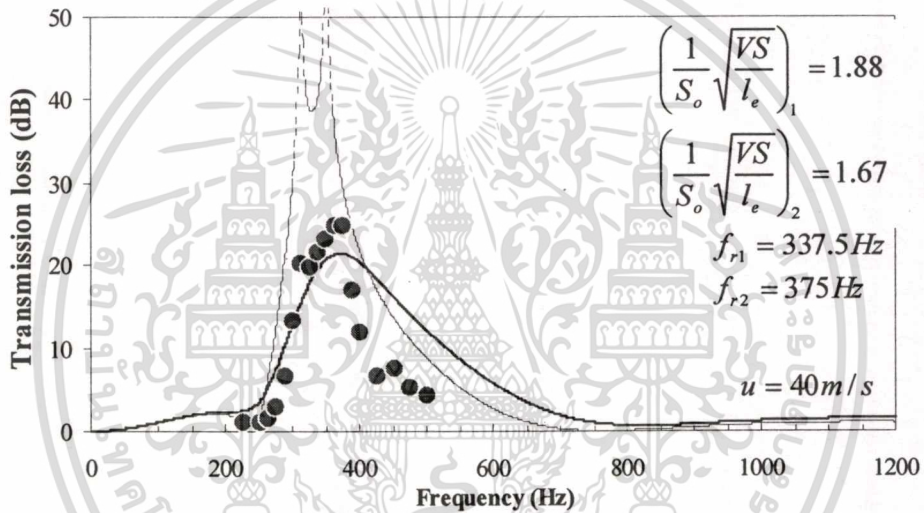
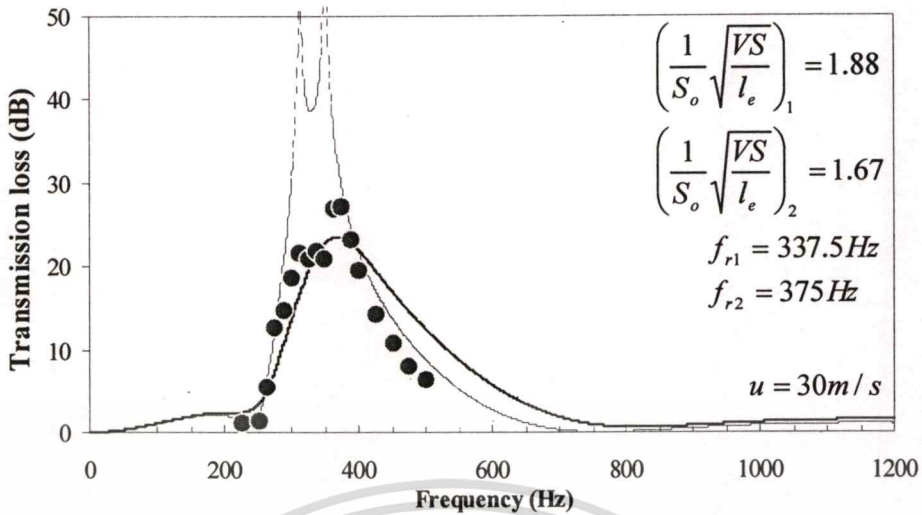
รูปที่ 5.23 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

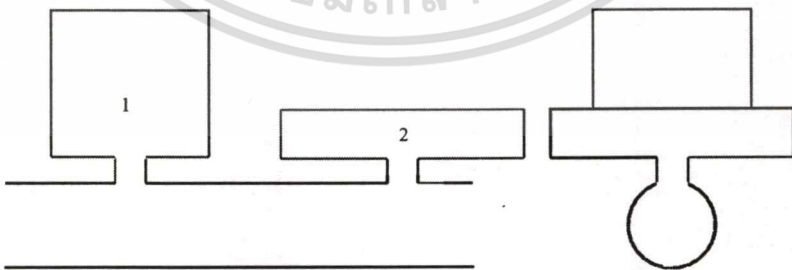
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



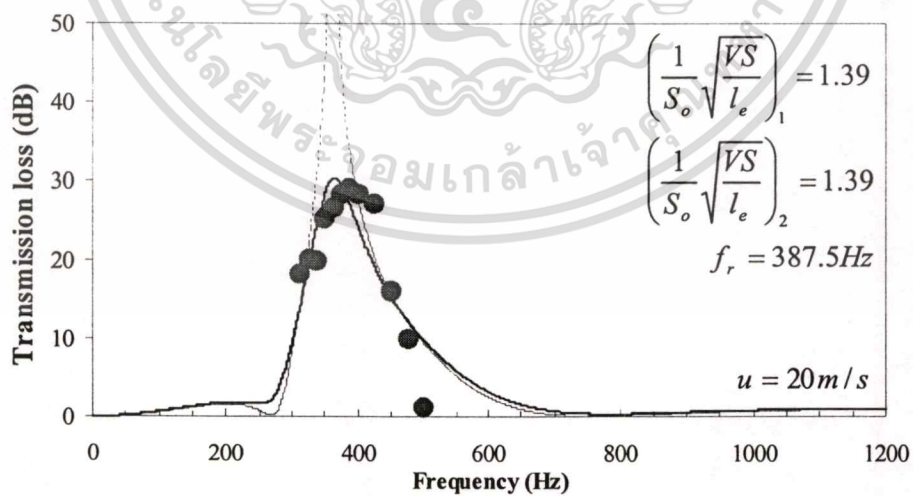
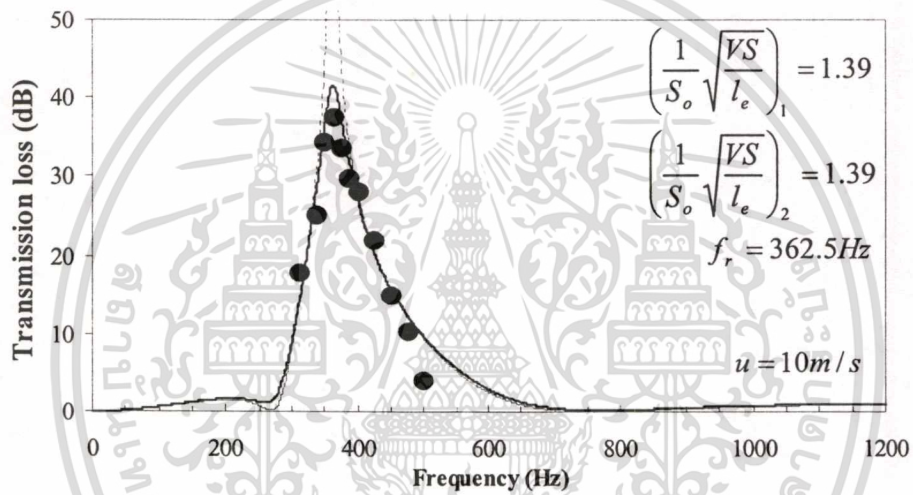
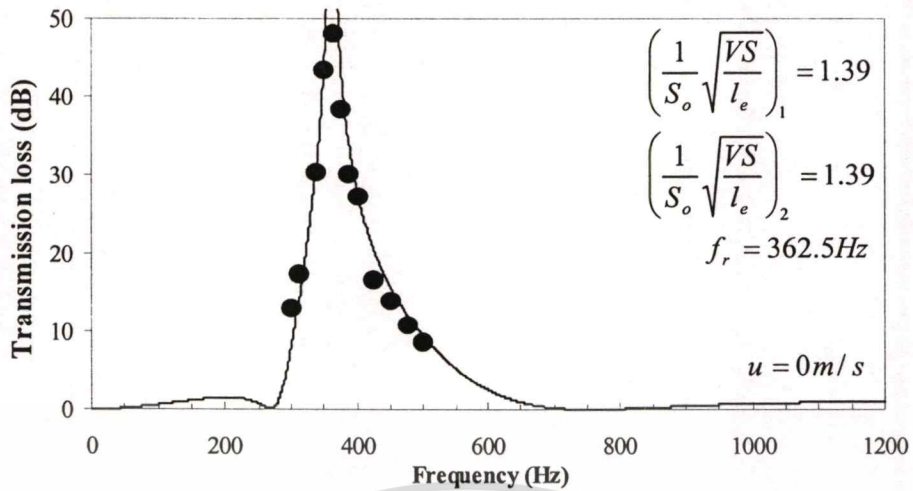
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



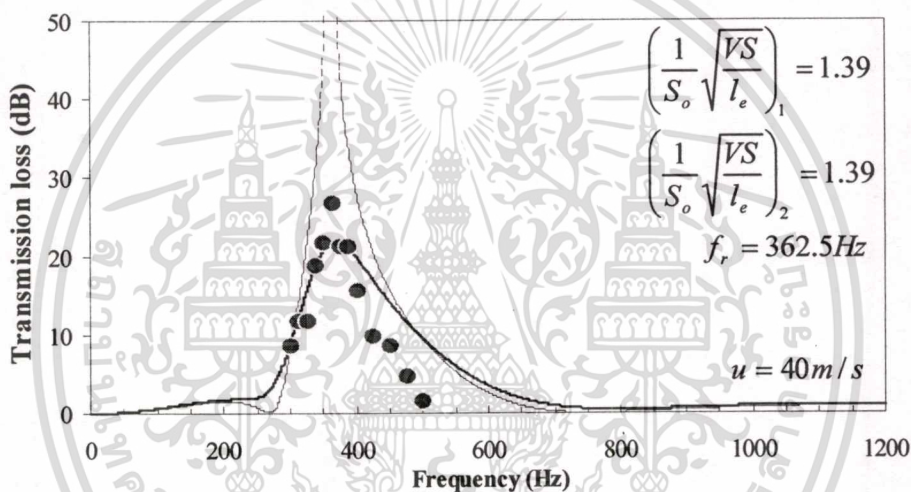
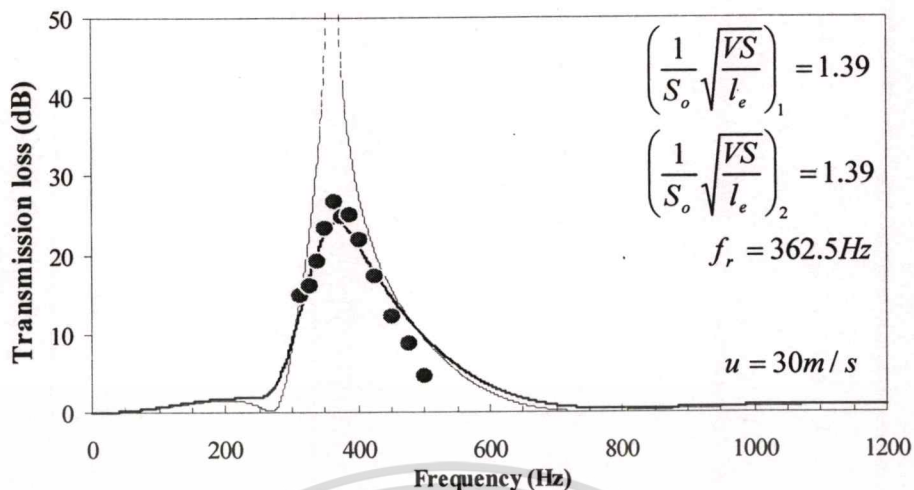
รูปที่ 5.24 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

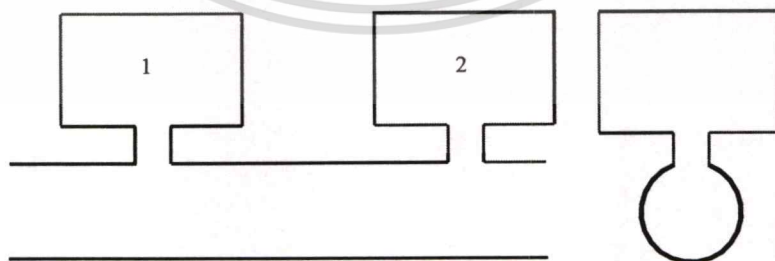
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



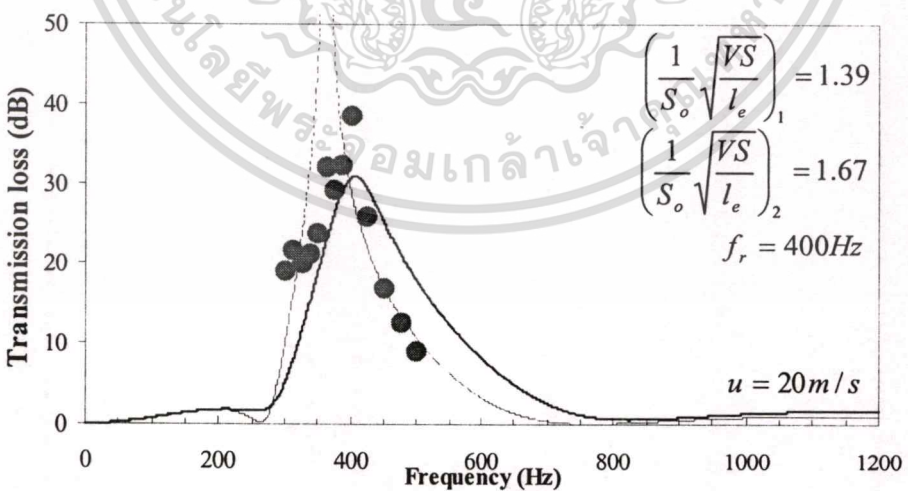
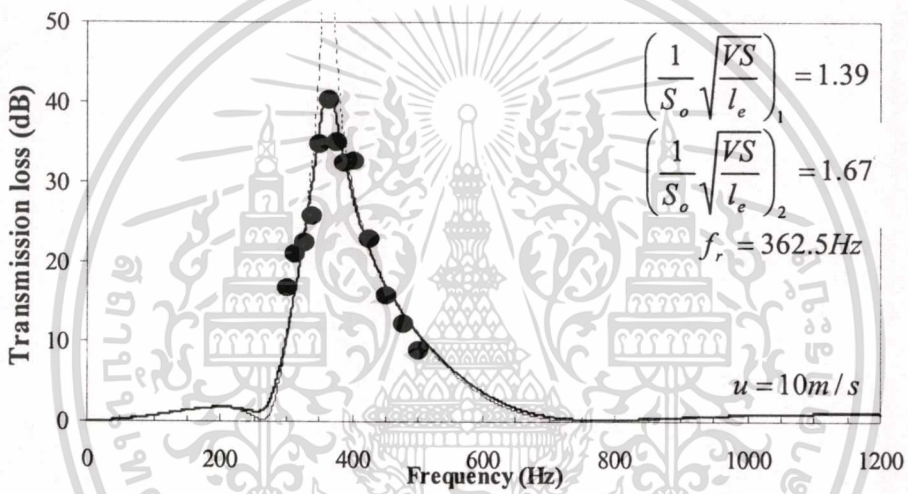
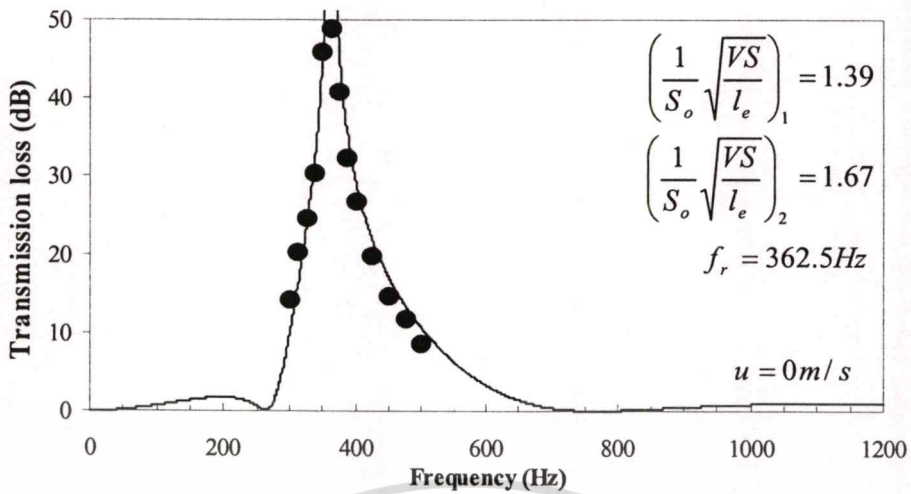
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



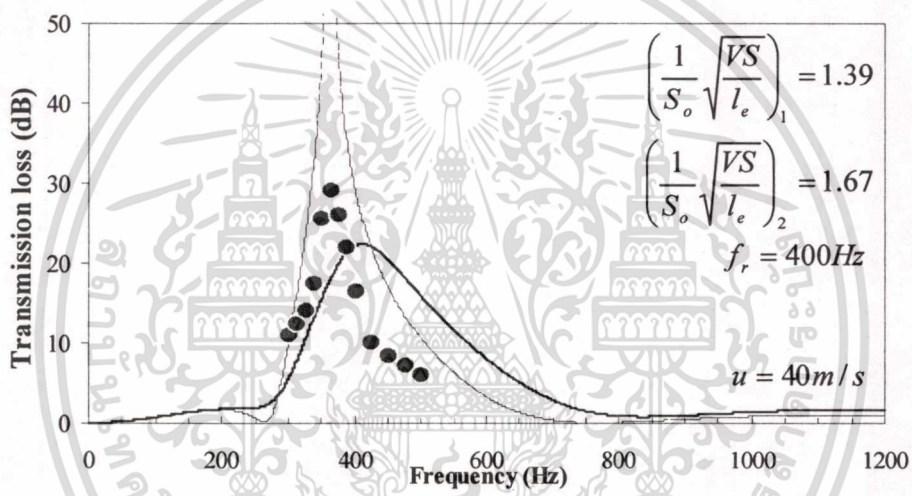
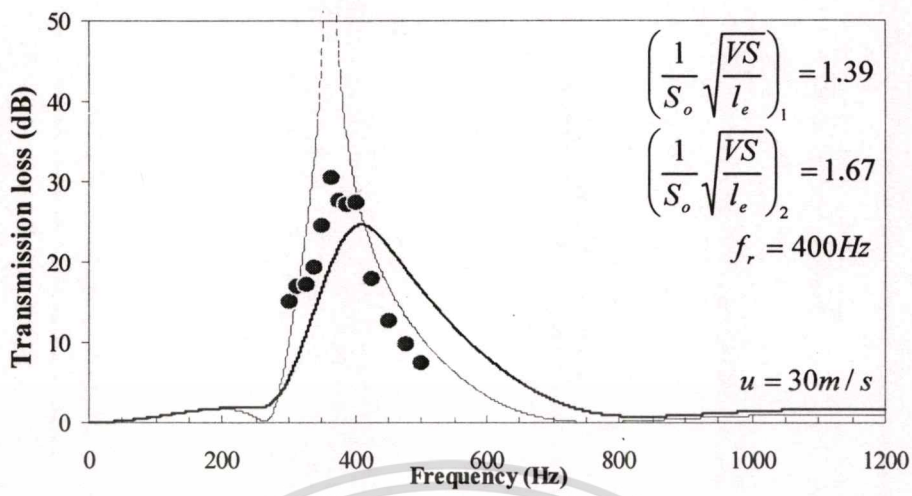
รูปที่ 5.25 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 1.39$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

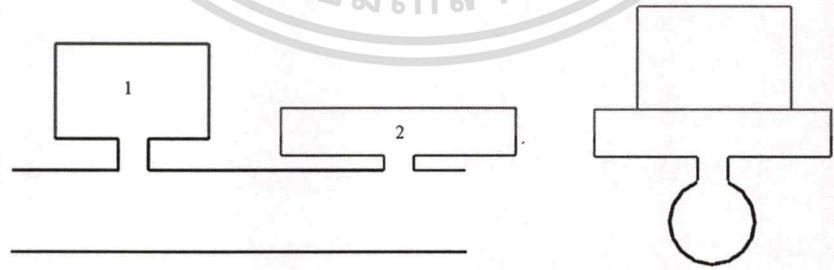
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



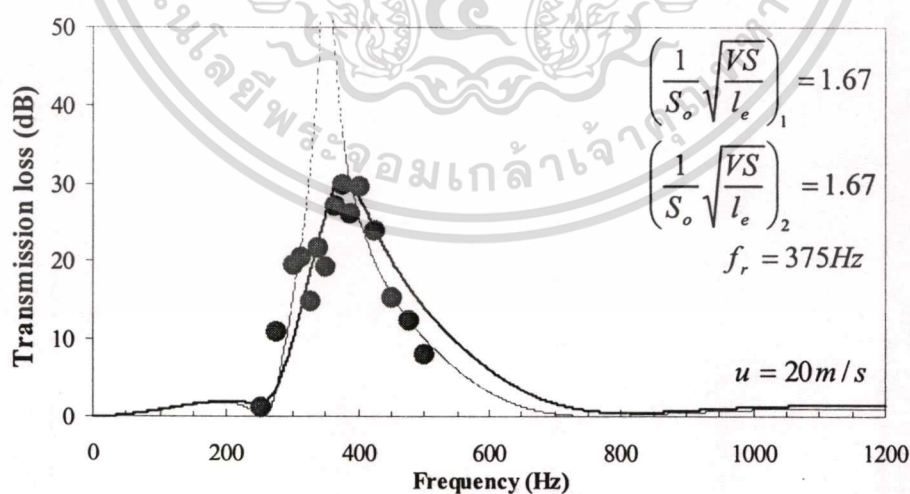
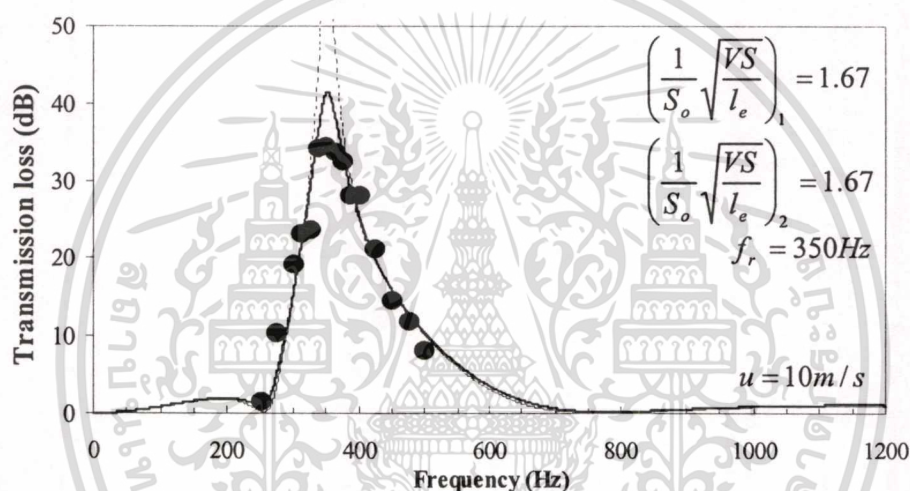
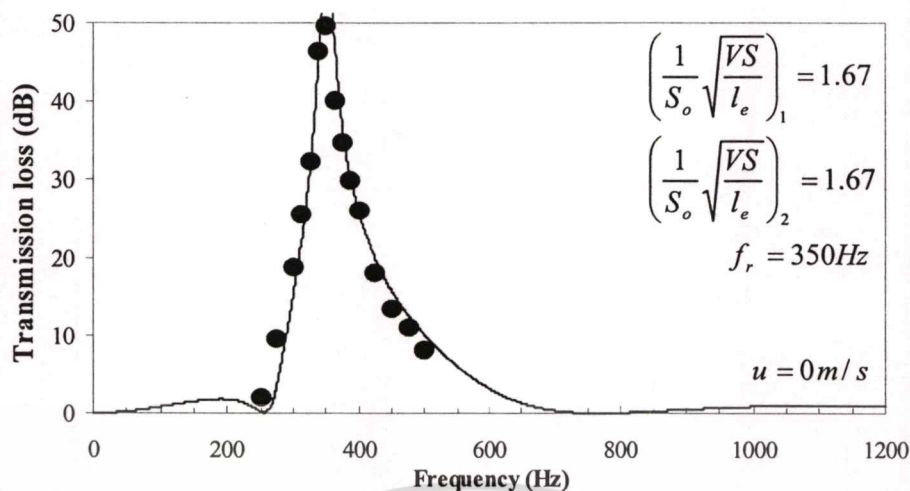
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ M≠0
 - - - ผลการคำนวณ M=0



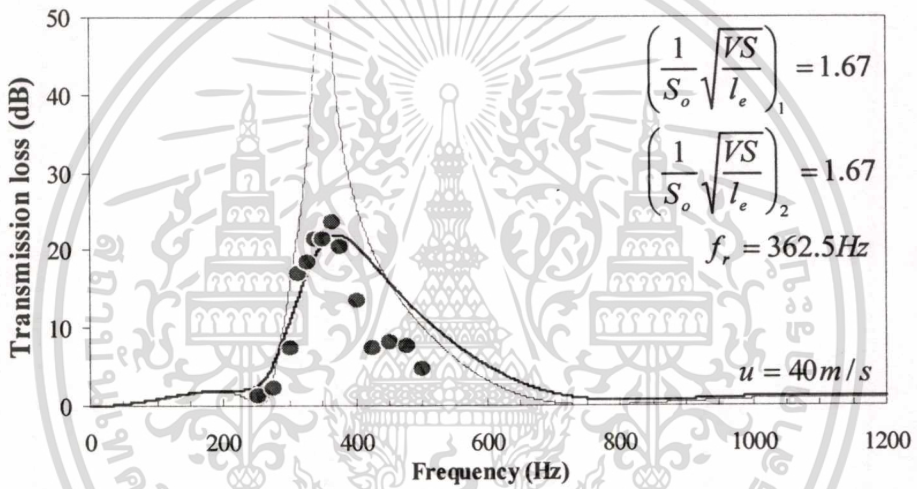
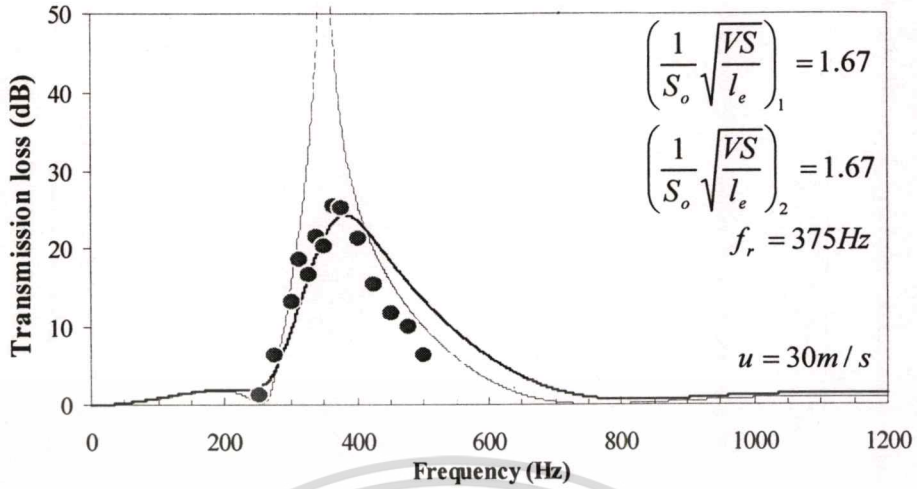
รูปที่ 5.26 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 1.39$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

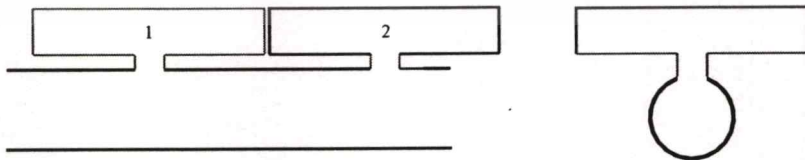
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$

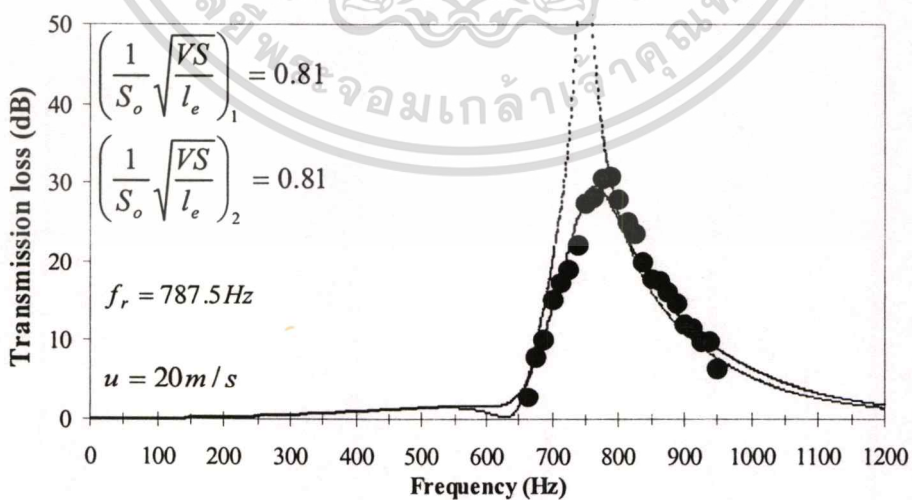
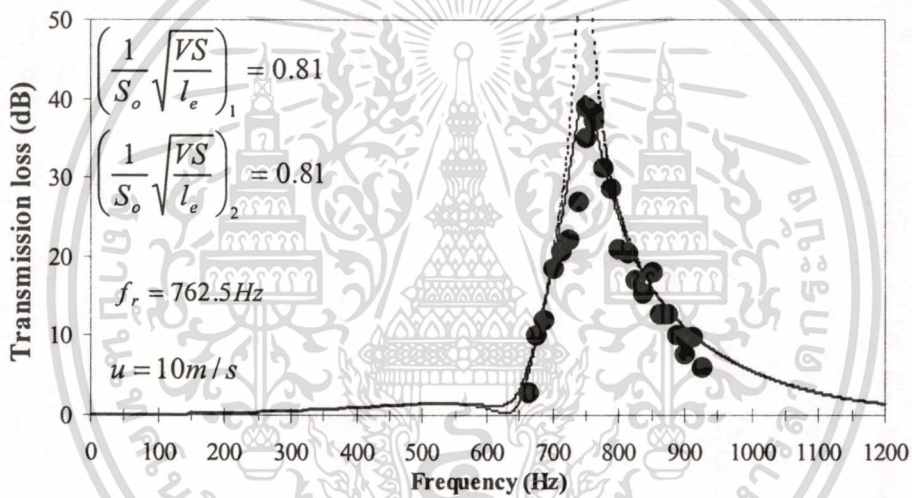
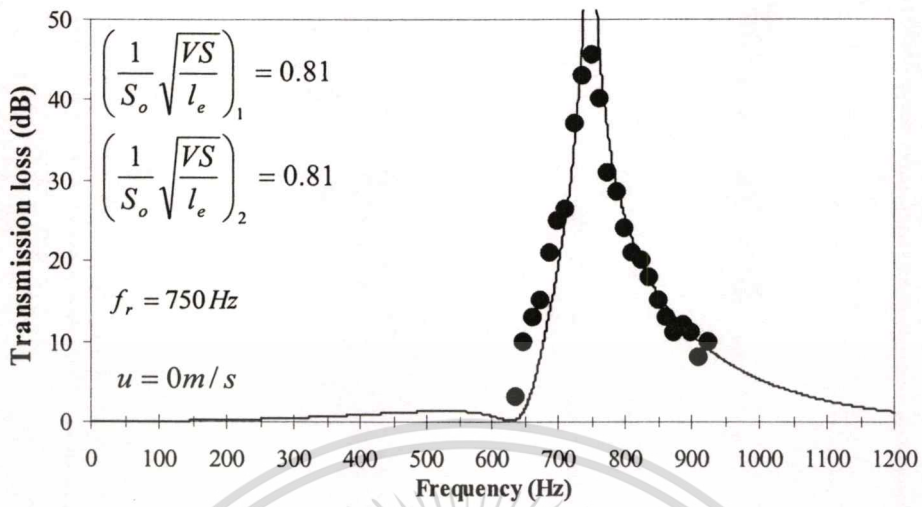


รูปที่ 5.27 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 1.67$ และ

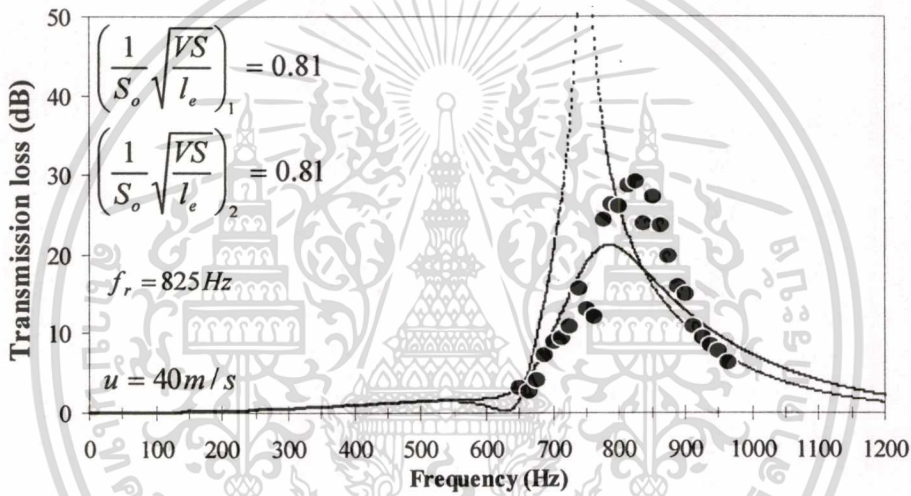
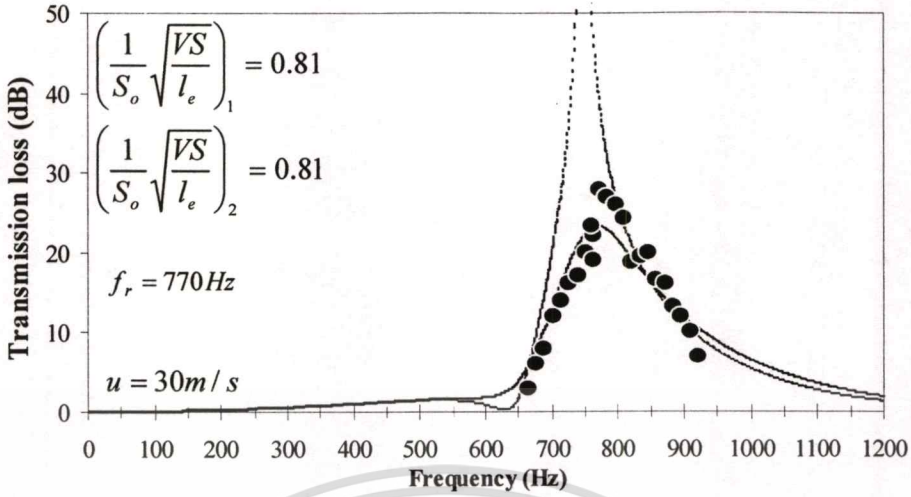
$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

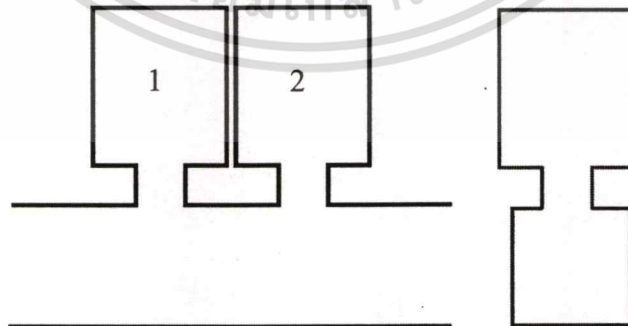
5.2.2 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งบนท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



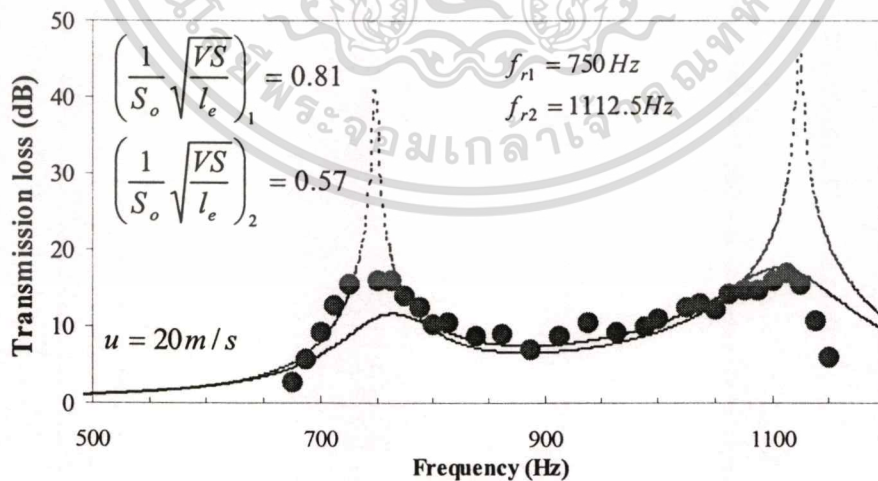
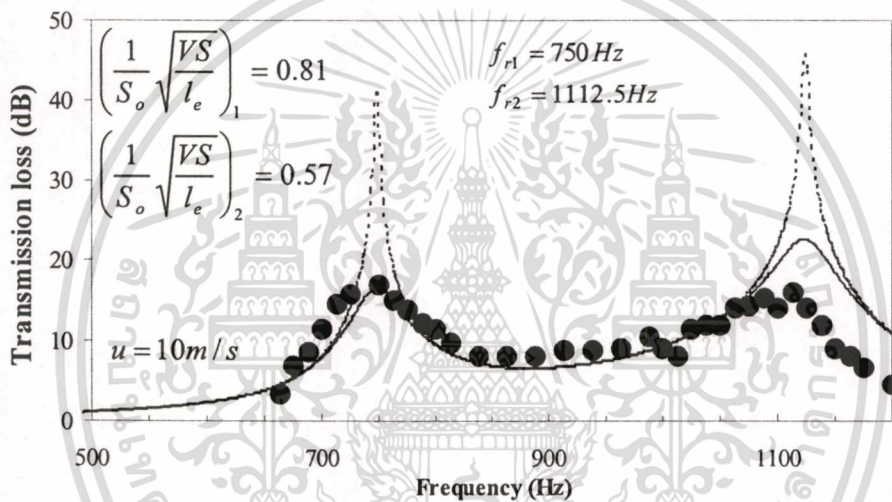
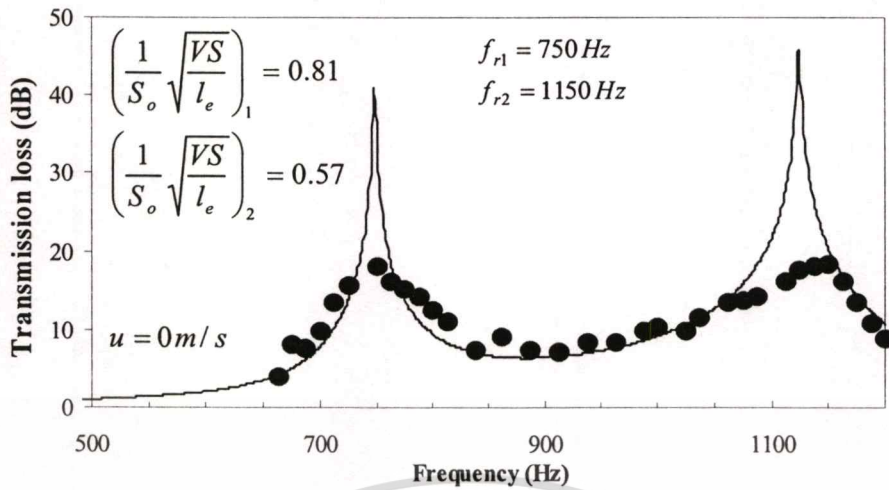
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



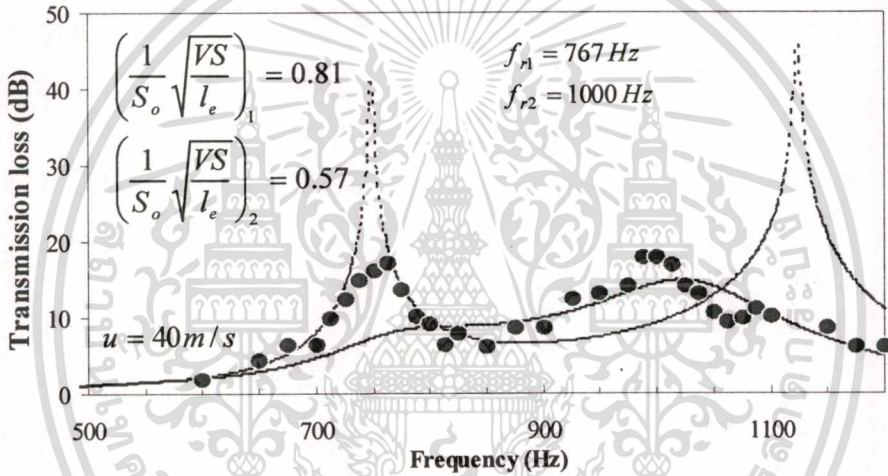
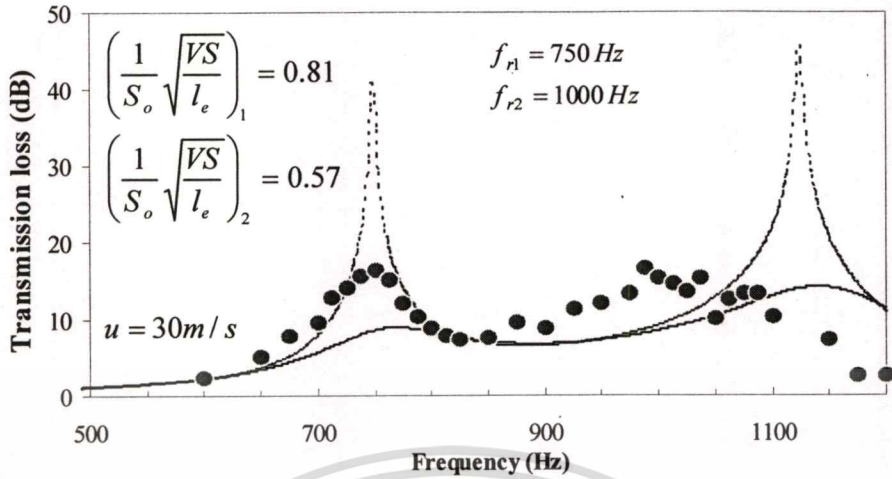
รูปที่ 5.28 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 0.81$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 0.81 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.06 \text{ เมตร}$$

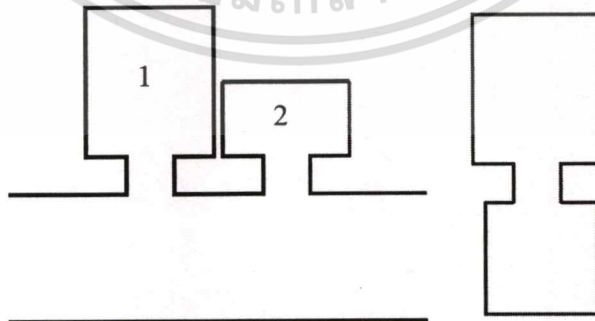
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



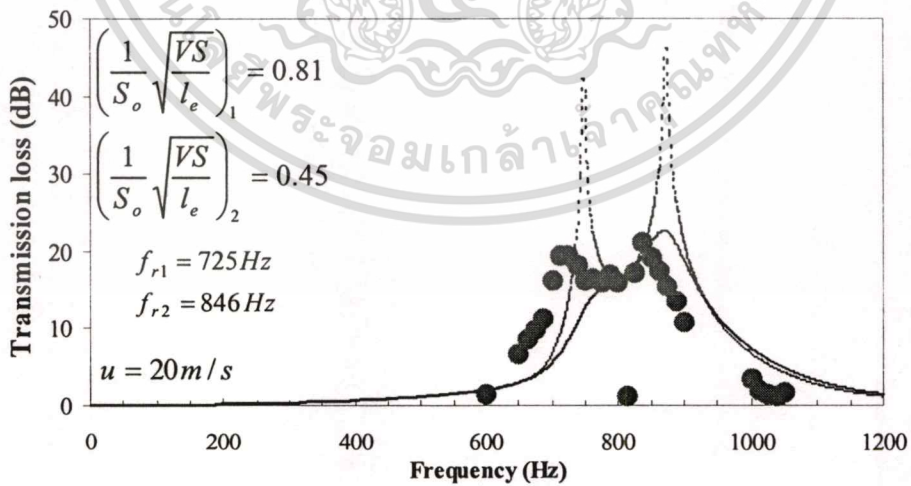
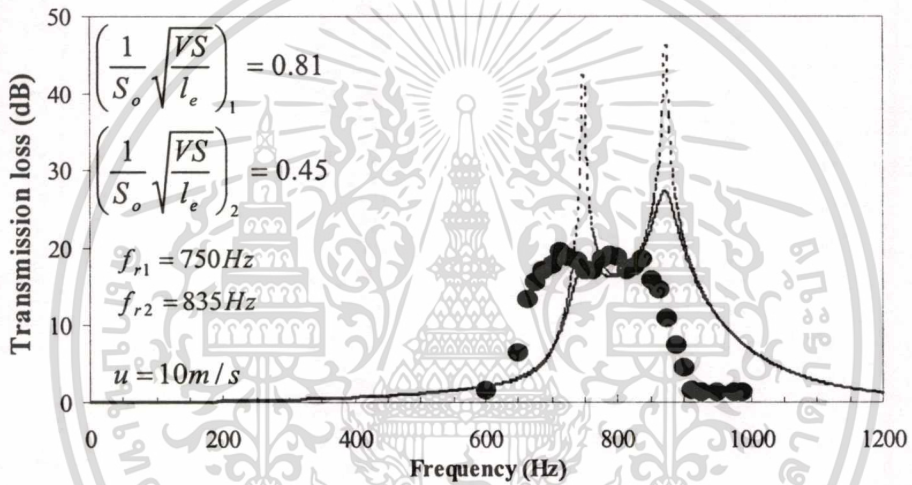
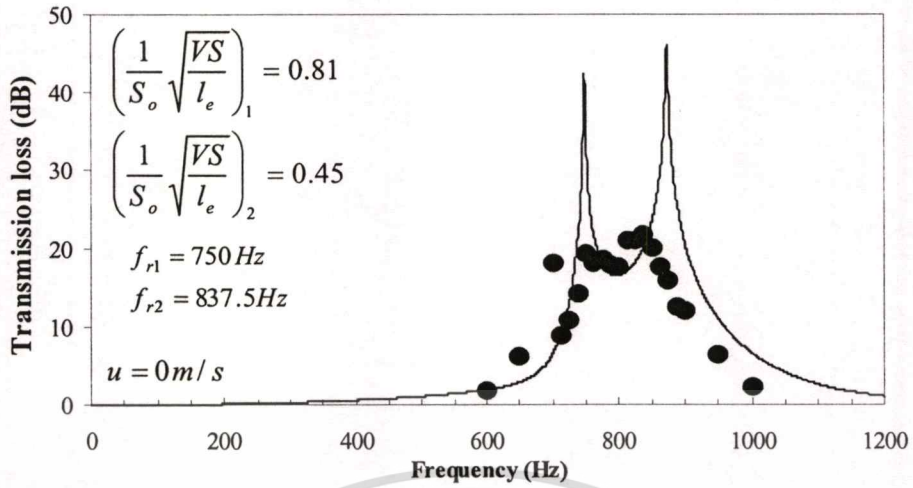
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



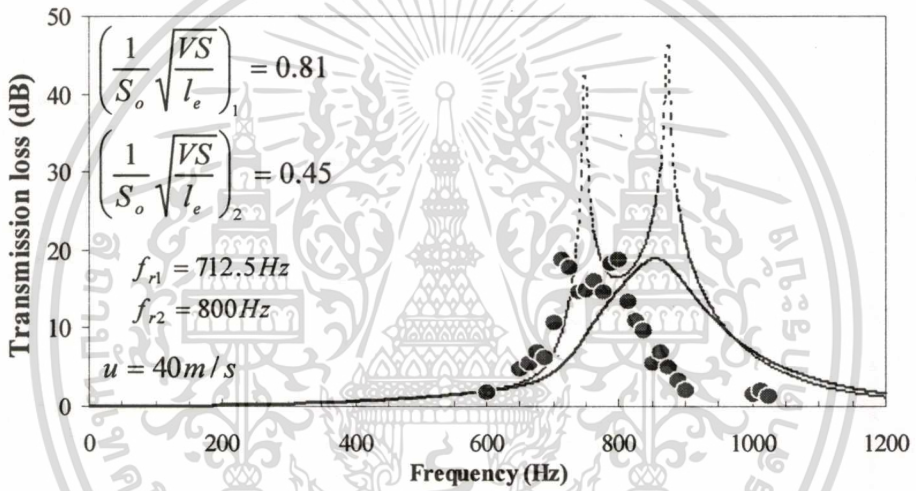
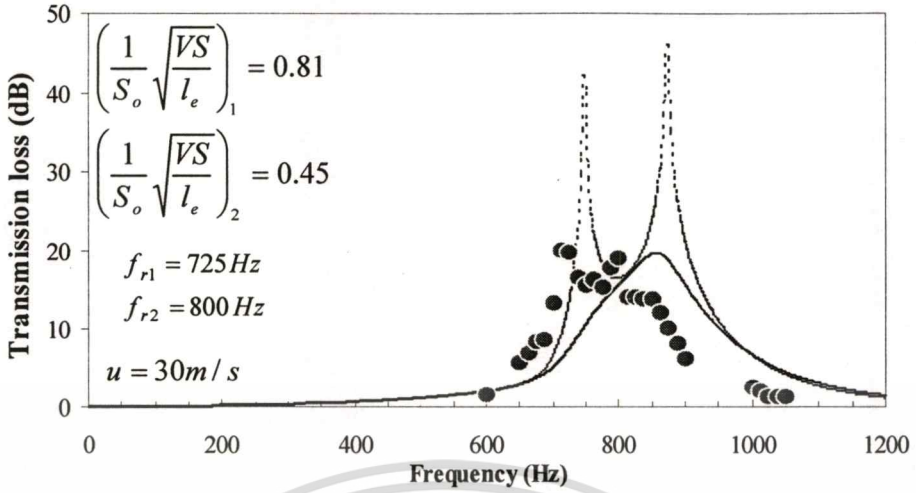
รูปที่ 5.29 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.81$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

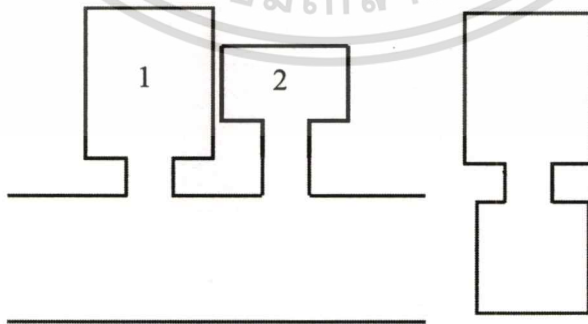
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



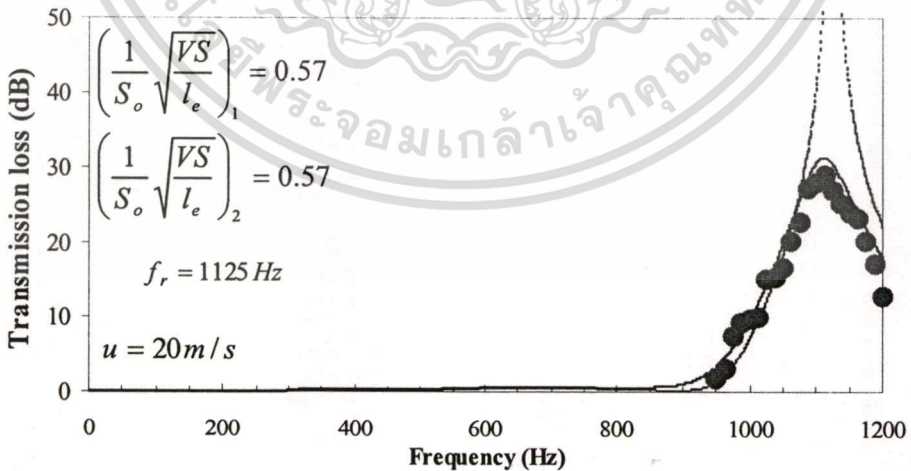
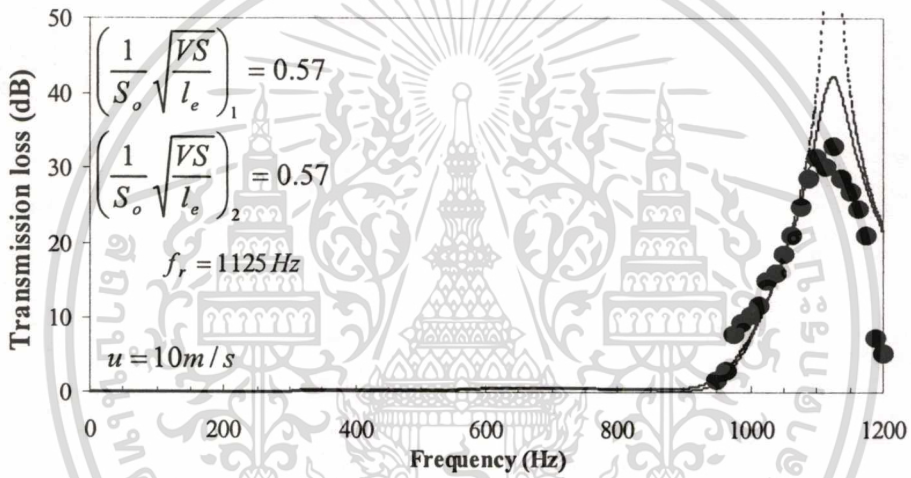
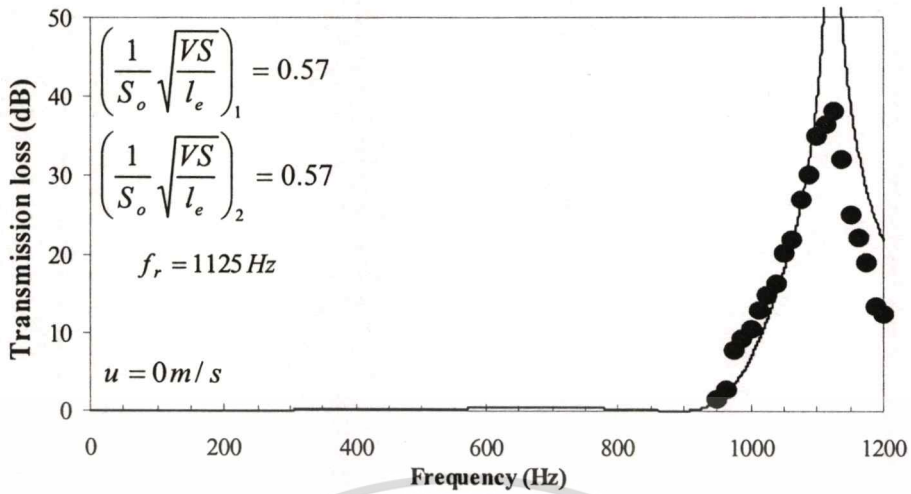
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



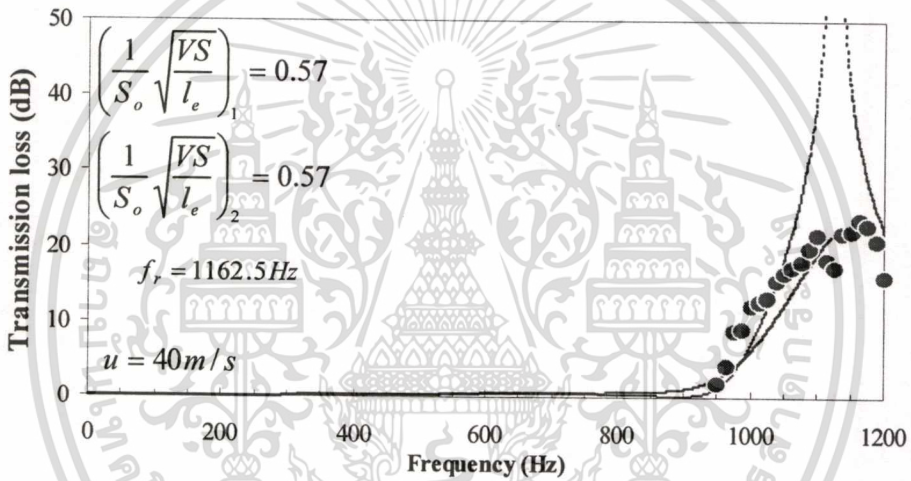
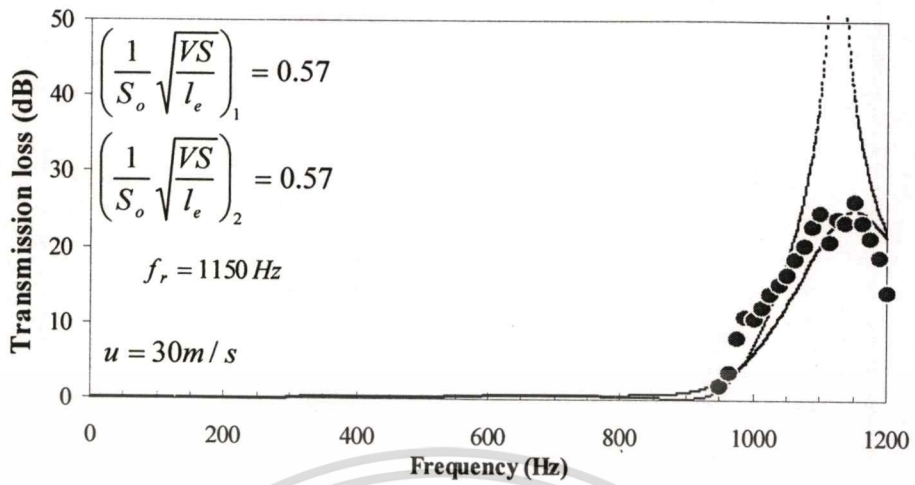
รูปที่ 5.30 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.81$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

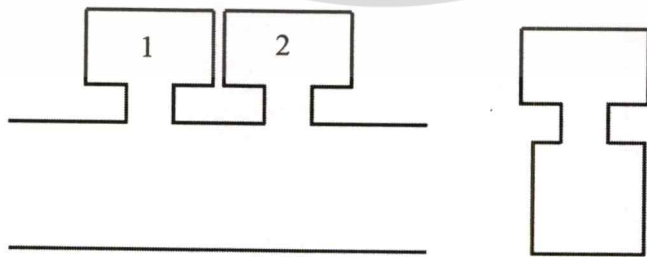
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



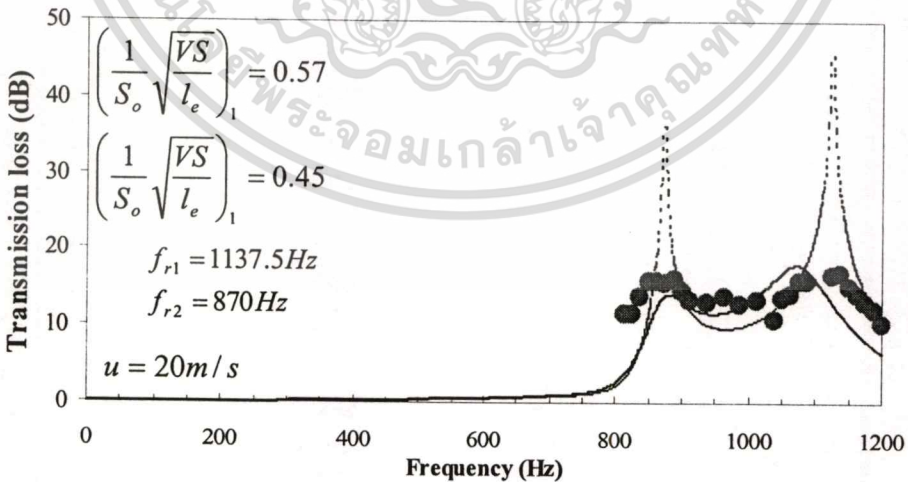
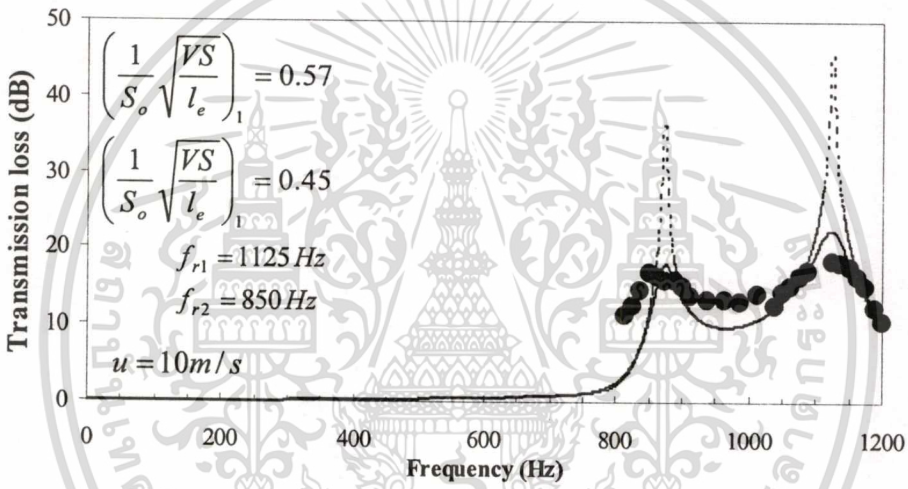
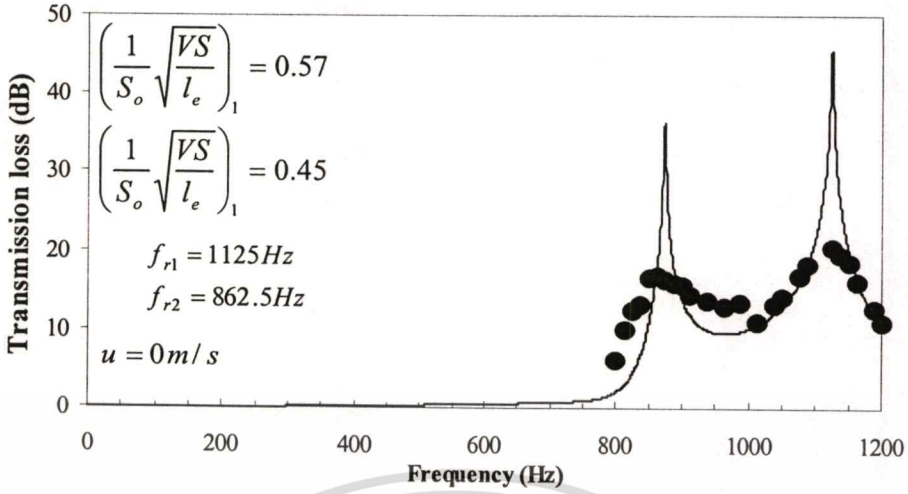
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



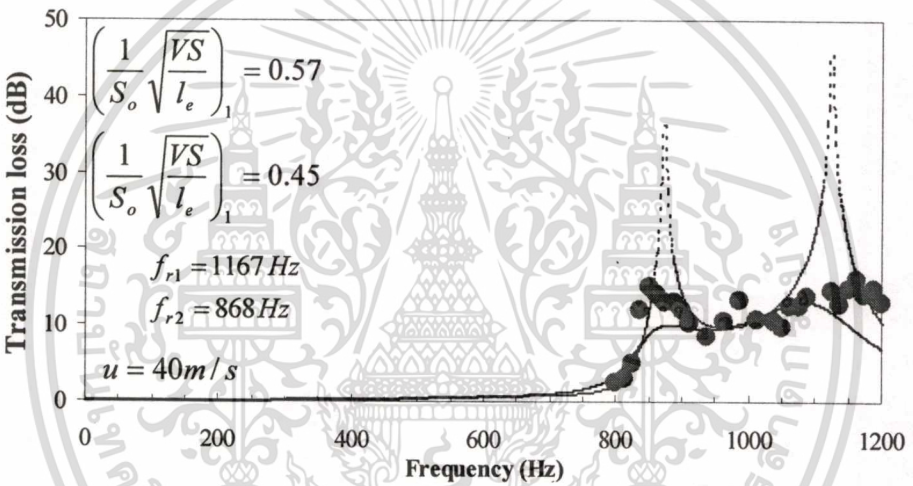
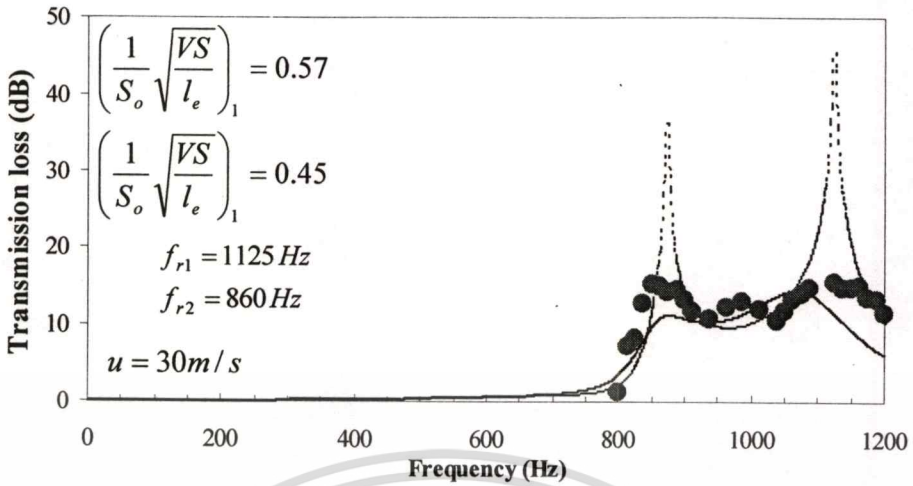
รูปที่ 5.31 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.57$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.57$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

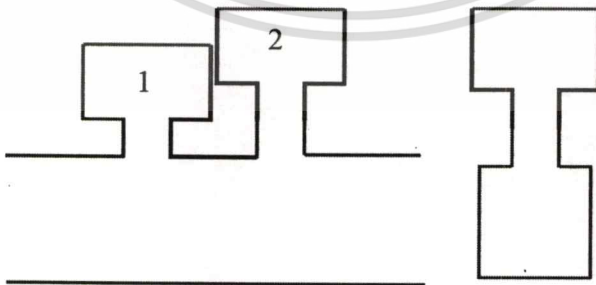
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



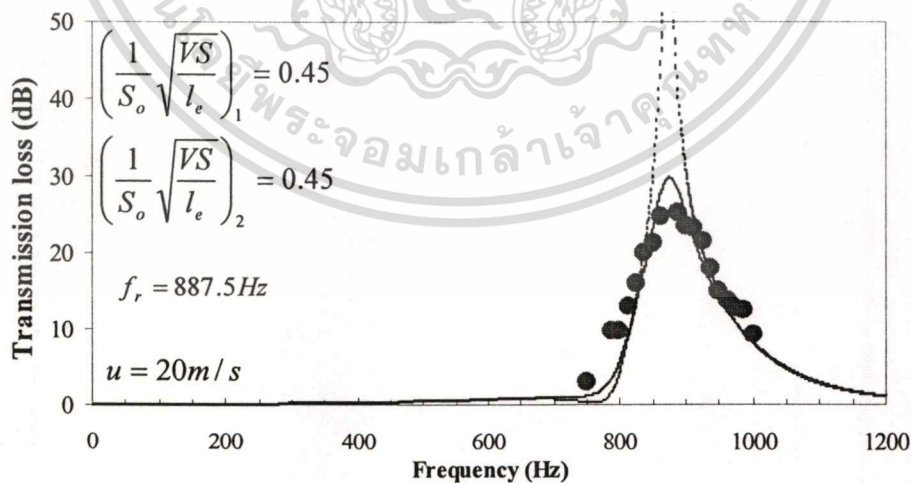
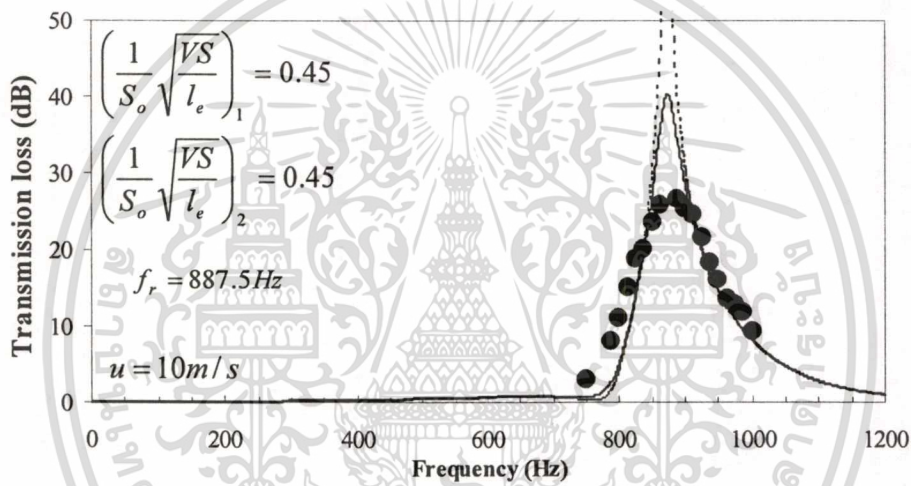
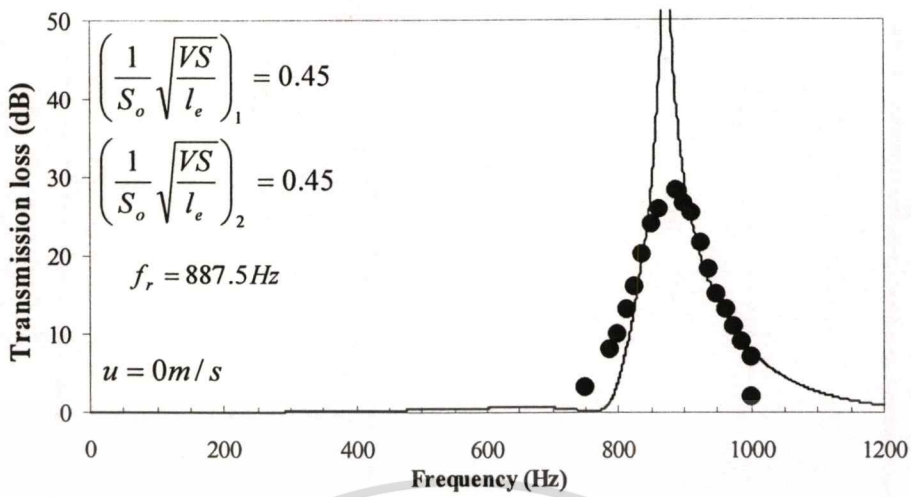
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ $M \neq 0$
- - - ผลการคำนวณ $M = 0$



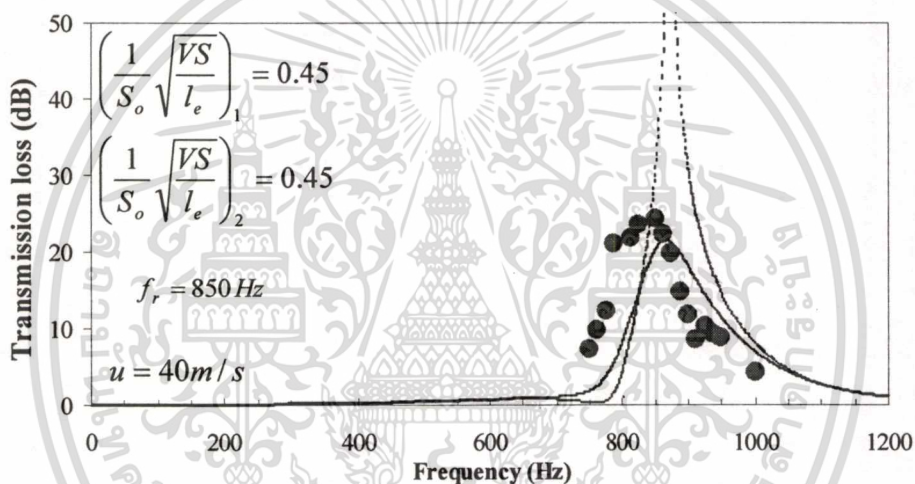
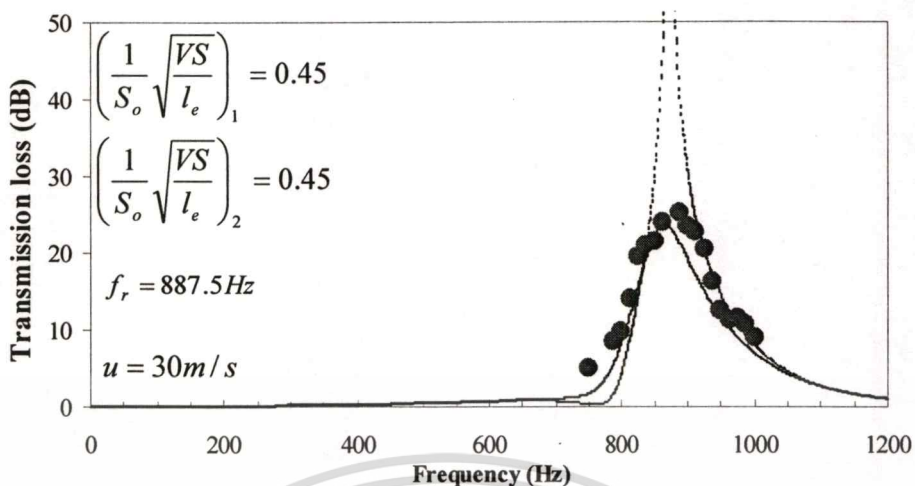
รูปที่ 5.32 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.57$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.06 เมตร

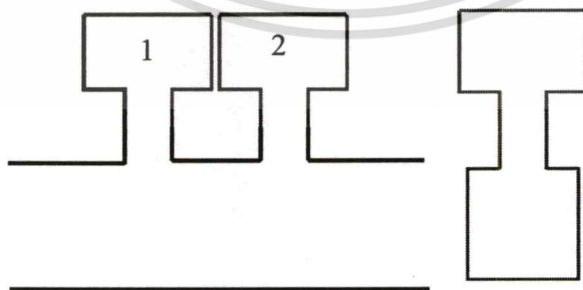
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



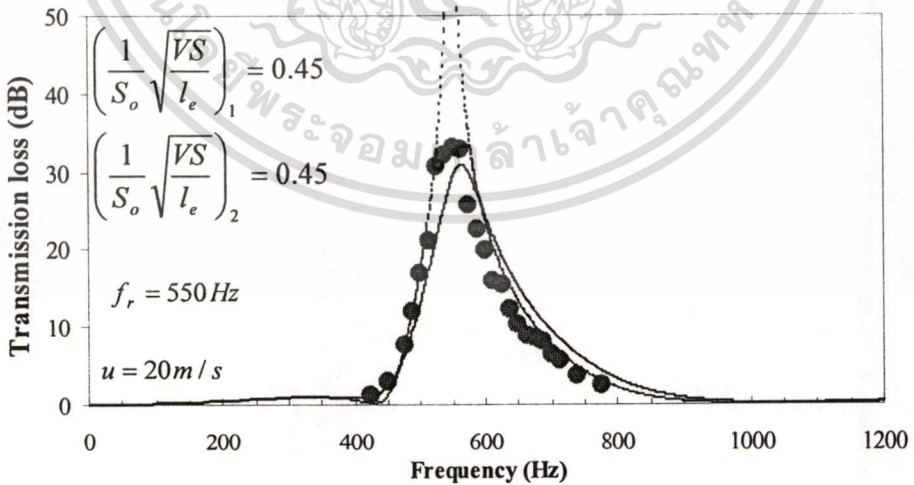
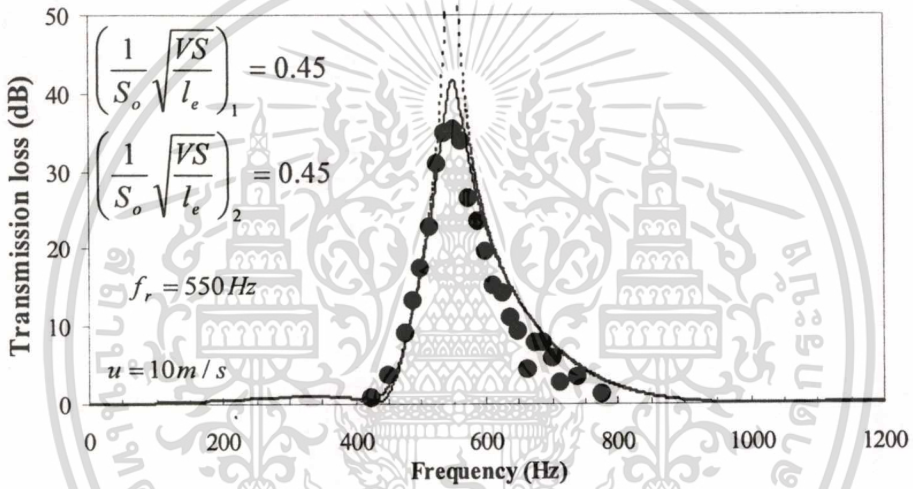
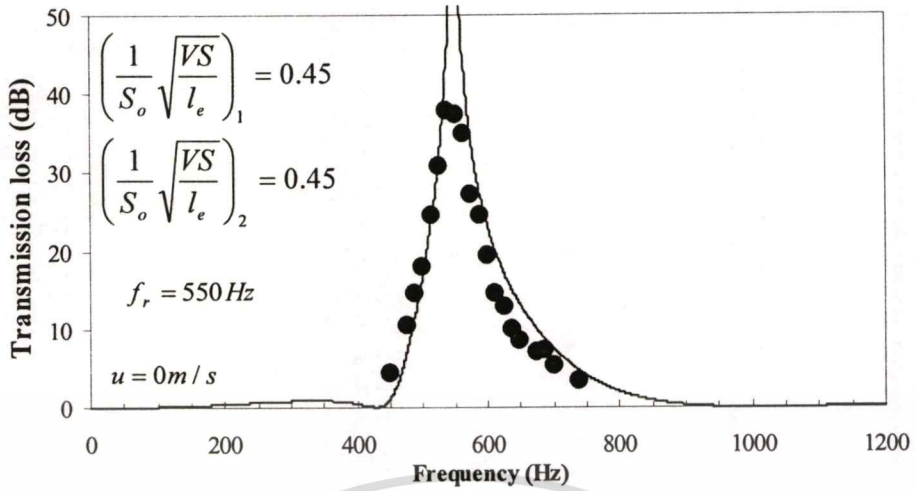
- ผลการทดลอง
- ผลการคำนวณ M≠0
- - - ผลการคำนวณ M=0



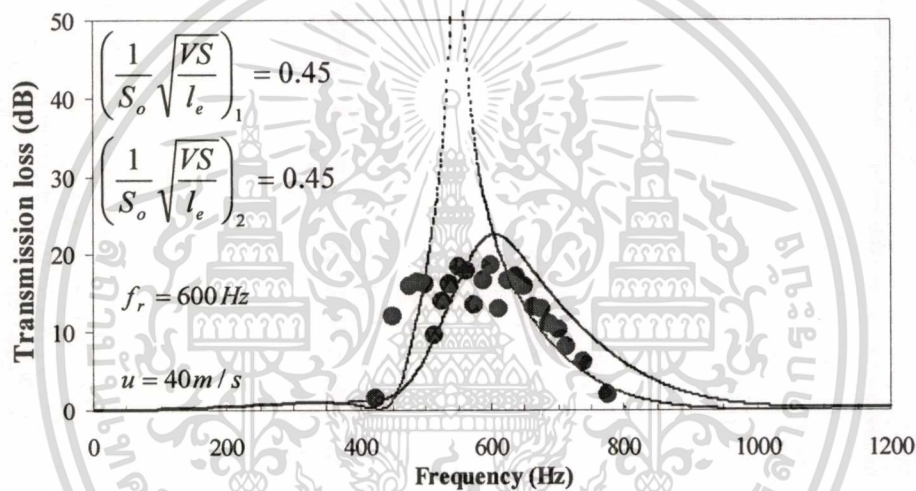
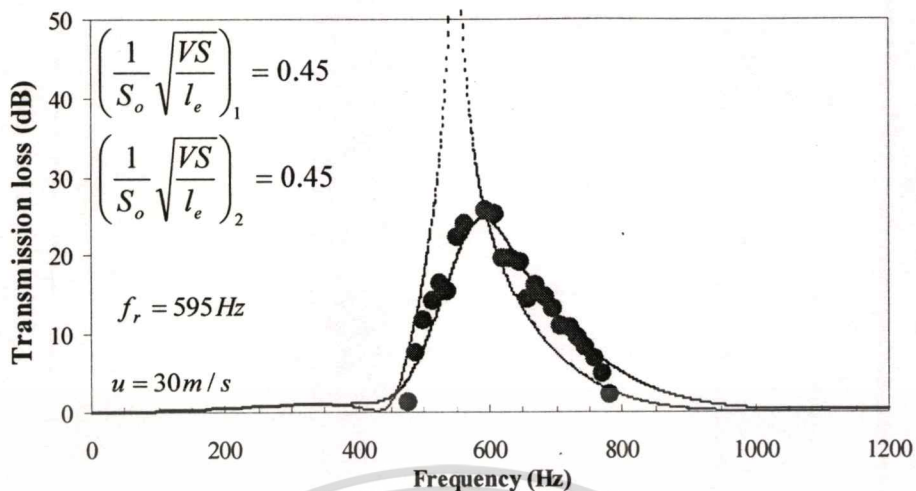
รูปที่ 5.33 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 0.45$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 0.45 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.06 \text{ เมตร}$$

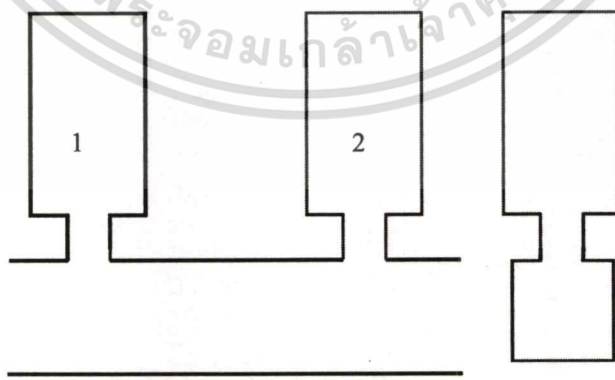
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



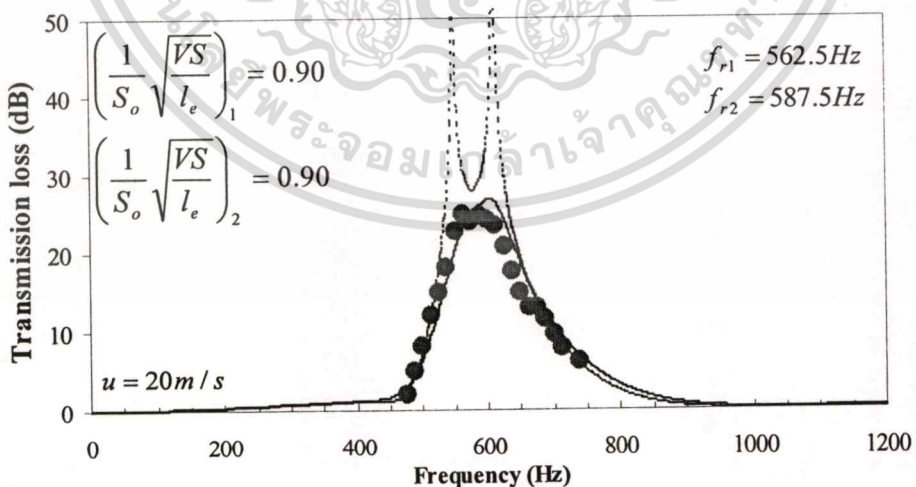
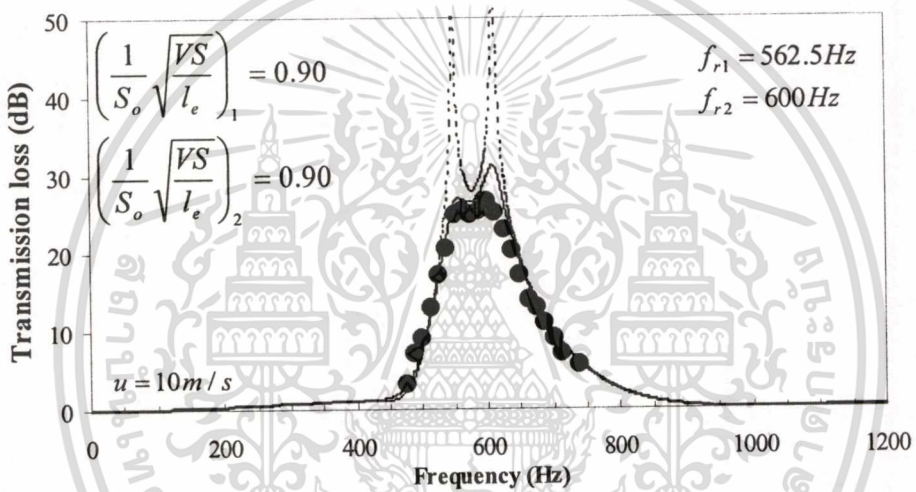
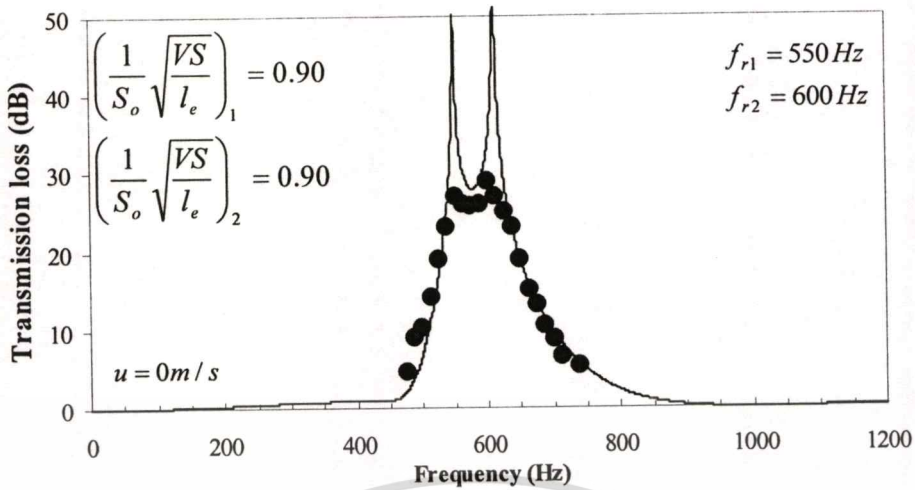
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



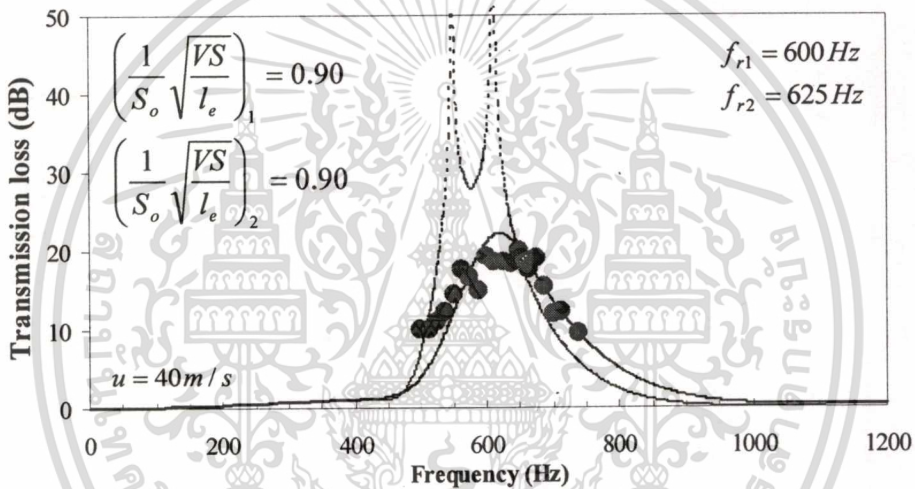
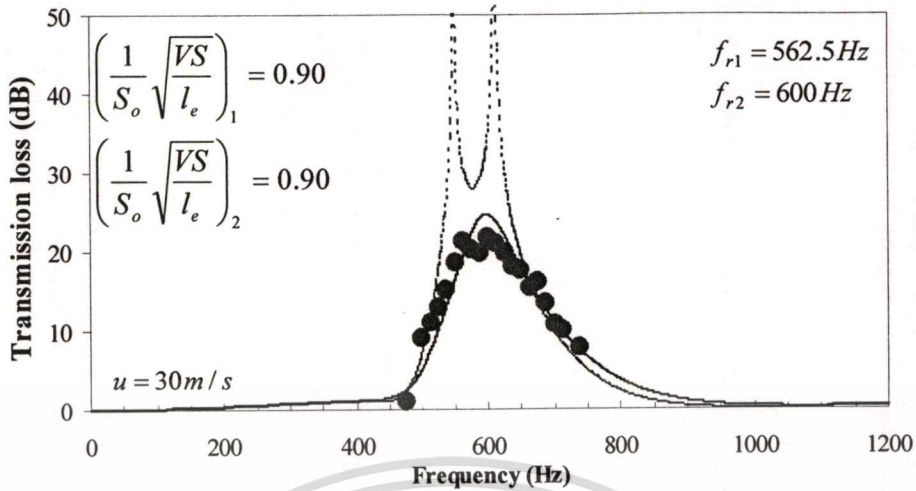
รูปที่ 5.34 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.90$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

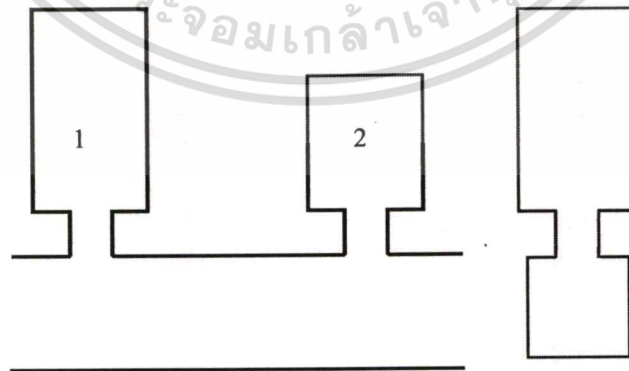
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



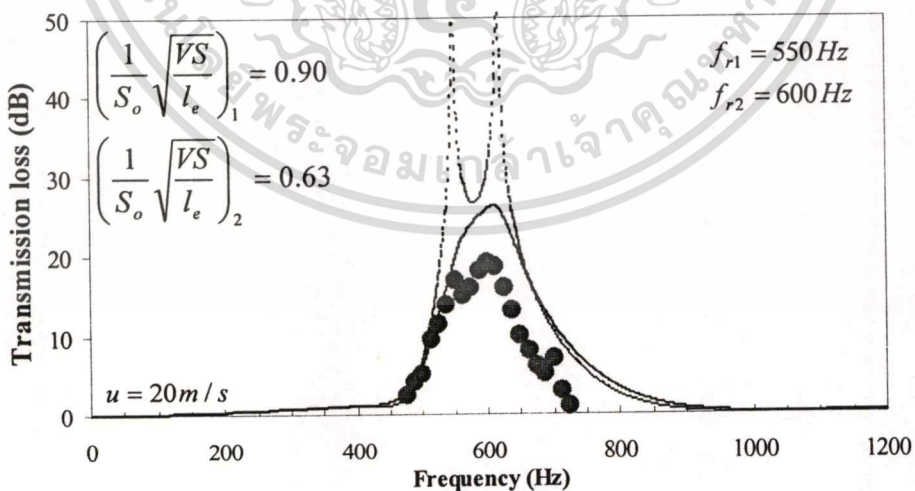
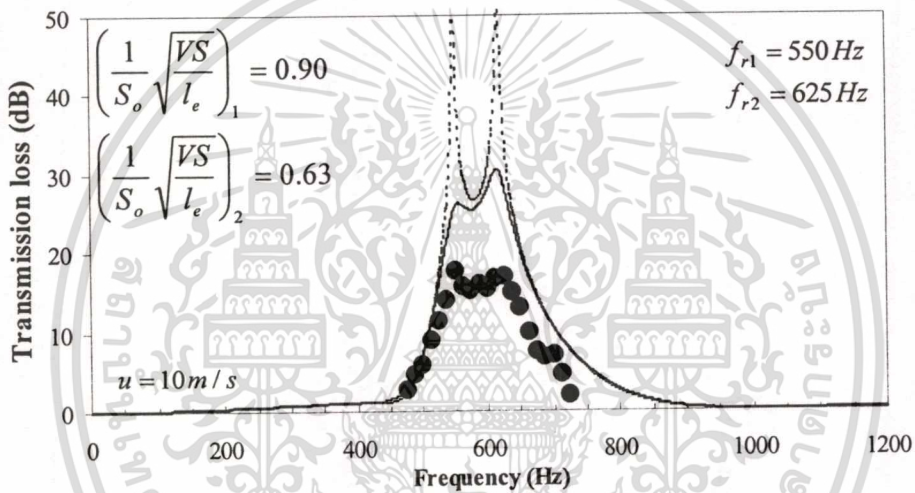
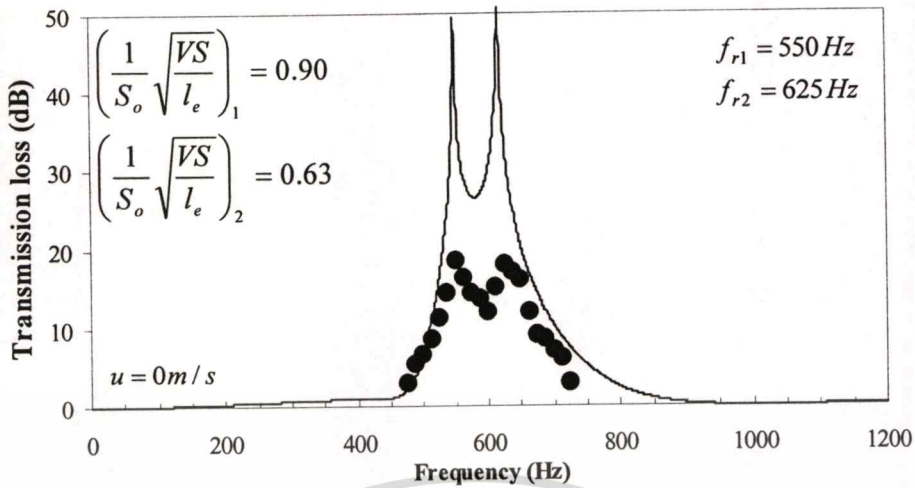
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ M ≠ 0
 - - - ผลการคำนวณ M = 0



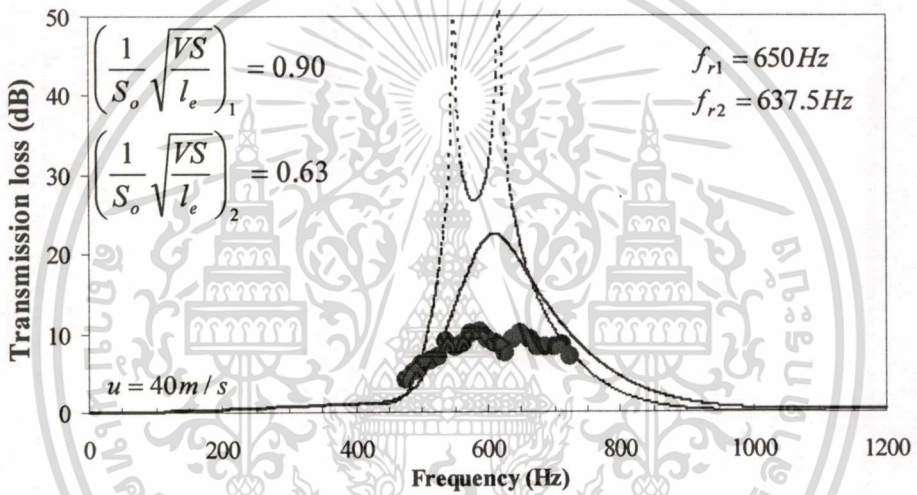
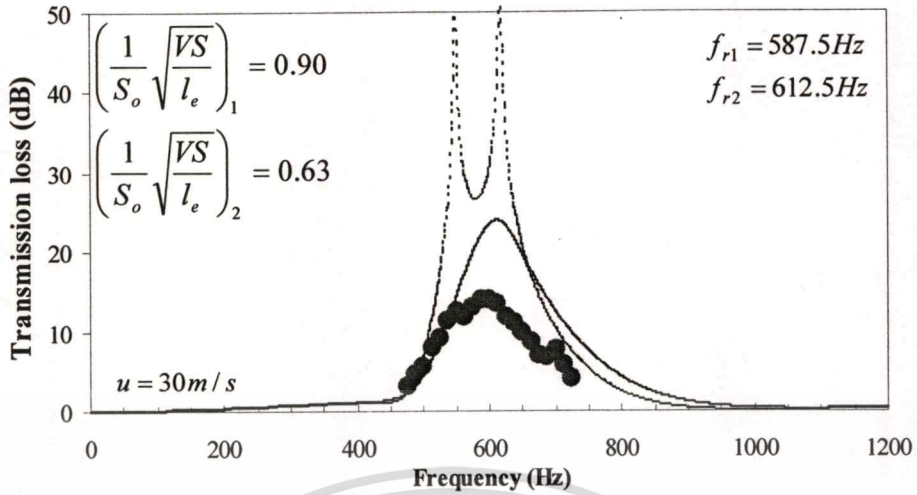
รูปที่ 5.35 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_1 = 0.90$ และ

$$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{VS}\right)_2 = 0.63 \text{ ที่ระยะห่าง } 0.105 \text{ เมตร}$$

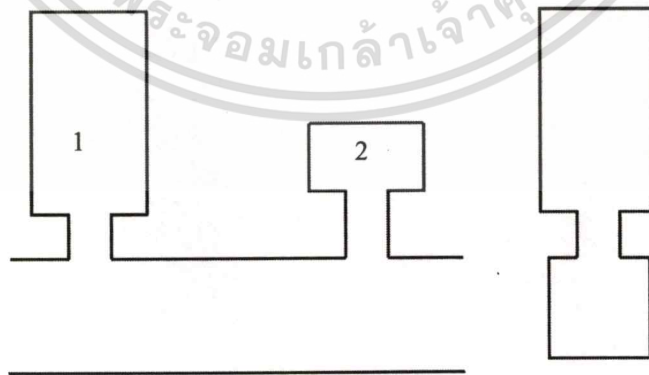
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



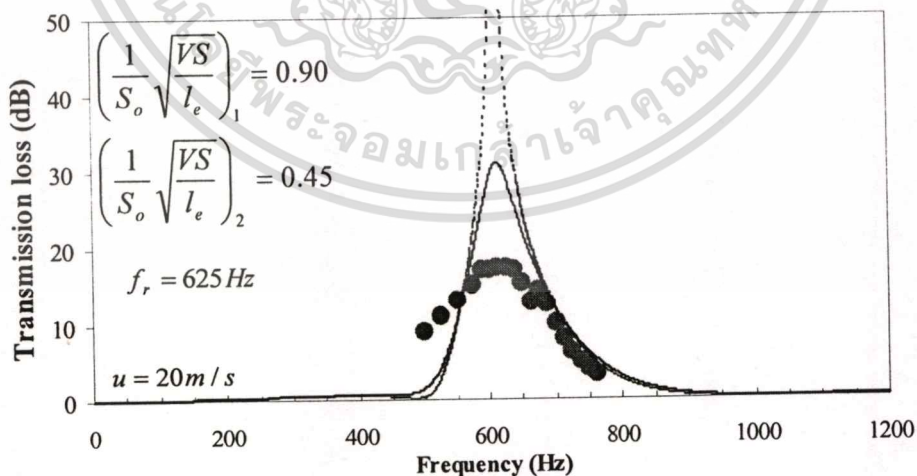
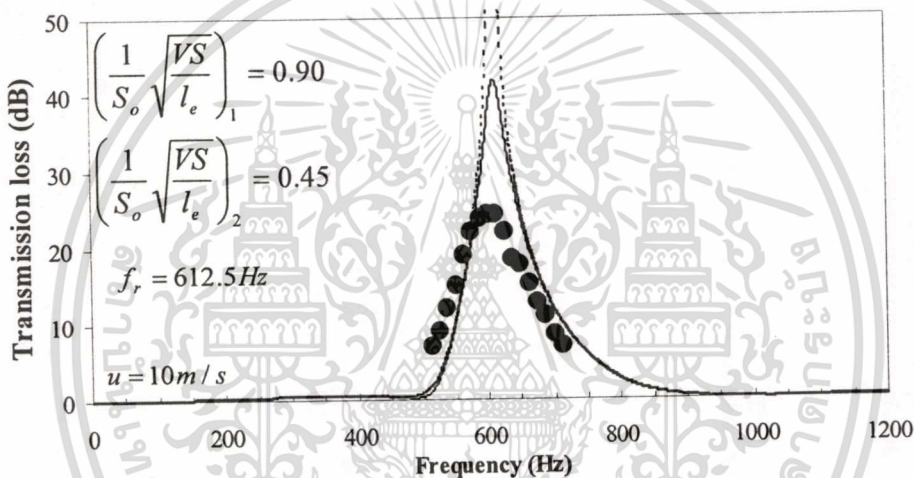
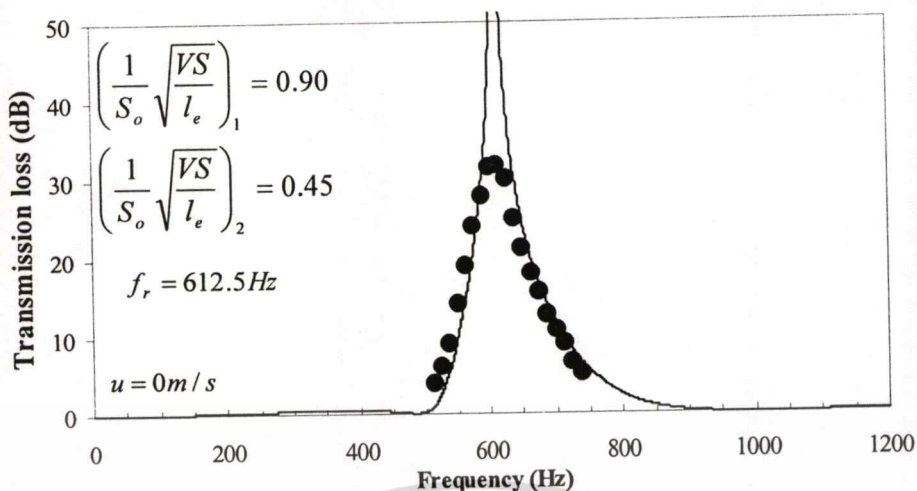
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



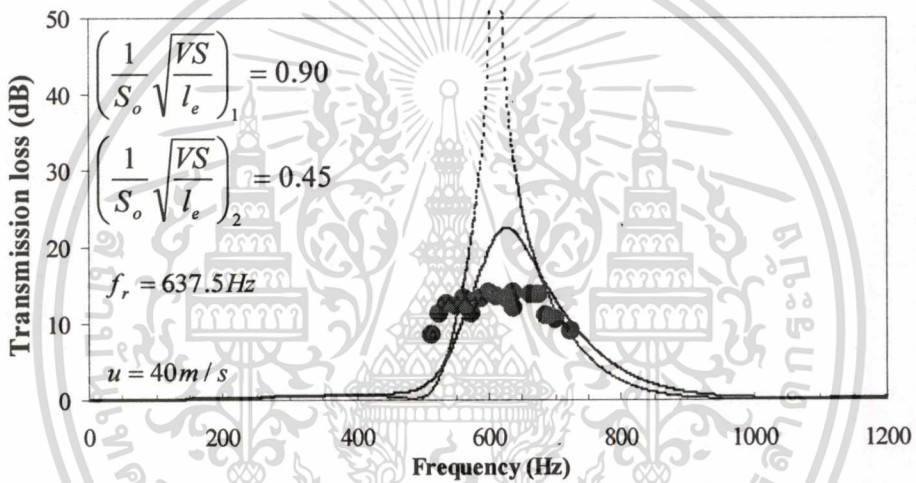
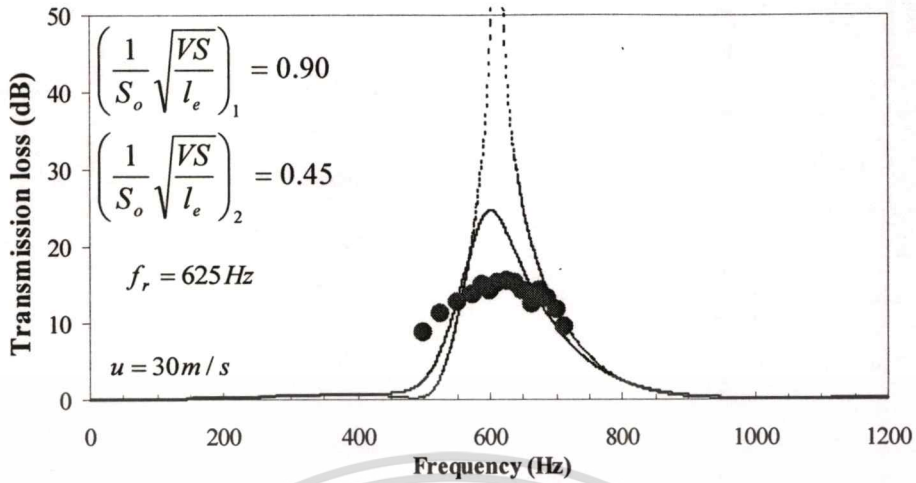
รูปที่ 5.36 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

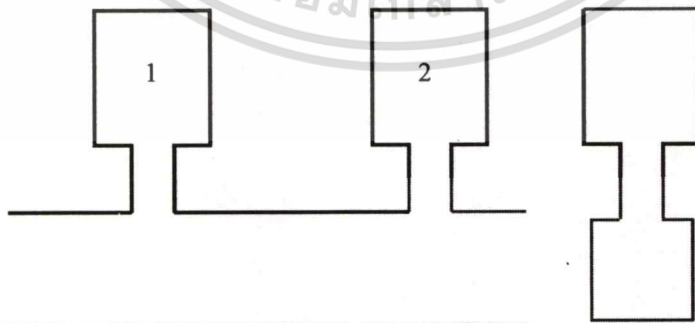
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



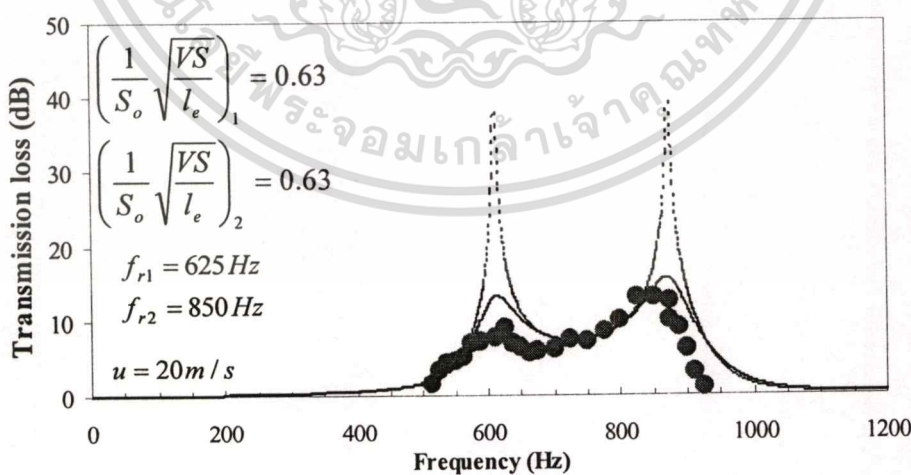
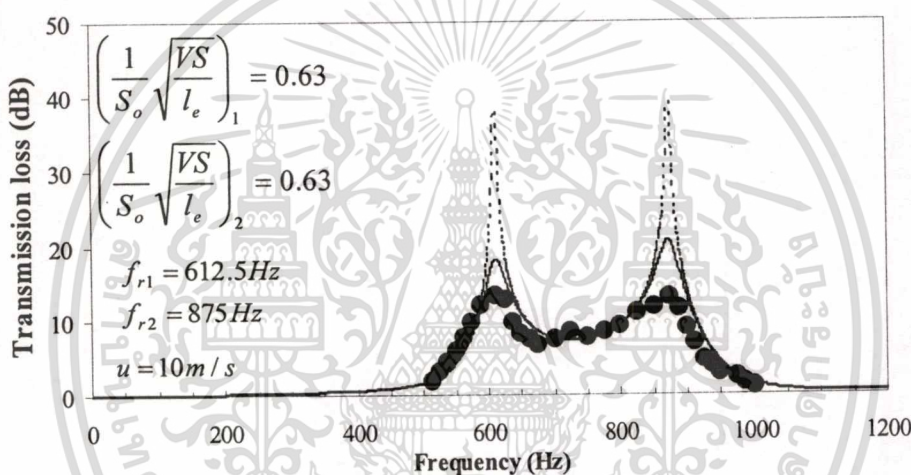
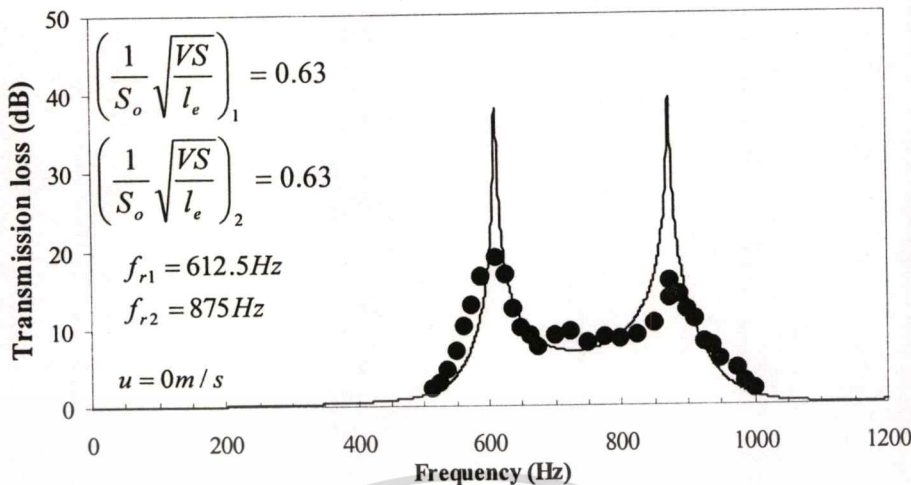
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



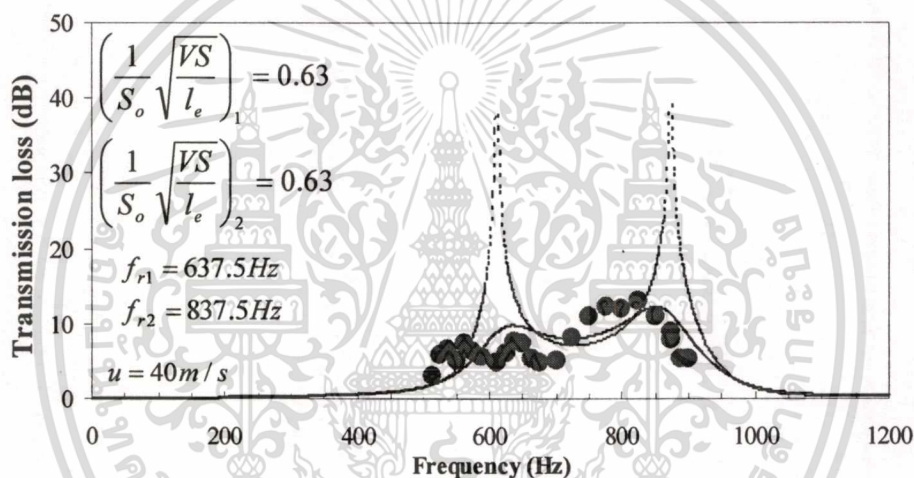
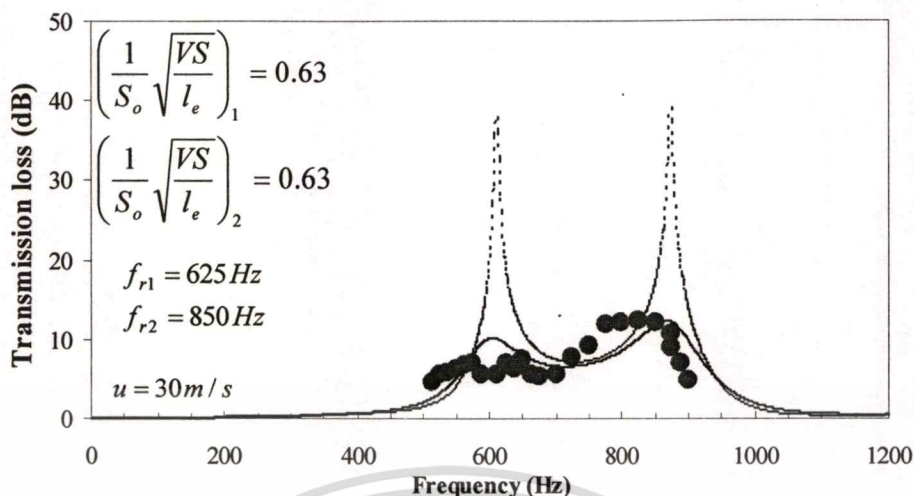
รูปที่ 5.37 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

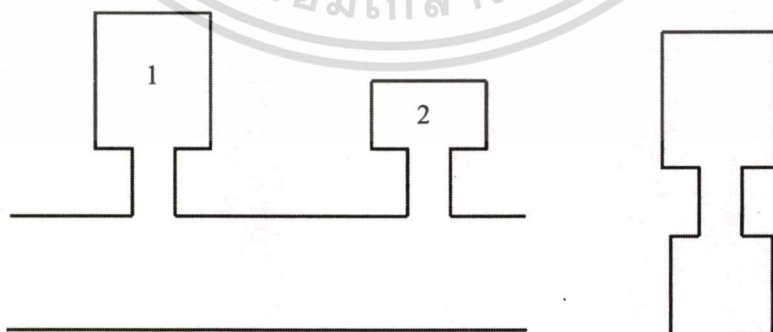
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



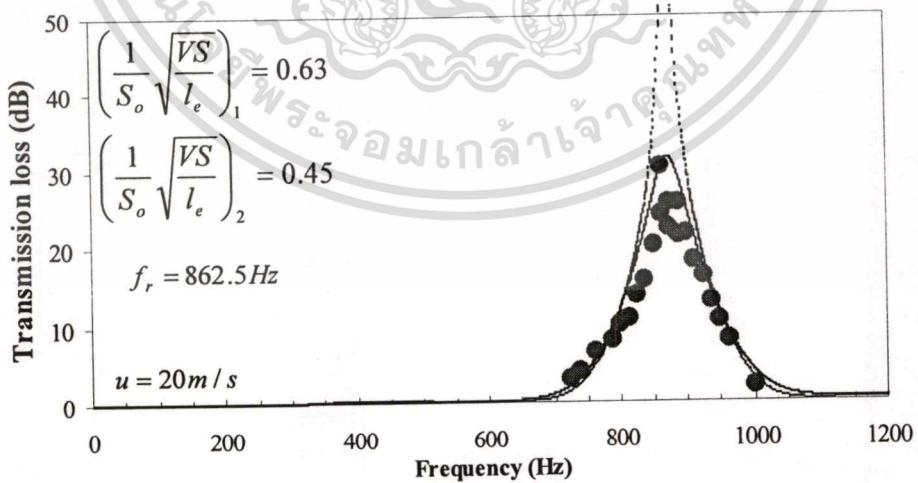
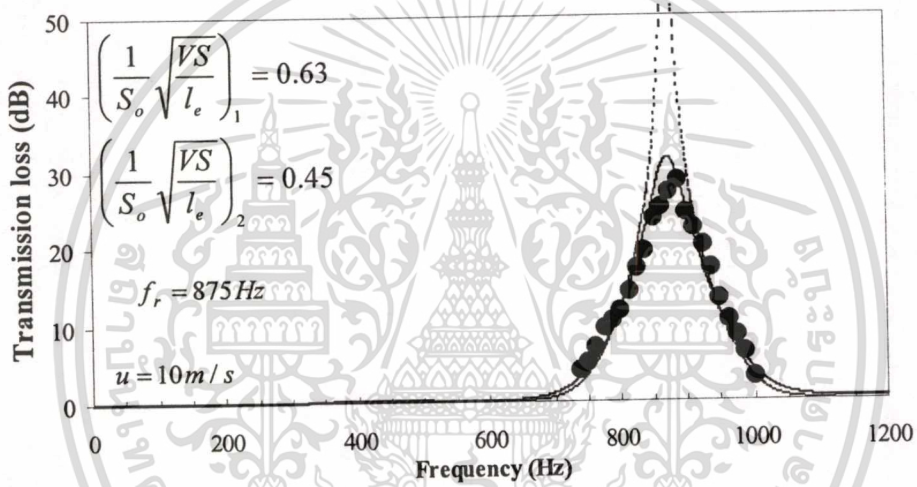
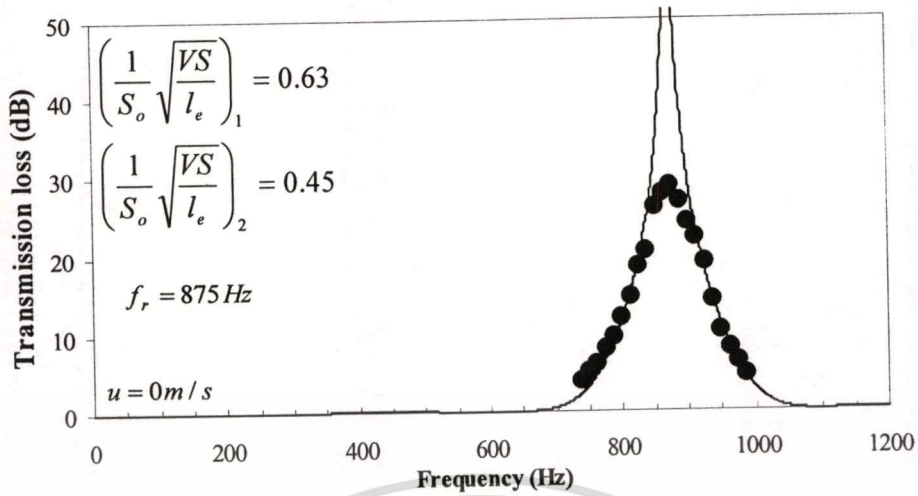
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



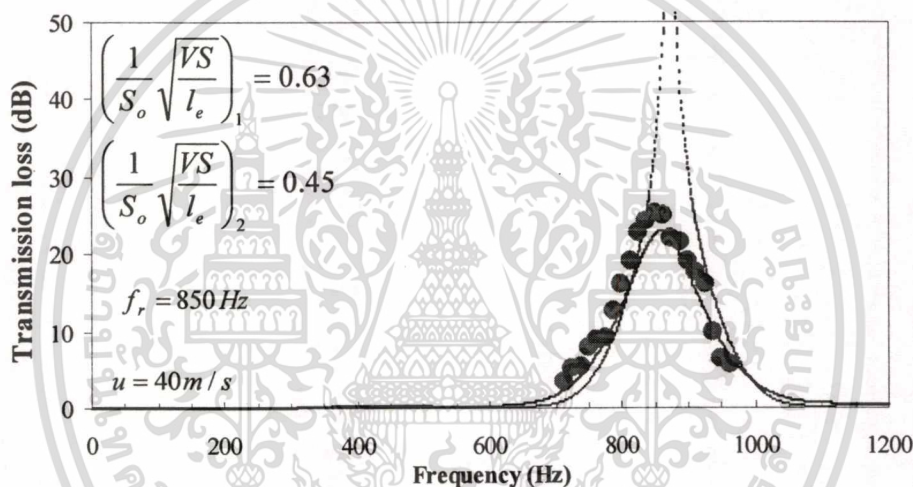
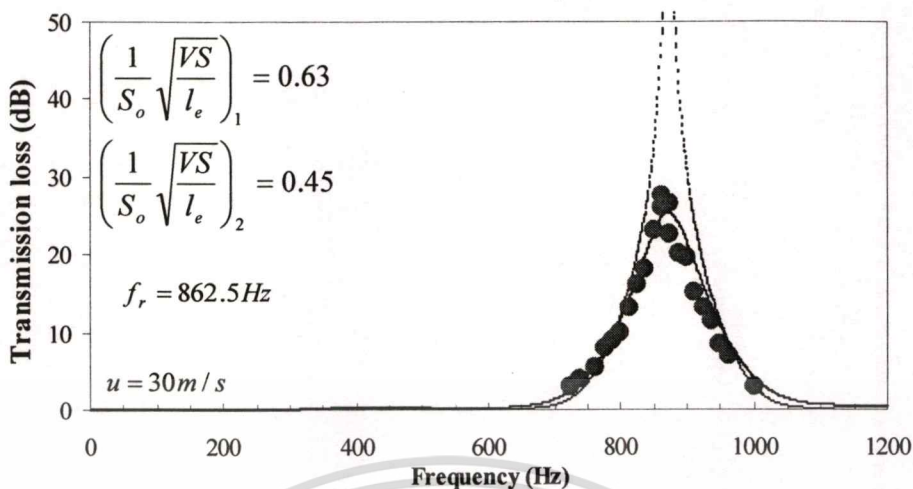
รูปที่ 5.38 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

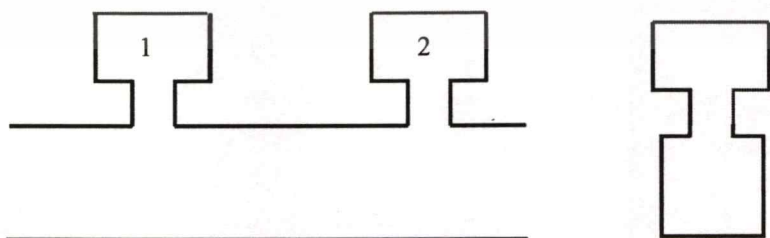
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



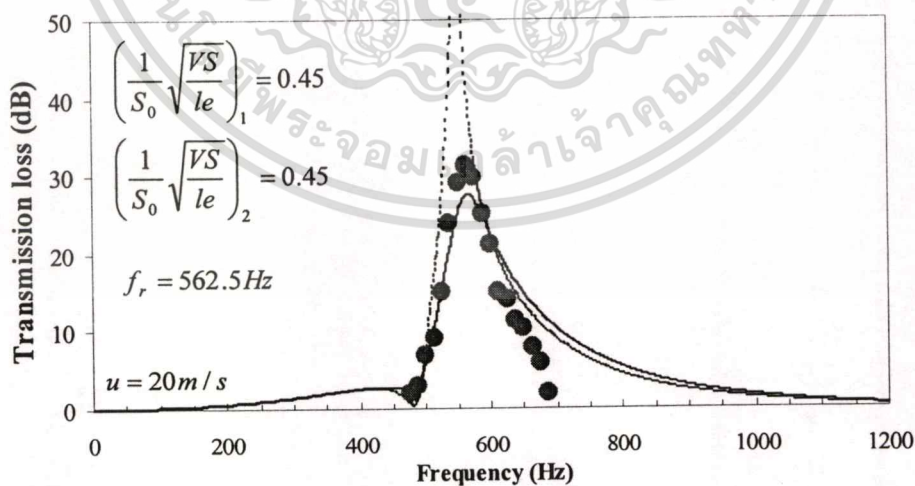
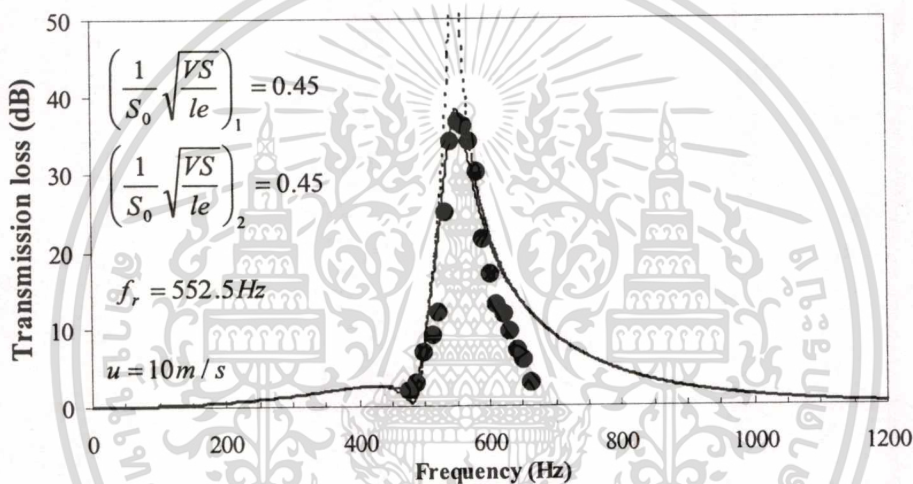
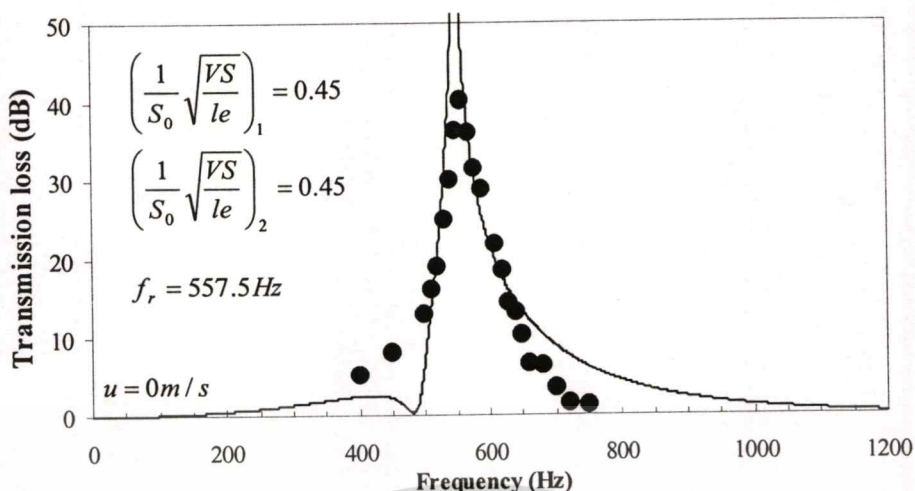
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



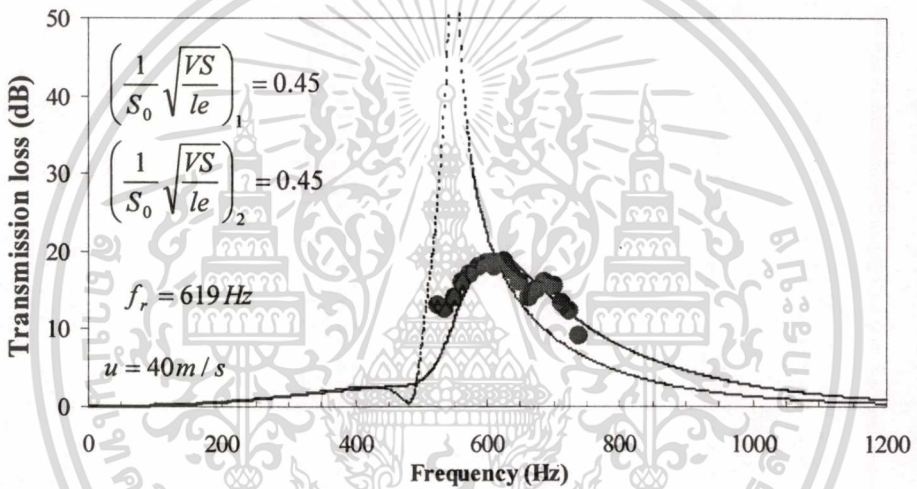
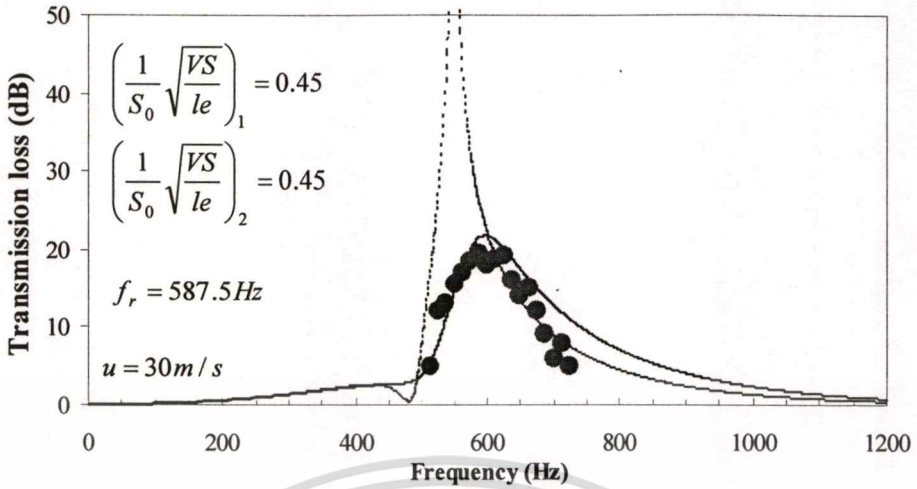
รูปที่ 5.39 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_1 = 0.81$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{l_e}}\right)_2 = 0.81$ ที่ระยะห่าง 0.1050 เมตร

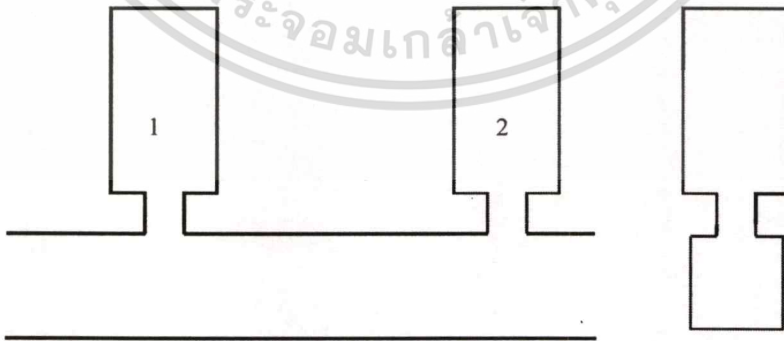
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



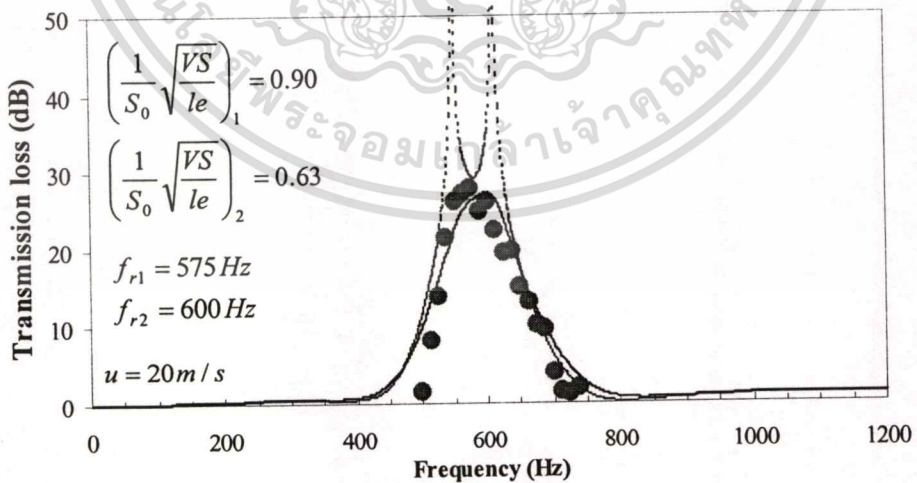
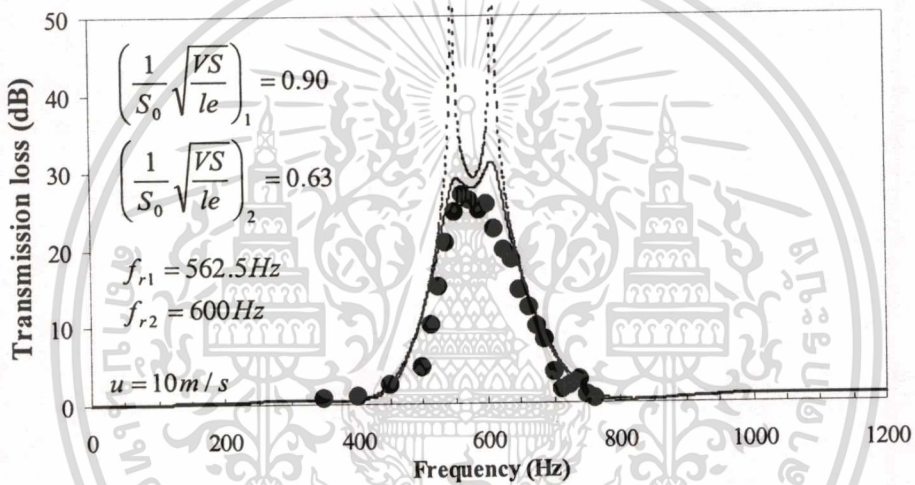
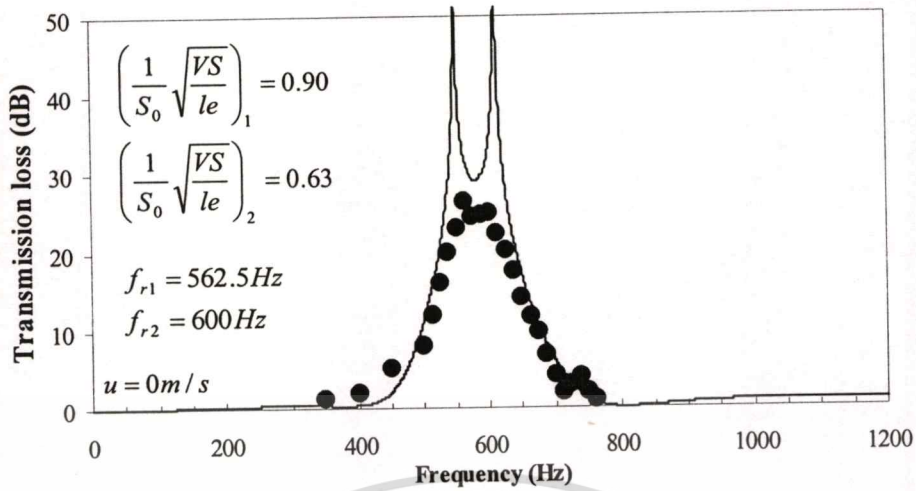
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



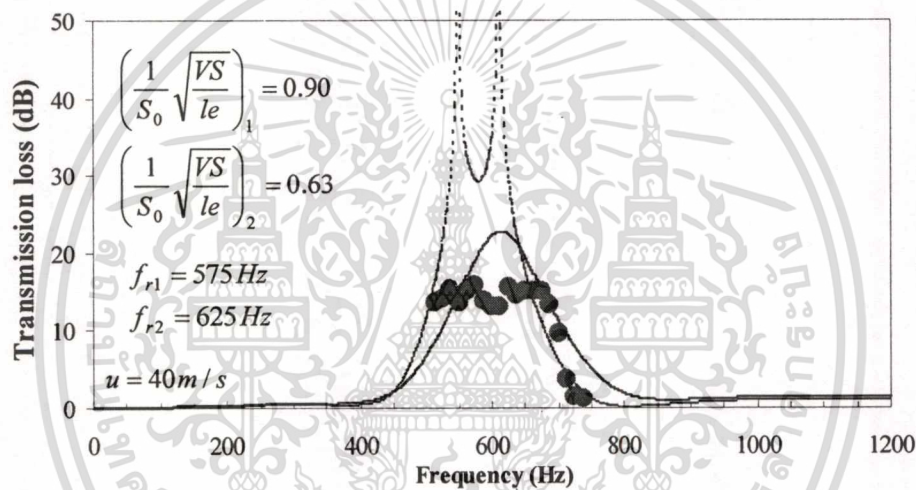
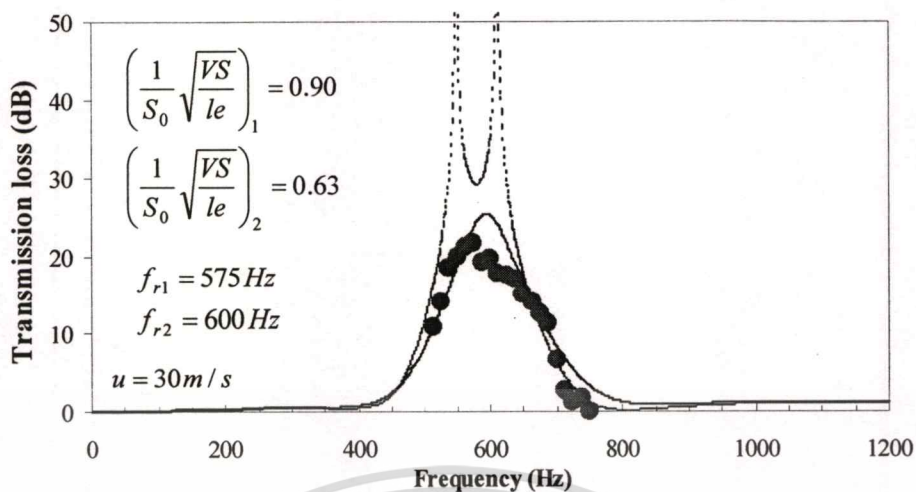
รูปที่ 5.40 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.45$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.45$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

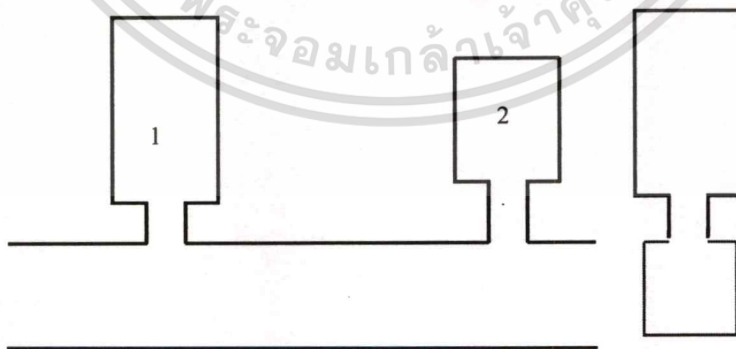
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



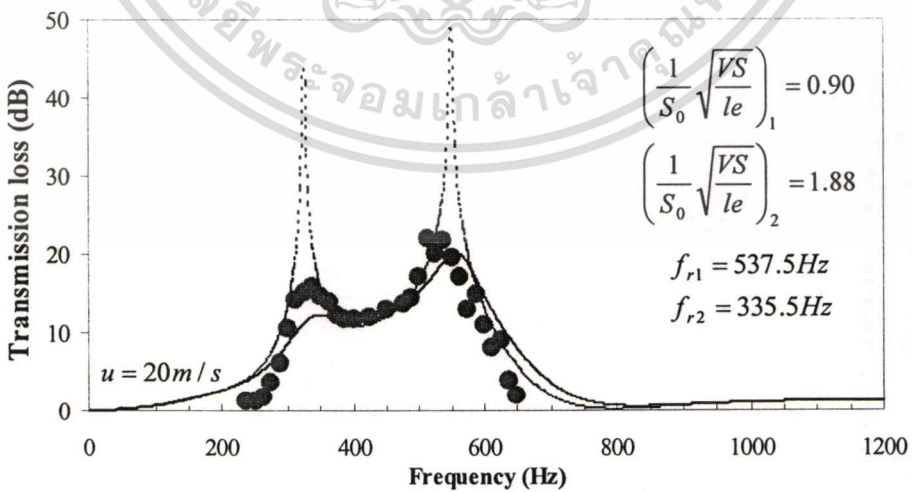
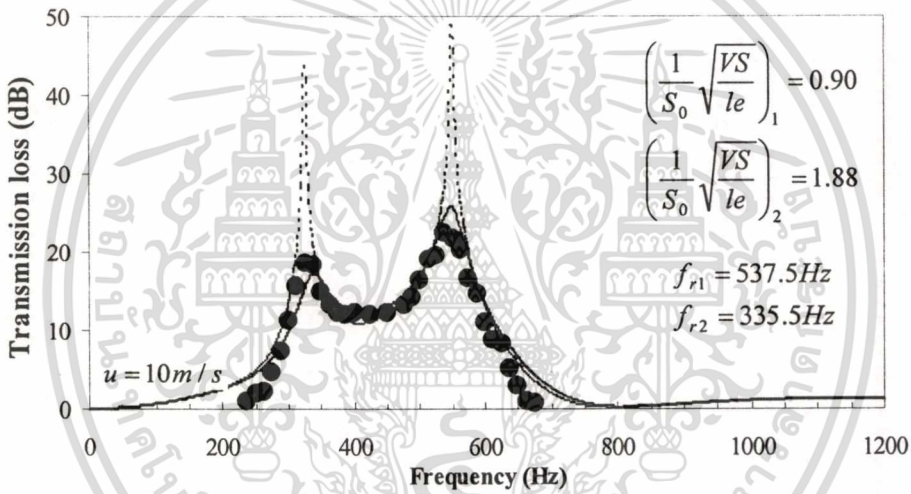
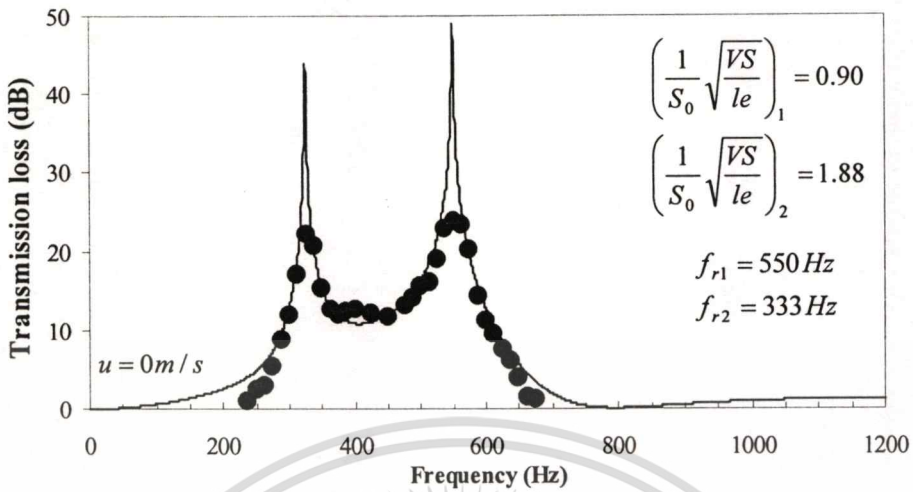
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



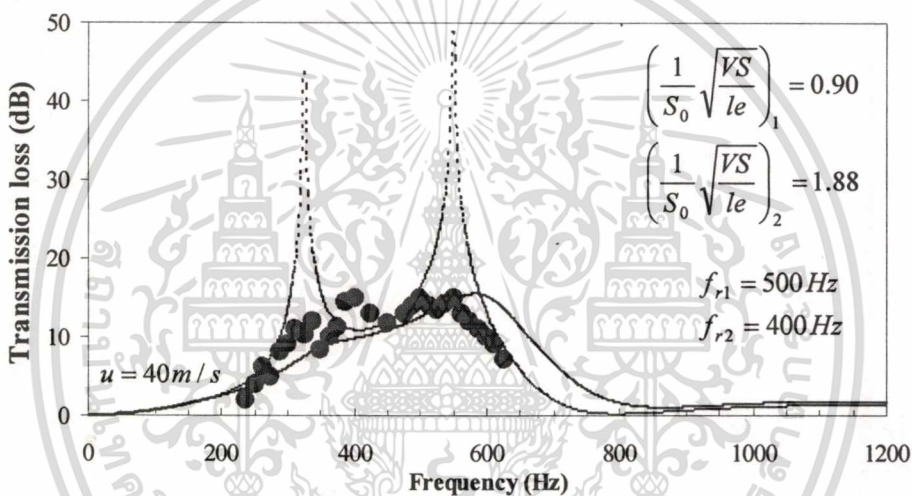
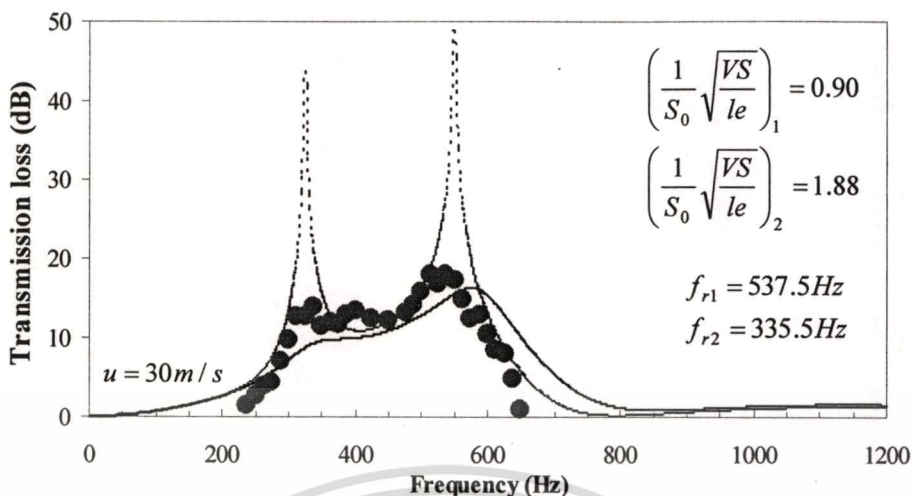
รูปที่ 5.41 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

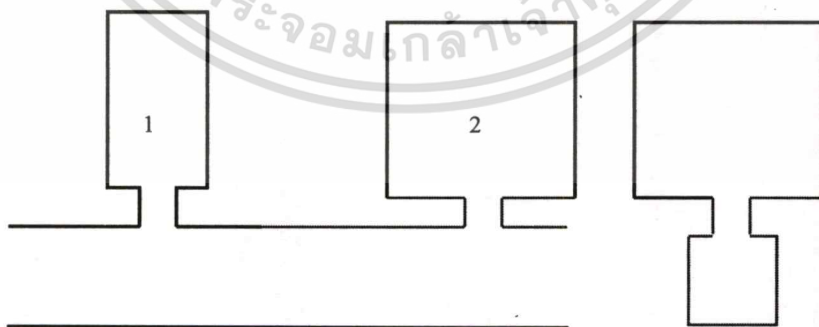
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่การณืใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



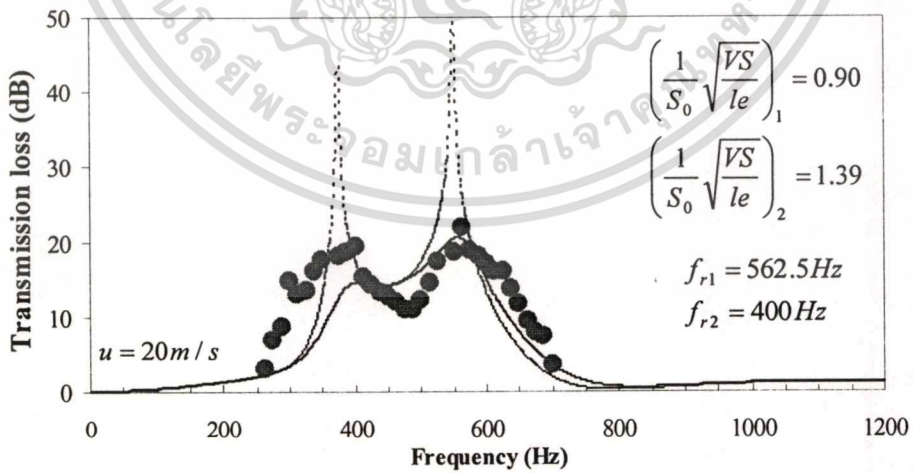
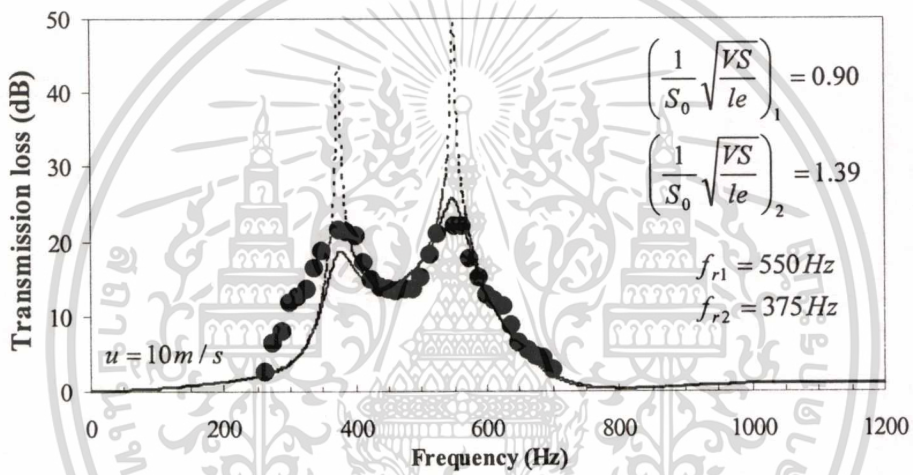
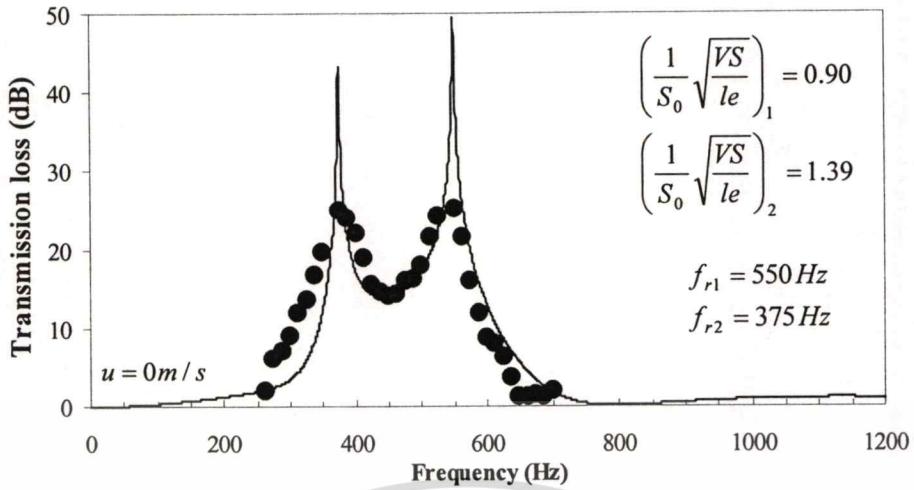
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



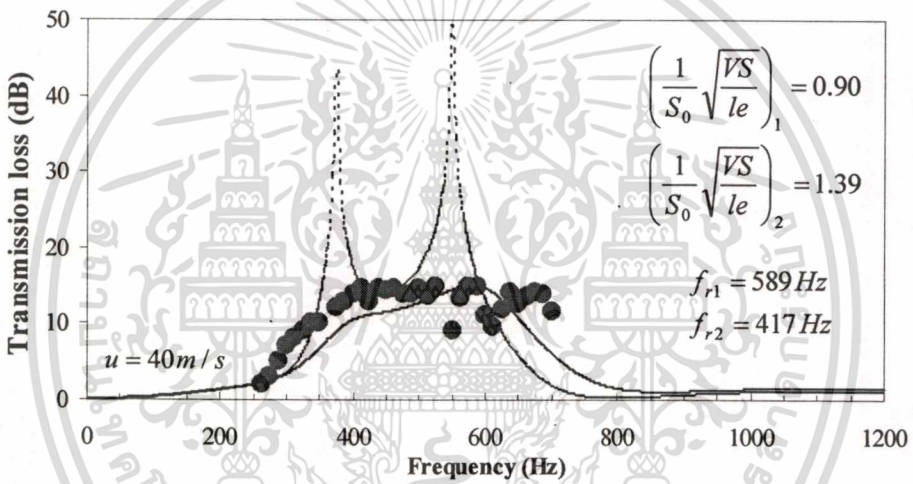
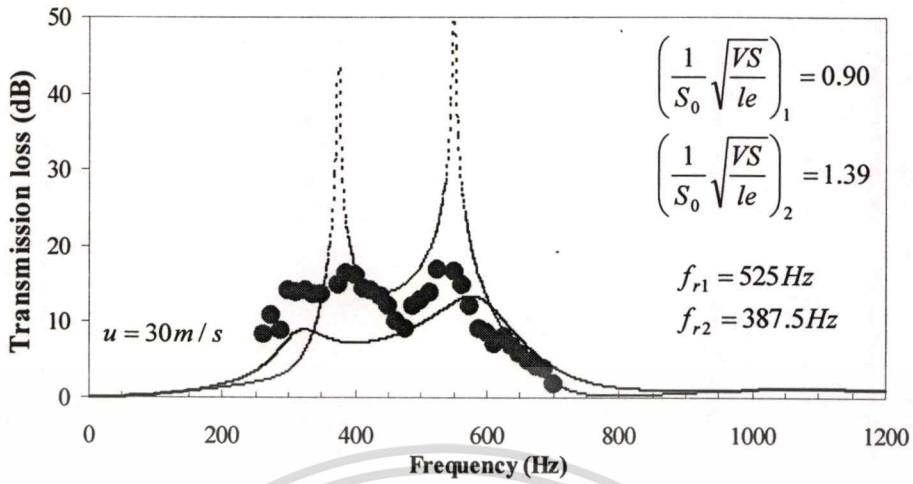
รูปที่ 5.42 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

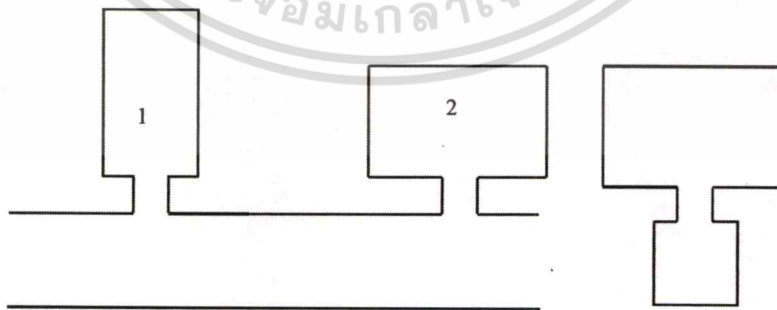
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



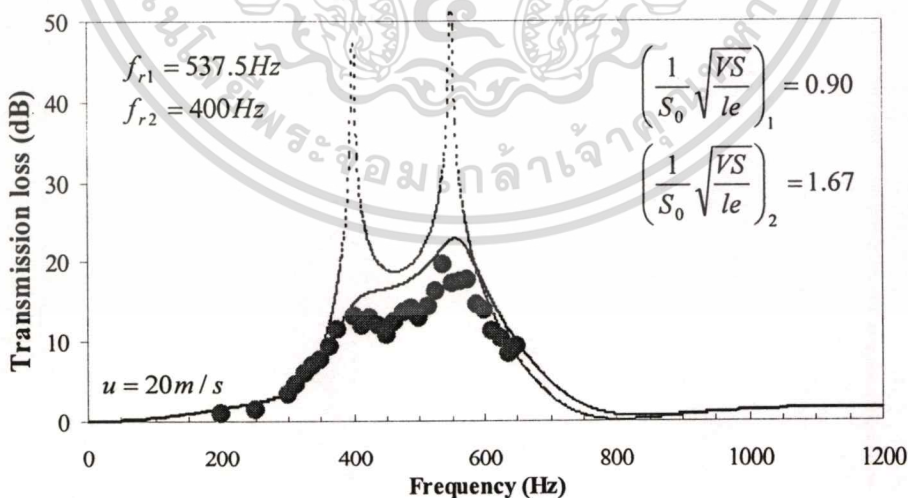
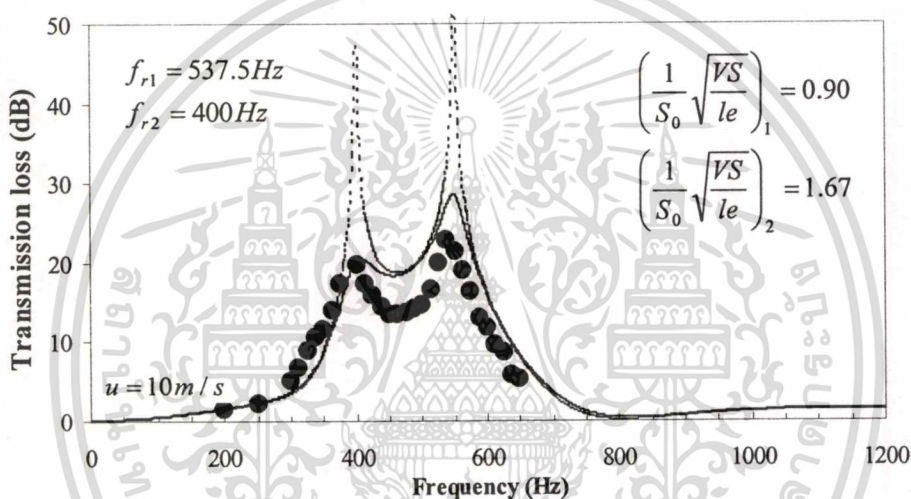
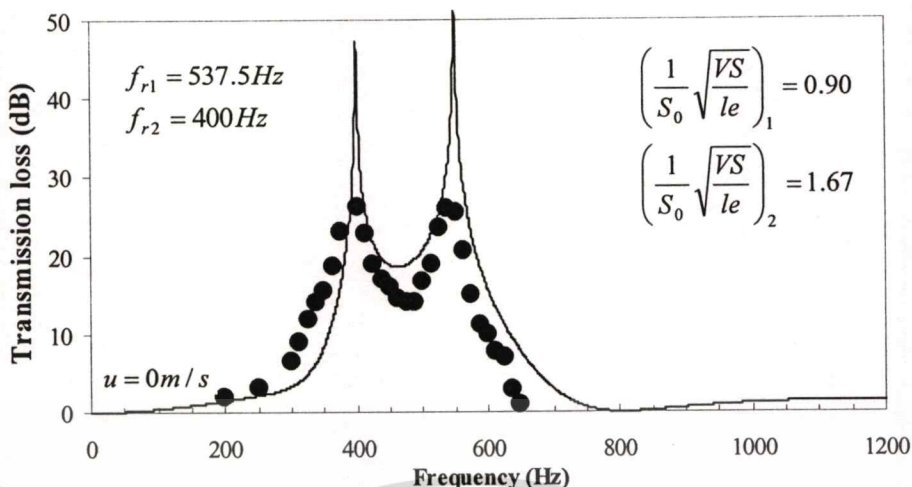
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



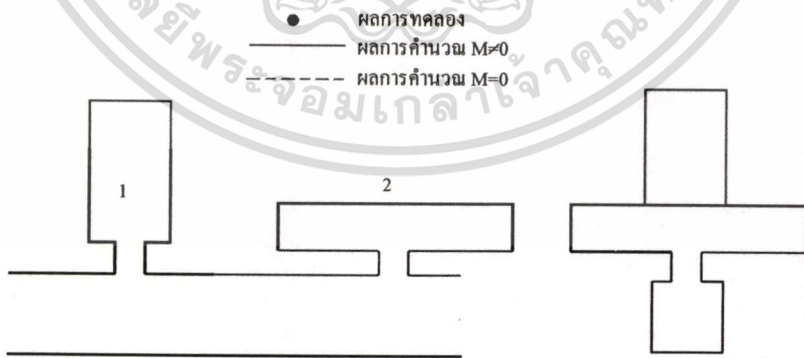
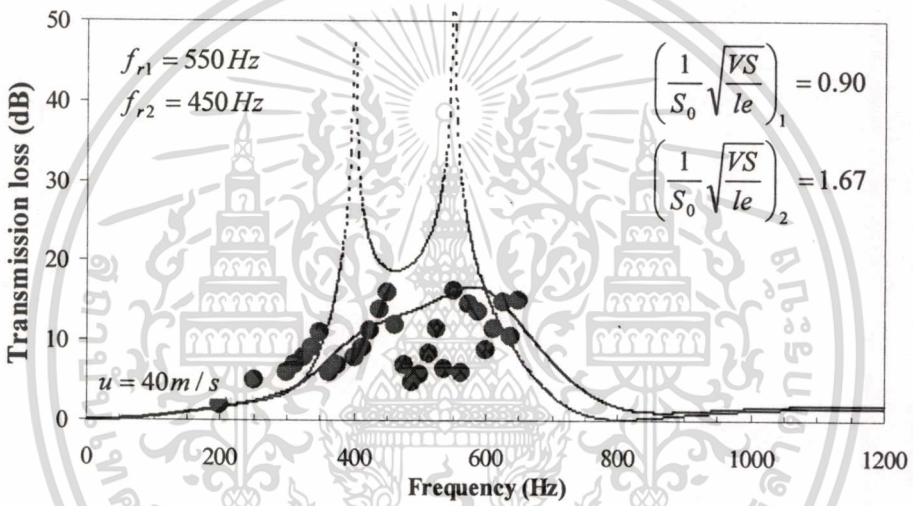
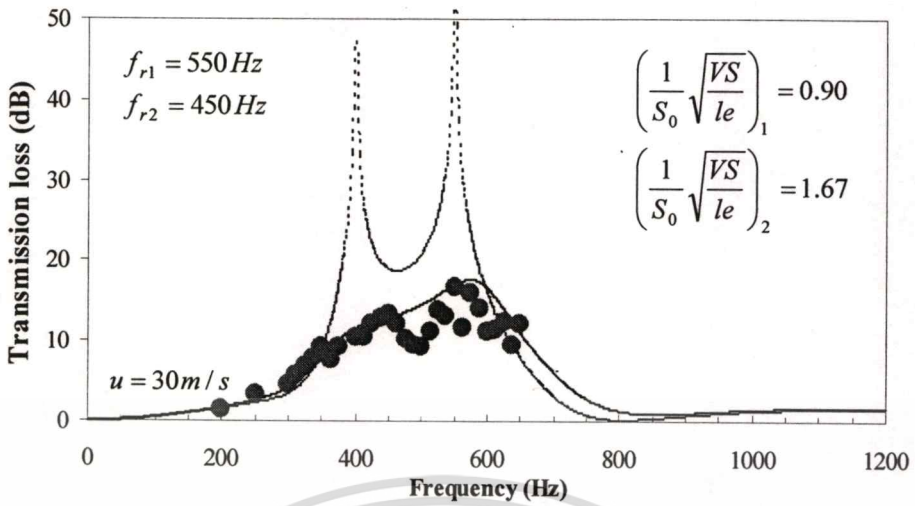
รูปที่ 5.43 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



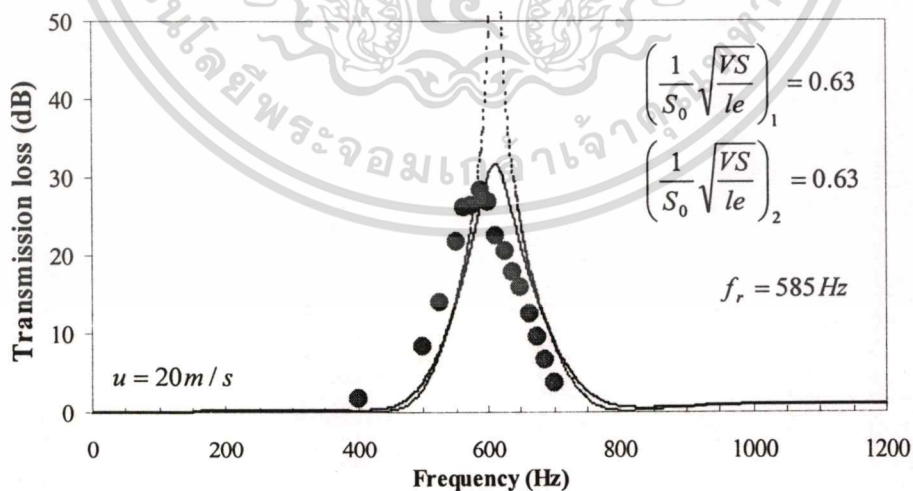
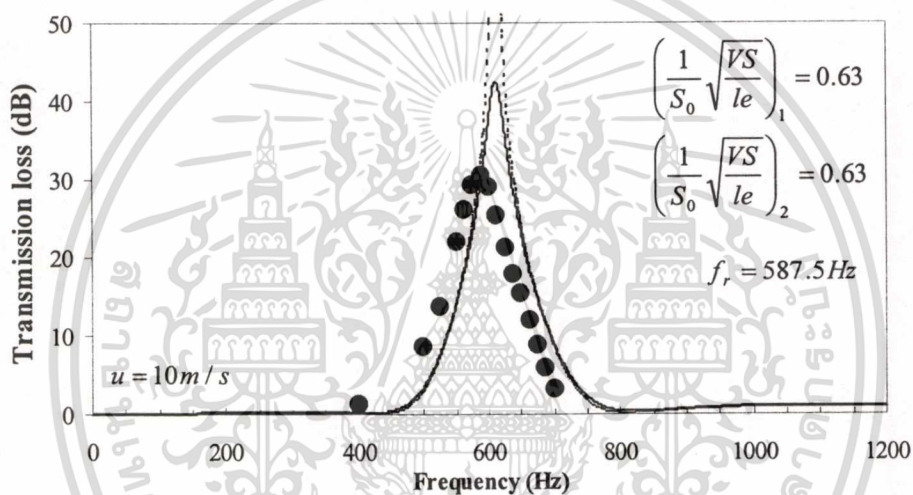
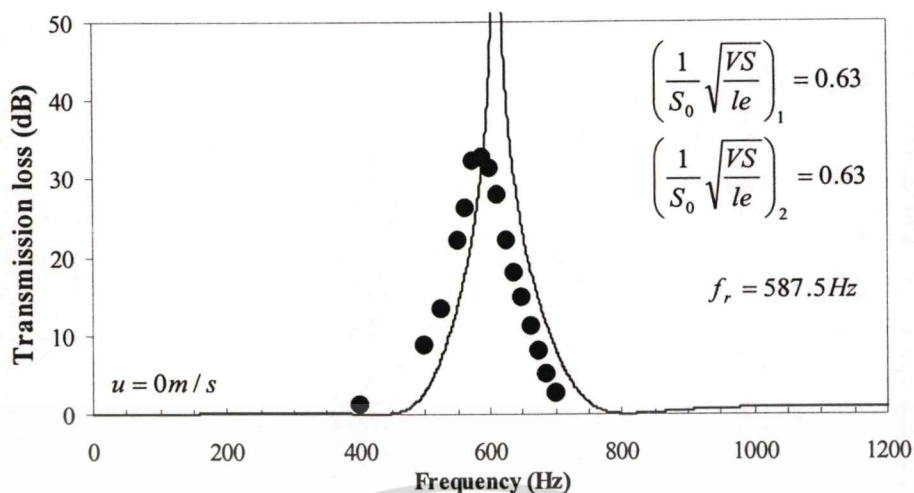
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



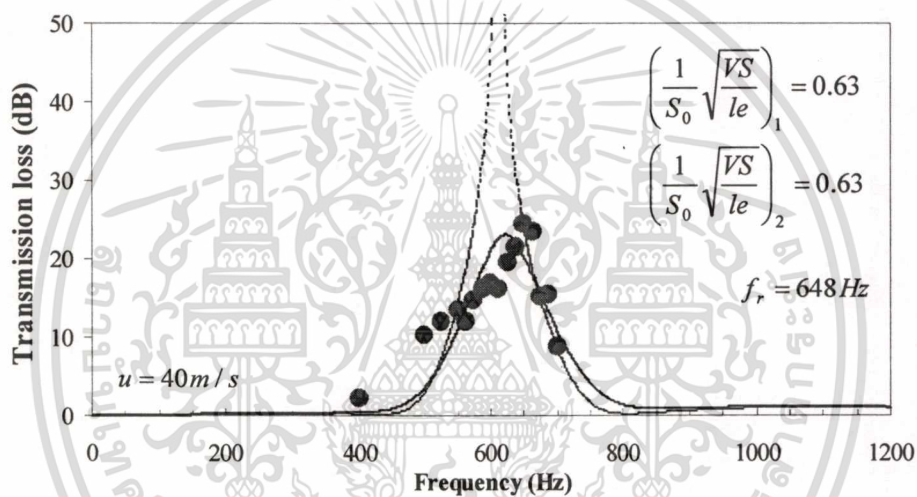
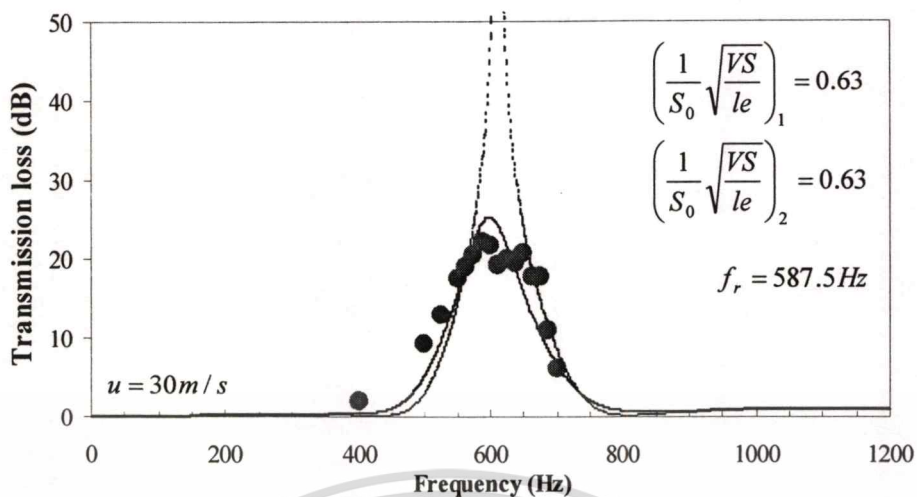
รูปที่ 5.44 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.90$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

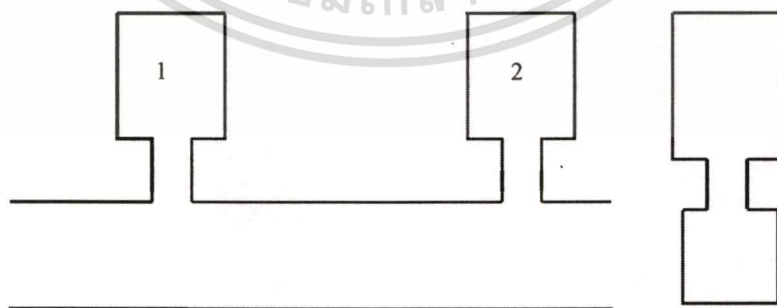
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



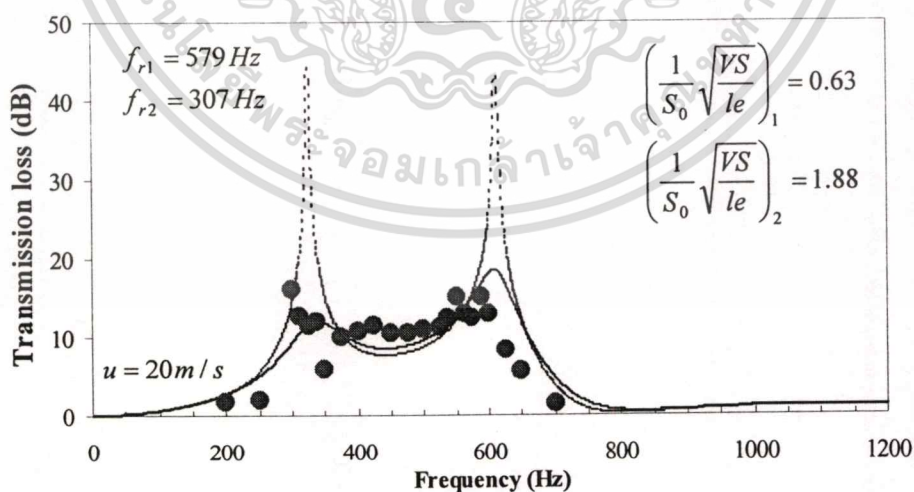
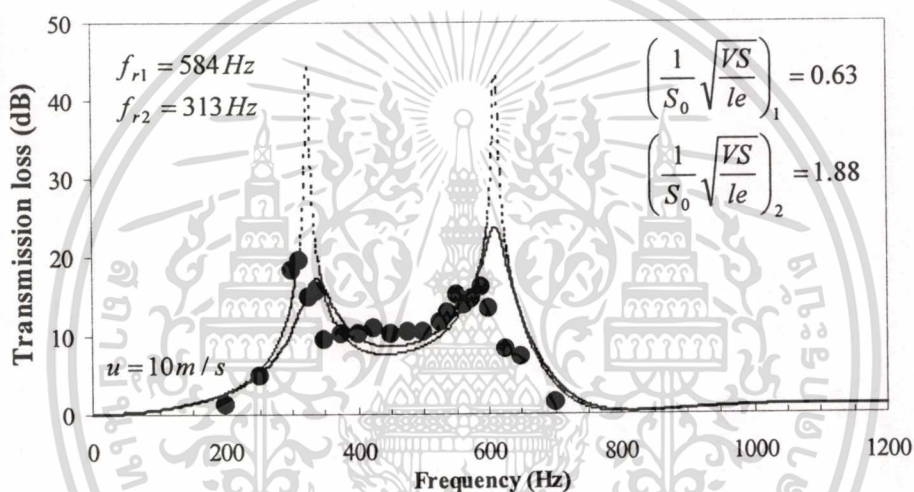
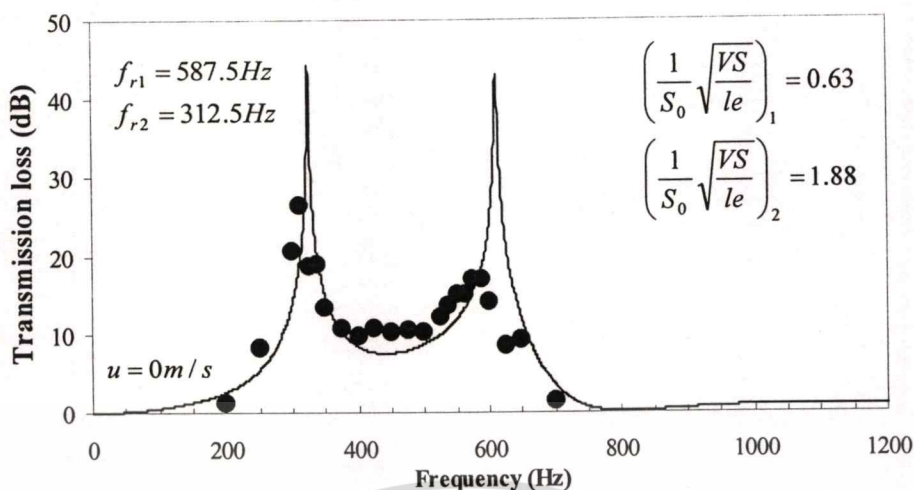
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



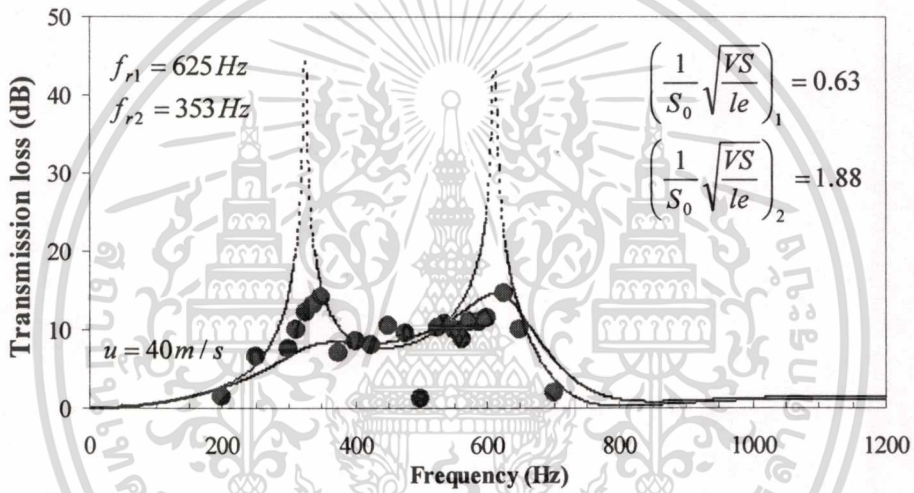
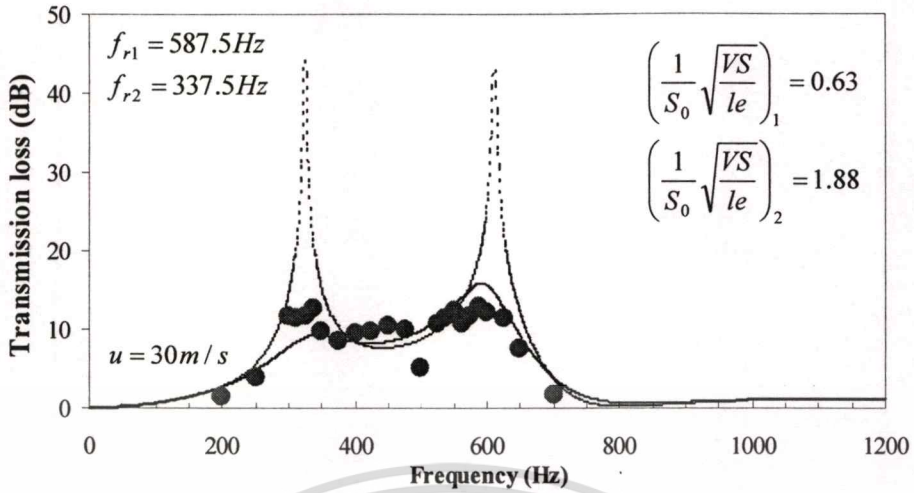
รูปที่ 5.45 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 0.63$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

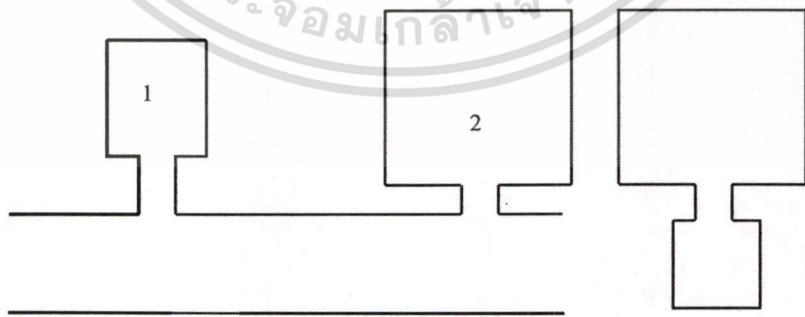
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



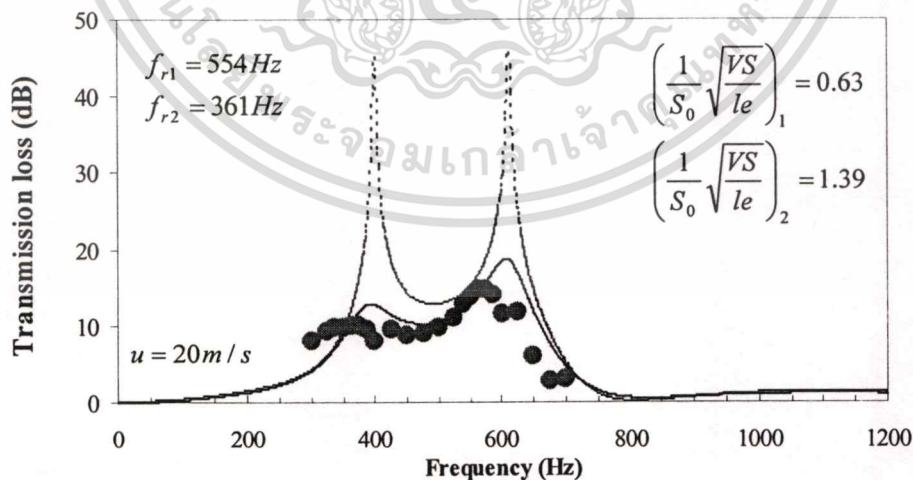
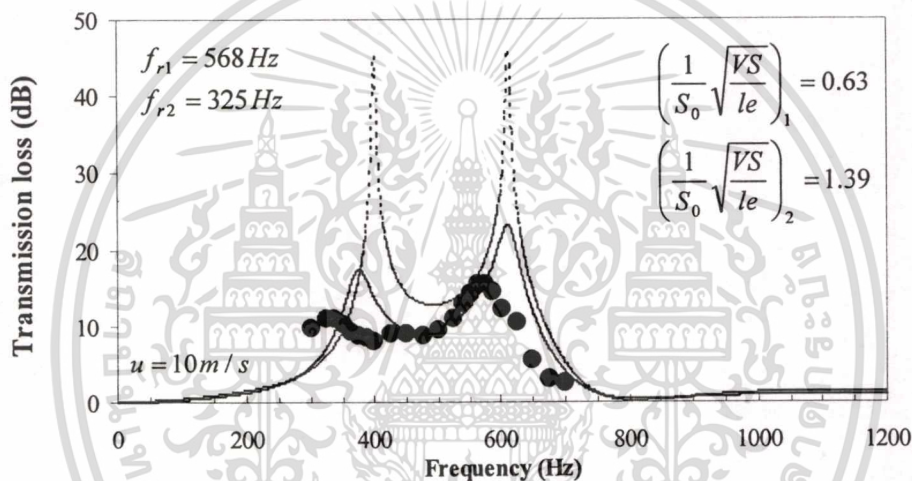
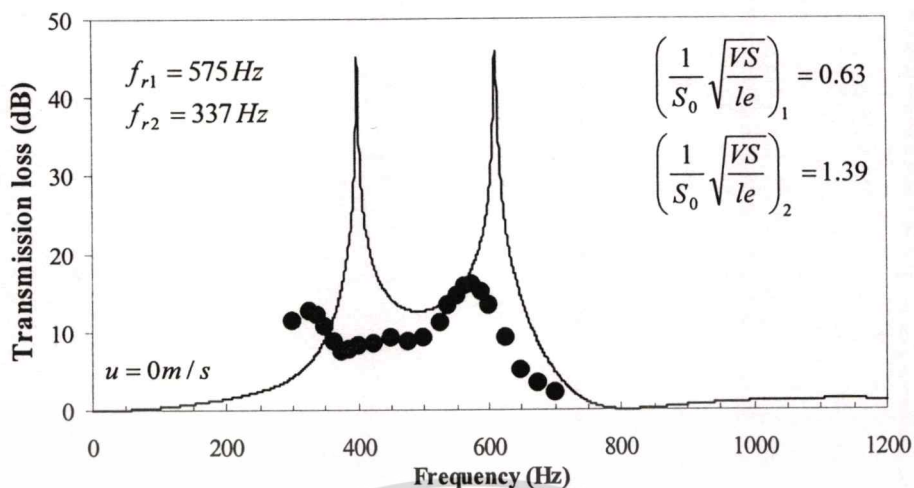
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



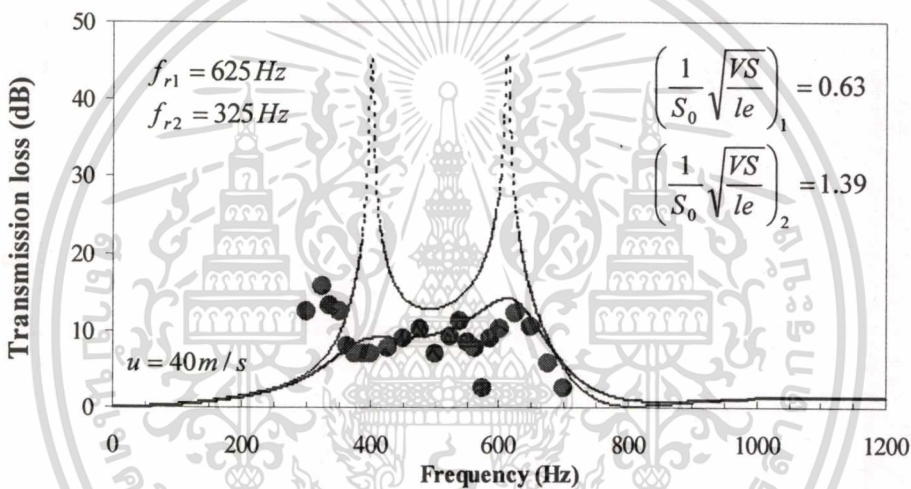
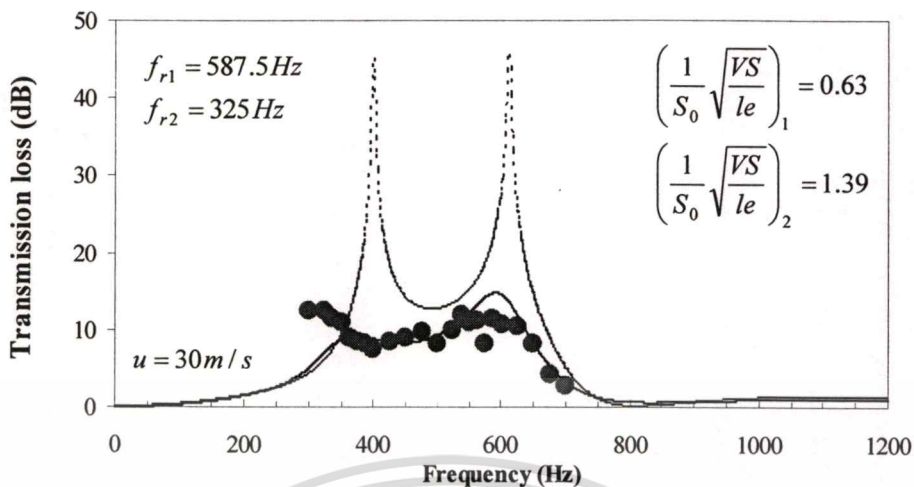
รูปที่ 5.46 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

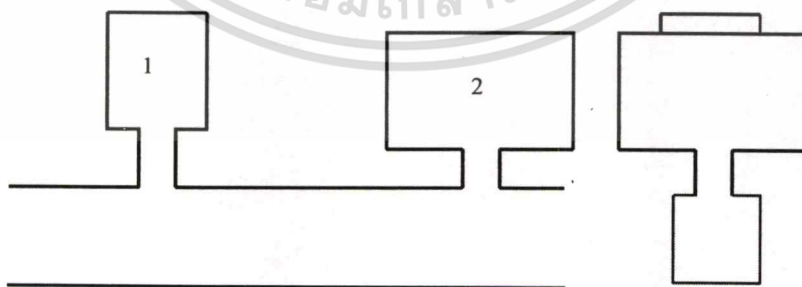
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



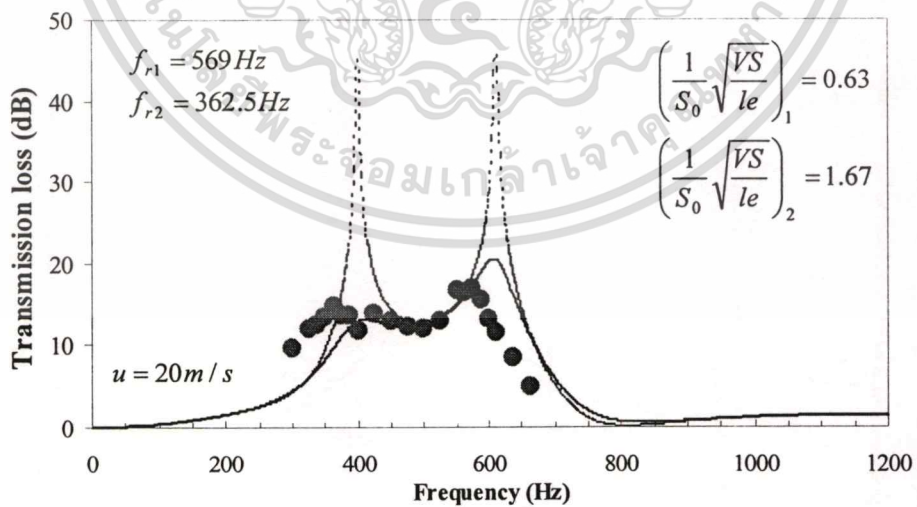
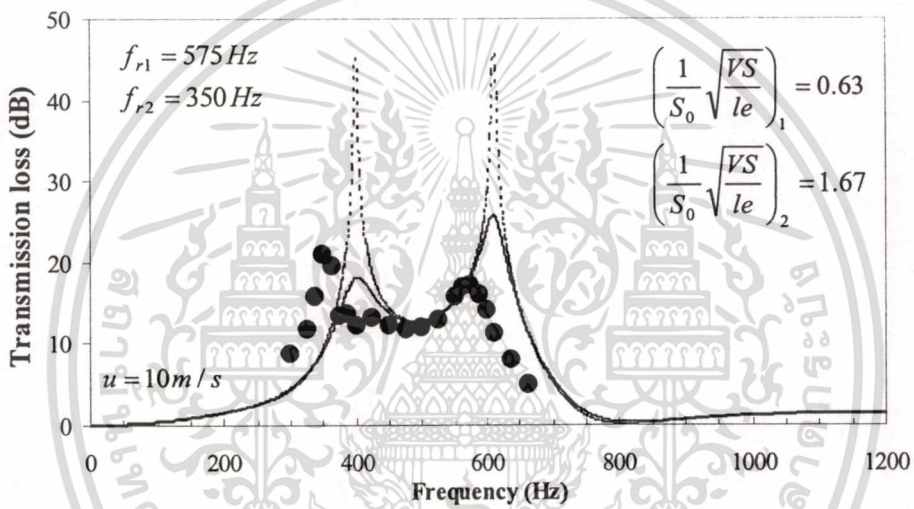
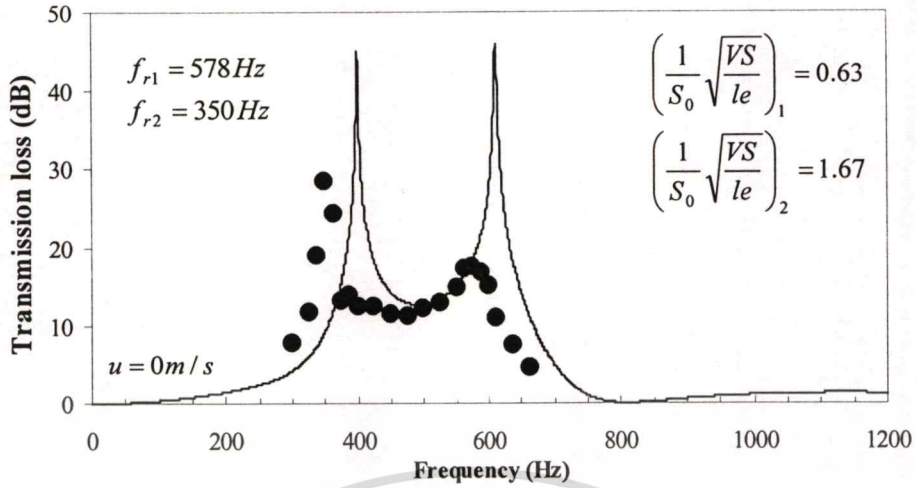
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



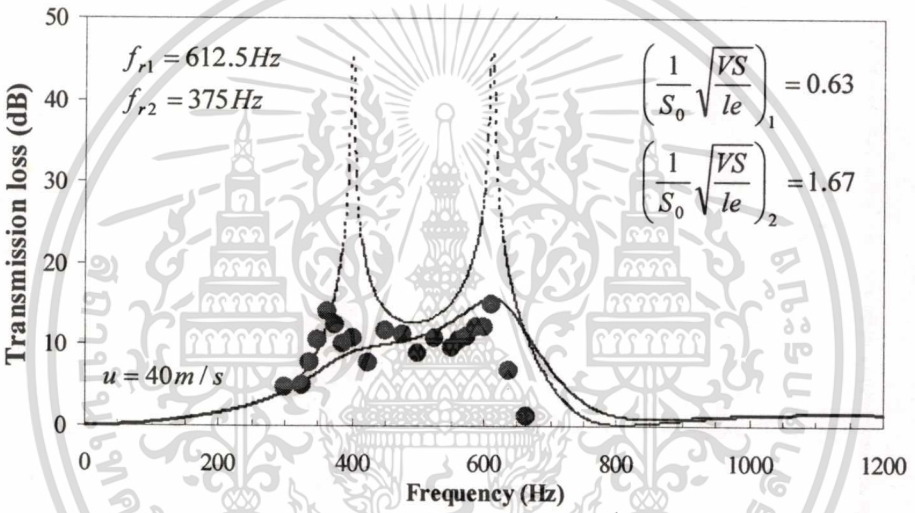
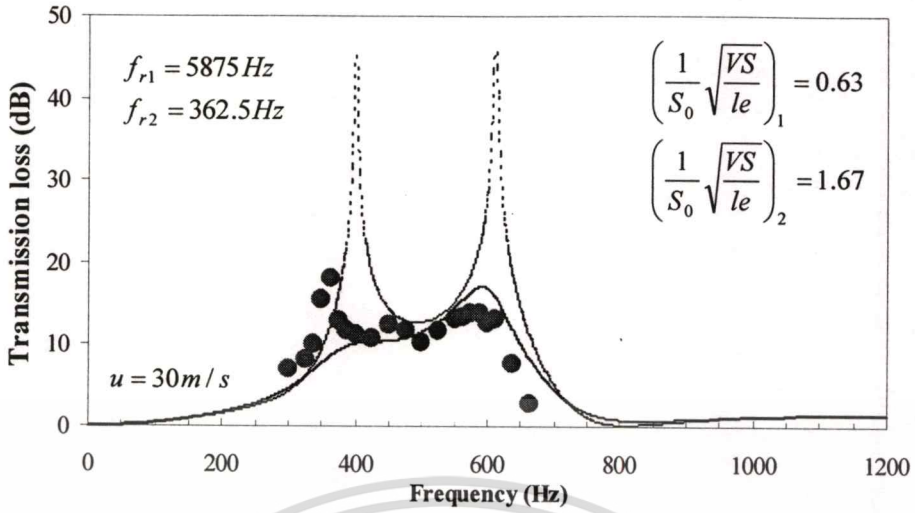
รูปที่ 5.47 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_o} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

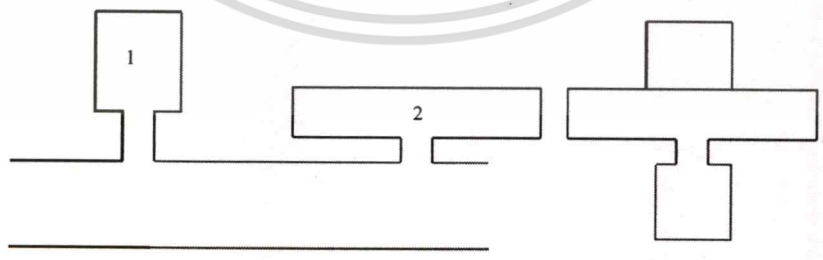
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



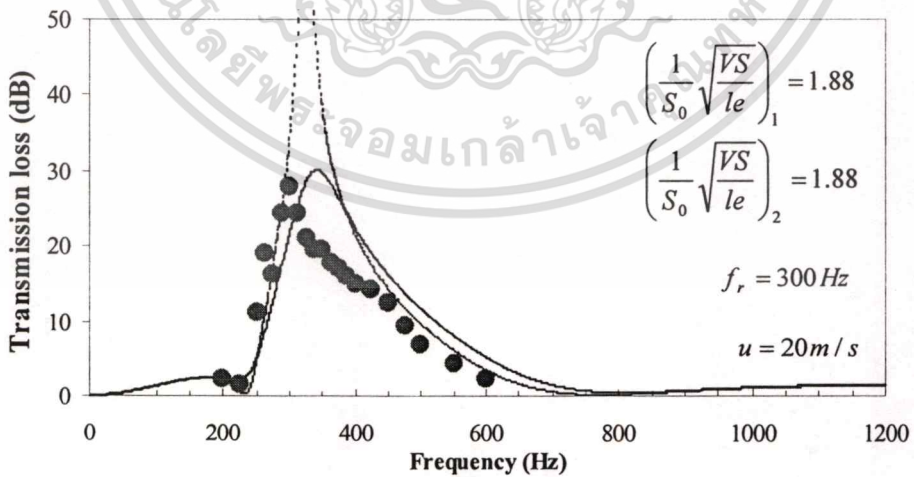
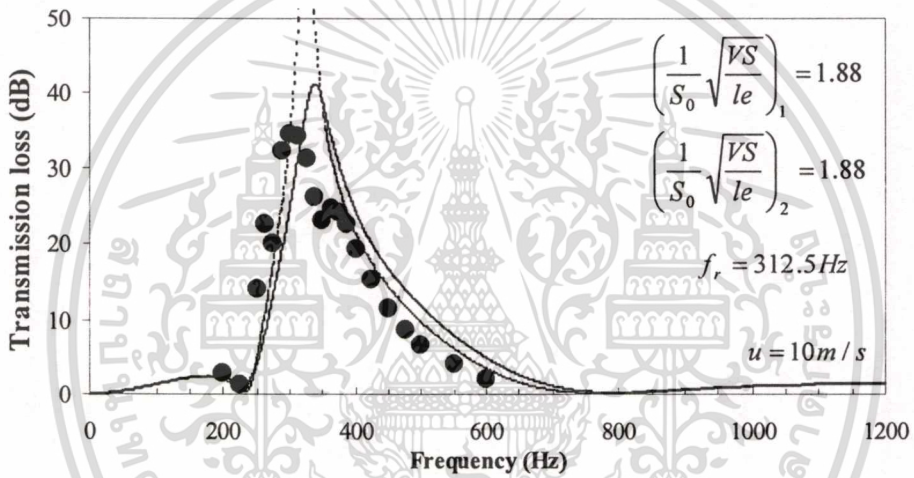
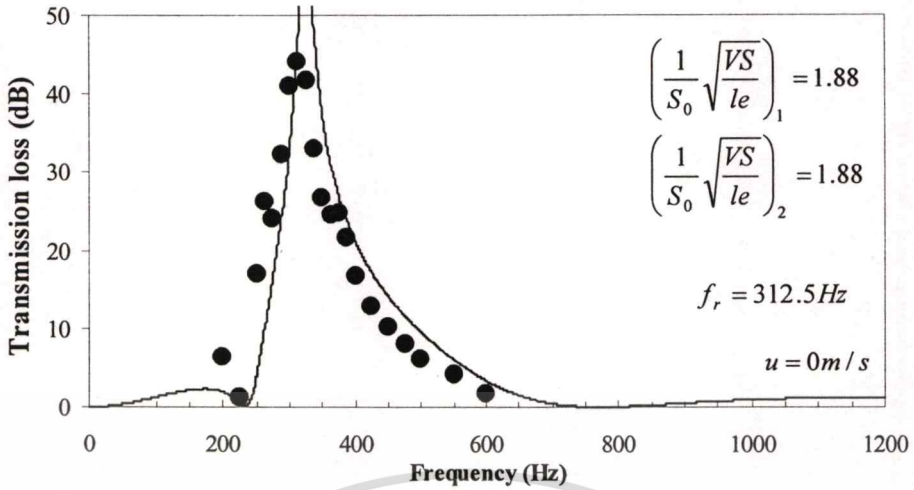
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M=0$



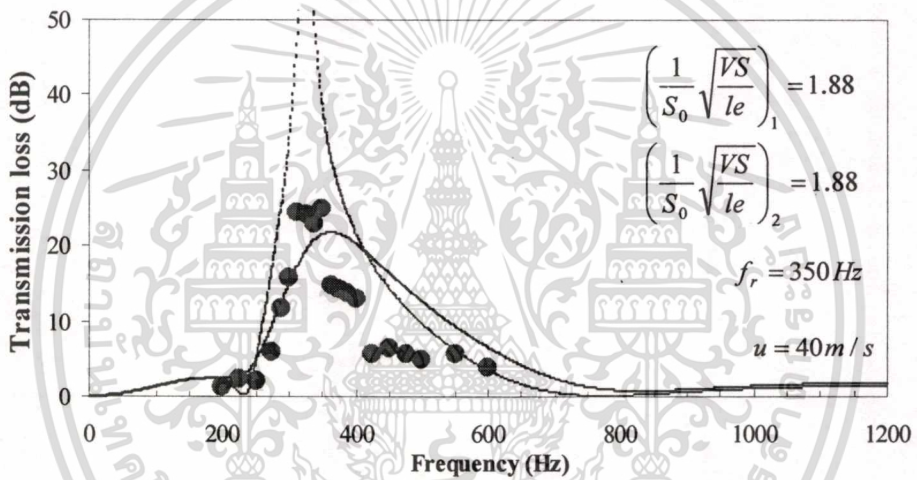
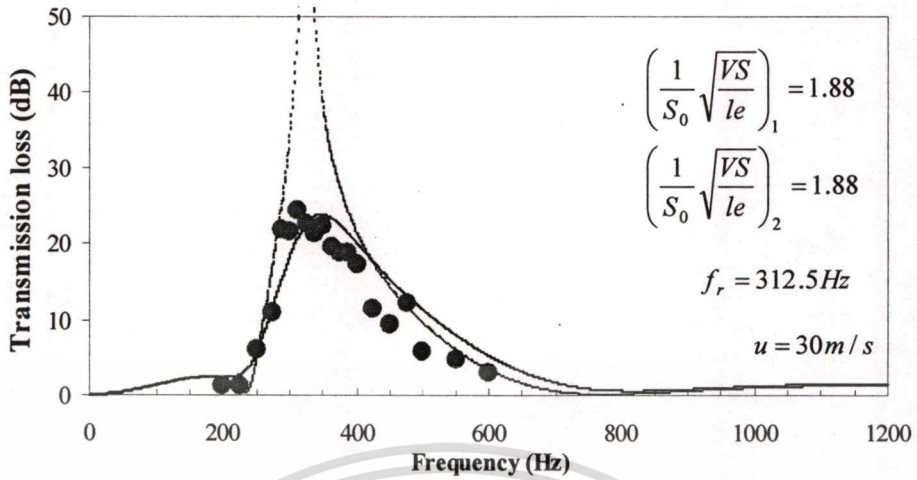
รูปที่ 5.48 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 0.63$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

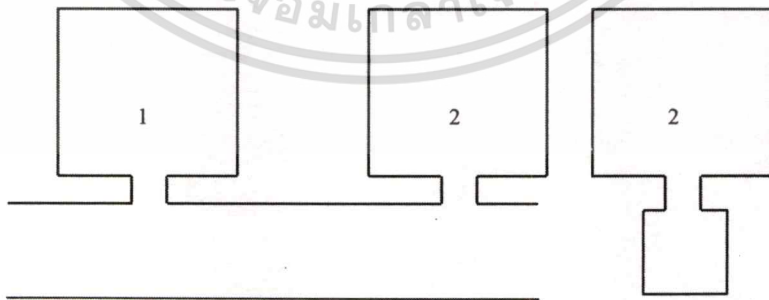
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



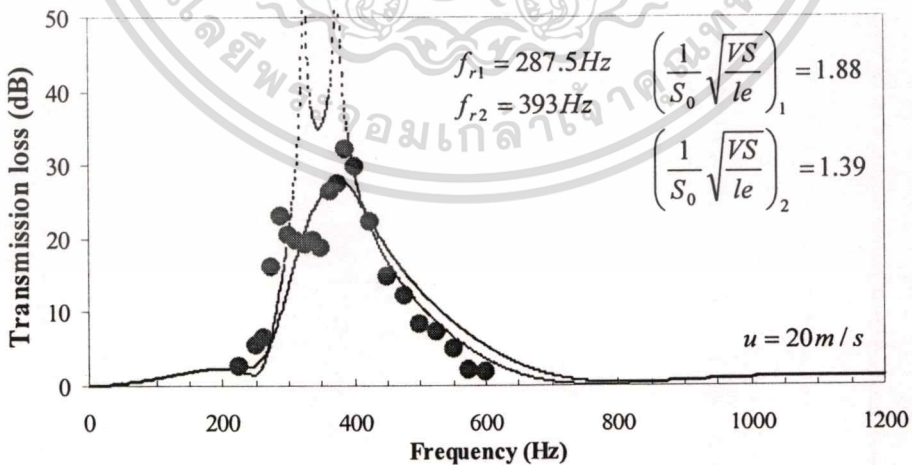
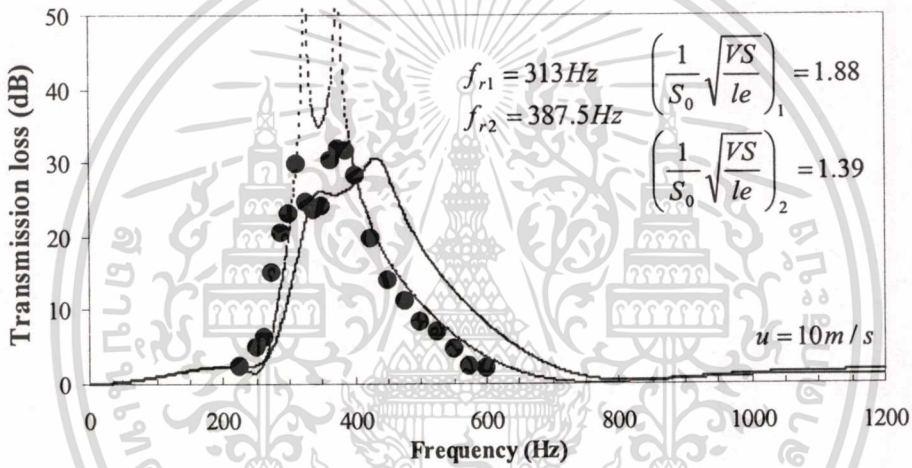
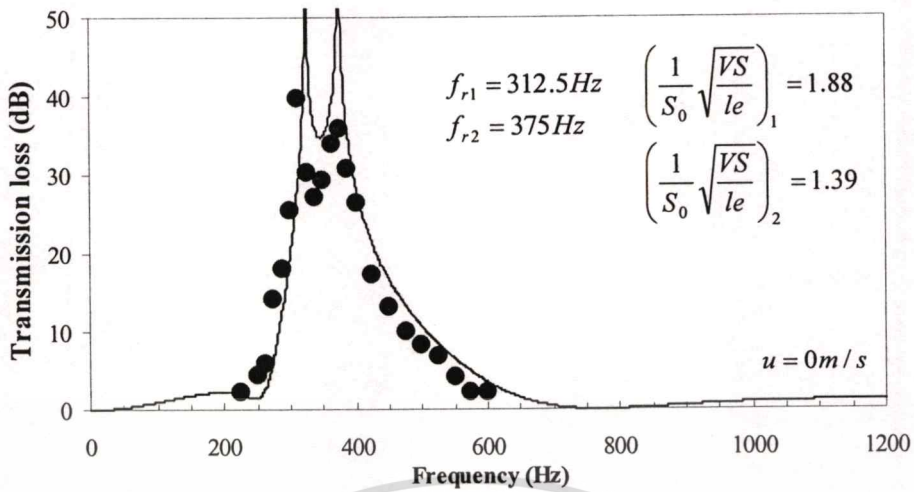
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



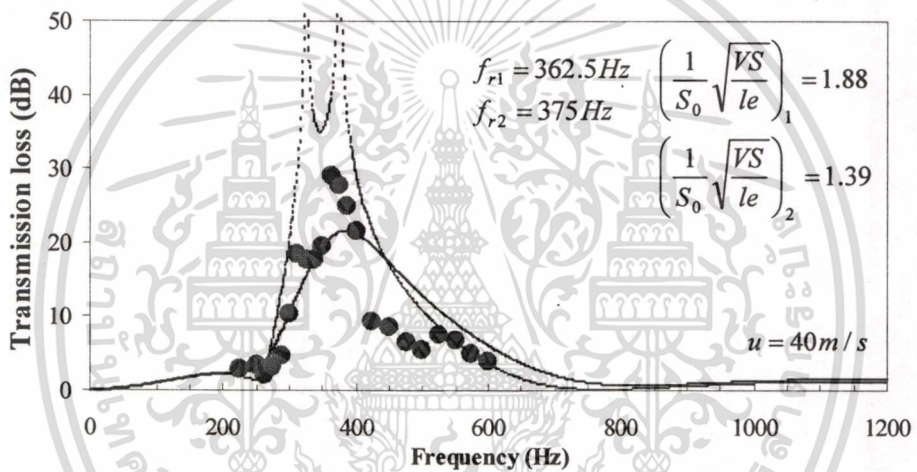
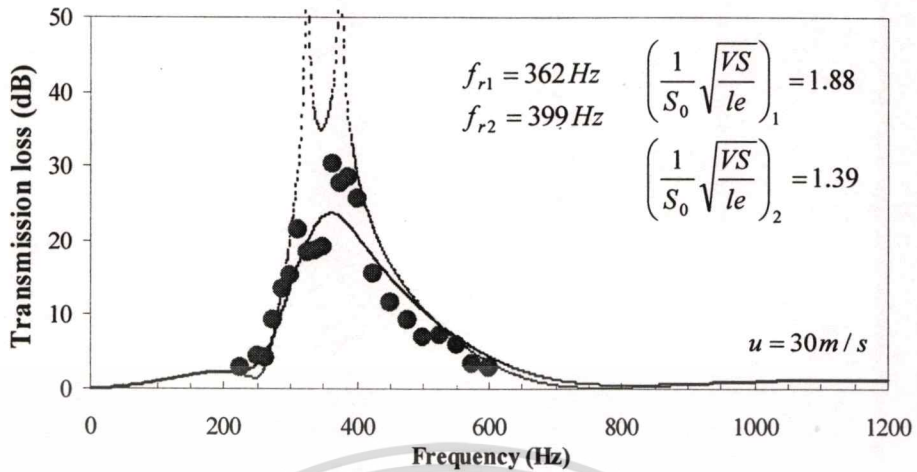
รูปที่ 5.49 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.88$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

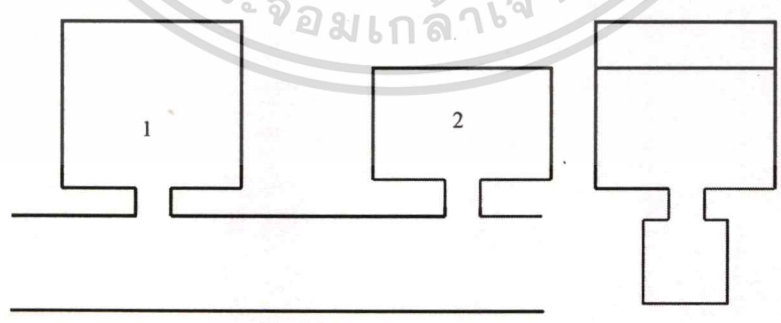
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



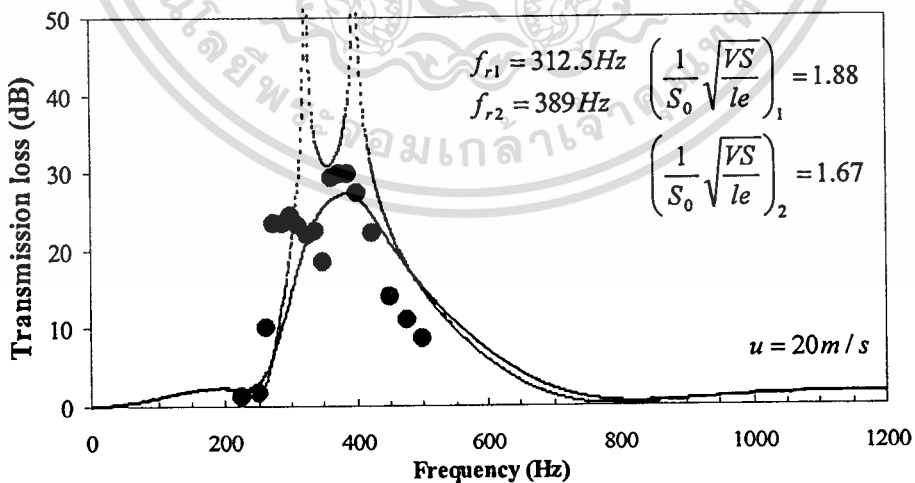
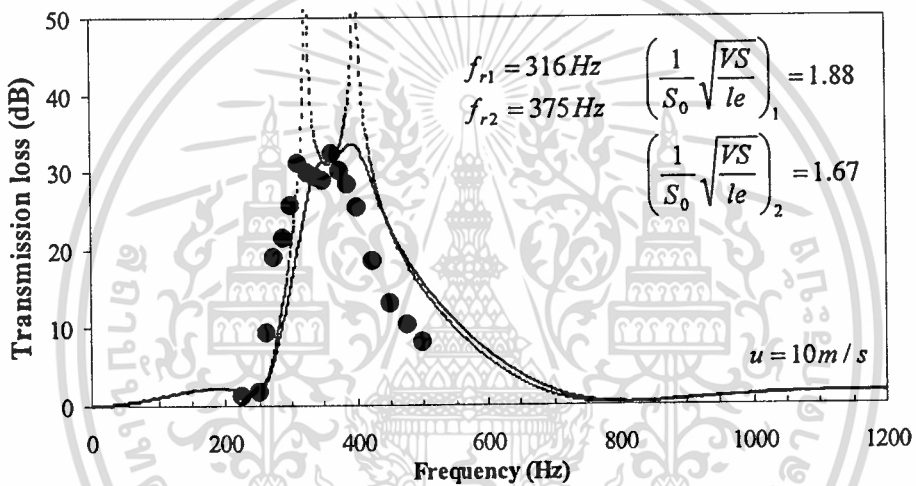
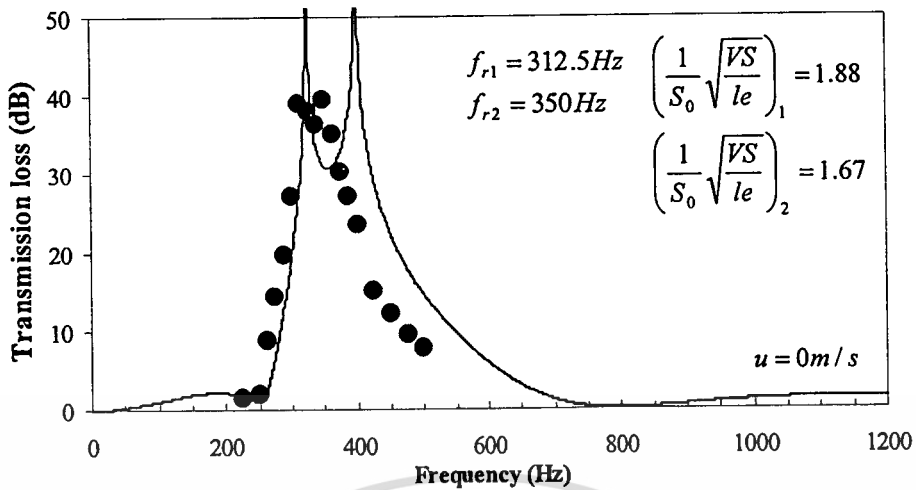
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



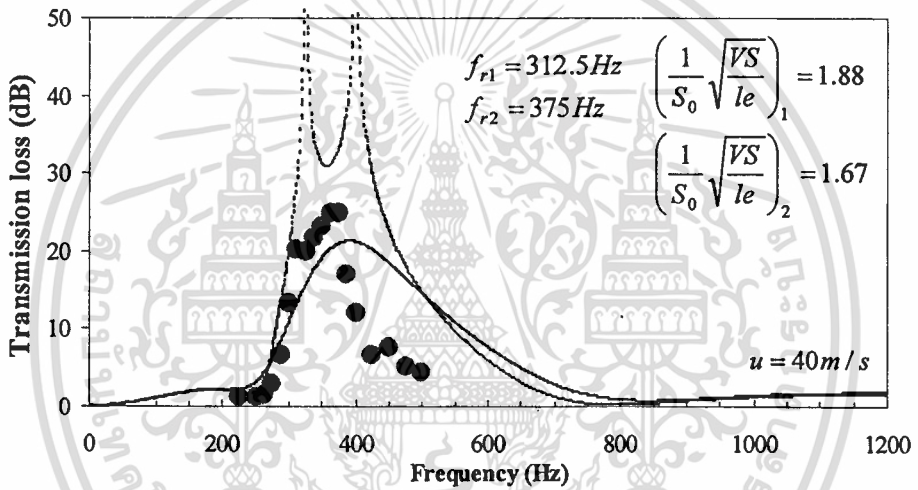
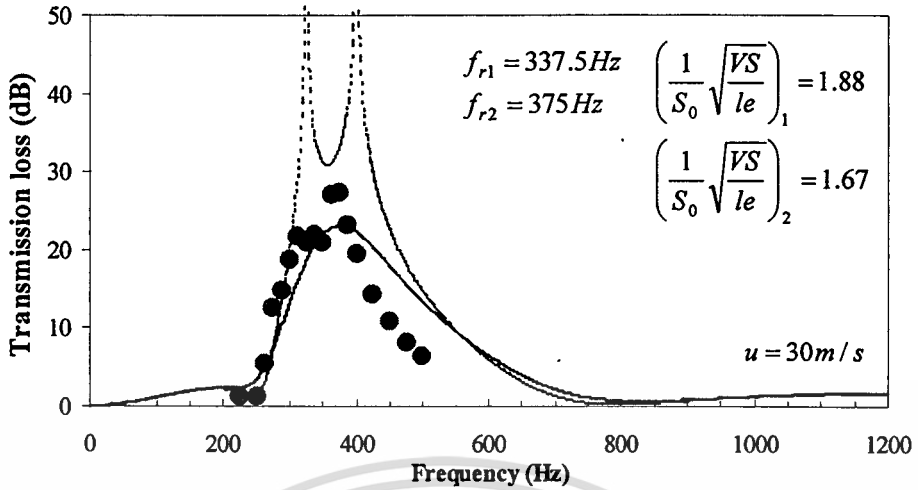
รูปที่ 5.50 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

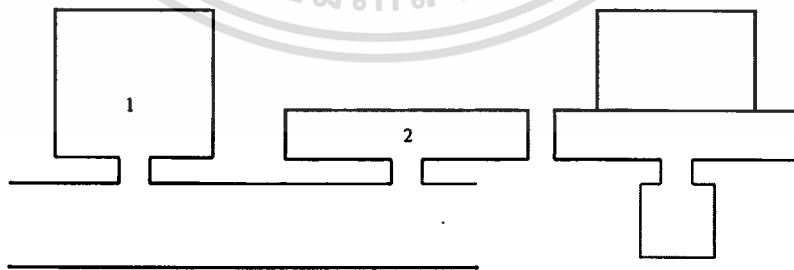
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



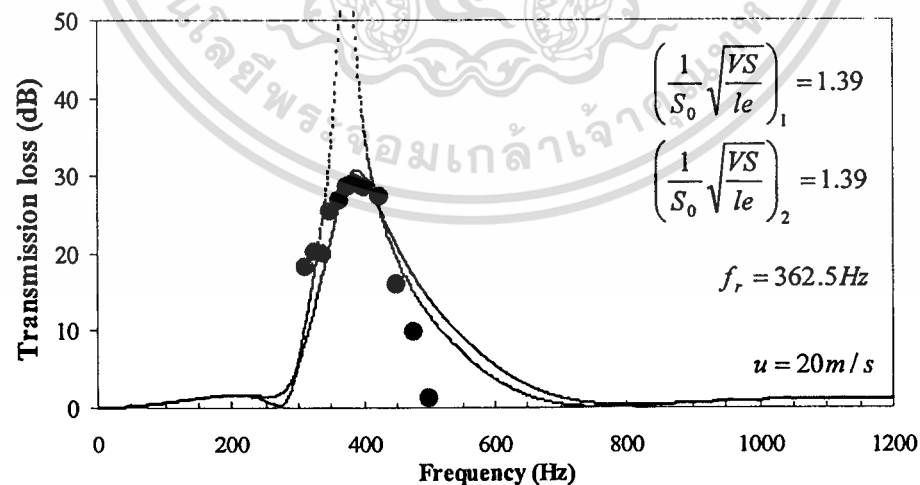
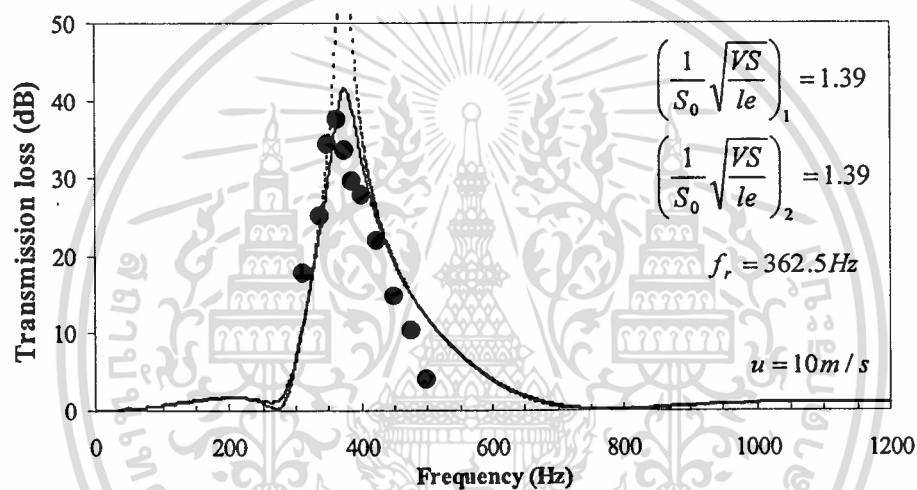
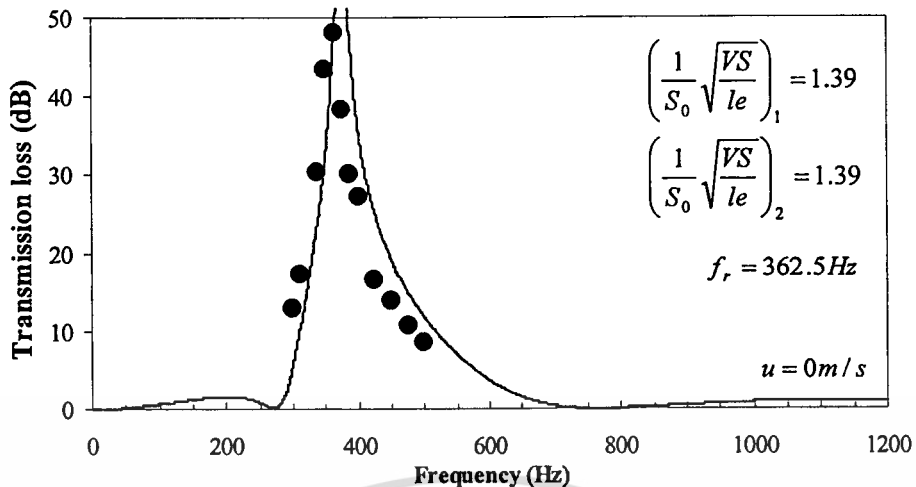
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



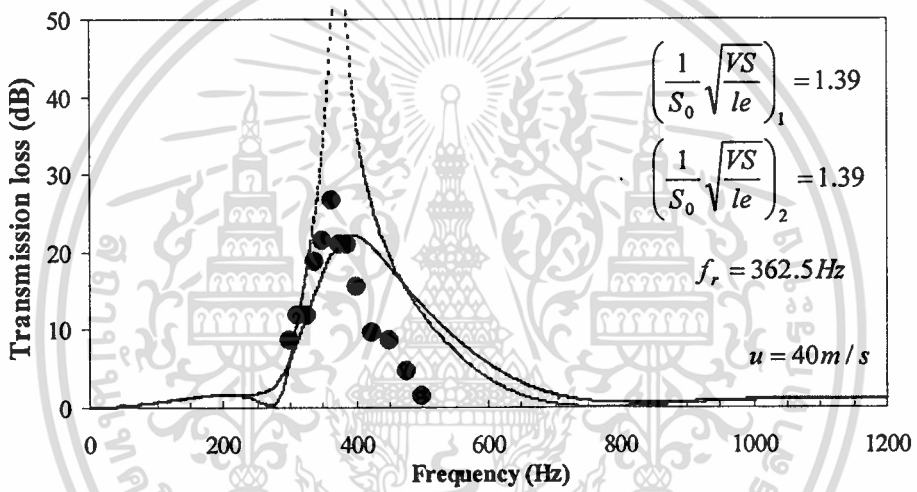
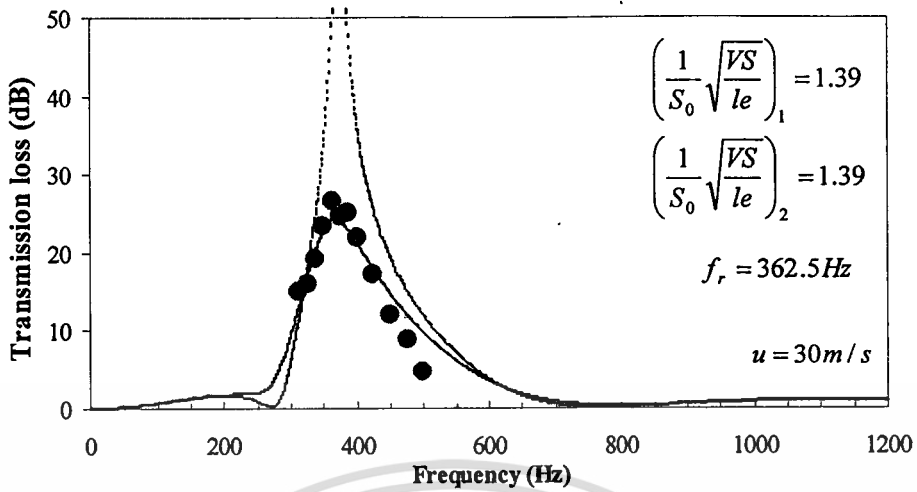
รูปที่ 5.51 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}} \right)_1 = 1.88$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}} \right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

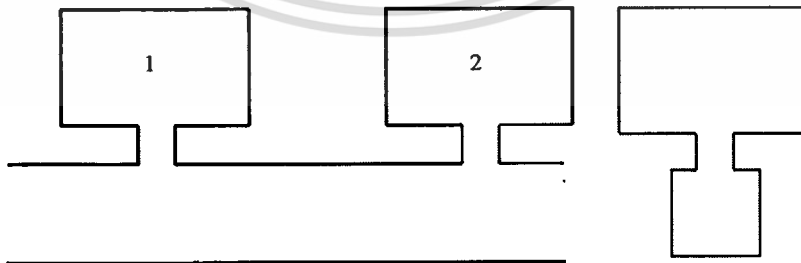
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



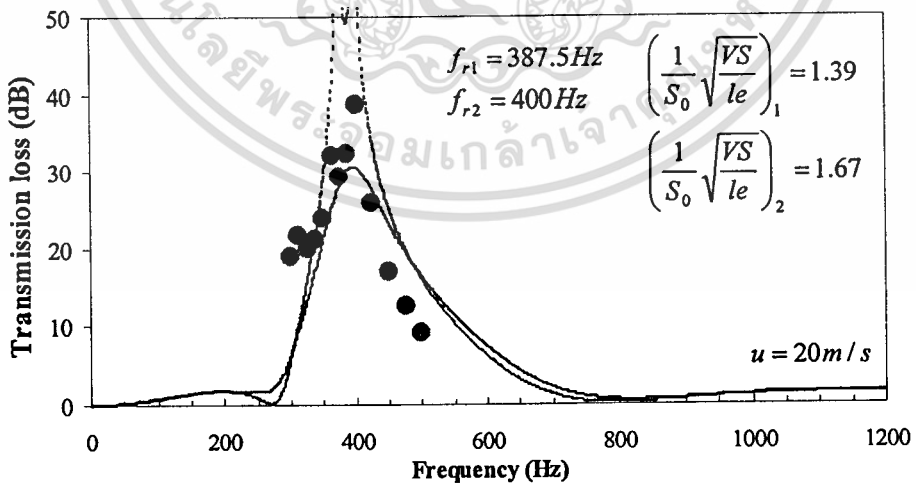
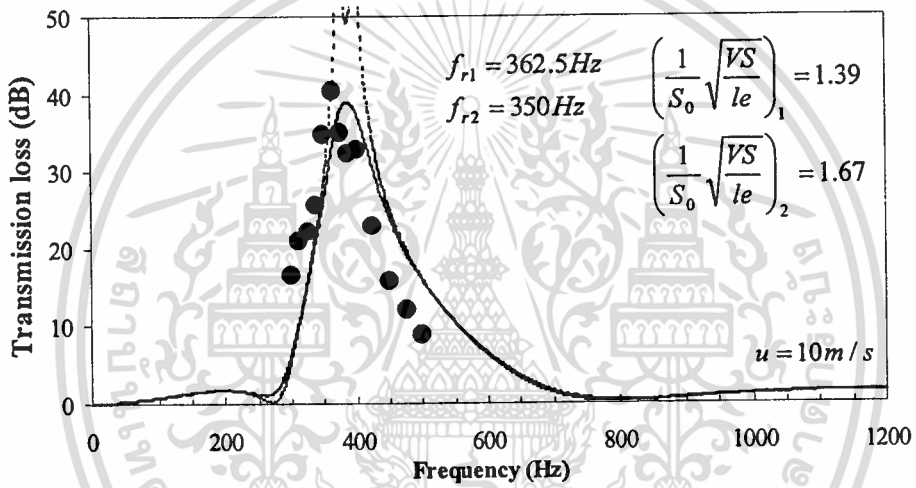
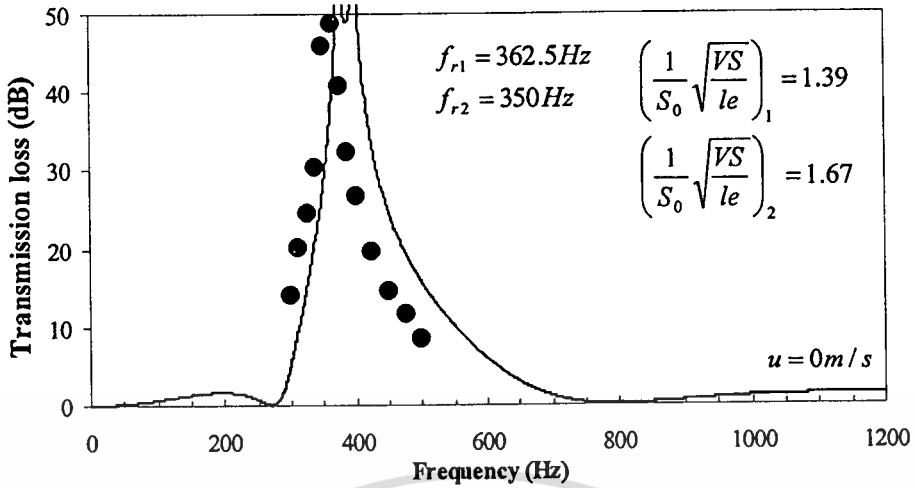
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ M≠0
 - - - ผลการคำนวณ M=0



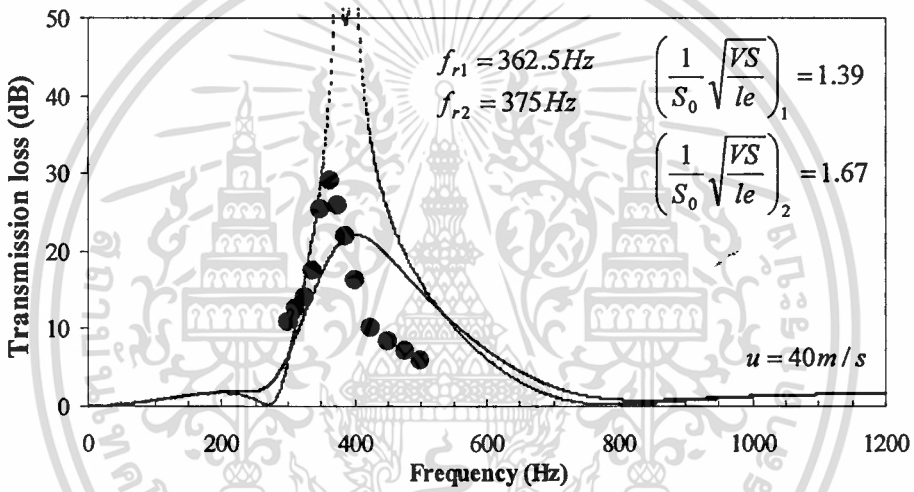
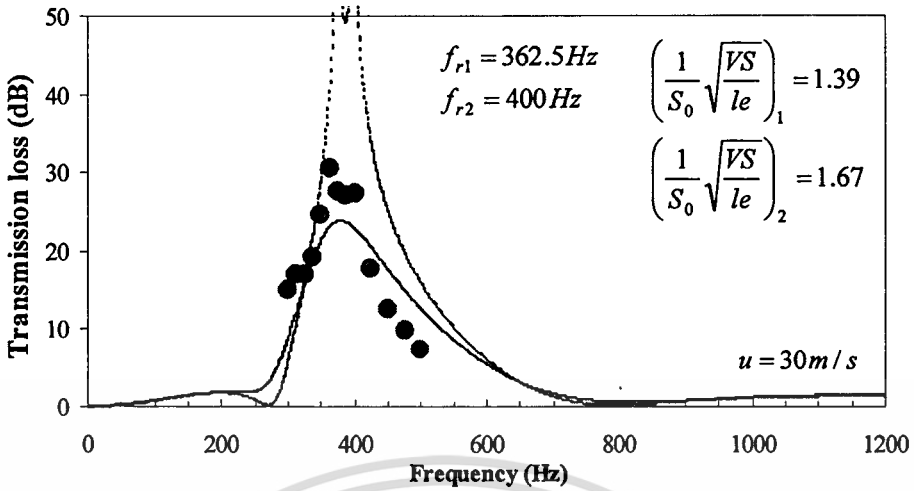
รูปที่ 5.52 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.39$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

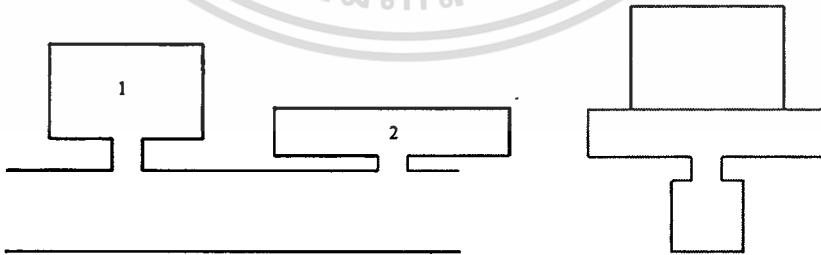
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



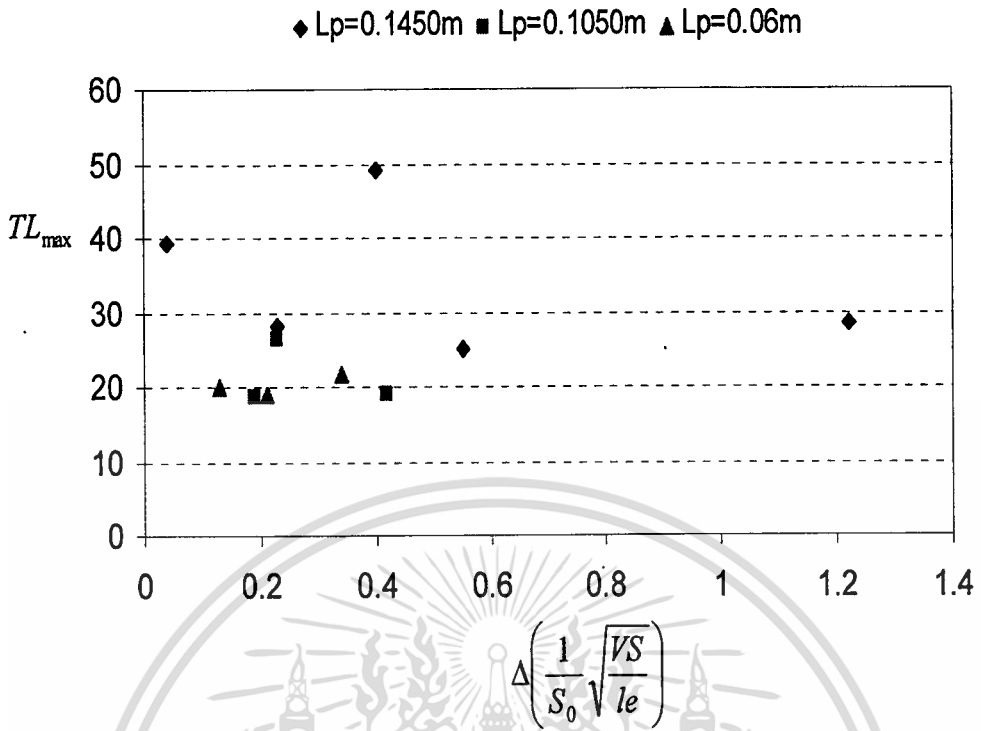
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M > 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



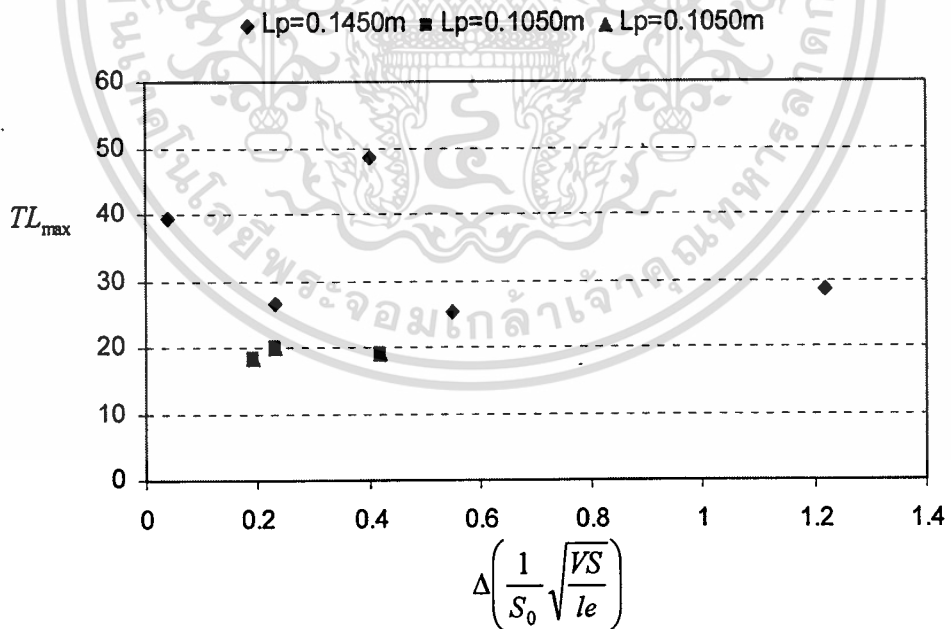
รูปที่ 5.53 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.39$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

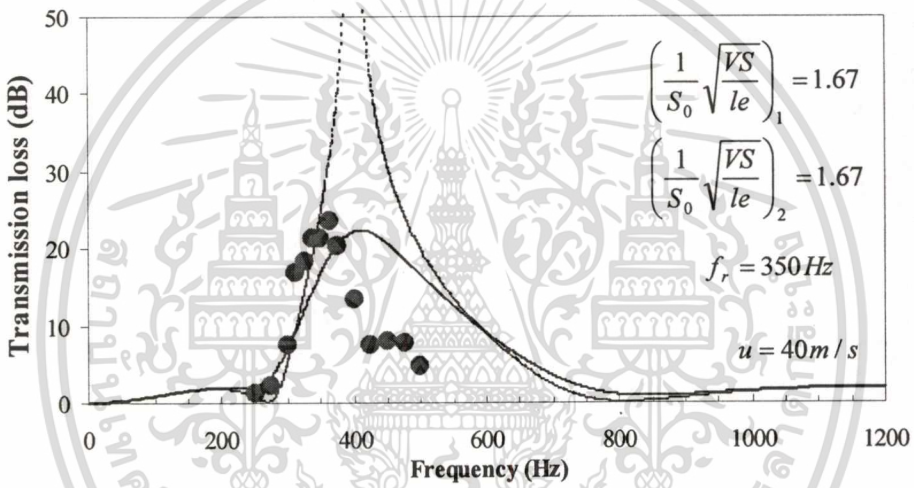
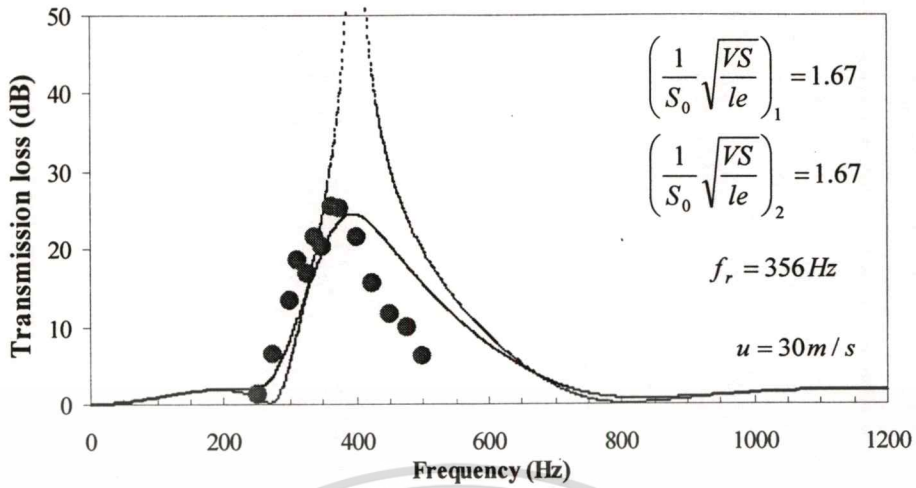


รูปที่ 5.57 ผลการเปรียบเทียบ $\Delta \left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}} \right)$ ต่อค่าการลดเสียงของท่อกลม

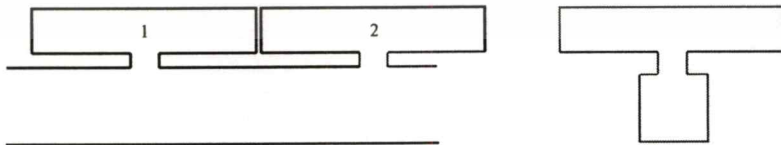


รูปที่ 5.58 ผลการเปรียบเทียบ $\Delta \left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}} \right)$ ต่อค่าการลดเสียงของท่อสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



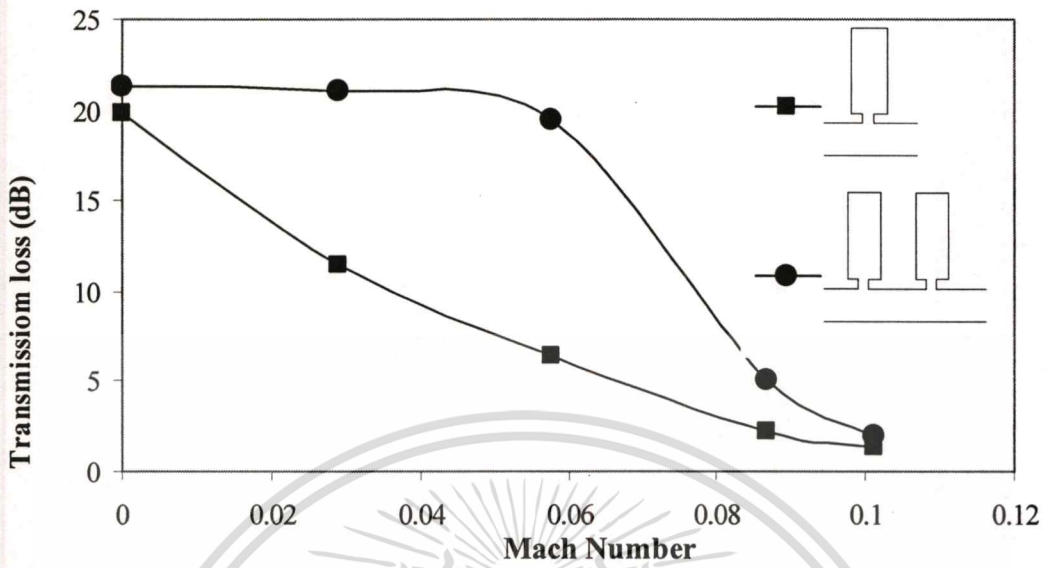
● ผลการทดลอง
 — ผลการคำนวณ $M \neq 0$
 - - - ผลการคำนวณ $M = 0$



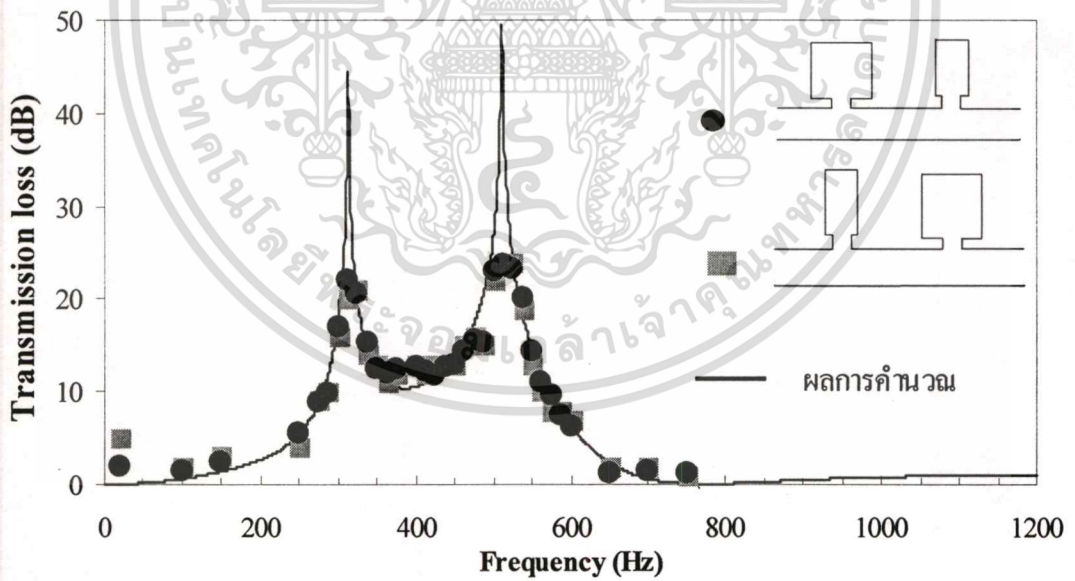
รูปที่ 5.54 ผลการทดลองเมื่อติดตั้งตัวลดเสียงขนาด $\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_1 = 1.67$ และ

$\left(\frac{1}{S_0} \sqrt{\frac{VS}{le}}\right)_2 = 1.67$ ที่ระยะห่าง 0.1450 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

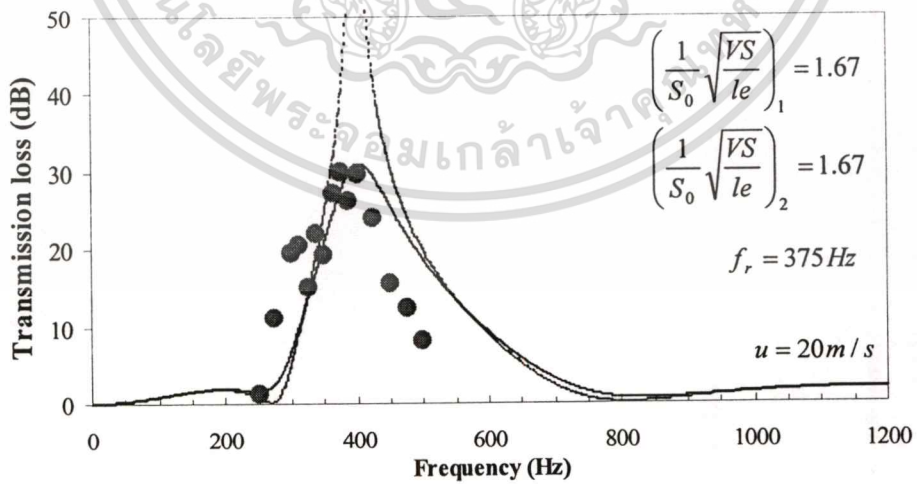
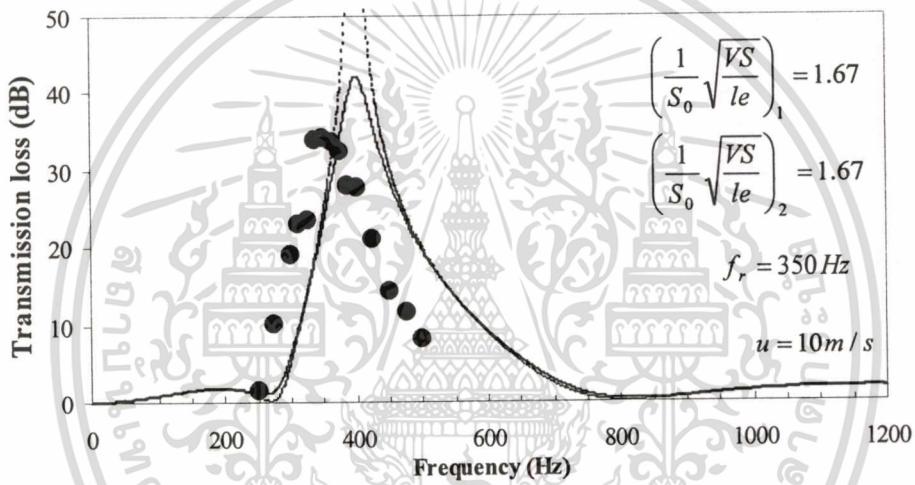
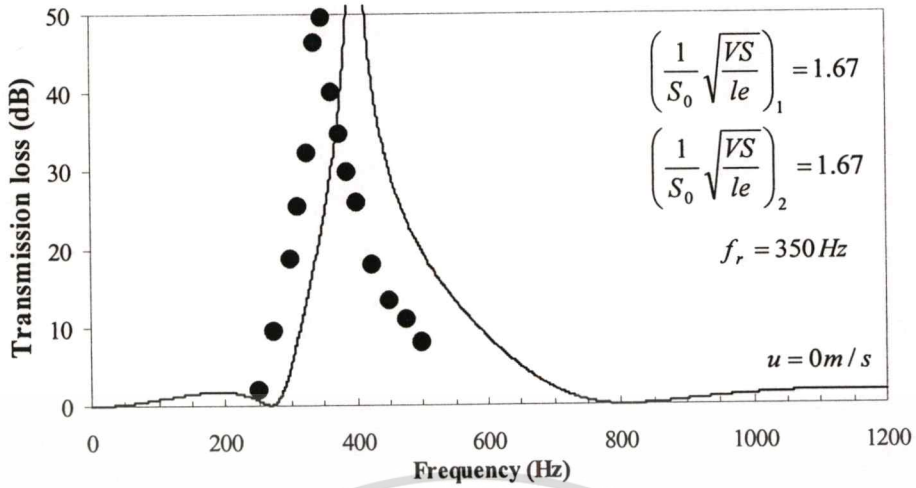


รูปที่ 5.55 ผลของมัคนัมเบอร์ต่อค่าการลดเสียง



รูปที่ 5.56 ผลของการติดตั้งตัวเก็บเสียงสลับตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับผลการทดลอง คุณลักษณะการลดเสียงโดยใช้ตัวเก็บเสียง ชนิดกล่องกังวานคู่แบบเฮลิคัมโฮลทซ์ติดตั้งแบบวางเรียงกันตามแนวท่อนำเสียง สามารถสรุปได้ ดังนี้

6.1.1 การปรับระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง จากผลการทดลองพบว่าระยะระหว่างตัวเก็บเสียงมากช่วงความถี่ในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงจะแยกออกจากกัน

6.1.2 เมื่อลดระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียงลง ความถี่ในการลดเสียงจะมีค่ากว้างขึ้น

6.1.3 ตัวเก็บเสียงมีขนาดต่างกันการติดตั้งตัวเก็บเสียงจะให้ตัวเก็บเสียงตัวหนึ่งมีปริมาณคงที่ พบว่าตัวเก็บเสียงขนาดต่างกันจะมีช่วงความถี่ในการลดเสียงกว้าง แต่ค่าการลดเสียงมีการเปลี่ยนแปลงมาก และตัวเก็บเสียงปริมาตรใกล้เคียงกัน จะมีช่วงความถี่ในการลดเสียงที่แคบ แต่ค่าการลดเสียงดีกว่า

6.1.4 ขนาดของตัวเก็บเสียง เมื่อมีความแตกต่างกันมาก ช่วงความถี่ในการลดเสียงจะแยกจากกันอย่างชัดเจน

6.1.5 ผลเนื่องจากความเร็วลมในท่อนำเสียง การทดลองผลของความเร็วลมในท่อนำเสียงโดยตัวเก็บเสียงทั้งสองปริมาตร พบว่าความเร็วลมน้อย ค่าการลดเสียงมีความแตกต่างกันไม่มาก เมื่อความเร็วลมสูงขึ้นค่าการลดเสียงจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่าการลดเสียงของตัวเก็บเสียงหนึ่งตัวจะลดลงทันทีเมื่อมีความเร็วลม

6.1.6 ความเร็วลมในท่อนำเสียงเมื่อมีค่ามากขึ้น การลดเสียงจะลดลง

6.1.7 การสลับตำแหน่งการติดตั้งของตัวเก็บเสียงจะให้ผลเหมือนกัน

6.1.9 การที่ค่าการลดเสียง (TL) ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎี เพราะตัวเก็บเสียงในทางปฏิบัติไม่มีมิติที่สมบูรณ์ และไม่มีคลื่นมิติเดียวที่สมบูรณ์เคลื่อนที่เข้าไปบริเวณคอ

6.2 แนวทางวิจัยในอนาคตและข้อเสนอแนะ

6.2.1 ออกแบบตัวเก็บเสียงให้สามารถปรับปริมาตรได้เอง เมื่อมีเสียงในท่อนำเสียง โดยใช้ Micro-Controller

6.2.2 ศึกษาการลดเสียงของตัวเก็บเสียงในกรณีที่มีความเร็วลมในท่อสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 ศึกษา ออกแบบและทดลอง การจัดวางกล่องเก็บเสียงแบบเฮลิคัมโฮลทซ์แบบวางเรียงกันตามแนวท่อ โดยให้มีจำนวนเพิ่มขึ้น

6.2.4 ศึกษาวิจัยการใช้กล่องเก็บเสียงแบบเฮลิคัมโฮลทซ์ร่วมกับกล่องเก็บเสียงชนิดอื่นๆ

6.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

6.3.1 สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบ อุปกรณ์ลดเสียงในท่อกลมและท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส

6.3.2 ทราบว่าตัวเก็บเสียงมีช่วงความถี่ในการลดเสียงในช่วงความถี่ใด

6.3.3 ทราบถึงผลของรูปร่างของตัวเก็บเสียงที่ใช้ในการลดเสียงและสามารถทราบถึงค่าในการลดเสียง

6.3.4 ทำให้ทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานของเสียง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- บุญชัย ศิลปกิจวงษ์ชัย. 2542. **สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz**. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปราโมทย์ เรืองฤทธิ์ 2544. **พฤติกรรมเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูงแบบ Helmholtz**. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- H. R. Hall, W. Brent Ferren and R. J. Bernhard 1992. "Active Control of Radiated Sound from Ducts" *Journal of Vibration and Acoustics*. Vol.114: 338-346.
- R.J. Alfredson and P.O.A.L. Davies. 1971. "Performance of exhaust silencer Components" *J Sound Vib*. 15(2): 175-196.
- M. L. Munjal. 1975. "Velocity Ratio-cum-Transfer Matrix Method for the Evaluation of a Muffler with Mean Flow." *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 39: 105-119.
- Frank Fahy. 2001. **Fundamental of Engineering Acoustics**. 3rd ed. Academic Press.
- Sound Research Laboratories Ltd. **Noise Control in Industry**. 3rd ed. Chapman and Hall.

ภาคผนวก ก
การคำนวณแก้ค่า Transmission loss

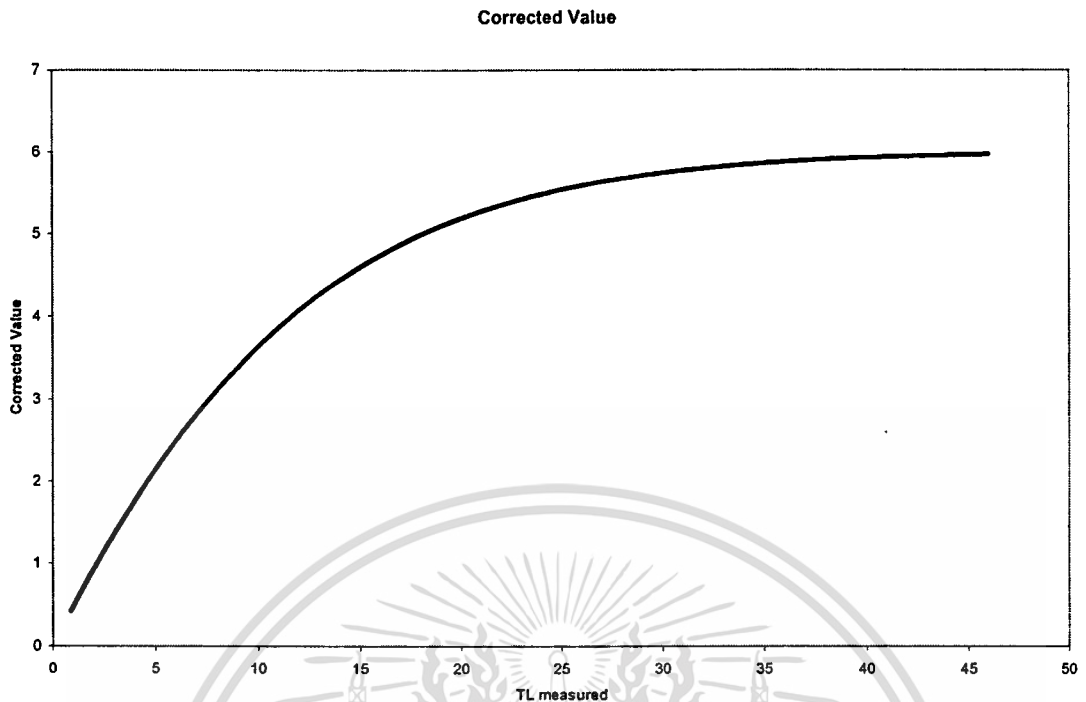
ตารางที่ ก.1 การแก้ค่าที่ได้จากการทดลอง

| % | TL Corrected value | TL True | TL Measured |
|-------|--------------------|---------|-------------|
| 5.00 | 0.42 | 0.45 | 0.87 |
| 10.00 | 0.83 | 0.92 | 1.74 |
| 15.00 | 1.21 | 1.41 | 2.63 |
| 20.00 | 1.58 | 1.94 | 3.52 |
| 25.00 | 1.94 | 2.50 | 4.44 |
| 30.00 | 2.28 | 3.10 | 5.38 |
| 35.00 | 2.61 | 3.74 | 6.35 |
| 40.00 | 2.92 | 4.44 | 7.36 |
| 45.00 | 3.23 | 5.19 | 8.42 |
| 50.00 | 3.52 | 6.02 | 9.54 |
| 55.00 | 3.81 | 6.94 | 10.74 |
| 60.00 | 4.08 | 7.96 | 12.04 |
| 65.00 | 4.35 | 9.12 | 13.47 |
| 70.00 | 4.61 | 10.46 | 15.07 |
| 75.00 | 4.86 | 12.04 | 16.90 |
| 80.00 | 5.11 | 13.98 | 19.08 |
| 85.00 | 5.34 | 16.48 | 21.82 |
| 90.00 | 5.58 | 20.00 | 25.58 |
| 95.00 | 5.80 | 26.02 | 31.82 |

โดย

$$TL_{Measured} = TL_{Corrected} + TL_{True} \quad (ก.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 Davis's Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมใช้งาน

ข.1 Input –Output File

ในการเขียนโปรแกรมใช้งานจะใช้ Visual C++ โดย Input และ Output เป็น Text file นำผลที่ได้ไปแสดงผลในรูปภาพ เทียบผลกับการทดลองโดยมี Input file ดังนี้

density (kg/m³) rho =

1.184

Sound velocity at any temperature (m/s) soundV =

346

Viscosity of air (Pa*s) mu =

0.00002

Diameter of Duct (m) D0 =

0.0513

Length of connector NO.1 (m) l1 =

0.015

Length of connector NO.2 (m) l2 =

0.015

Effective Length of Connector NO.1 (m) le1 =

0.0311

Effective Length of Connector NO.2 (m) le2 =

0.0311

Diameter of connector NO.1 (m) d1 =

0.03

Diameter of connector NO.2 (m) d2 =

0.03

Diameter of Resonator NO.1 (m) D1 =

0.0513

Diameter of Resonator NO.2 (m) D2 =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.0513

Stroke NO.1 (m) L1 =

0.06

Stroke NO.2 (m) L2 =

0.06

Distance between NO.1 and NO.2 (m) Lp =

0.06

Velocity of Air (m/s) U =

0

ข.2 โปรแกรมการคำนวณ

```
#include<iostream.h>
#include<math.h>
#include<fstream.h>
#include<string.h>
#include<iomanip.h>
#include<stdlib.h>
#include<C:/Documentsand
Settings/BIRD/Desktop/Noise_Control/Double_Resonator/complex1.h>
const double pi=4.*atan(1.);
const int array=1200;
const char sur[]="txt";
double
rho,soundV,mu,D0,l1,l2,l1,l2,d1,d2,D1,D2,L1,L2,Lp,U,S0,Z0,R1,R2,S1,S2,V1,V2,X1,X2
,TL[array+1],f[array+1],M,k;
Complex ME1[3][3],ME2[3][3],Me[3][3],MResult[3][3],PiPt;
char FileInput[30],FileOutput[30];

/* rho = density of air at any temperature (kg/m^3)
soundV= Sound velocity at any temperature (m/s)
mu = Viscosity of air (Pa*s)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|--------|---|--|----|
| D0 | = | Diameter of Duct (m) | |
| l1 | = | Length of connector NO.1 (m) | |
| l2 | = | Length of connector NO.2 (m) | |
| le1 | = | Effective Length of Connertor NO.1 (m) | |
| le2 | = | Effective Length of Connertor NO.2 (m) | |
| d1 | = | Diameter of connector NO.1 (m) | |
| d2 | = | Diameter of connector NO.2 (m) | |
| D1 | = | Diameter of Resonator NO.1 (m) | |
| D2 | = | Diameter of Resonator NO.2 (m) | |
| L1 | = | Stroke NO.1 (m) | |
| L2 | = | Stroke NO.2 (m) | |
| Lp | = | Distance between NO.1 and NO.2 (m) | |
| U | = | Velocity of Air (m/s) | |
| S0 | = | Area of Duct (m ²) | |
| Z0 | = | Impedance of Duct | |
| R1 | = | Impedance of Connector NO.1 | |
| R2 | = | Impedance of Connector NO.2 | |
| S1 | = | Area of Connector NO.1 | |
| S2 | = | Area of Connector NO.2 | |
| V1 | = | Volume of Resonator NO.1 | |
| V2 | = | Volume of Resonator NO.2 | |
| X1 | = | Impedance of Cavity NO.1 | |
| X2 | = | Impedance of Cavity NO.2 | |
| M | = | Much Number | |
| k | = | $2\pi f / (c \cdot (1 - M^2))$ | |
| arraay | = | Amount of array | |
| TL[] | = | Transmission loss | |
| f[] | = | Frequency | */ |

void InputFileName()

{
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cout<<"Enter file name for input:";
cin.getline(FileInput,22);
strcat(FileInput,sur);
cout<<"Enter file name for output:";
cin.getline(FileOutput,22);
strcat(FileOutput,sur);
}
void ReadFileInput()
{
    ifstream inp;
    inp.open(FileInput,ios::nocreate);
    if(inp==NULL)
    {
        cout<<"Cannot open \""<<FileInput<<"\" please try again\n";
        exit(0);
    }
    char *dummy;
    dummy=new char [120];
    inp.getline(dummy,119);
    inp>>rho;
    inp.getline(dummy,119);
    inp.getline(dummy,119);
    inp>>soundV;
    inp.getline(dummy,119);
    inp.getline(dummy,119);
    inp>>mu;
    inp.getline(dummy,119);
    inp.getline(dummy,119);
    inp>>D0;
    inp.getline(dummy,119);
    inp.getline(dummy,119);

```

```

inp>>l1;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>l2;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>le1;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>le2;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>d1,
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>d2;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>D1;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>D2;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>L1;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>L2;
inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>Lp;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

inp.getline(dummy,119);
inp.getline(dummy,119);
inp>>U;
delete [] dummy;
inp.close();
}
void Calculate_Parameter()
{
    S0=pi*D0*D0/4.;
    Z0=rho*soundV/S0;
    S1=pi*d1*d1/4.;
    S2=pi*d2*d2/4.;
    V1=pi*D1*D1*L1/4.;
    V2=pi*D2*D2*L2/4.;
    M=U/soundV;
}
void Calculate_each_frequency()
{
    int i;
    Complex EXP,EXP1,EXP2;
    for(i=1;i<=array;i++)
    {
        f[i]=i;
        k=2.*pi*f[i]/(soundV*(1.-M*M));
        R1=16.*I1*pow(pi*mu*rho*f[i],0.5)/(pi*d1*d1*d1);
        R2=16.*I2*pow(pi*mu*rho*f[i],0.5)/(pi*d2*d2*d2);
        X1=2.*pi*f[i]*rho*le1/S1-rho*soundV*soundV/(2.*pi*f[i]*V1);
        X2=2.*pi*f[i]*rho*le2/S2-rho*soundV*soundV/(2.*pi*f[i]*V2);
        EXP=Complex(cos(-k*Lp*M),sin(-k*Lp*M));
        Me[1][1]=EXP*Complex(cos(k*Lp),0.);
        Me[1][2]=EXP*Complex(0.,Z0*sin(k*Lp));
    }
}

```

```
+(ME1[2][1]*Me[1][2]+ME1[2][2]*Me[2][2])*ME2[2][2];
```

```
PiPt=(MResult[1][1]+Complex(MResult[1][2].real/Z0,MResult[1][2].imaginary/Z0)
      +MResult[2][1]*Complex(Z0,0.)+MResult[2][2])*Complex(0.5,0.);
TL[i]=10.*log10(pow(PiPt.Cabs(),2.));
}
```

```
}
void Output()
{
    int i;
    ofstream out;
    out.open(FileOutput,ios::app);
    out<<"frequency\tTL(dB)\n";
    for(i=0;i<=array;i++)
        out<<f[i]<<"\t"<<TL[i]<<"\n";
    out.close();
}
void main()
{
    InputFileName();
    ReadFileInput();
    Calculate_Parameter();
    Calculate_each_frequcy();
    Output();
}
```

และ

```
#ifndef COMPLEX1_H
#define COMPLEX1_H
#include<math.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

class Complex{
public:
    Complex( double = 0.0, double = 0.0 );           //constructor
    Complex operator+(const Complex & ) const; //addition
    Complex operator-(const Complex & ) const; //subtraction
    Complex operator*(const Complex & ) const; // Multiplition
    const Complex &operator=( const Complex & );//assignment
    double Cabs();
    void print() const;
    double real;                                     //real part
    double imaginary;                               //imaginary pat
    double Theta;                                  //degree between
of real axis and imaginary axis
};

#endif
//constructor
Complex::Complex( double r,double i)
    :real( r ),imaginary( i ) {}

//overloaded addition operator
Complex Complex::operator+( const Complex &operand2 ) const
{
    return Complex( real +operand2.real,
        imaginary+operand2.imaginary );
}

//Overloaded subtraction operator
Complex Complex::operator-( const Complex &operand2 ) const

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

return Complex( real-operand2.real,
                imaginary-operand2.imaginary );
}

//Overloaded = operator
const Complex& Complex::operator=( const Complex &right )
{
    real = right.real;
    imaginary = right.imaginary;
    return *this; //enables cascading
}
Complex Complex::operator*( const Complex &operand2 ) const
{
    return Complex(real*operand2.real-imaginary*operand2.imaginary,
                  imaginary*operand2.real+real*operand2.imaginary);
}
double Complex::Cabs()
{
    return pow(real*real+imaginary*imaginary,0.5);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงชนิดกล่องกังวานคู่แบบ เฮล์มโฮลทซ์

Transmission Loss Characteristic of a Doubled Helmholtz- Resonator Silencer

มีง โลกจิแสงทอง ณิชวุฒิ วิริยะจิตสมบุรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอคุณลักษณะการลดเสียงในท่อ โดยใช้ตัวเก็บเสียงชนิดกล่องกังวานคู่แบบเฮล์มโฮลทซ์ เพื่อหาค่าความสามารถในการลดเสียง พิจารณาจากการลดเสียง (Transmission Loss) ที่ความถี่ 100-1200 Hz โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้น ตัวแปรต่างๆในการศึกษานี้ได้พิจารณา ขนาดของห้องกังวณ ระยะระหว่างกล่องกังวณ ความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของข้อต่อ ที่มีผลต่อการลดเสียงที่ความถี่ต่างๆ กล่องกังวณติดตั้งอยู่บนท่อนำเสียงชนิดกลม การวิเคราะห์ผลทางทฤษฎีพิจารณาที่อุณหภูมิห้อง ทั้งแบบมีอากาศไหลผ่านและไม่มีอากาศไหลผ่าน ซึ่งผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

ABSTRACT

This paper presents the characteristic of noise reduction in duct by using the doubled Helmholtz-Resonator silencer. To calculate the value of noise – reducing capacity, Transmission Loss (TL) at the frequency 100 – 1200 Hz was considered by means of linear theory. In this study various parameters considered are as follow: Size of resonance chamber, distance between resonator, length and diameter of connector affected noise reduction of various frequencies. The resonators were installed on noise conducting duct of tubular type. The theoretical analysis was performed for the condition at room temperature with and without air flow, and then compared to the experimental results.

1. บทนำ

การควบคุมเสียงรบกวนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การลดเสียงจากต้นกำเนิด และ การลดเสียงโดยการกระทำระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและแหล่งรับเสียง [2], [5] การใช้ตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการลดเสียงระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงและแหล่งรับเสียง เนื่องจากค่า

การลดเสียงของอุปกรณ์เก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์มีค่าการลดเสียงดี แต่ช่วงความถี่ในการลดเสียงของอุปกรณ์ชนิดนี้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ อุปกรณ์ลดเสียงชนิดอื่นด้านตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ ต่างขนาดกันมาติดตั้งแบบวางเรียงกันตามแนวแกนท่อ จะสามารถลดเสียงในช่วงความถี่ที่ต้องการ และสามารถเพิ่มค่าการลดเสียงได้ [4]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Munjal [1] ได้แสดงผลของความดันเสียงและอัตราการถ่ายเทมวล ที่หน้าตัดท่อนำเสียงโดยตรง ดังรูปที่ 1 ณ จุดต่อก่อนเข้าและหลังเข้า ตัวเก็บเสียงในรูปของเมทริกซ์ถ่ายโอนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \frac{1}{2M + \frac{Z_r}{Z_0}} \begin{bmatrix} M + \frac{Z_r}{Z_0} & M^2 Z_0 \\ \frac{1}{Z_0} & M + \frac{Z_r}{Z_0} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S_0} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_0 คือความหนาแน่นของตัวกลาง, c คือความเร็วเสียง, M คือแมคคานัมเบอร์, Z_0 เป็นความต้านทานของท่อและ Z_r คือความต้านทานเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแสดงโดย

$$Z_r = R + j(X + R) \quad (3)$$

$$R = \frac{16l}{\pi d^3} \sqrt{\pi \mu \rho_0} f \quad (4)$$

$$X = \frac{2\pi f \rho_0 l_c}{S} - \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f V} \quad (5)$$

เมื่อ R คือความต้านทานของข้อต่อและ X เป็นความต้านทานของปริมาตรภายใน, μ คือสัมประสิทธิ์ความหนืดของตัวกลาง, S คือพื้นที่หน้าตัดของข้อต่อตัวเก็บเสียง, S_0 คือพื้นที่หน้าตัดของท่อนำเสียง, f คือความถี่ และ f_c คือความถี่กำทอนโดย

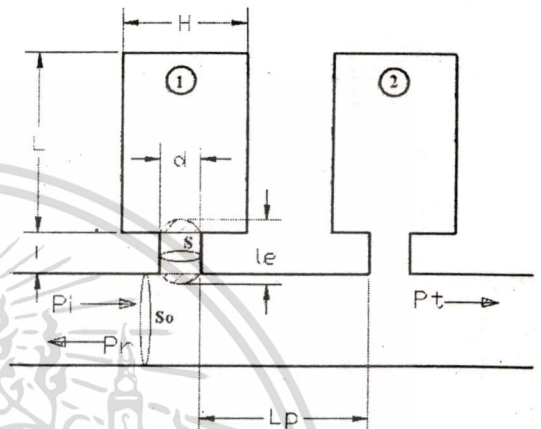
$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V}} \quad (6)$$

$$l_c = l + \beta d \quad (7)$$

เมทริกซ์ถ่ายโอน สำหรับท่อนำเสียง $|2|$ ระหว่างตัวเก็บเสียงเขียนได้เป็น

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = e^{-jkL_p} \begin{bmatrix} \cos kL_p & jZ_0 \sin kL_p \\ j \sin kL_p & \cos kL_p \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$k = \frac{2\pi f}{c(1-M^2)} \quad (9)$$



รูปที่ 1 แบบจำลองของตัวเก็บเสียง

ดังนั้นจากแบบจำลองตัวเก็บเสียงรูปที่ 1 สมการหาค่าการลดเสียงเมื่อผ่านตัวเก็บเสียง

$$\begin{bmatrix} \frac{P_i + P_r}{Z_0} \\ \frac{P_i - P_r}{Z_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{P_t}{Z_0} \\ \frac{P_t}{Z_0} \end{bmatrix} \quad (10)$$

และสมการการหาค่า Transmission loss คือ

$$TL = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2 \quad (11)$$

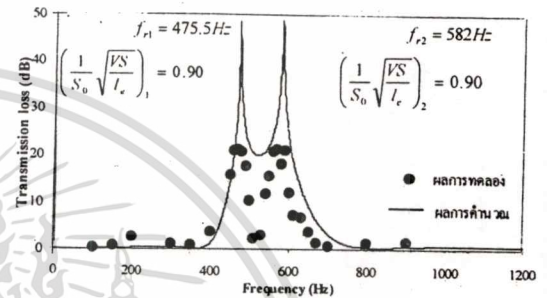
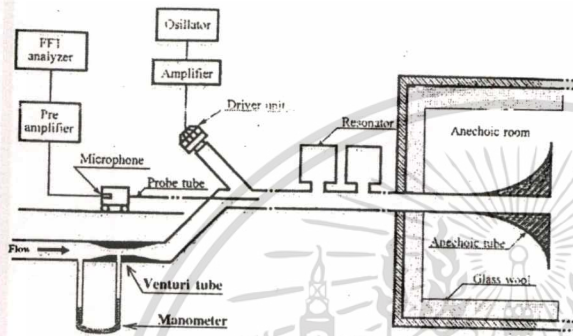
โดย P_i คือความดันเสียงที่ทางเข้า P_r คือความดันเสียงที่สะท้อนกลับและ P_t คือความดันเสียงที่ส่งผ่าน

3. การทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ในการทดลองดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยท่อนำเสียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.051 เมตร ปลายท่อต่อเข้ากับห้องเก็บเสียงซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและป้องกันการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงมี Oscillator เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ของคลื่นเสียง ผ่านไปยัง Driver unit โดยใช้ไมโครโฟนวัดสัญญาณเสียงผ่าน Probe tube ซึ่งสอดผ่านเข้าไปในท่อจะวัดความดันเสียงก่อนเข้าตัวเก็บเสียงตัวที่ 1 และ

หลังตัวเก็บเสียงตัวที่ 2 เพื่อนำเสียงมาอ่านค่าความดันเสียงที่ FFT Analyzer นำผลการทดลองที่ได้มาปรับแก้การสะท้อนกลับ ของคลื่นเสียง โดยใช้ทฤษฎีของ Davis's curve[3]

ความถี่กำหนดของตัวเก็บเสียงจะมีค่าเท่ากัน ถ้าระยะระหว่างตัวเก็บเสียงลดลง ช่วงความถี่ในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงจะเคลื่อนเข้าหากัน และค่าการลดเสียงจะดีขึ้น

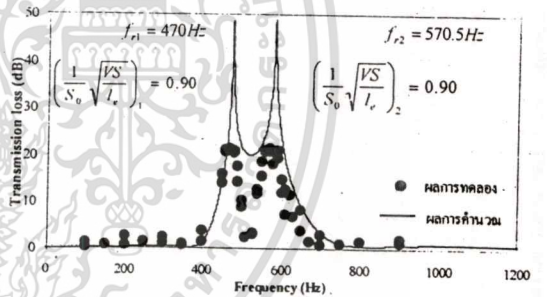


รูปที่ 4 ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.145 เมตร

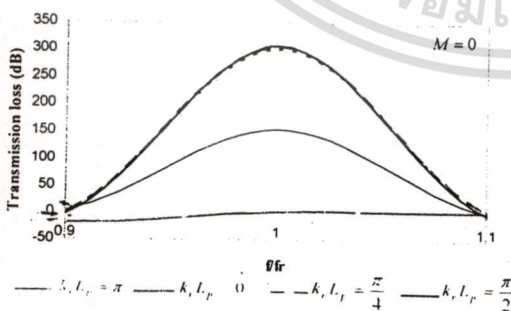
รูปที่ 2 แสดงระบบที่ใช้ในการทดลอง

4.ผลการทดลอง

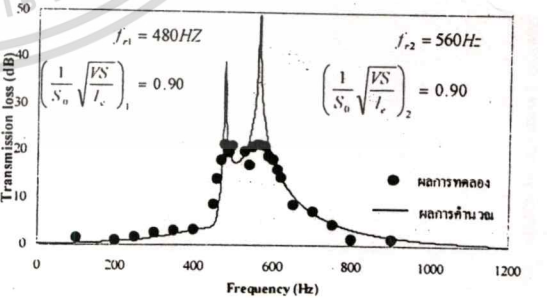
จากรูปที่ 3 คุณลักษณะการลดเสียงของตัวเก็บเสียง ณ ความถี่กำหนด $f/f_r = 1$ โดยตัวเก็บเสียงมีขนาด $d/l = 1.5$ และปริมาตร $V = 186 \times 10^{-6} m^3$ ค่าการลดเสียงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ $k_r L_p$ เข้าใกล้ π และ 0 และมีค่ามากที่สุดในช่วง $\frac{\pi}{4} \leq k_r L_p \leq \frac{\pi}{2}$



รูปที่ 5 ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.105 เมตร



รูปที่ 3 ค่าการลดเสียงและPhase angle



รูปที่ 6 ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.06 เมตร

4.1 ผลการทดลอง การปรับระยะ ห่างระหว่างตัวเก็บเสียง

รูปที่ 4,5 และ 6 แสดงผลคุณลักษณะการลดเสียง โดยให้ตัวเก็บเสียงทั้งสองมีปริมาตร $V = 186 \times 10^{-6} m^3$ และ $d/l = 1.5$

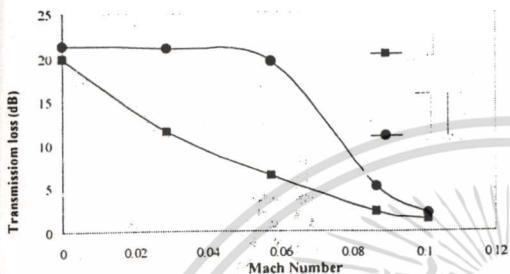
4.2 ผลเนื่องจากการเร็วลมในท่อนำเสียง

การทดลองผลของความเร็วลมในท่อนำเสียง โดยตัวเก็บเสียงทั้งสองปริมาตร $V = 186 \times 10^{-6} m^3$ และ $d/l = 1.5$

ผลการทดลองพบว่าระยะระหว่างตัวเก็บเสียงมากช่วงความถี่ในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงจะแยกออกจากกัน ถึงแม้ว่า

ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.06 เมตร พบว่าความเร็วลมน้อย ค่าการลดเสียงมีความแตกต่างกันไม่มาก เมื่อความเร็วลมสูงซึ่งค่าการลดเสียงจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่า

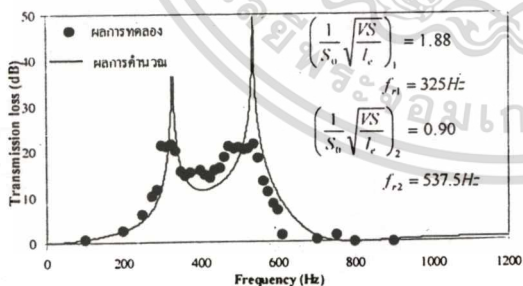
การลดเสียงของตัวเก็บเสียงหนึ่งตัวจะลดลงทันทีเมื่อมีความเร็วลม ดังรูปที่ 7



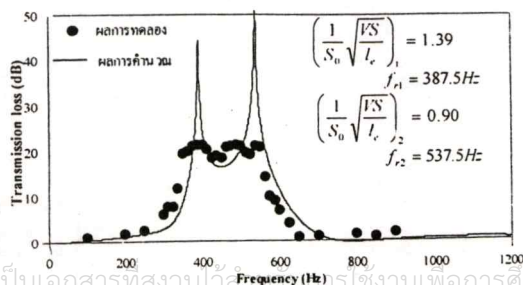
รูปที่ 7 ผลของมัคนิมเบอร์ต่อค่าการลดเสียง

4.3 การทดลองตัวเก็บเสียงมีขนาดต่างกัน

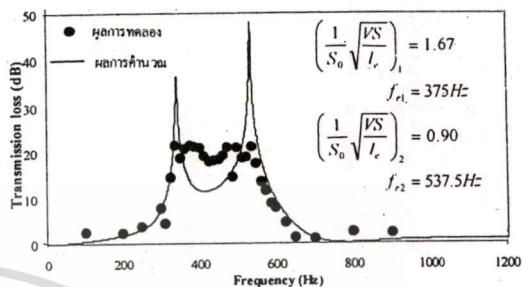
การติดตั้งตัวเก็บเสียงจะให้ตัวเก็บเสียงตัวหนึ่งมีปริมาตรคงที่ โดยใช้ $d/l = 1.5$ ตามรูปที่ 8, 9 และ 10 พบว่าเมื่อติดตั้งตัวเก็บเสียงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีช่วงความถี่ในการลดเสียงกว้างขึ้น แต่ค่าการลดเสียงมีการเปลี่ยนแปลงมาก และตัวเก็บเสียงปริมาตรใกล้เคียงกัน จะมีช่วงความถี่ในการลดเสียงที่แคบ แต่ค่าการลดเสียงดีกว่า



รูปที่ 8 ช่วงความถี่ในการลดเสียงที่ 325-537.5 Hz



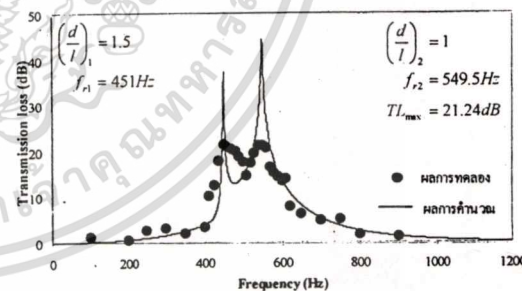
รูปที่ 9 ช่วงความถี่ในการลดเสียงที่ 375-537.5 Hz



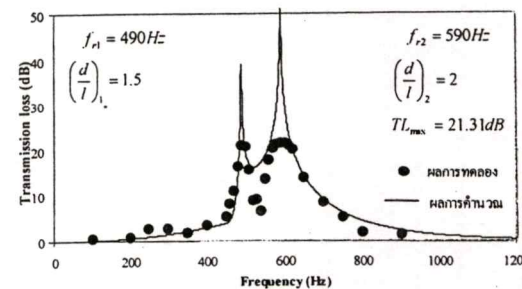
รูปที่ 10 ช่วงความถี่ในการลดเสียงที่ 387-537.5 Hz

4.4 การทดลองขนาดความยาวข้อต่อ ตัวเก็บเสียงต่างกัน

รูปที่ 11 และ 12 แสดงผลคุณลักษณะการลดเสียงโดยให้ตัวเก็บเสียงทั้งสองมีปริมาตรเท่ากัน $V = 186 \times 10^{-6} m^3$ ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.06 เมตร เมื่อติดตั้งข้อต่อขนาด $d/l = 1.5$ ร่วมกับ $d/l = 1$ ให้ค่าการลดเสียงใกล้เคียงกัน ในช่วงความถี่ 451-549.5 Hz ในขณะที่ติดตั้งข้อต่อขนาด $d/l = 1.5$ ร่วมกับ $d/l = 2$ มีช่วงความถี่ในการลดเสียงแยกจากกัน



รูปที่ 11 ช่วงความถี่ในการลดเสียง 451-549.5 Hz



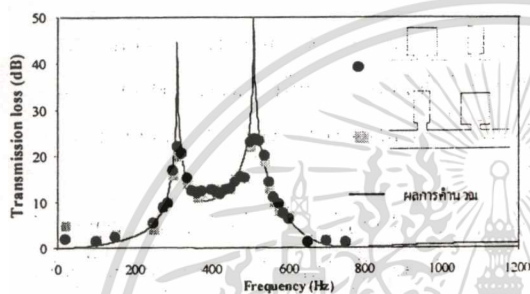
รูปที่ 12 ช่วงความถี่ในการลดเสียง 490-590 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการนี้แต่เพียงส่วนเดียว หากท่านมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองสลับตำแหน่งการติดตั้งตัวเก็บเสียง

รูปที่ 13 แสดงผลคุณลักษณะการลดเสียง โดยให้ตัวเก็บเสียงตัวที่ 1 มีปริมาตร $V_1 = 186 \times 10^{-6} m^3$ และตัวที่ 2 มีปริมาตร $V_2 = 661 \times 10^{-6} m^3$ ระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียง 0.145 เมตร ให้ค่าการลดเสียงใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ 300-600Hz



รูปที่ 13 ช่วงความถี่ในการลดเสียง 300-600Hz

5.สรุปผลการทดลอง

จากผลทางทฤษฎีและการทดลองคุณลักษณะการลดเสียงโดยใช้ตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

- 5.1 ผลการทดลองค่าการลดเสียงสอดคล้องกับค่าทางทฤษฎี
- 5.2 เมื่อลดระยะห่างระหว่างตัวเก็บเสียงลง ความถี่ในการลดเสียงจะมีค่ากว้างขึ้น ตามรูปที่ 4-6
- 5.3 ความเร็วลมในท่อนำเสียงเมื่อมีค่ามากขึ้น การลดเสียงจะลดลง ตามรูปที่ 7
- 5.4 ขนาดของตัวเก็บเสียง เมื่อมีความแตกต่างกันมากช่วงความถี่ในการลดเสียงจะแยกจากกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 8-10
- 5.5 ขนาดของข้อต่อมีผล ทำให้ช่วงความถี่ในการลดเสียงเปลี่ยนแปลง คือเมื่อข้อต่อยาวขึ้นจะมีค่าการลดเสียงที่มากขึ้นแต่ ช่วงความถี่ในการลดเสียงจะแคบลง
- 5.6 การสลับตำแหน่งการติดตั้งของตัวเก็บเสียง จะให้ผลเหมือนกันดังรูปที่ 13

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] M. L. Munjal, "Velocity Ratio-cum-Transfer Matrix Method for the Evaluation of a Muffler with Mean Flow," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.39, pp.105-119, 1975

- [2] F. Fahy, "Fundamental of Engineering Acoustics," Academic Press, 2001 Sound Research Laboratories Ltd., "Noise Control in Industry," Third edition, full revised and update, Chaman and Hall, 1991

- [3] D. Davis, Jr., G. Stevens, Jr., D. Moore and G. Stokes, "Theoretical and Measured Attenuation of Muffler at Room Temperature without Flow, with Comments on Engine-exhaust Muffler Design," NACA Technical Note 2893, 1954.

- [4] บุญชัย ศิลปกิจวงษ์ชัย, "สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542

- [5] ปราโมทย์ เรืองฤทธิ์, "พฤติกรรมเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูงแบบ Helmholtz," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542

ประวัติผู้เขียน

| | |
|--------------------|--|
| ชื่อ | นายณัฐวุฒิ วิริยะจิตสมบุญ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 5 มีนาคม 2518 ที่จังหวัดระยอง |
| ที่อยู่ | 80/115 หมู่ 4 ต.บางเมืองใหม่ อ.เมือง สมุทรปราการ |
| ประวัติการศึกษา | 2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| ประสบการณ์การทำงาน | |
| พ.ศ. 2545-2546 | ตำแหน่ง อาจารย์ โรงเรียนเซนต์จอห์นโปลีเทคนิค |
| ปัจจุบัน | วิศวกรเครื่องกล 3 ส่วนสถานตรวจสภาพรถ สำนักวิศวกรรมและความปลอดภัย กรมการขนส่งทางบก |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้