

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเรื่องการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ชนิดสี่ตัว

SOUND TRANSMISSION LOSS THROUGH A QUADRUPLE HELMHOLTZ
RESONATOR – TYPE SILENCER



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**103110**
วัน,เดือน,ปี..**2.8.ค.ค. 2552**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเรื่องการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ชนิดสี่ตัว

**SOUND TRANSMISSION LOSS THROUGH A QUADRUPLE HELMHOLTZ
RESONATOR – TYPE SILENCER**

โดย

นาย อภัยวิทย์ คำลิจิต

นาย อภิรุณ สามชั้นน้ำ

นาย อาทิตย์ จันทรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเรื่องการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮลิ้มโฮลทซ์ชนิดสี่ตัว

**SOUND TRANSMISSION LOSS THROUGH A QUADRUPLE HELMHOLTZ
RESONATOR – TYPE SILENCER**

ผู้จัดทำ

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. นาย อภัยวิทย์ คำลิจิต | รหัสประจำตัว 49015551 |
| 2. นาย อภิรุณ สามชั้นคำ | รหัสประจำตัว 49015552 |
| 3. นาย อาทิตย์ จันทรี | รหัสประจำตัว 49015553 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเรื่องการลดเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ชนิดสี่ตัว

นาย อภัยวิทย์ คำลิขิต 49015551

นาย อภิรุณ สามชั้นน้ำ 49015552

นาย อาทิตย์ จันทร์ 49015553

ผศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะเฉพาะตัวของการลดเสียงภายในท่อโดยใช้ตัวเก็บเสียง ประกอบด้วยตัวกังวานแบบเฮล์มโฮลทซ์ชนิดสี่ตัว ซึ่งนำมาติดตั้งเข้ากับผนังท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสตั้งฉากซึ่งกันและกัน เพื่อหาค่าการลดเสียงในช่วงความถี่ 100 - 1,200 Hz เราจะสามารถวัดประสิทธิภาพได้โดยใช้สมการการสูญเสียการส่งผ่าน ในการศึกษานี้จะพิจารณาค้นเสียงเป็นแบบคลื่นเชิงระนาบ มีแหล่งกำเนิดเสียงจากเครื่องกำเนิดเสียงผ่านลำโพง ซึ่งสามารถปรับค่าความถี่ได้ โดยพิจารณาถึงในกรณีที่มีอากาศไหลผ่าน และกรณีที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน ในการทดลองสามารถลดเสียงได้และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งเฮล์มโฮลทซ์สองตัวสามารถลดเสียงได้ดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ลดเสียงให้มีคุณภาพมากขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sound Transmission Loss Through a quadruple Helmholtz Resonator – type Silencer

Aphaiwit Khamlekhit

Apirun Samchuencham

Athit Juntree

Assist. Prof. Ming Lokitsangtong Advisor

Abstract

This project concerns a study of noise reduction characteristic of quadruple Helmholtz – resonator type silencer that is installed by having resonators perpendicular to one another on each side of a square duct. The frequency range in our study is 100-1,200 Hz. We can find the efficacy of this silencer by using the transmission loss equations. Because of the nature of this problem, we can consider the sound wave as a plane wave generated from an oscillator through a diaphragm unit that can be adjusted for different frequencies. The experiment will be focused on duct with air flow and without air flow through. In the experiment, sound level was reduced and when compare with install two Helmholtz, reduce more sound level. The result of this project can be used in research and development of the silencer in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับการอนุเคราะห์และการช่วยเหลือในทุกๆด้านจากอาจารย์ที่ปรึกษา จึงขอขอบพระคุณ ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง รวมทั้งอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ให้ความเมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา สิ่งศักดิ์สิทธิ์ที่ข้าพเจ้าเคารพนับถือที่คอยปกป้องดูแลข้าพเจ้า

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่าน รุ่นพี่ เพื่อนๆและรุ่นน้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ ติ-ชม และกำลังใจให้ผู้จัดทำมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย อภัยวิทย์ คำลิขิต

นาย อภิรุณ สามชั้นฉ่ำ

นาย อาทิตย์ จันทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วิธีการลดเสียงรบกวน.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีการดำเนินการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงเบื้องต้น.....	5
2.1.1 เสียงคืออะไร.....	5
2.2 ทฤษฎีการลดเสียง.....	6
2.3 คำแนะนำของ Davis.....	10
2.4 ทฤษฎีการวัดอัตราการใช้.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	14
3.1	อุปกรณ์สำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz Resonator.....	14
3.2	วิธีการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz Resonator.....	18
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	19
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	78
5.1	สรุปผลการทดลองพฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz Resonator.....	78
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	78
ภาคผนวก		
บรรณานุกรม		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 2 ตัว.....	20
4.2 พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 4 ตัว.....	49
5.1 เปรียบเทียบค่า TL ที่เพิ่มขึ้น.....	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะของเสียงรบกวนชนิด Pure tones.....	1
1.2 Expansion chamber.....	2
1.3 Side Branch resonator.....	3
1.4 Helmholtz resonator.....	3
2.1 ความดันเสียง และระดับความดันเสียง.....	7
2.2 ความดันบริเวณด้านหน้า – หลังของ Resonator.....	8
2.3 รายละเอียด Helmholtz Resonator.....	10
2.4 ค่าแก้ไขความดันสะท้อนกลับด้านหน้า Resonator.....	11
2.5 ลักษณะของ Venturi.....	12
3.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Resonator.....	14
3.2 FFT Analyzer.....	14
3.3 Amplifier.....	15
3.4 Microphone.....	15
3.5 Microphone carriage และ Probe Tube.....	15
3.6 Oscillator.....	16
3.7 Driver Unit.....	16
3.8 Blower.....	16
3.9 มิติของ Venturi.....	17
3.10 Case Study.....	17
3.11 Helmholtz Resonator.....	18
(4.1) – (4.9) กราฟ Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว	
4.1 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	22
4.2 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	23
4.3 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	24
4.4 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	25
4.5 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	26
4.6 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	27
4.7 $D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	29
4.9	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	30
(4.10) – (4.18) กราฟ Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว(รวม)		
4.10	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	31
4.11	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	32
4.12	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	33
4.13	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	34
4.14	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	35
4.15	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	36
4.16	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	37
4.17	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	38
4.18	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	39
(4.19) – (4.27) Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว		
4.19	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	40
4.20	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	41
4.21	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	41
4.22	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	43
4.23	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	44
4.24	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	45
4.25	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	46
4.26	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	47
4.27	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	48
(4.28) – (4.36) กราฟ Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว		
4.28	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	51
4.29	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	52
4.30	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	53
4.31	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	54
4.32	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	55
4.33	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	56
4.34	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	57
4.35	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.36	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	59
(4.37) – (4.45) กราฟ Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว(รวม)		
4.37	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	60
4.38	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	61
4.39	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	62
4.40	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	63
4.41	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	64
4.42	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	65
4.43	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	66
4.44	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	67
4.45	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	68
(4.46) – (4.54) Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว		
4.46	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	69
4.47	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	70
4.48	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.025 \text{ m}$	71
4.49	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	72
4.50	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	73
4.51	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.050 \text{ m}$	74
4.52	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.010 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	75
4.53	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.012 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	76
4.54	$D_0 = 0.040 \text{ m}$, $d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.014 \text{ m}$, $D = 0.090 \text{ m}$, $L 0.075 \text{ m}$	77
5.1	ช่วงของการลดเสียงที่กว้างขึ้น.....	79

บทที่ 1

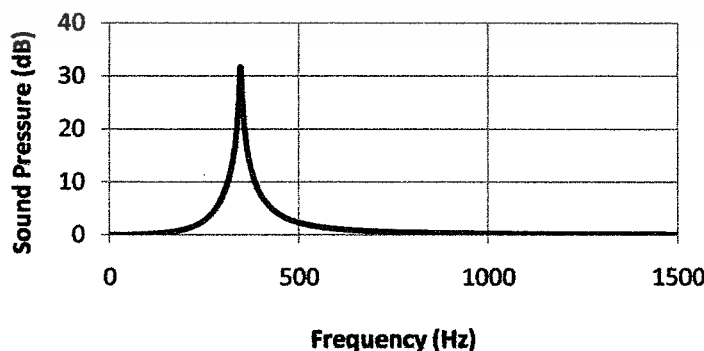
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เสียง (Sound) เป็นปรากฏการณ์ประเภทคลื่นอย่างหนึ่ง ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลาง (Medium) ที่มีการสั่นสะเทือน ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดความดันและการขจัดของอนุภาคตัวกลางเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเสียงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งตัวกลางที่เป็นอากาศ ของเหลว และของแข็ง ระดับของเสียงหรือความดัง จะมีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB) มนุษย์จะสามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 – 20,000 Hz ถ้าความถี่มากกว่านี้ เรียกว่า Ultrasonic และถ้าต่ำกว่าช่วงความถี่นี้ จะเรียกว่า Infrasonic ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงในช่วงดังกล่าวได้

ในปัจจุบันมลภาวะทางเสียงเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่จะต้องรีบแก้ไข ดังนั้นในงานออกแบบท่อลม ท่อไอเสียเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ควรคำนึงถึงคือ เสียงรบกวน (Noise) ซึ่งหมายถึง เสียงที่เราไม่ต้องการรับฟัง ผลของเสียงรบกวนทำให้เกิดความรำคาญ ก่อการสนทนา ก่อให้เกิดการเหนื่อยล้า เสียสมาธิในการทำงาน และถ้าได้ยินเป็นระยะเวลาานติดต่อกันจะทำให้สูญเสียการรับฟังไปในที่สุด

ในงานวิจัยฉบับนี้เสียงรบกวนที่พิจารณาคือ คลื่นเสียงที่เป็นแบบระนาบ คือคลื่นเสียงจะเป็นคลื่นตามยาว กล่าวคือ อนุภาคจะแกว่งตัวตามแนวแกน x และเสียงจะแผ่กระจายตามแนวแกน x และจะพิจารณาเสียงรบกวนแบบชนิด โทนเสียงบริสุทธิ์ คือเสียงรบกวนที่ประกอบด้วยความถี่เพียงค่าเดียว อาจเกิดจากเครื่องจักรกลในส่วนที่มีการหมุน การกระทบกัน หรือการไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องกลซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนบริเวณพื้นผิว เสียงจากการไหลเป็นช่วงๆของของเหลวหรือแก๊ส เช่นการไหลภายในท่อแคบๆ เสียงสูงต่ำนี้สามารถแยกแยะได้โดยการฟัง หรือการใช้การวิเคราะห์ความถี่ จากเครื่องวัดทั่วไปแสดงผล ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะของเสียงรบกวนชนิด Pure tones

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วิธีในการลดเสียงรบกวนนั้นกระทำได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1.2.1 การลดเสียง ณ จุดกำเนิดเสียง แบ่งเป็น

1.2.1.1 การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างของเครื่องจักร เพื่อให้เกิดเสียงน้อยลง คือ ปรับปรุงจากการจับยึดของเครื่องจักร เพื่อให้การสั่นสะเทือนลดลง

1.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงบางส่วนของเครื่องจักร คือ การพยายามลดชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรให้น้อยลง

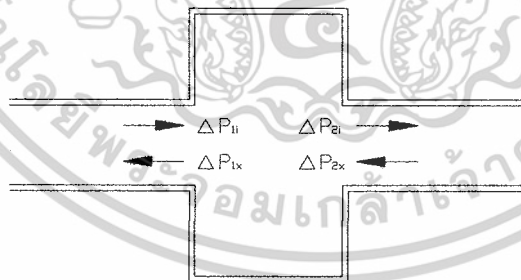
1.2.1.3 การใช้ดีมเปอร์ (Damper) เพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรให้น้อยลง

1.2.2 การลดเสียงโดยกระทำระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง และแหล่งรับเสียง แบ่งเป็น

1.2.2.1 การลดเสียงแบบ Active (Active Noise Control ; ANC) จะเป็นการลดเสียงโดยอาศัยแหล่งกำเนิดเสียงที่ 2 (Secondary Noise Source) ไปหักล้างเสียงจากแหล่งกำเนิดหลัก (Original Primary Noise Source) โดยแหล่งกำเนิดที่สองจะมีความถี่และแอมพลิจูด เท่ากับแหล่งกำเนิดเสียงหลัก แต่มีเฟส (Phase) ตรงข้ามกัน ซึ่งวิธีนี้จะลดเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำ

1.2.2.2 การลดเสียงแบบ Passive หมายถึง การควบคุมโดยอาศัยวัสดุในการดูดซับเสียงหรือใช้อุปกรณ์ดูดซับเสียง ซึ่งวิธีนี้จะสามารถลดเสียงได้ดีที่ความถี่สูง วัสดุที่ใช้ในการดูดซับเสียงแบ่งเป็น

- แบบ Expansion chamber เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่นิยมใช้ในรถยนต์ โดยเหมาะสมกับการลดเสียงรบกวนแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent noise) เสียงรบกวนชนิดนี้เกิดจากเครื่องจักรที่ทำงานเป็นรอบหรือคาบ

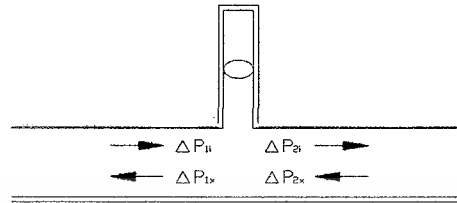


รูปที่ 1.2 Expansion chamber

- แบบ Resonance จะมีสองประเภท คือ Helmholtz และ Side Branch

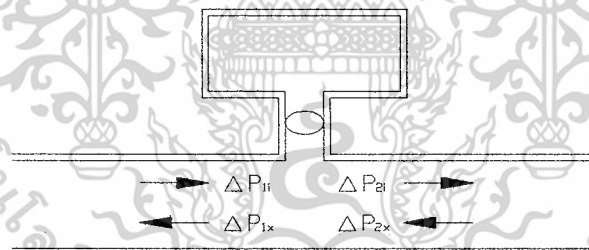
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Side Branch Resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้หลักการการเกิดคลื่นนิ่ง (Standing wave) ภายใน Resonator เพื่อลดเสียงรบกวนที่ในท่อนำเสียง



รูปที่ 1.3 Side Branch resonator

Helmholtz resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่พิจารณาในงานวิจัยชุดนี้ หลักการลดเสียงของ Resonator ชนิดนี้คือ Resonator ทำหน้าที่เสมือนกล่องเก็บพลังงาน โดยอากาศบริเวณคอ (Connector) ที่เชื่อมต่อระหว่างท่อนำเสียงกับ Resonator เปรียบเสมือนมวล (Mass) และอากาศภายในห้องกำจร (Resonance Chamber) ที่ด้านการเคลื่อนที่ของมวลบริเวณคอเปรียบเสมือนสปริง



รูปที่ 1.4 Helmholtz resonator

- แบบ Absorption เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับดูดซับเสียง เช่น Glass wool

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ Helmholtz resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงโดยติดตั้งกับผนังของท่อ โดย Resonator ทำหน้าที่เป็นกล่องเก็บพลังงานที่ทำให้เกิดการลดเสียงก่อนที่เสียงจะเคลื่อนที่ไปยังปลายท่อ ค่า TL ของ Resonator จะถูกคำนวณและทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของค่า TL สัมพันธ์กับค่ามัค (Mach number) มัคของท่อ และมัคของ Resonator ในรูปแบบของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวลดเสียงที่ดีควรมีลักษณะ ดังนี้

- 1) สำหรับการลดของเสียง
 - ลด ณ จุดความถี่ที่แน่นอน
 - สามารถลดเสียงรบกวนได้เป็นจำนวนมาก
- 2) ทางด้าน Aero – dynamic
 - ต้องมีการสูญเสียความร้อนต่ำ
 - ต้องกำเนิดเสียง (เนื่องจากการไหลของของไหล) ต่ำ
- 3) ทางด้านเครื่องจักรกล
 - ต้องมีโครงสร้างง่าย ๆ
 - ต้องมีขนาดเล็ก

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมลดเสียงของ Helmholtz resonator ในการลดเสียงบริเวณย่านความถี่ต่ำ (100 – 1200Hz) โดยใช้ Resonator แบบทรงกระบอกนำมาลดเสียงภายในท่อพื้นที่หน้าตัดขวางสี่เหลี่ยมจัตุรัส และ ทั้งในกรณีที่ไม่มีอากาศไหลผ่านและในกรณีที่มีอากาศไหลผ่าน

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง กับผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีระหว่างชุดทดลองเฮล์มโฮลทซ์ชนิด 2 ตัวและ 4 ตัว

1.3.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าของการลดเสียงระหว่างเฮล์มโฮลทซ์ชนิด 2 ตัวและ 4 ตัว

1.3.4 นำผลของงานวิจัยนี้ ไปเป็นแนวทางในการออกแบบงานที่เกี่ยวข้องในอนาคตได้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยเรื่องหลักๆอยู่ 4 เรื่องด้วยกัน คือ ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงเบื้องต้น ทฤษฎีการลดเสียงคำแนะนำของ Davis ในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator และ ทฤษฎีการวัดอัตราการไหลซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2.1 – 2.4 จากนั้นจะนำเสนอถึงอุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลองในการศึกษาพฤติกรรมลดเสียงของ Helmholtz resonator ในบทที่ 3

พฤติกรรมของ Helmholtz resonator สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยใช้กราฟ 4 ชนิดคือ Transmission Loss Characteristics และ Resonance performance ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะถูกจัดให้มีการสัมพันธ์กันดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งแสดงรายละเอียดอยู่ในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงเบื้องต้น

2.1.1 เสียงคืออะไร

เสียง(Sound) เป็นปรากฏการณ์ประเภทคลื่นซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเกิดการรบกวนส่งผ่านไปยังตัวกลาง (Media) ที่มีความยืดหยุ่นซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้คือ อากาศ (Air) ผลของการรบกวนนั้นจะทำให้ความดันและการจัดของอนุภาคของตัวกลางนั้นเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถตรวจจับได้โดยเครื่องมือวัด หรือมนุษย์

การเคลื่อนที่ของอนุภาคของอากาศซึ่งเกิดจากผลการรบกวนของแหล่งกำเนิด จะมีพฤติกรรมคล้ายสปริง ซึ่งค่าโมดูลัสสปริงจะมีค่าหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของของไหลและชนิดของการอัดซึ่งความดันที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดในอากาศจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป จะมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\Delta p = -E \frac{\Delta v}{v} = E \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) Δp คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงไป v คือ ปริมาตร E คือ ค่า Bulk Modulus และ ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง

สำหรับกระบวนการอัดที่ทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างช้าๆการอัดจะเป็นแบบ Isothermal เพราะมีเวลาเพียงพอที่ความร้อนจากการอัด ไหลไประบายที่ทางอื่น ซึ่งอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าคงที่ แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มมากขึ้น เพราะอากาศที่หดตัว และขยายตัวไม่มีเวลาเพียงพอที่จะระบายความร้อนไปที่อื่น จะเรียกกระบวนการอัดแบบนี้ว่า Adiabatic อนุภาคอากาศจะมีความเร็วมากขึ้นอันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ถ่ายเทไม่ทันซึ่งทำให้จำนวนการชนต่อวินาที และ โมเมนตัมเพิ่มมากขึ้นตามหลักของ Kinetics ที่กล่าวว่า

$$v \propto \sqrt{T} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) v คือ ความเร็วของอนุภาคและ T คือ อุณหภูมิในหน่วยของศาสมบูรณ์ในการศึกษาเรากำหนดให้คลื่นเสียงเป็นการอัดตัวของอนุภาคอากาศแบบ Adiabatic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางคณิตศาสตร์ ความยาวคลื่นจะเท่ากับความเร็วของการแพร่หารด้วยความถี่ของการสั่น

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) λ คือ ความยาวคลื่น V คือ ความเร็วของคลื่นเสียง และ f คือความถี่สำหรับความเร็วเสียงในอากาศสามารถหาได้จากสมการ

$$c = \sqrt{kRT} = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta \rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.4)$$

หรือ

$$c = 331 + 0.6T \quad (2.5)$$

จากสมการ (2.4) และ (2.5) k คือ ค่าความร้อนจำเพาะ P คือ ความดัน R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ และ T คือ อุณหภูมิในหน่วยของศาตัมบูรณ์

Mach number คือค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเร็วของอากาศ โดยเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของความเร็เสียง

$$M = \frac{V}{c} \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) V คือ ความเร็วของอากาศ และ c คือ ความเร็เสียง

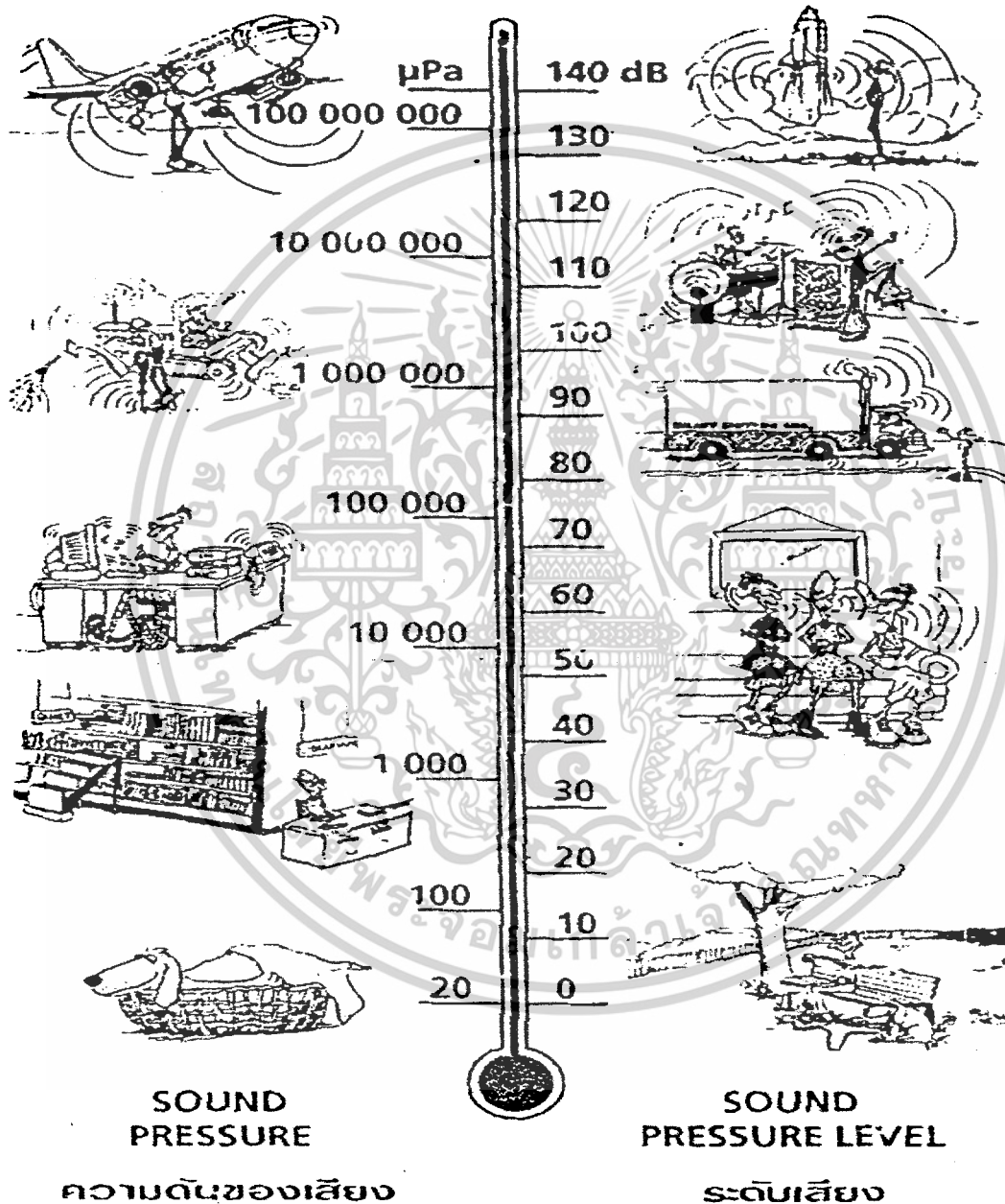
2.2 ทฤษฎีการลดเสียง

เสียงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ย่านความดันเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินเสียงได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 20 μ Pa ถึง 100 Pa ที่ความดันเสียง 20 μ Pa คือระดับต่ำสุดของการได้ยิน ซึ่งค่านี้ได้มาจากค่าเฉลี่ยของการได้ยินของมนุษย์และที่ความดันเสียงประมาณ 100 Pa เป็นเสียงที่ดังมากที่สุดทำให้เกิดความเจ็บปวด จึงเรียกว่า ระดับของความเจ็บปวด

จากการที่อัตราส่วนของค่าความดันเสียงของทั้ง 2 ระดับนี้มีค่ามากกว่าล้านเท่า การนำสเกลความดันเสียงในลักษณะเชิงเส้นไปใช้ในการวัดความดันเสียง จึงเป็นสเกลที่กว้างมากและ ไม่สะดวกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

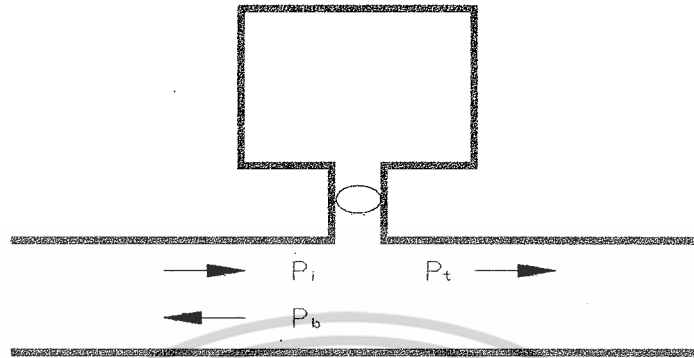
การใช้ ดังนั้นจึงเหมาะสมกว่าที่จะแสดงค่าตัวแปรทางเสียง ในลักษณะอัตราส่วนลอการิทึมของค่าที่ถูกวัดกับค่าอ้างอิง อัตราส่วนลอการิทึมมีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel, dB) ประโยชน์ของการใช้ค่า dB จะเป็นการแปลงสเกลที่มีความกว้างมากกลายเป็นสเกลที่เริ่มจาก 0 dB (ที่ระดับต่ำสุดของการได้ยิน 20 ลึกษณะ μPa) ถึง 130 dB (ที่สภาวะความเจ็บปวด 100 Pa) ดังแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ความดันเสียง และระดับความดันเสียง

Silencer ที่ประกอบด้วย Helmholtz resonator แบบตัวเดียวที่ติดตั้งที่ผนังของท่อกลมหรือท่อสี่เหลี่ยม และบริเวณปลายท่อเป็นห้องเก็บเสียงดังแสดงตามรูปที่ 2.3 Munjal ได้สร้าง Transfer matrix เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การสงวนของสถาบันวิจัยเทคโนโลยีที่เห็นด้วยกับการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ของความดันเสียง และ อัตราการไหล ณ หน้าตัดของท่อบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของ resonator [1]



รูปที่ 2.2 ความดันบริเวณด้านหน้า - หลังของ Resonator

$$\begin{bmatrix} P_i + P_b \\ \frac{P_i}{Z_0} - \frac{P_b}{Z_0} \end{bmatrix} = \frac{1}{2M + \frac{Z_r}{Z_0}} \begin{bmatrix} M + \frac{Z_r}{Z_0} & M^2 Z_0 \\ \frac{1}{Z_0} & M + \frac{Z_r}{Z_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_t \\ \frac{P_t}{Z_0} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$Z_r = R + j(X + R) \quad (2.9)$$

$$R = \frac{16l}{\pi d^3} \sqrt{\pi \mu \rho_0 f} \quad (2.10)$$

$$X = \frac{2\pi f \rho_0 l e}{S} - \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f V} \quad (2.11)$$

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S_0} \quad (2.12)$$

จากสมการ (2.8) – (2.12) P_i และ P_b คือความดันกระทบ (Incident pressure) และความดันสะท้อนกลับด้านหน้า (Backward pressure) Resonator ตามลำดับ p_t คือความดันกระทบด้านหลัง (Transmitted pressure) ของ Resonator M คือค่ามัด Z_r คือ Acoustic impedance ของ Resonator Z_0 คือ Characteristic impedance ของท่อ R คือค่าความต้านทานของคอ X คือ Resonator reactance ซึ่งไม่พิจารณาในเทอมของความต้านทาน μ คือ ค่าความหนืดและ ρ_0 คือความหนาแน่นเฉลี่ยในตัวกลาง จากสมการ (8) แก้สมการหาค่า P_i/P_t จะได้ค่า Transmission Loss ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TL = 10 \log \left| \frac{P_i}{P_t} \right|^2 \quad (2.13)$$

แทนค่าสมการที่ (2.8) ลงสมการที่ (2.13) จะได้

$$TL = 10 \log \left| 1 + \frac{(1-M^2)^2 \left\{ (1-M)^2 + 4 \left(2M + \frac{R}{Z_0} \right) \right\}}{4 \left\{ \left(2M + \frac{R}{Z_0} \right)^2 + \left(\frac{R}{Z_0} + \frac{X}{Z_0} \right)^2 \right\}} \right| \quad (2.14)$$

$$\frac{R}{Z_0} = \frac{16}{c \left(\frac{d}{l_e} \right) \left(\frac{d}{D_0} \right)^2} \sqrt{\frac{\mu f}{\pi \rho_0}} \quad (2.15)$$

$$\frac{X}{Z_0} = S_0 \left(\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f} \right) \sqrt{\frac{l_e}{vS}} \quad (2.16)$$

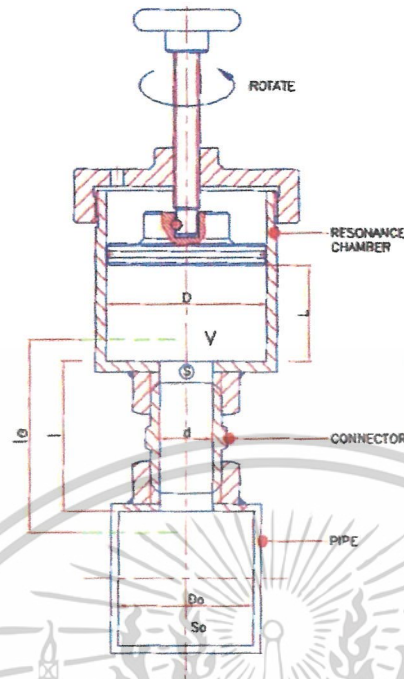
ความถี่ที่เกิดการกำจร (Resonance frequency) สามารถหาได้จาก

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{v l_e}} \quad (2.17)$$

$$l_e = l + \beta d \quad (2.18)$$

โดยที่ S_0 = พื้นที่หน้าตัดท่อ นำเสียงหารด้วยจำนวน Helmholtz

จากสมการที่ (2.17) และ (2.18) l_e คือค่าความยาวประสิทธิผล (Effective Length) เนื่องจากเราไม่สามารถคำนวณหา Resonance frequency จาก ได้โดยตรงเพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อน จะต้องใช้ค่าความยาวประสิทธิผลในการคำนวณ และ คือ ค่าแก้ไข (open end correction)



รูปที่ 2.3 รายละเอียด Helmholtz Resonator

2.3 คำแนะนำของ Davis ในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator

จากรูปที่ 2.3 ในการส่งผ่านคลื่นความดันผ่านท่อนำเสียงจะเกิด ความดันสะท้อนกลับด้านหน้า (P_b) ขึ้น ค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้านี้มีผลทำให้ค่า TL มีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง Davis [2] ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} TL_{\text{measured}} &= TL_{\text{corrected}} + TL_{\text{true}} \\ &= 20 \log \left(\frac{P_i + P_b}{P_i} \right) + 20 \log \left(\frac{P_i}{P_t} \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

จากสมการ (2.19) TL_{measured} คือค่า TL ที่วัดได้จริงจากการทดลอง $TL_{\text{corrected}}$ คือค่า TL แก้ไขที่อ่านได้จากเส้นกราฟของ Davis ดังรูปที่ 2.5 TL_{true} คือค่า TL ที่ถูกต้องตามทฤษฎี P_i คือความดันส่งผ่านบริเวณด้านหน้า Resonator P_b คือความดันสะท้อนกลับด้านหน้า Resonator และ P_t คือค่าความดันส่งผ่านด้านหลัง Resonator

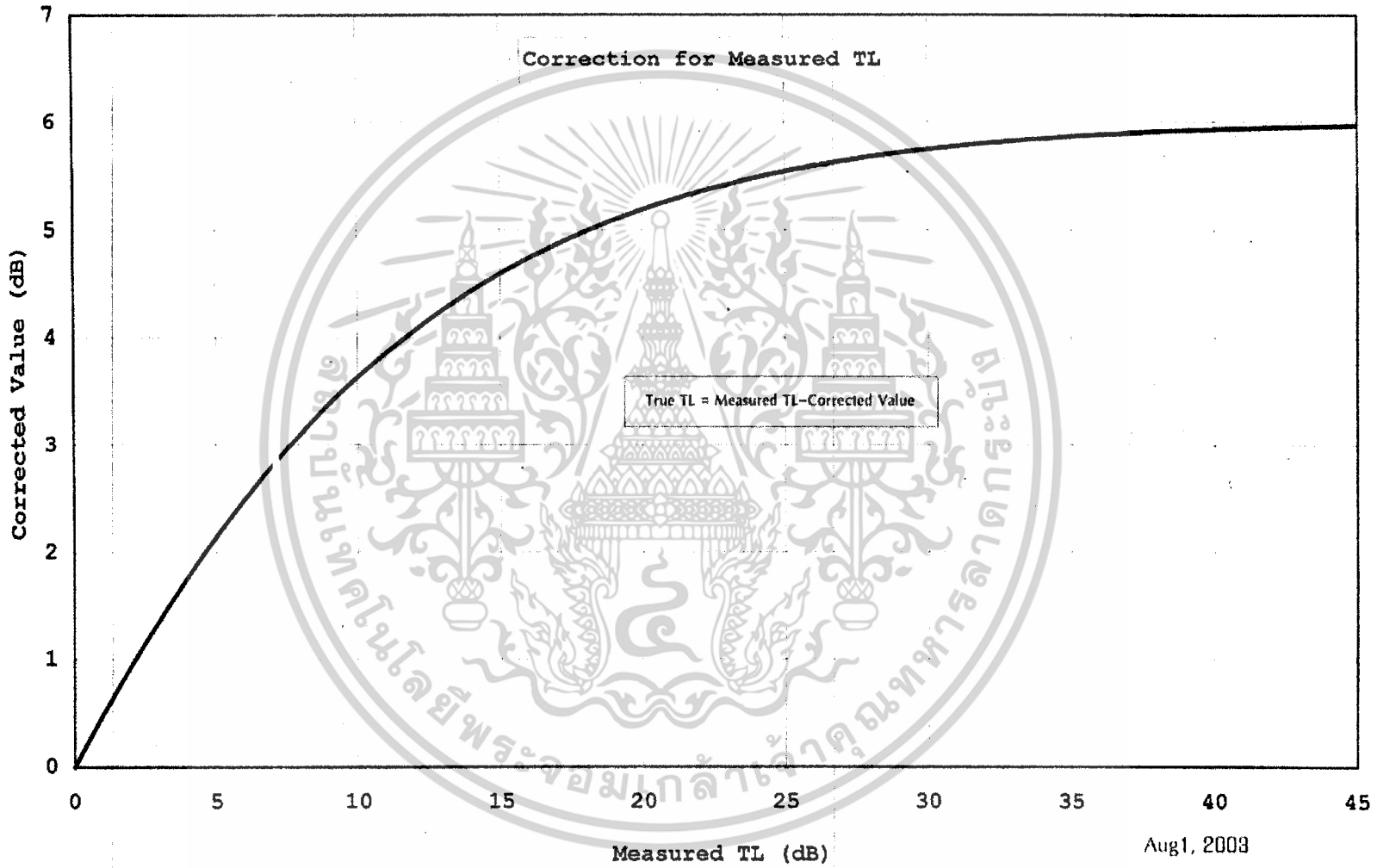
ถ้ากำหนด m คือเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับของความดันเสียง จากนิยามของ m จะได้ว่า

$$\frac{P_i}{P_b} = \frac{100}{m} \text{ แทนค่าลงในสมการที่ (2.19) โดยเลือกแทนค่า } m = 5\% - 99\% \text{ แล้ว Plot Graph}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ค่าแก้ไขความถี่ของกล่องสั่นหน้า Resonator

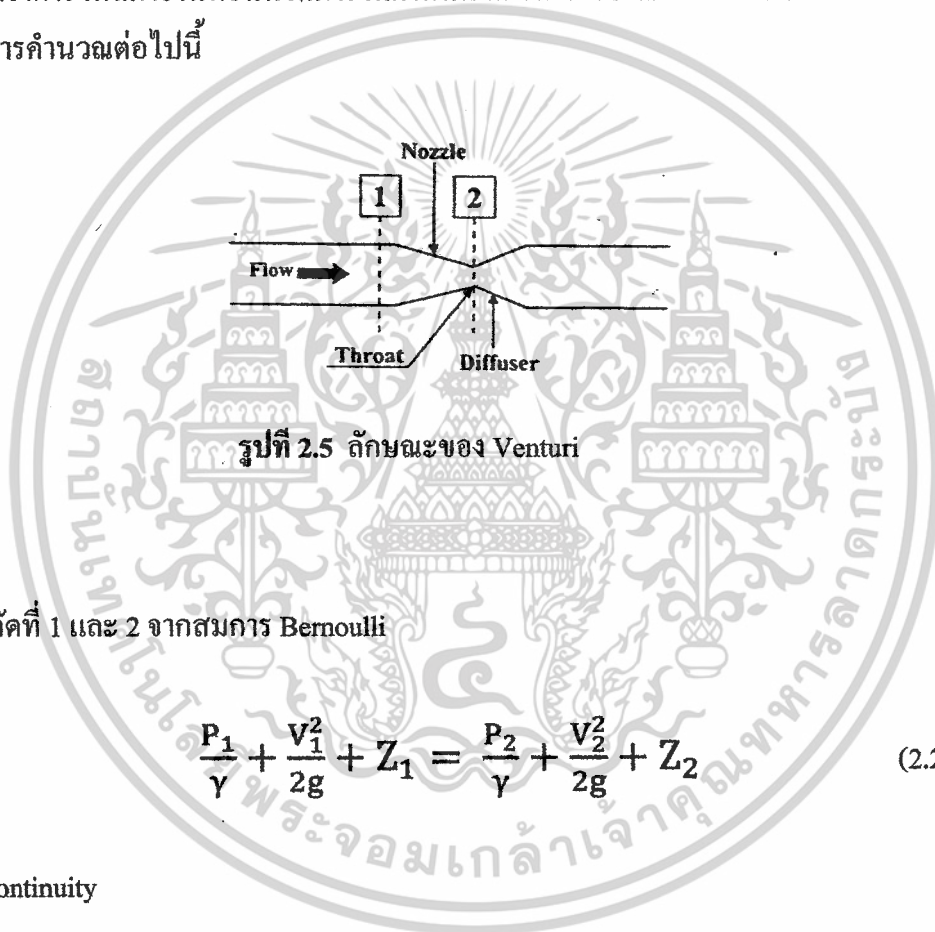


ขั้นตอนการใช้กราฟของ Davis มีดังต่อไปนี้

1. แกน x คือค่า TL ที่ได้จากการทดลองลากเส้นตรงตั้งฉากกับแกน x ไปสัมผัสกับเส้นกราฟอ่านค่าตามแนวแกน y จะได้ค่า $TL_{corrected}$
2. ค่า TL ที่ถูกต้องจะมีค่าเท่ากับ $TL_{true} = TL_{measured} - TL_{corrected}$

2.4 ทฤษฎีการวัดอัตราการไหล

สำหรับอัตราการไหลภายในท่อนั้นในการวัดค่านั้นเราเลือกใช้ Venturi Flow Meter ในการวัดค่า โดยมีสมการการคำนวณต่อไปนี้



พิจารณาหน้าตัดที่ 1 และ 2 จากสมการ Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (2.20)$$

และสมการ Continuity

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2.21)$$

จะได้ความเร็วอากาศภายในท่อ

$$V_{theory} = \sqrt{\frac{2g\Delta h\gamma_w}{\gamma_a(m^2-1)}} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.22) V คือความเร็วของอากาศภายในท่อ Δh คือผลต่างของระดับน้ำที่มานิเมตรและ m คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ/พื้นที่หน้าตัดของ Throat
สมการสมประสิทธิการจ่าย C_D มีนิยามดังนี้

$$C_D = \frac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\text{theoretical}}} \quad (2.23)$$

จากสมการ Q_{actual} คืออัตราการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจริงภายในท่อ $Q_{\text{theoretical}}$ คืออัตราการไหลของอากาศในท่อทางทฤษฎี และ C_D คือสัมประสิทธิ์การจ่ายของ Venturi ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ Venturi ที่มีสัมประสิทธิ์การจ่ายดังรูป B.8 ในภาคผนวก ข

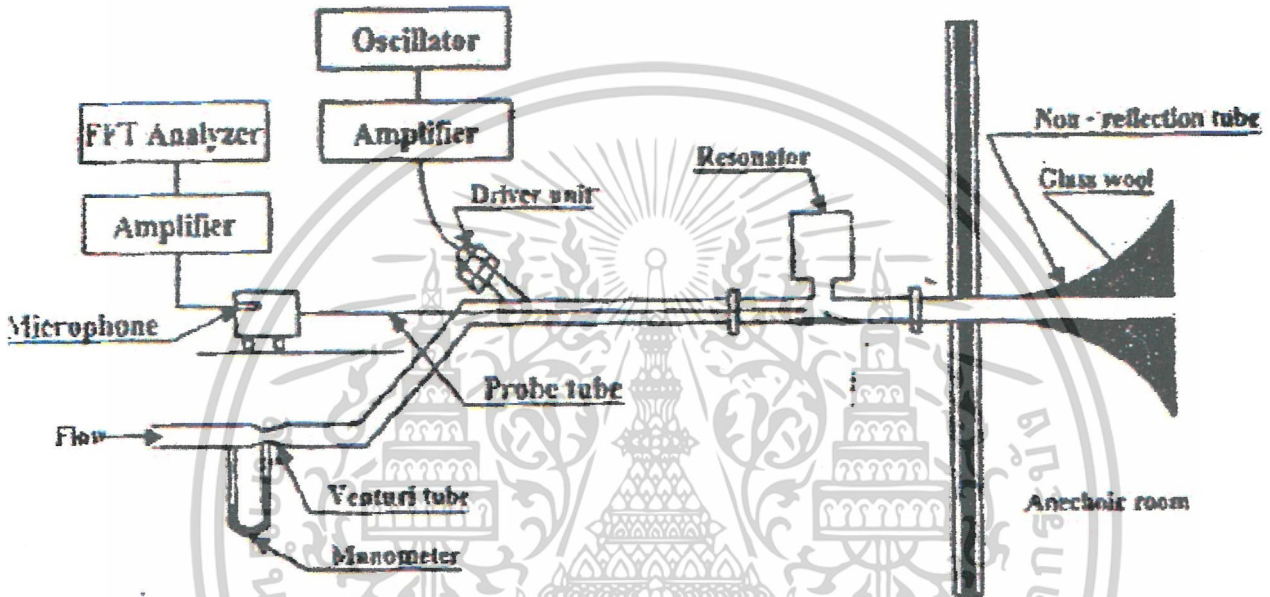


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์สำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Resonator

3.1.1 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer) เป็นเครื่องมือวัดสำหรับแปลงสัญญาณความดันเปลี่ยนแปลงเป็นระดับความดัง ของเสียง (dB)



รูปที่ 3.2 FFT Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Amplifier เป็นตัวขยายความดันเสียง



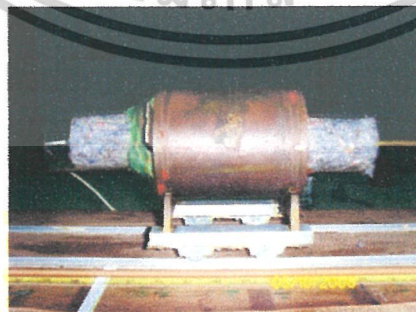
รูปที่ 3.3 Amplifier

3.1.3 Microphone คือตัวจับสัญญาณ (Sensor) ซึ่งจะถูกขยายโดยใช้ Preamplifier ก่อนที่จะแปลงสัญญาณเป็นระดับความดังของเสียง



รูปที่ 3.4 Microphone

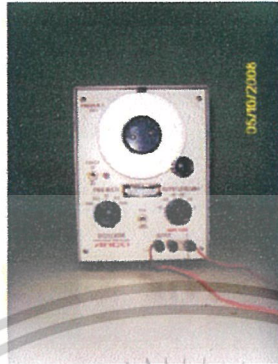
3.1.4 Microphone carriage และ Probe Tube ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณมายัง Microphone



รูปที่ 3.5 Microphone carriage และ Probe Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 Oscillator เป็นแหล่งกำเนิดเสียง โดยสามารถปรับระดับคลื่นความถี่ได้ตามความเหมาะสมส่งผ่านต่อไปยัง Driver Unit สำหรับส่งผ่าน ไปยังท่อนำเสียงต่อไป



รูปที่ 3.6 Oscillator

3.1.6 Driver Unit ทำหน้าที่ส่งผ่านเสียงไปยังท่อนำเสียง



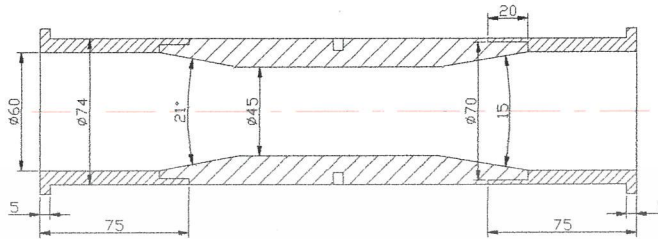
รูปที่ 3.7 Driver Unit

3.1.7 Blower ทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดการไหลของอากาศ



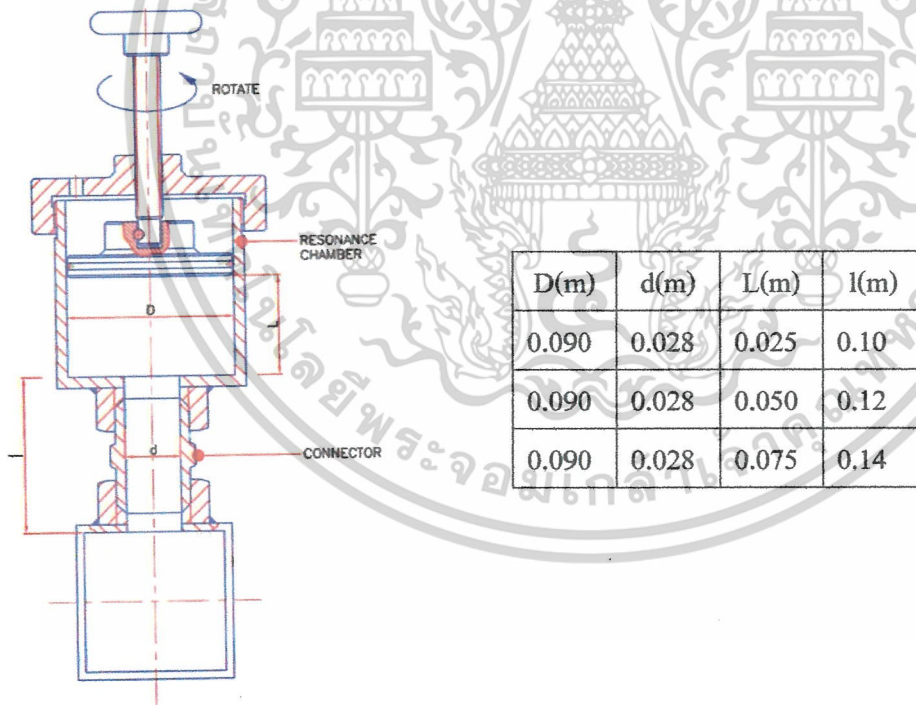
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 3.8** Blower เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 Venturi เป็นอุปกรณ์วัดการไหลของอากาศภายในท่อ Holeman ได้แนะนำการออกแบบรายละเอียด Venturi ไว้ดังนี้



รูปที่ 3.9 มิติของ Venturi

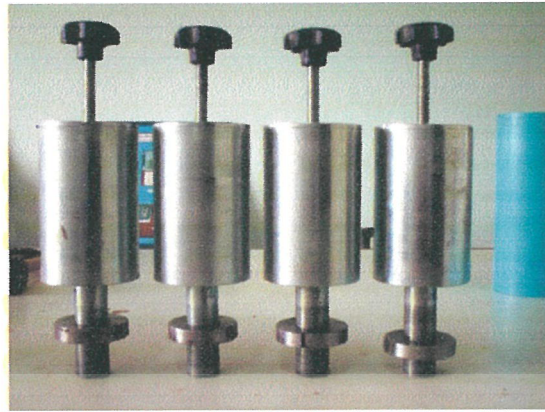
3.1.9 Helmholtz Resonator อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียง ในปริญญาโทฉบับนี้มีกรณีศึกษา ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 Case Study

103110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 Helmholtz Resonator

เพราะฉะนั้น

กรณี Resonator ติดตั้งบนผนังท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะได้ตัวแปรไว้มีอยู่ในช่วงดังนี้ $d/D_o = 0.56$, $l/d = 3.57-5$ และ $d/D = 0.31$

3.2 วิธีการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator

3.2.1 ติดตั้ง Resonator เข้ากับผนังท่อนำเสียง

3.2.2 Set เครื่อง FFT Analyzer

3.2.3 ปรับ Oscillator ให้ได้ค่าความถี่ 100 Hz (ค่าเริ่มต้น)

3.2.4 เลื่อน Probe Tube ที่ยึดอยู่กับล้อซึ่งเคลื่อนที่ไปตามแนวราบ เพื่อหาตำแหน่งที่มีระดับความดันเสียงมากที่สุด โดยวัดทั้งด้านหน้า resonator และด้านหลัง resonator ค่า TL ก็คือผลต่างของระดับความดันเสียงที่มากที่สุดบริเวณด้านหน้า resonator กับ ระดับความดันเสียงที่มากที่สุดบริเวณด้านหลังของ resonator

3.2.5 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.2.3 และ 3.2.4 โดยปรับความถี่ของ Oscillator ไปเรื่อยๆ ในย่านความถี่ที่เราศึกษาคือ 100 – 1,200 Hz

3.2.6 ในกรณีที่มืออากาศไหลภายในท่อให้เปิด Blower

3.2.7 จากนั้นทำการปรับค่าระยะ Connector และปริมาตร Helmholtz resonator แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3.2.3 – 3.2.6 ตามลำดับ

Resonator หนึ่งตัวจะมีค่าความถี่ที่เหมาะสมอยู่หนึ่งค่าซึ่งเป็นค่าที่ทำให้เกิดการลดเสียงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz resonator ที่ติดตั้งบนผนังท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการลดเสียงกับมิติของ Resonator และท่อได้ โดยใช้กราฟ 2 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

1. Transmission Loss Characteristics แสดงถึงความสามารถในการลดเสียง และความถี่ที่เกิดประสิทธิภาพการลดเสียงสูงสุดหรือความถี่ที่เกิดการกำธรร (Resonator frequency) ของ Resonator

2. Resonator Performance แสดงถึงประสิทธิภาพในการลดเสียงของ Resonator เมื่อนำมาลดเสียงภายในท่อที่มีอากาศไหลผ่าน กราฟชนิดนี้ใช้สำหรับตรวจสอบว่า Resonator ที่ออกแบบนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดในการประยุกต์ใช้งาน

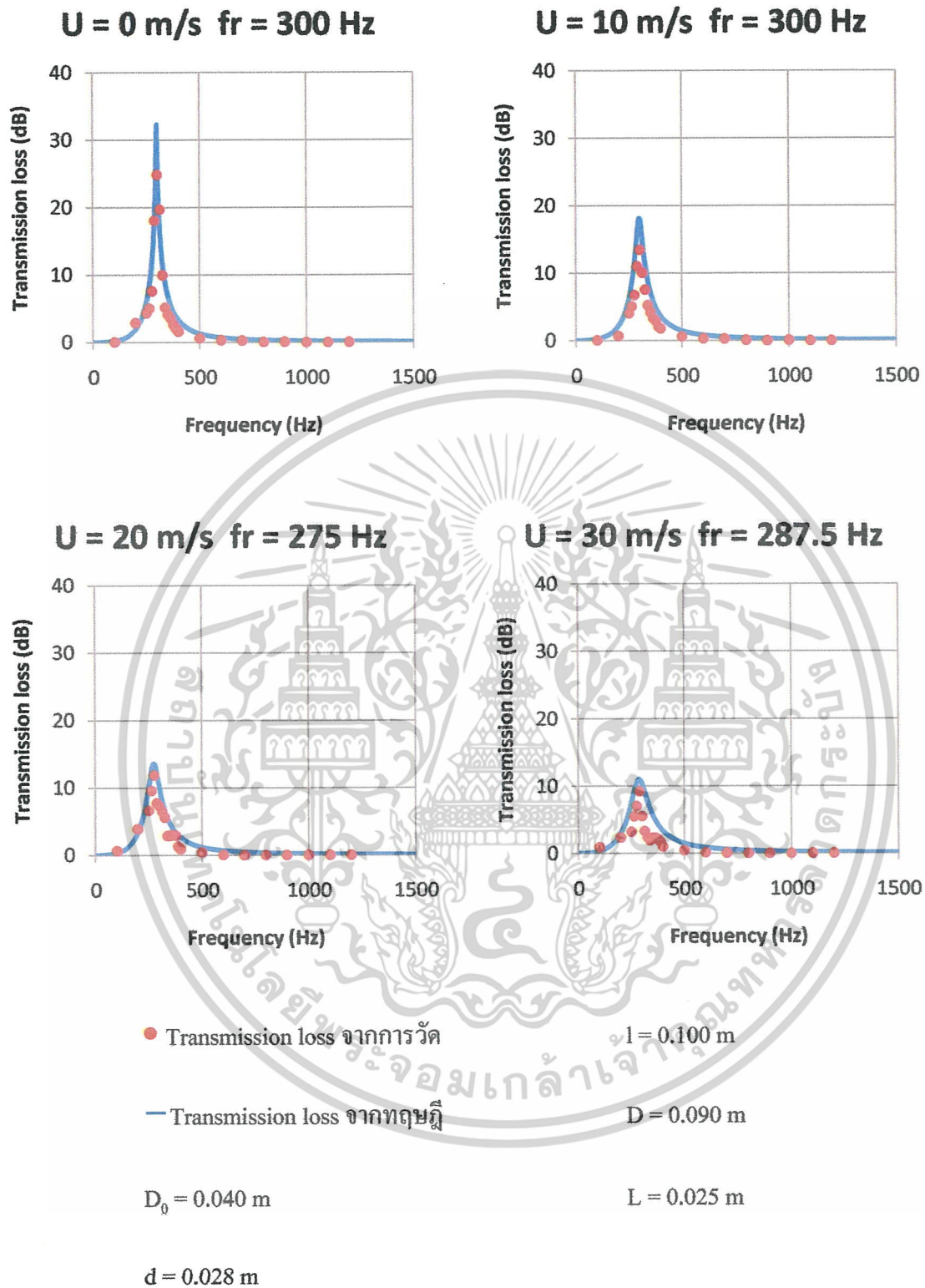


No.	c (m/s)	U (m/s)	M	S ₀ (m ²)	D ₀ (m)	S (m ²)	D (m)	d (m)	L (m)	l (m)	V (m ³)	f _r (Hz)	TL _{input} (dB)	TL _{output} (dB)
1	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	300.0	32.32	24.84
2	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	300.0	18.11	13.49
3	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	275.0	13.61	11.90
4	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	287.5	11.00	9.23
5	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	275.0	31.18	22.55
6	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	275.0	17.91	11.71
7	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	250.0	13.52	9.87
8	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	275.0	10.93	6.74
9	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	250.0	30.32	19.69
10	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	275.0	17.66	11.06
11	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	250.0	13.40	9.30
12	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	262.5	10.86	5.67
13	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	250.0	33.02	26.85
14	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	250.0	18.23	17.68
15	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	212.5	13.69	12.66
16	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	262.5	11.02	10.44
17	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	237.5	31.85	24.92
18	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	187.5	18.18	17.05
19	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	200.0	13.60	12.55
20	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	212.5	10.99	7.99
21	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	175.0	31.69	22.22
22	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	175.0	18.02	16.24
23	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	200.0	13.49	11.16
24	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	212.5	10.92	7.64

ตารางที่ 4.1 พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 2 ตัว

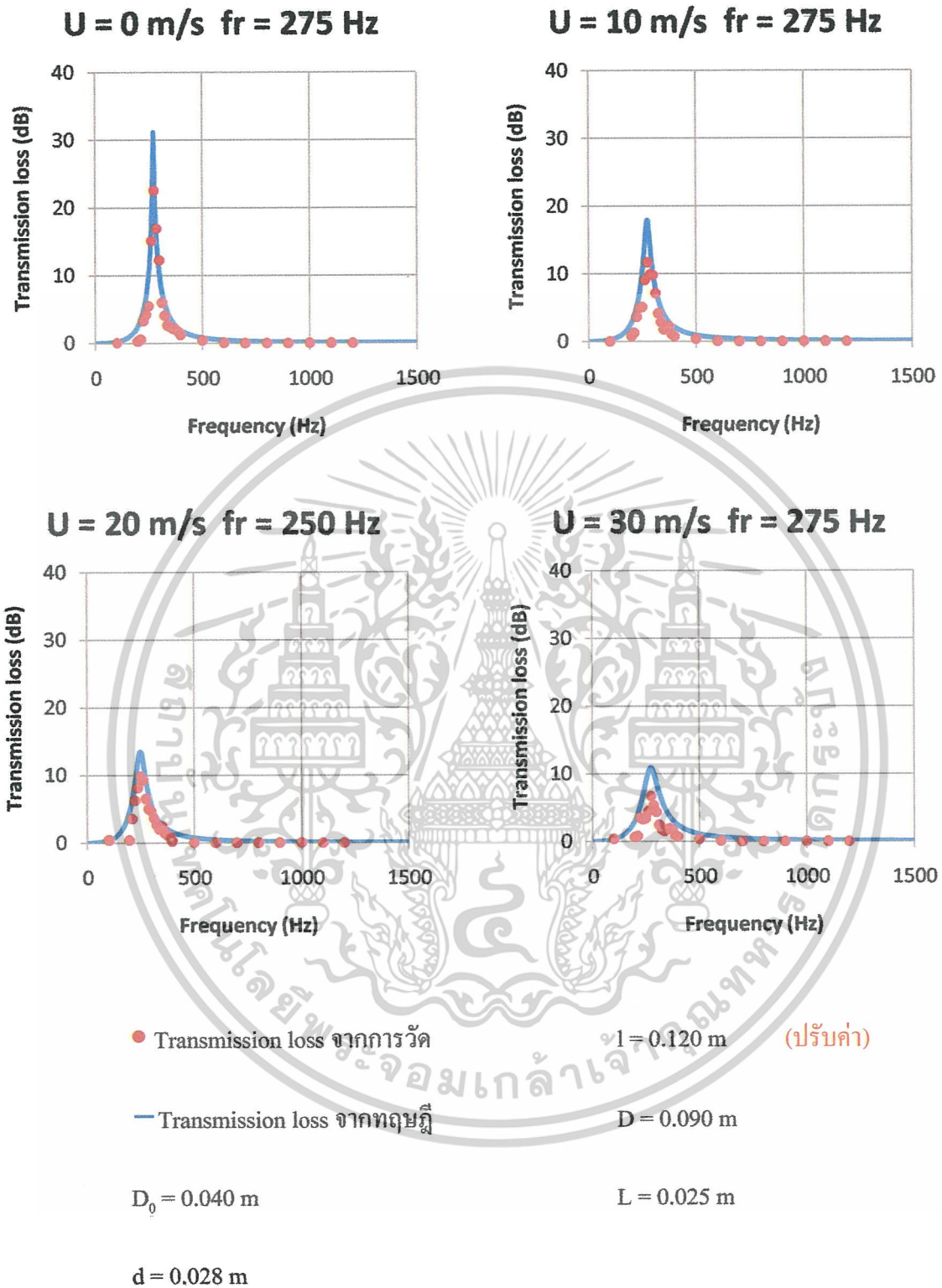
No.	c (m/s)	U (m/s)	M	S ₀ (m ²)	D ₀ (m)	S (m ²)	D (m)	d (m)	L (m)	l (m)	V (m ³)	f _r (Hz)	TL _{ทฤษฎี} (dB)	TL _{ทดลอง} (dB)
25	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	162.5	35.00	28.71
26	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	162.5	18.48	25.34
27	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	187.5	13.72	22.10
28	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	187.5	11.08	11.73
29	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	162.5	33.38	27.43
30	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	162.5	18.27	24.23
31	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	175.0	13.64	20.75
32	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	162.5	11.04	9.16
33	352	0	0.000	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	150.0	32.29	25.61
34	352	10	0.028	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	175.0	18.02	18.15
35	352	20	0.057	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	175.0	13.54	15.61
36	352	30	0.085	8×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	150.0	11.00	5.04

ตารางที่ 4.1(ต่อ) พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 2 ตัว



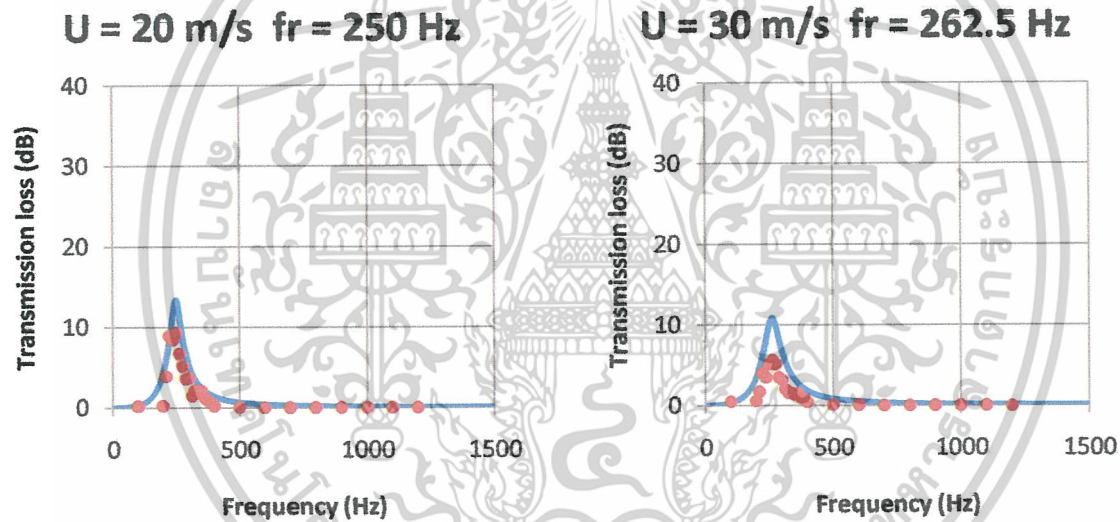
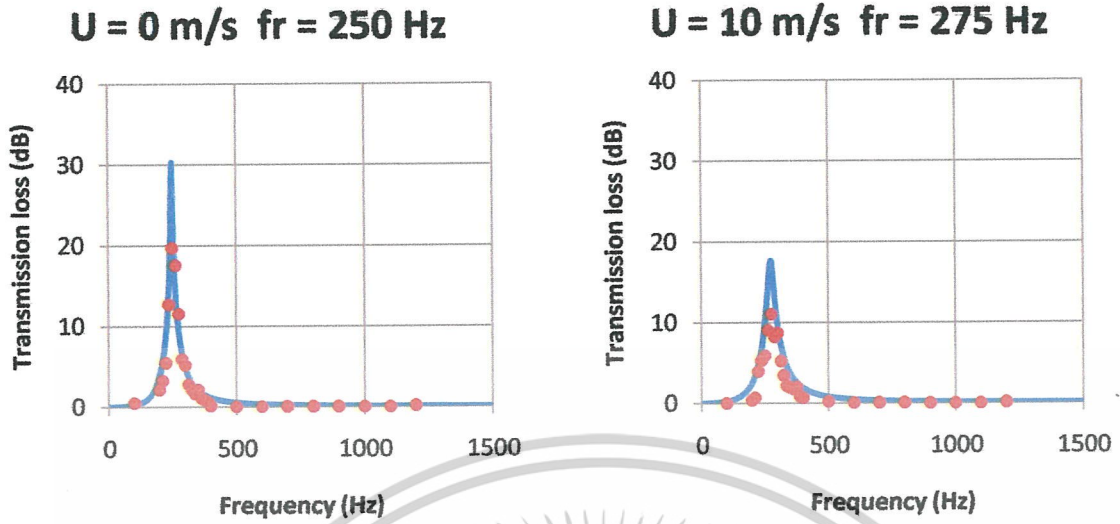
รูปที่ 4.1 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.140 \text{ m}$ (ปรับค่า)

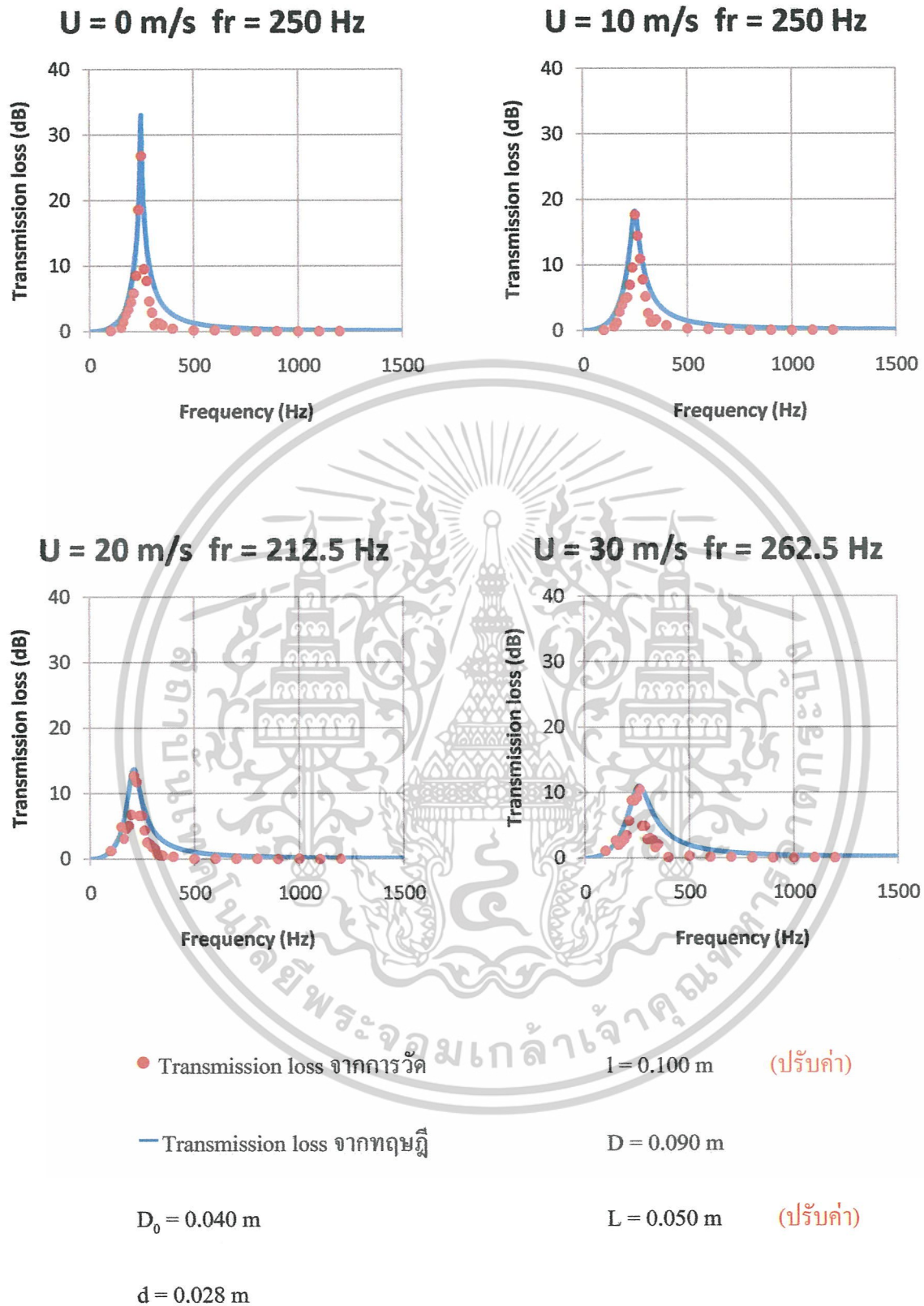
— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$ $L = 0.025 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

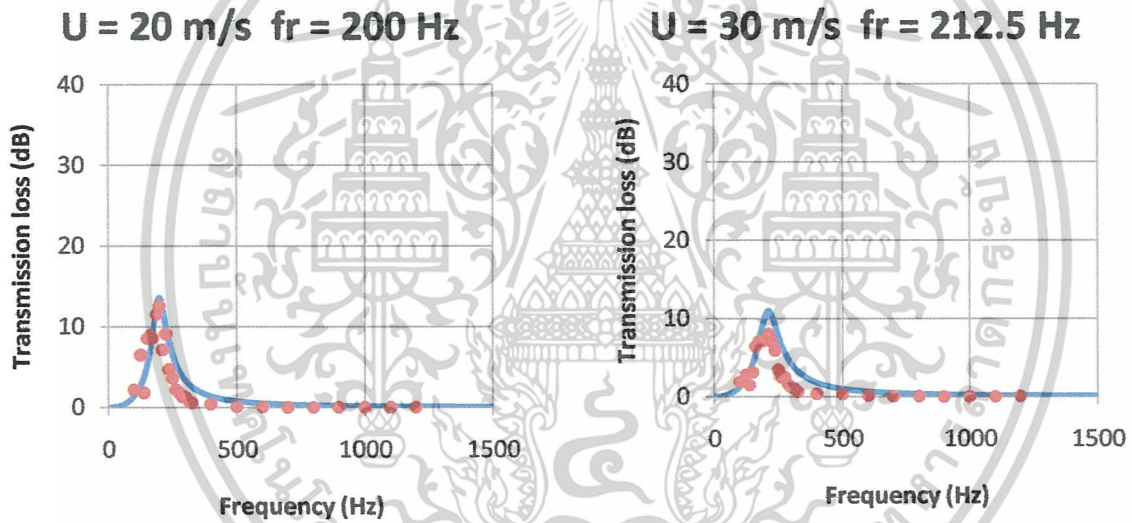
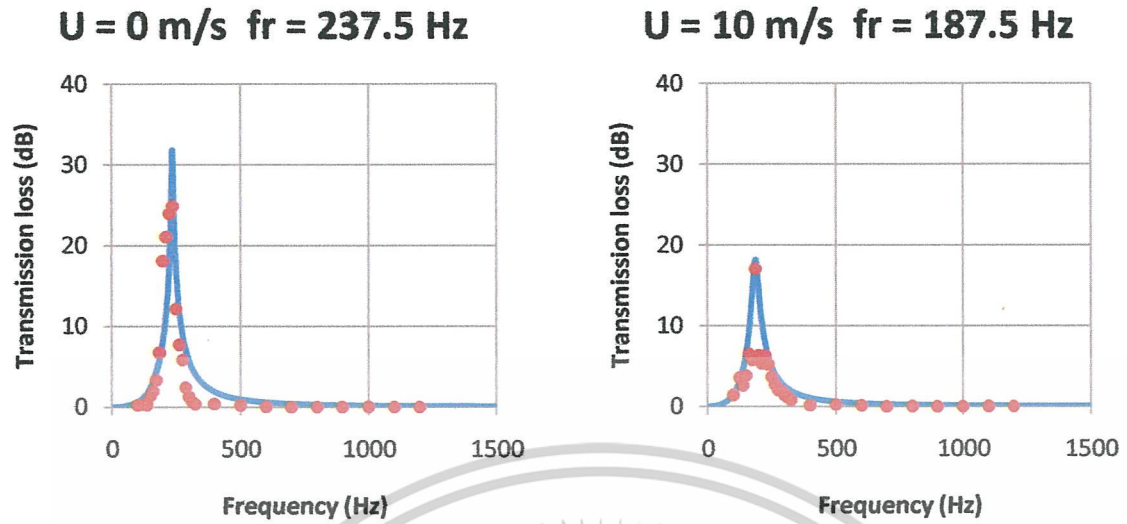
รูปที่ 4.3 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.120 \text{ m}$ (ปรับค่า)

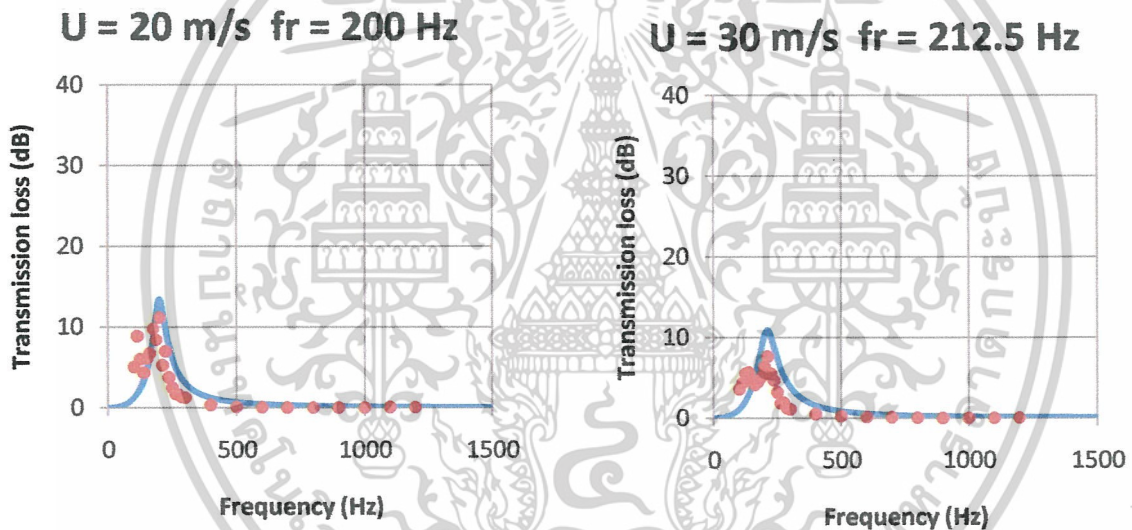
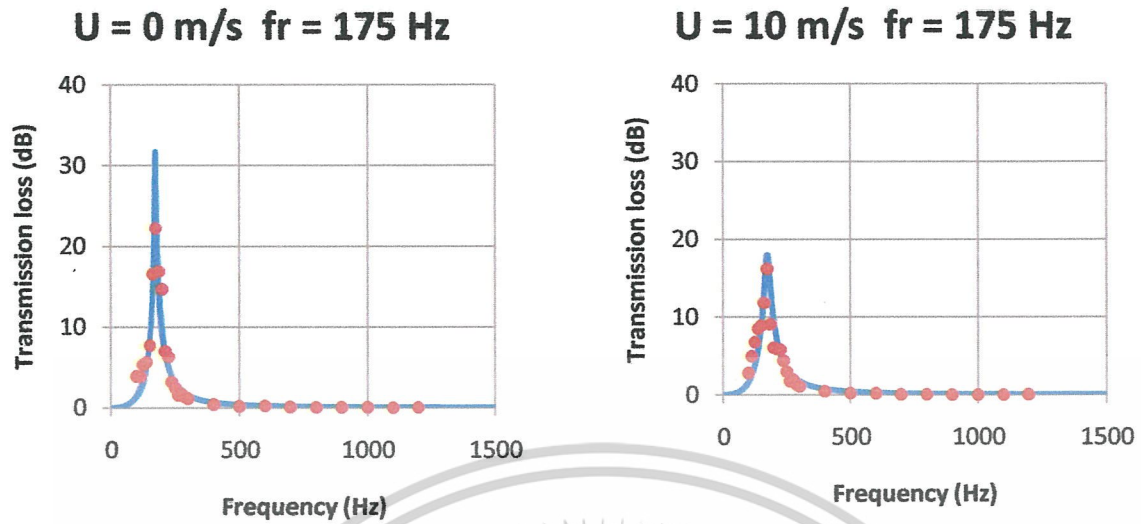
— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$ $L = 0.050 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

รูปที่ 4.5 กราฟ Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.140 \text{ m}$ (ปรับค่า)

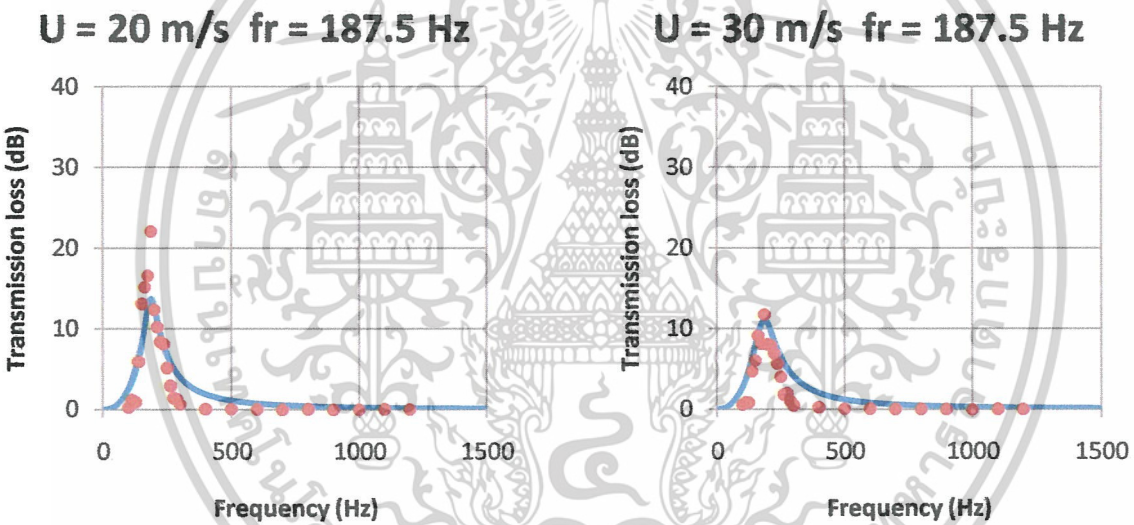
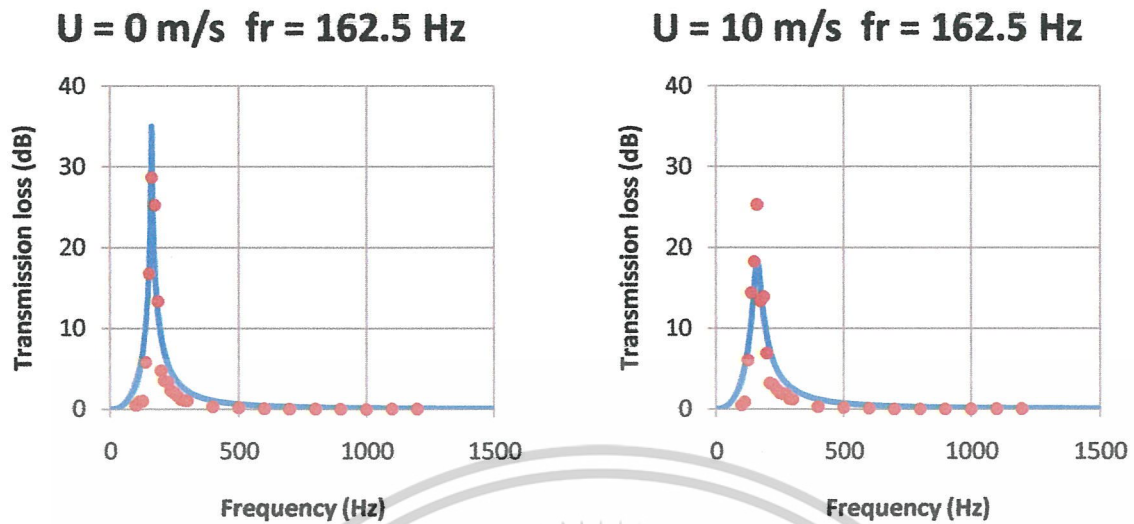
— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$ $L = 0.050 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

รูปที่ 4.6 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

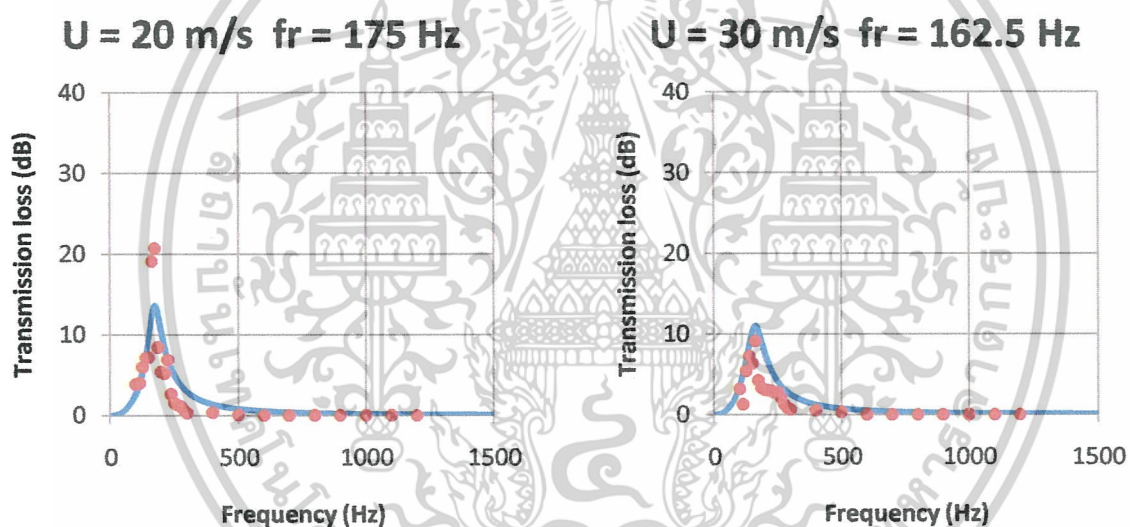
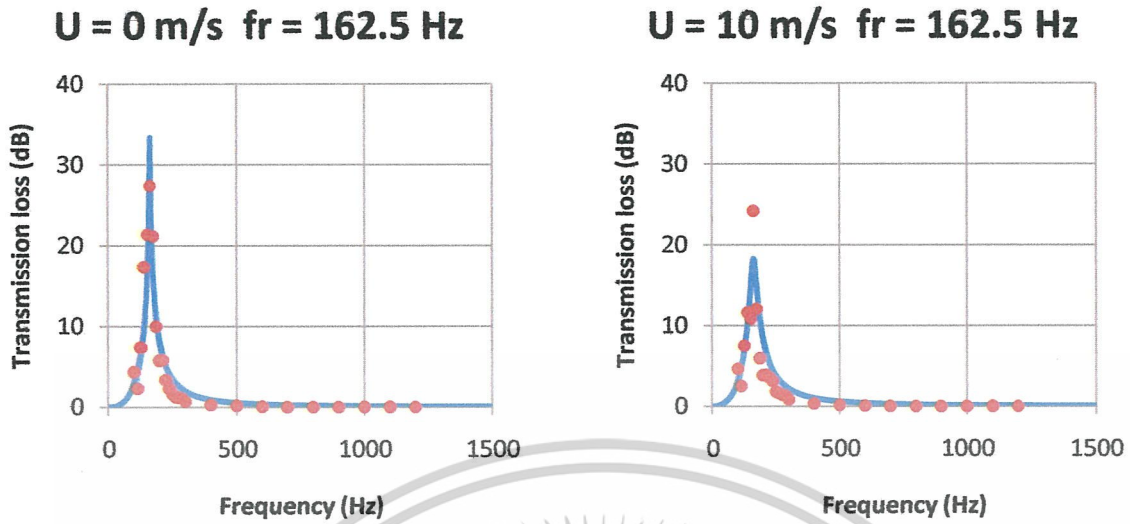
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Transmission loss จากทฤษฎี $l = 0.100 \text{ m}$ (ปรับค่า)
- Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$
- $D_0 = 0.040 \text{ m}$ $L = 0.075 \text{ m}$ (ปรับค่า)
- $d = 0.028 \text{ m}$

รูปที่ 4.7 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

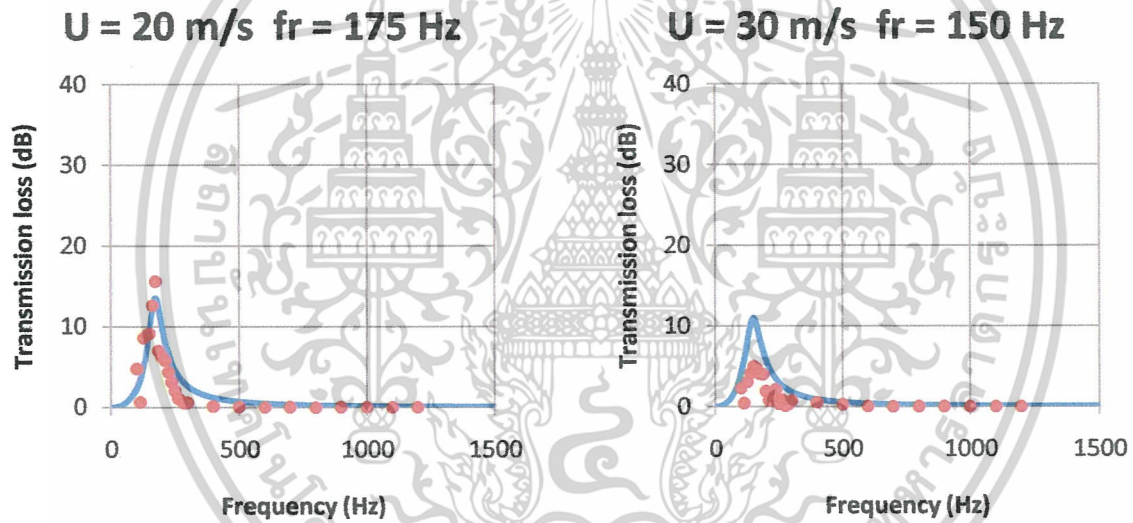
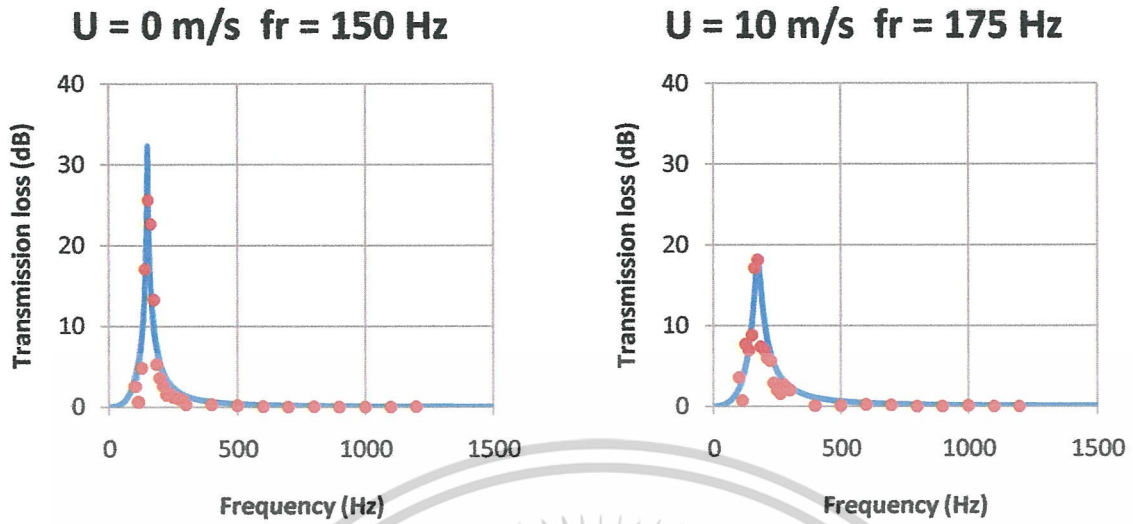
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Transmission loss จากทฤษฎี $l = 0.120$ m (ปรับค่า)
- Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090$ m
- $D_0 = 0.040$ m $L = 0.075$ m
- $d = 0.028$ m

รูปที่ 4.8 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



● Transmission loss จากทฤษฎี $l = 0.140$ m (ปรับค่า)

— Transmission loss จากการวัด $D = 0.090$ m

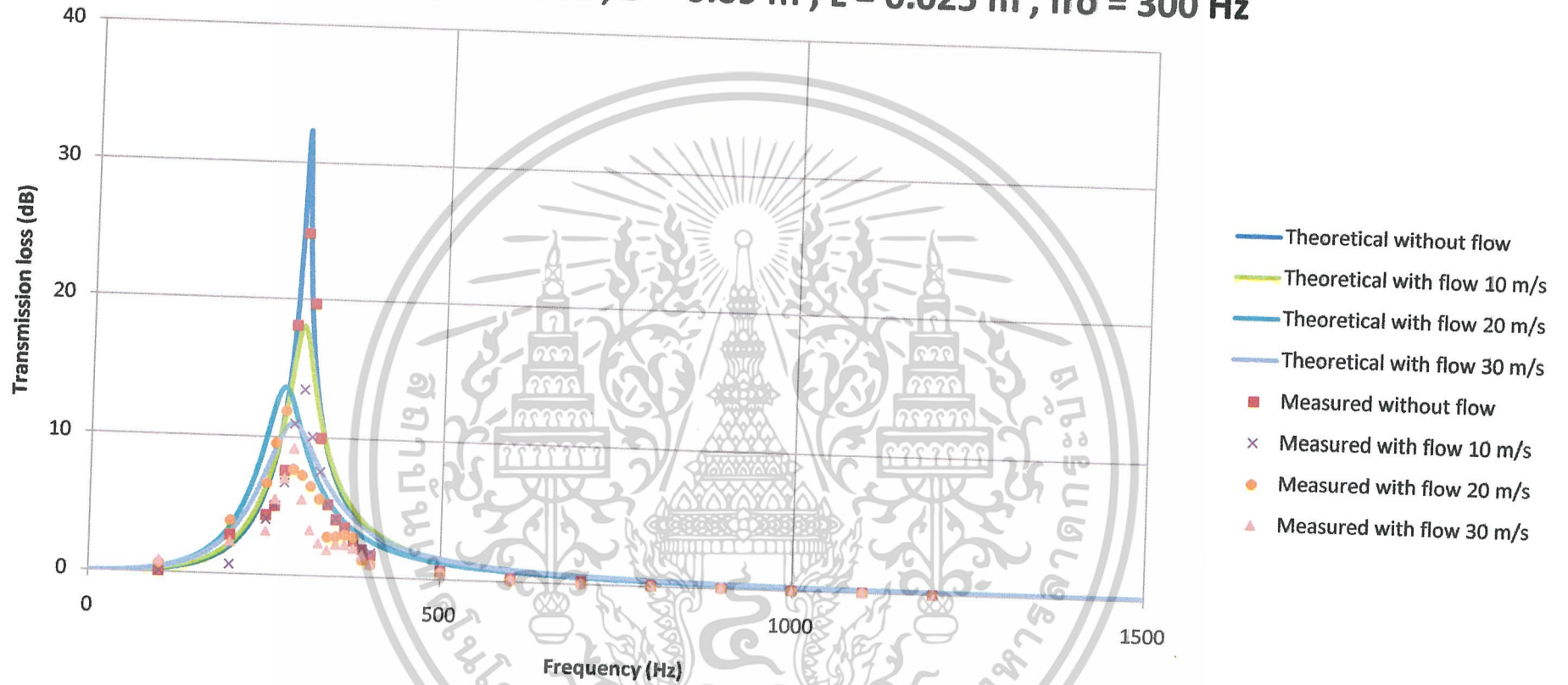
$D_0 = 0.040$ m $L = 0.075$ m

$d = 0.028$ m

รูปที่ 4.9 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

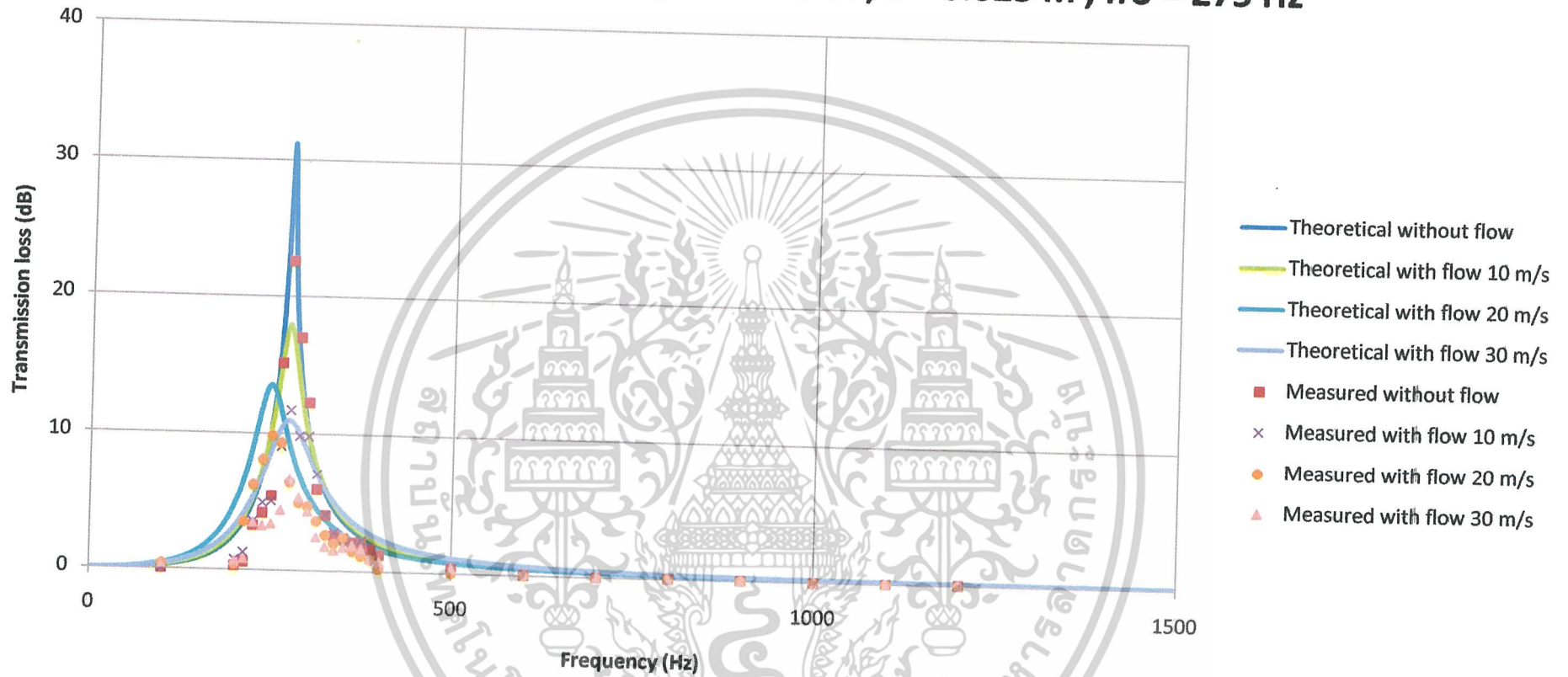
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.1 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 300 \text{ Hz}$



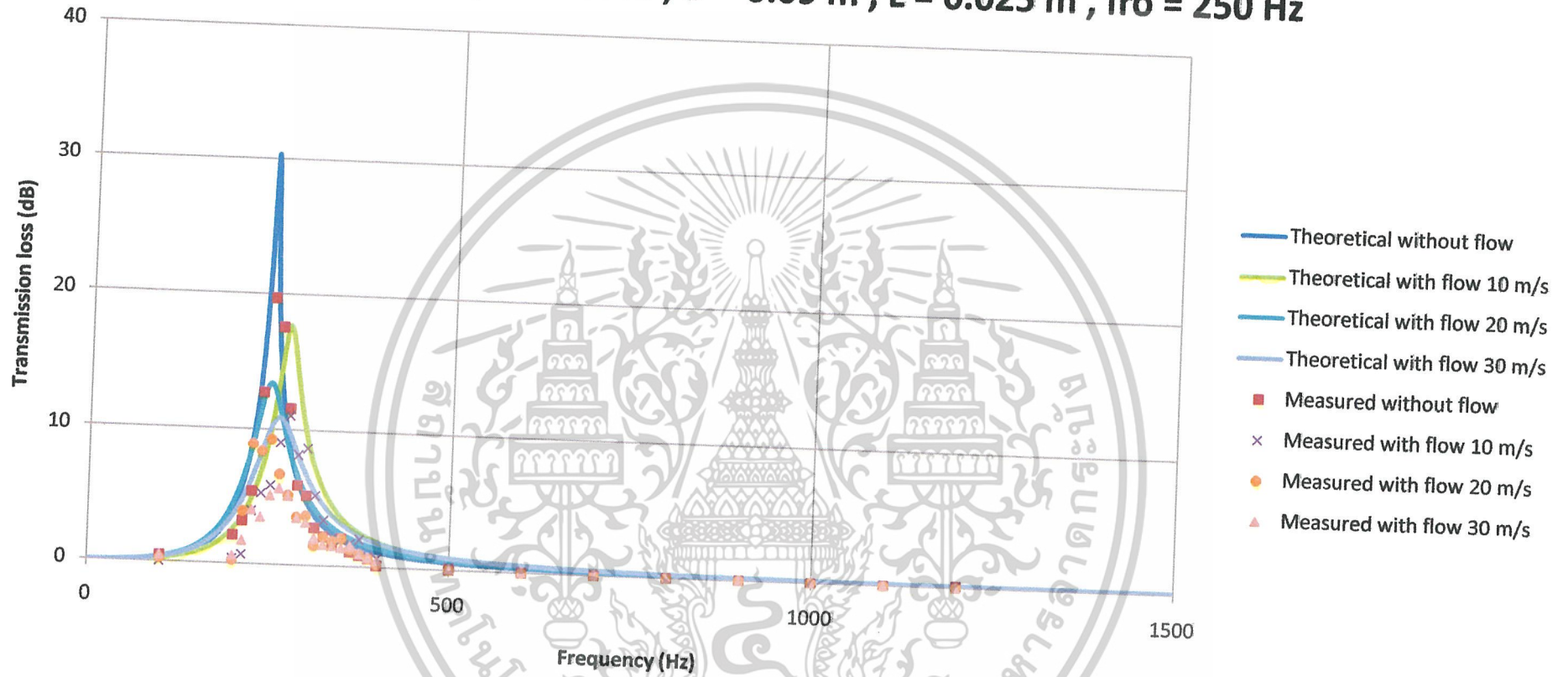
รูปที่ 4.10 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 275 \text{ Hz}$



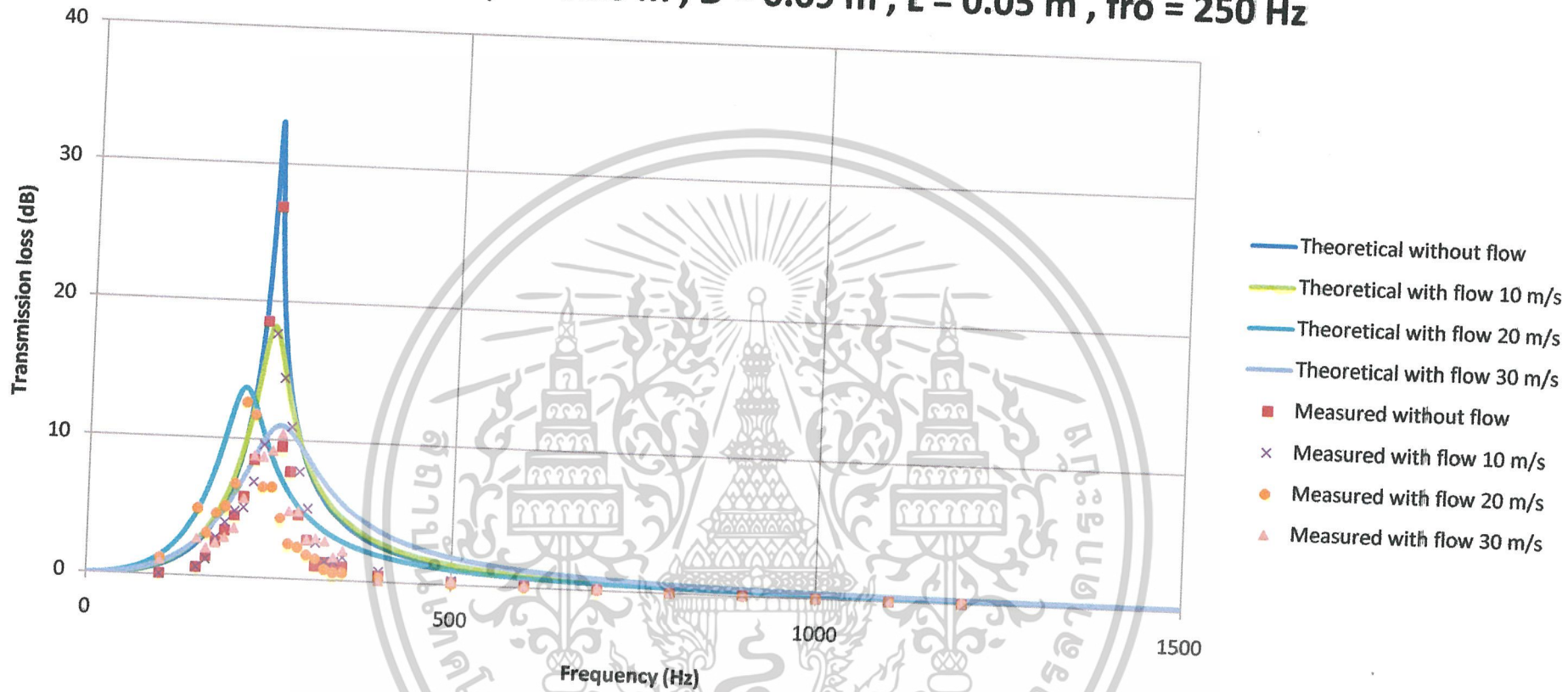
รูปที่ 4.11 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 250 \text{ Hz}$



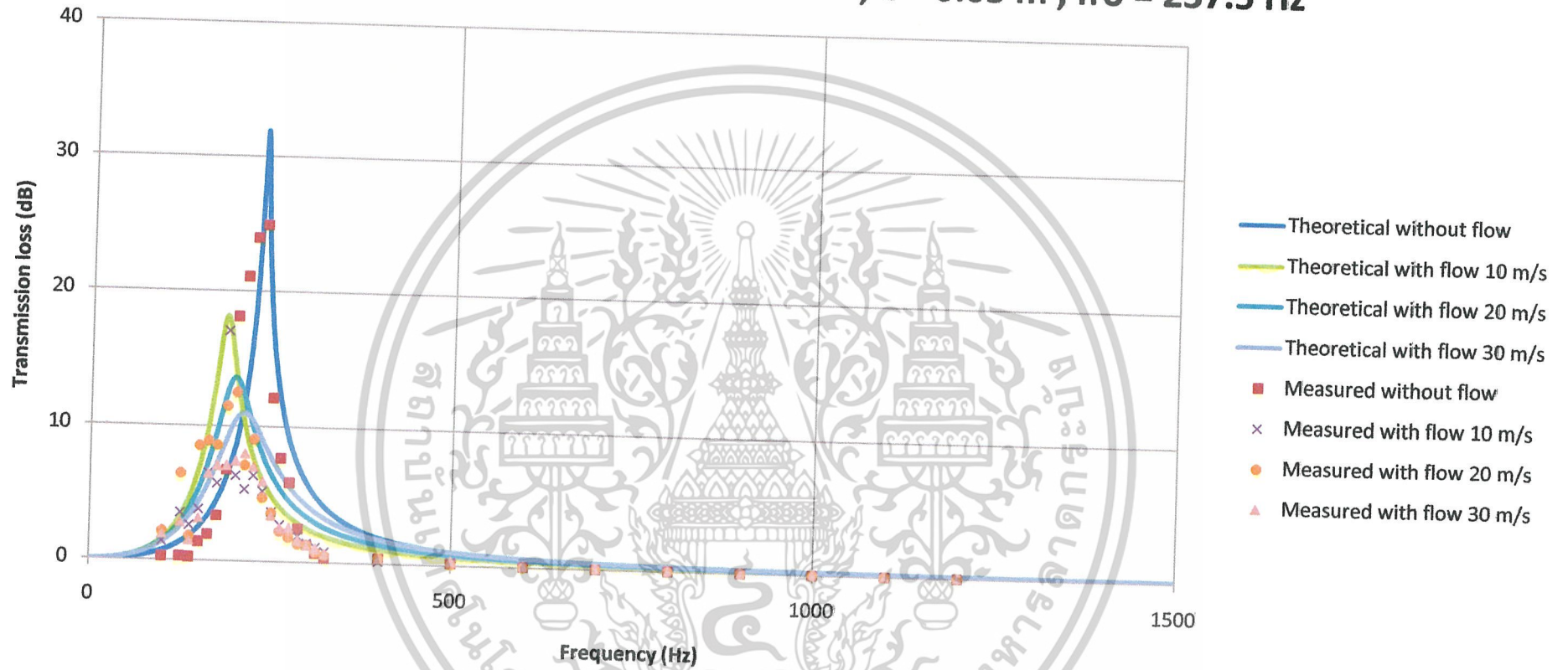
รูปที่ 4.12 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.10 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 250 \text{ Hz}$



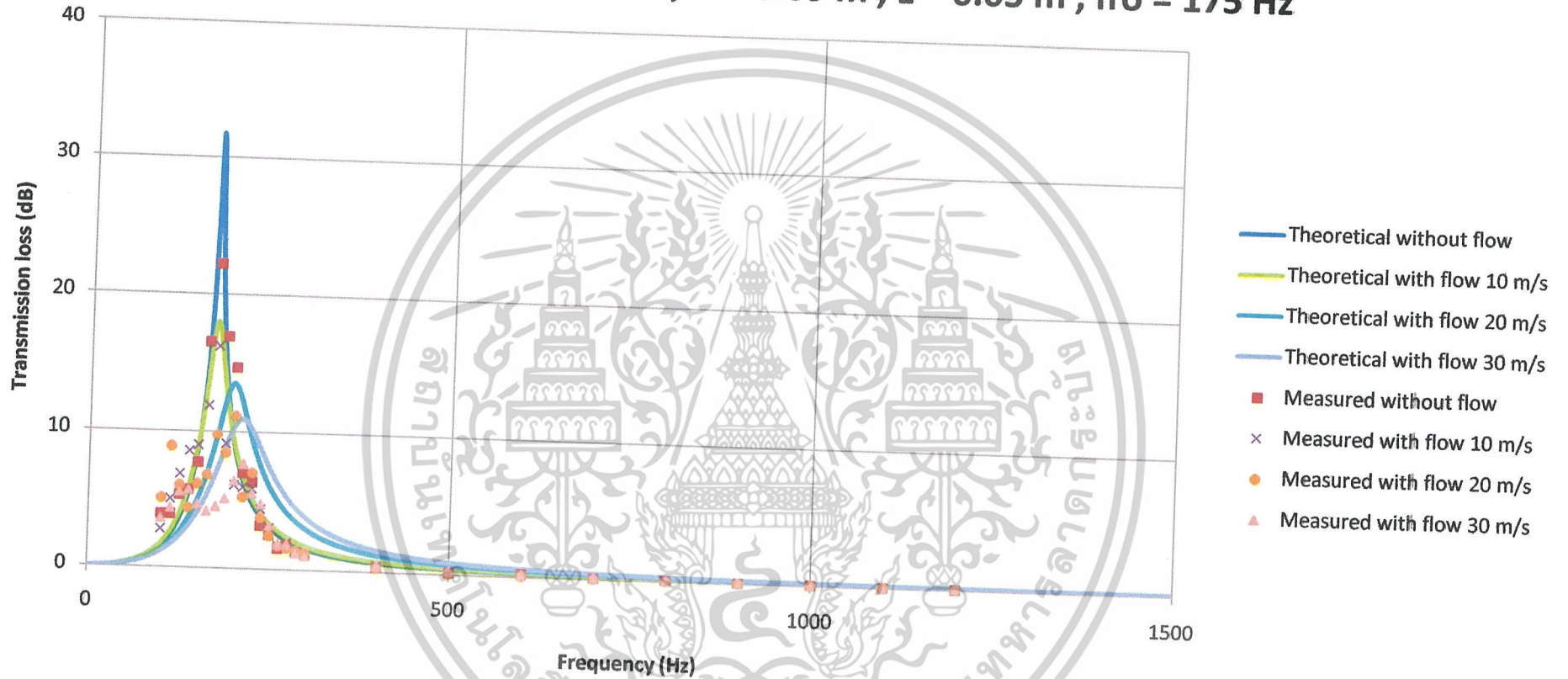
รูปที่ 4.13 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 237.5 \text{ Hz}$



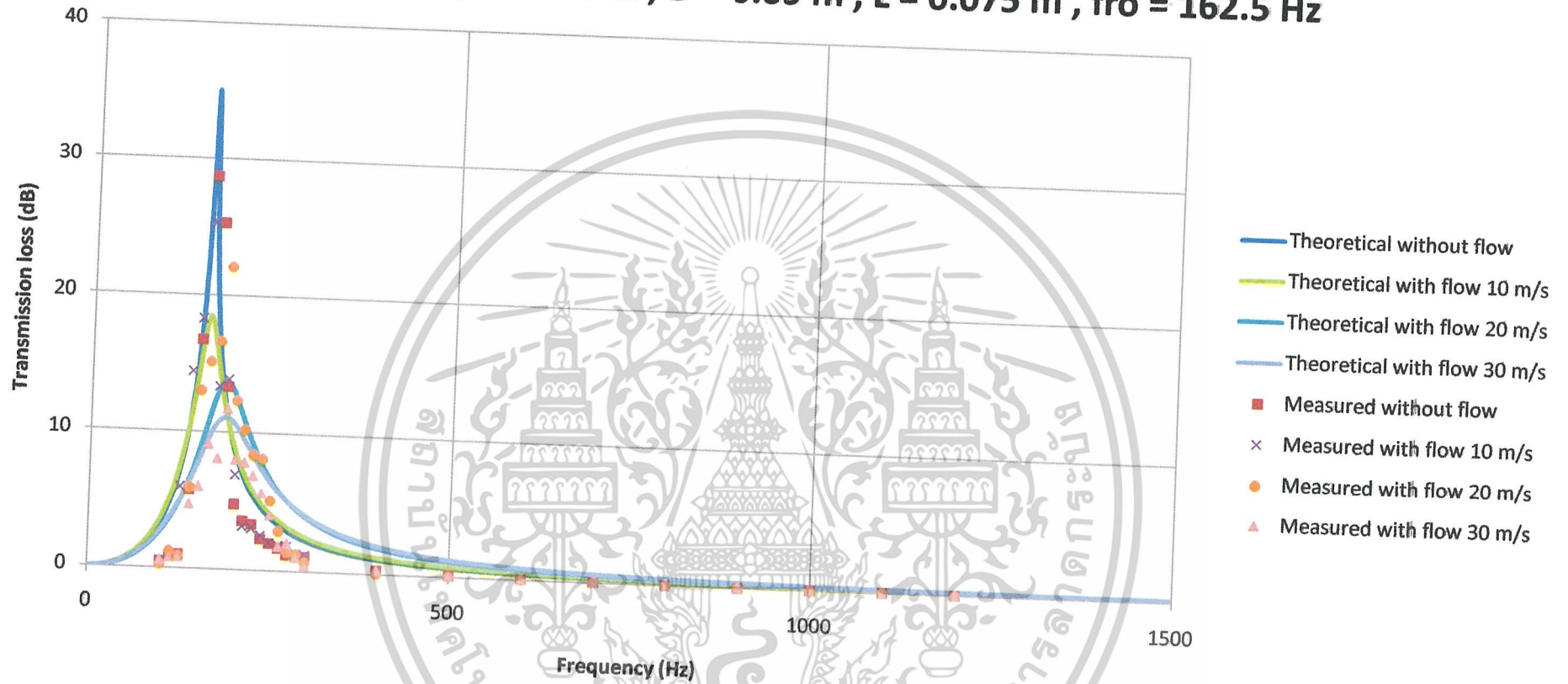
รูปที่ 4.14 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 175 \text{ Hz}$



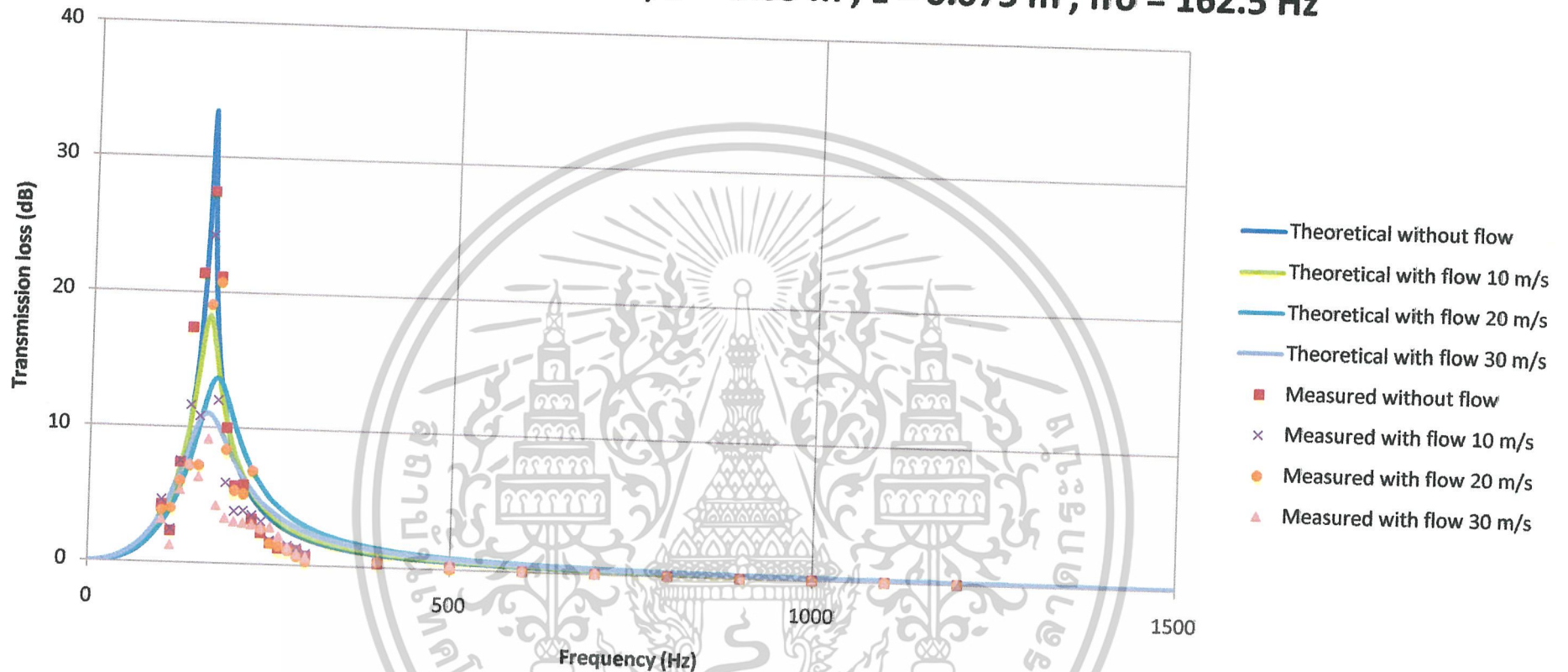
รูปที่ 4.15 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.10 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 162.5 \text{ Hz}$



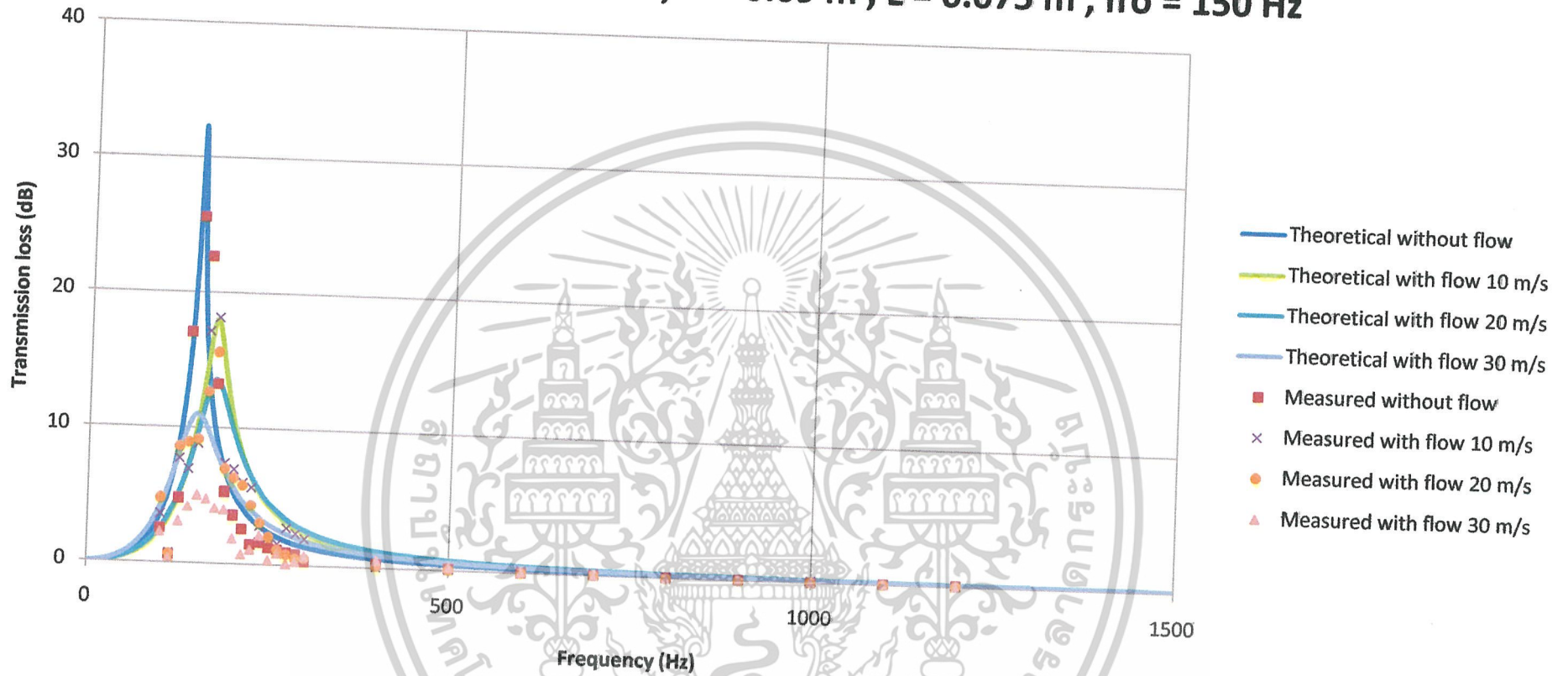
รูปที่ 4.16 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 162.5 \text{ Hz}$

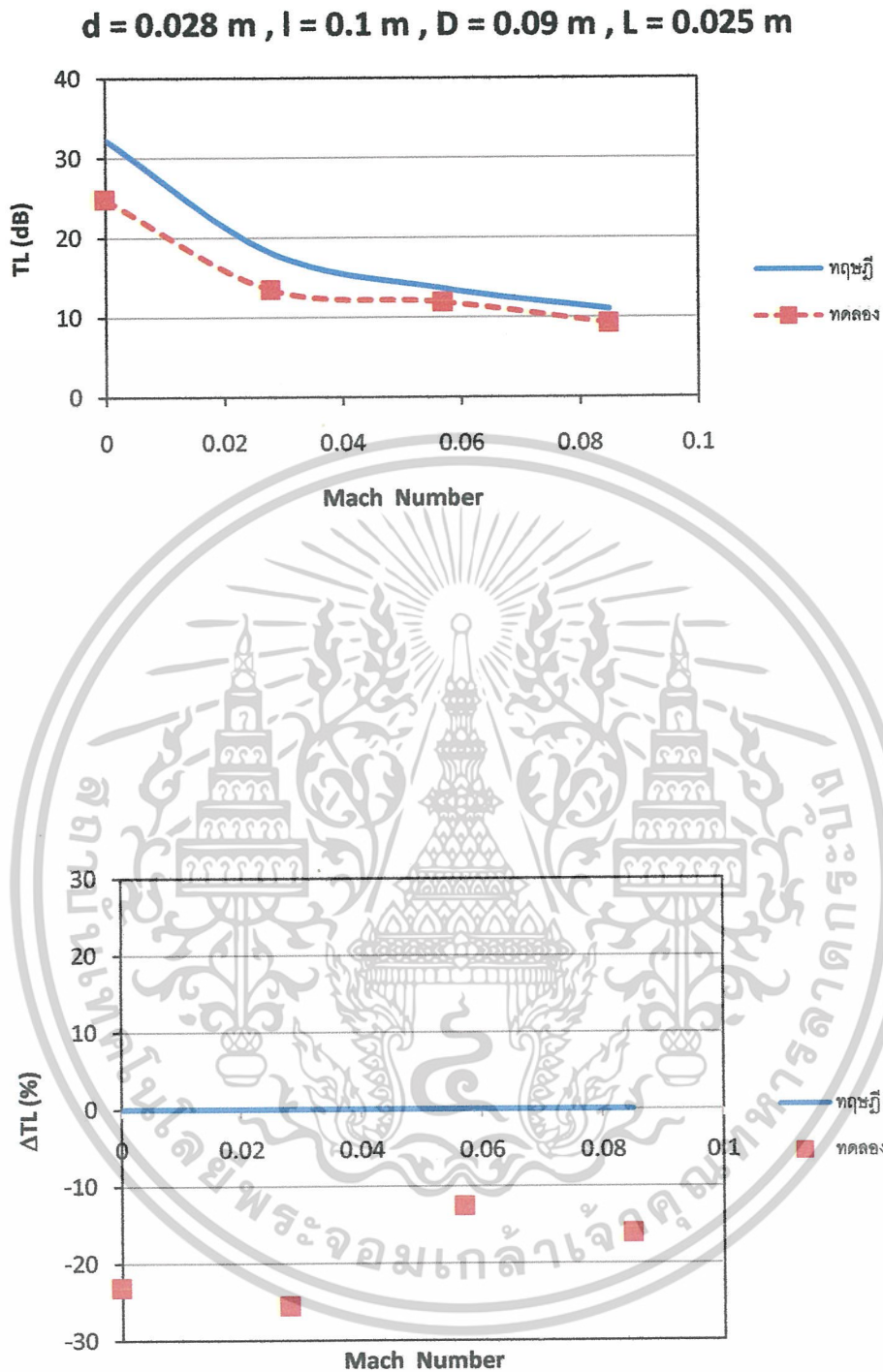


รูปที่ 4.17 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 150 \text{ Hz}$



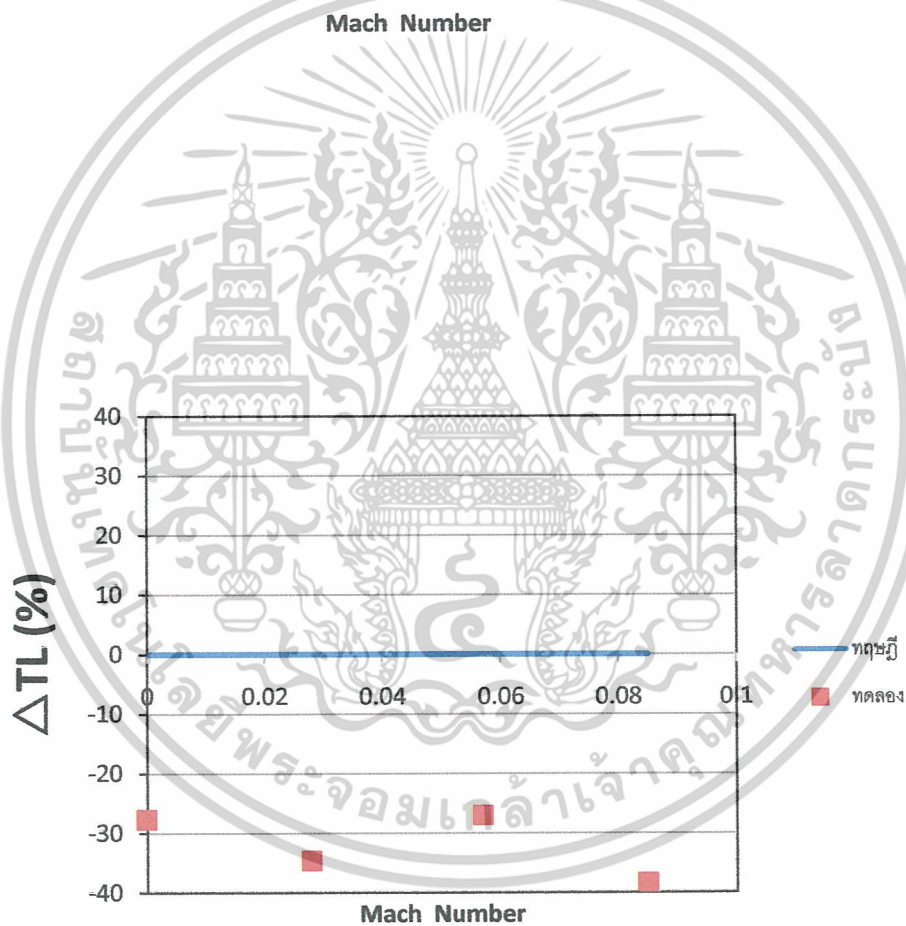
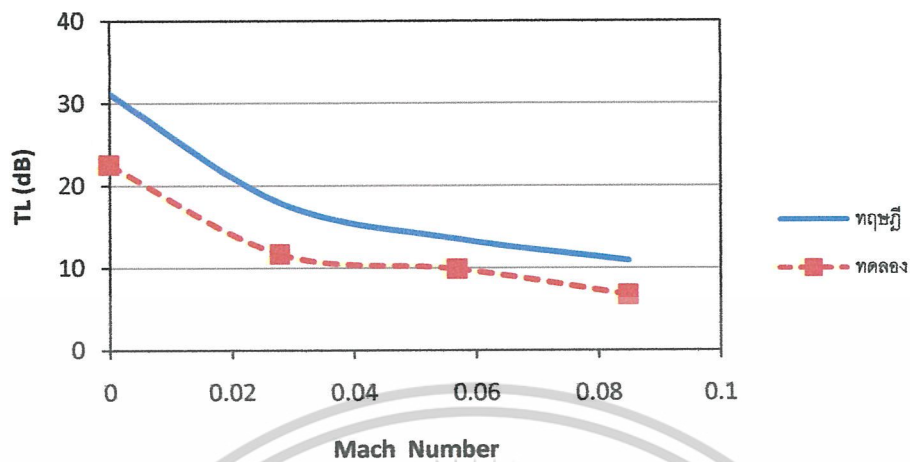
รูปที่ 4.18 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 2 ตัว



รูปที่ 4.19 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

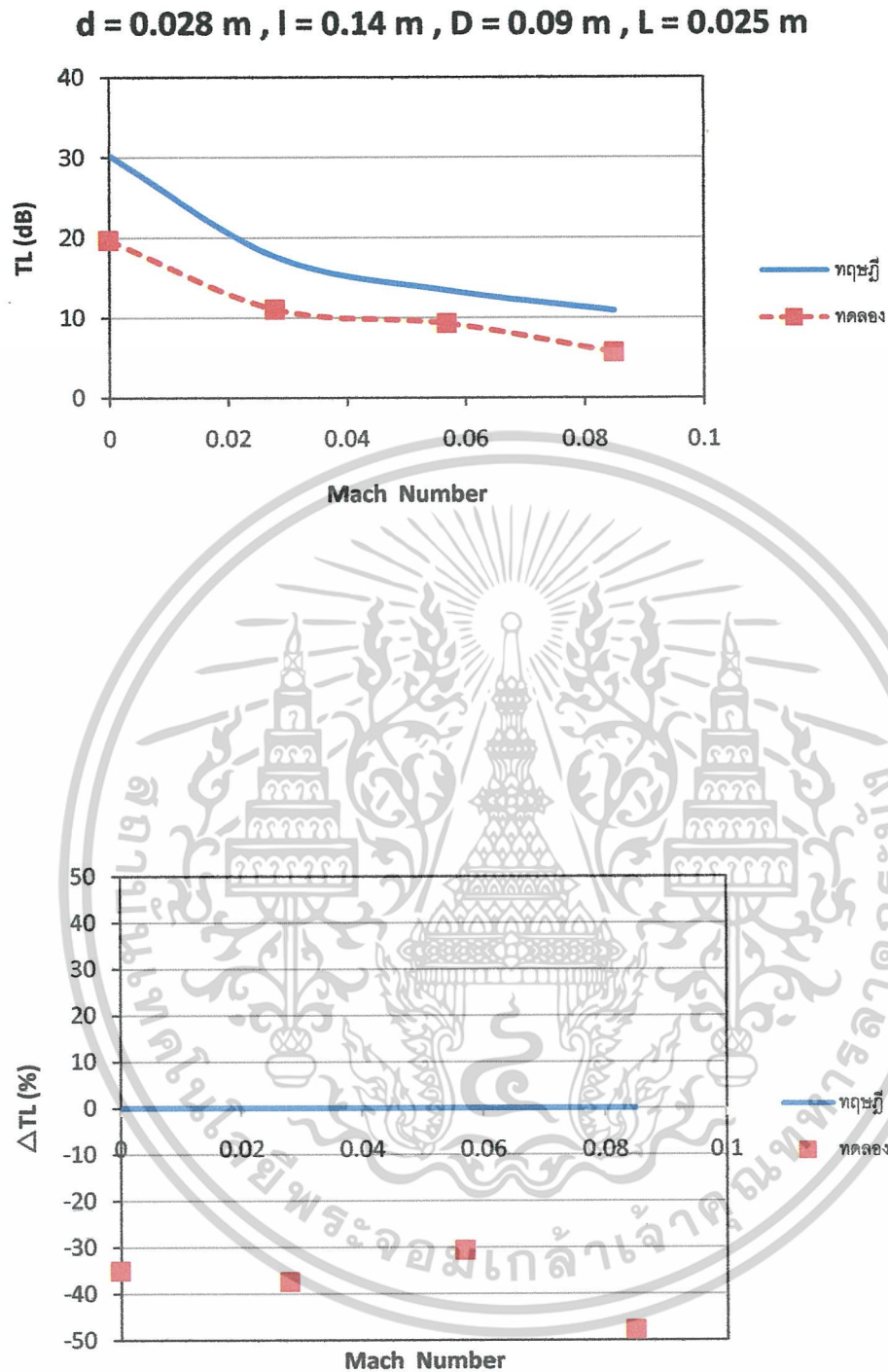
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$



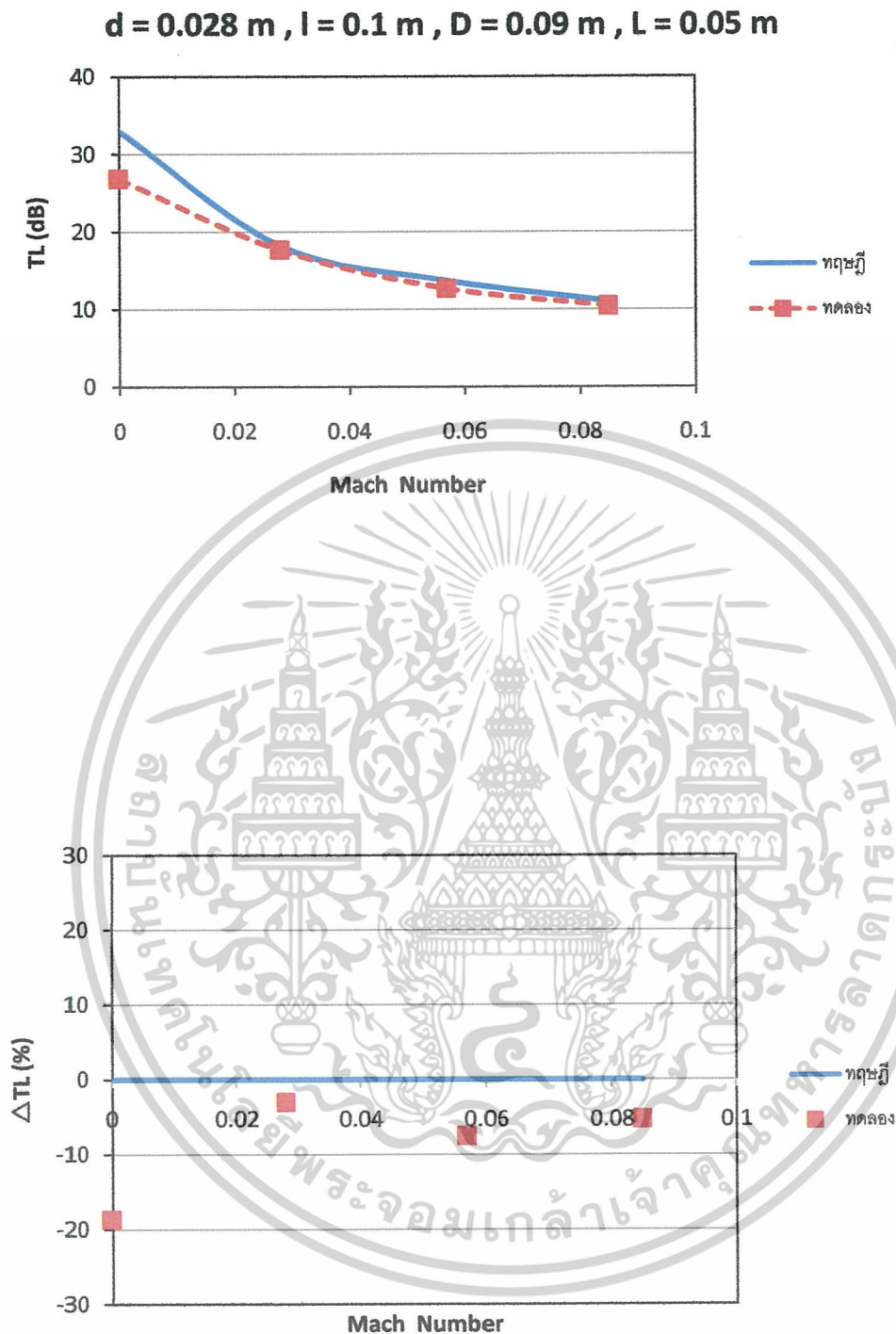
รูปที่ 4.20 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



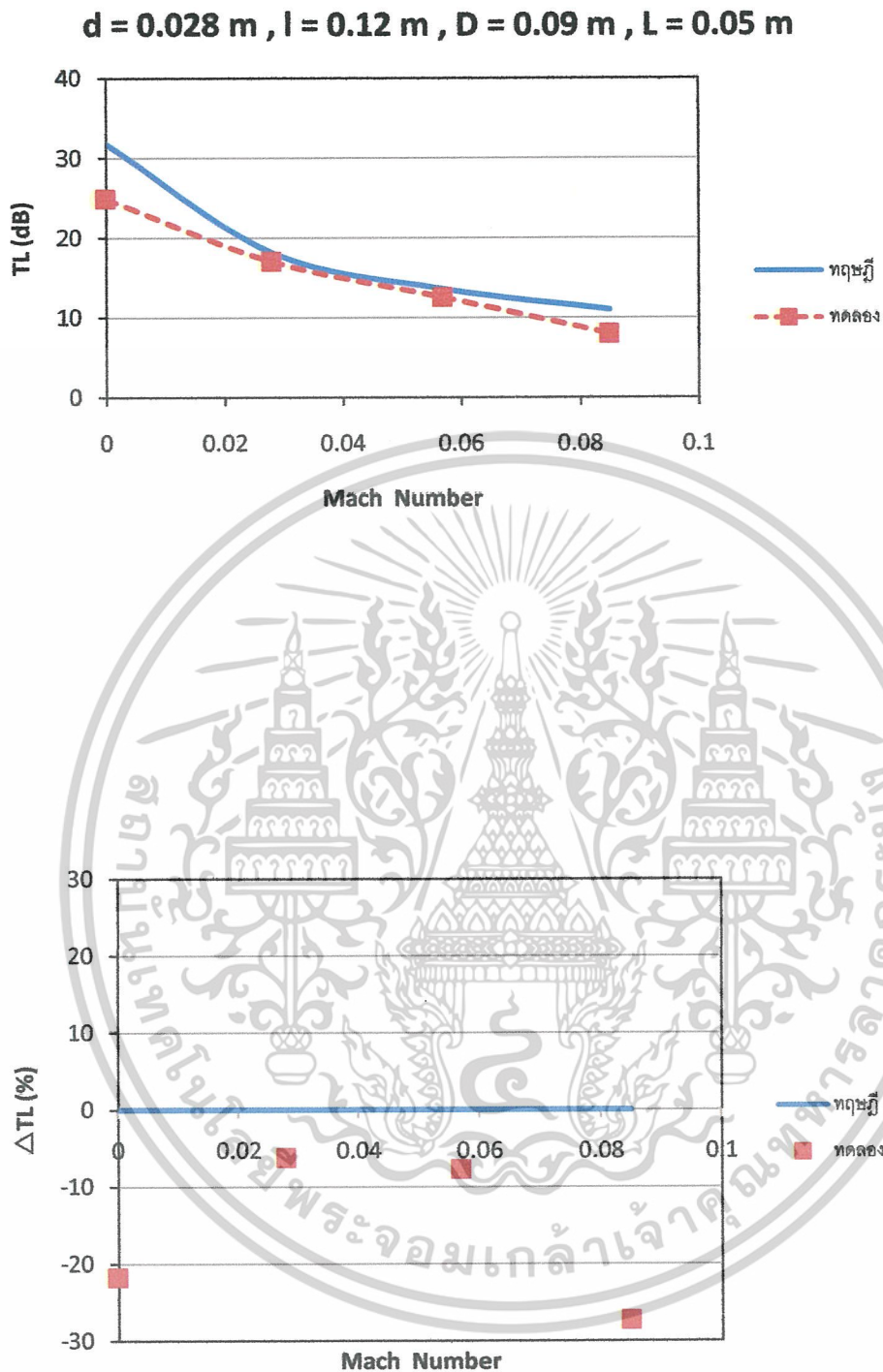
รูปที่ 4.21 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



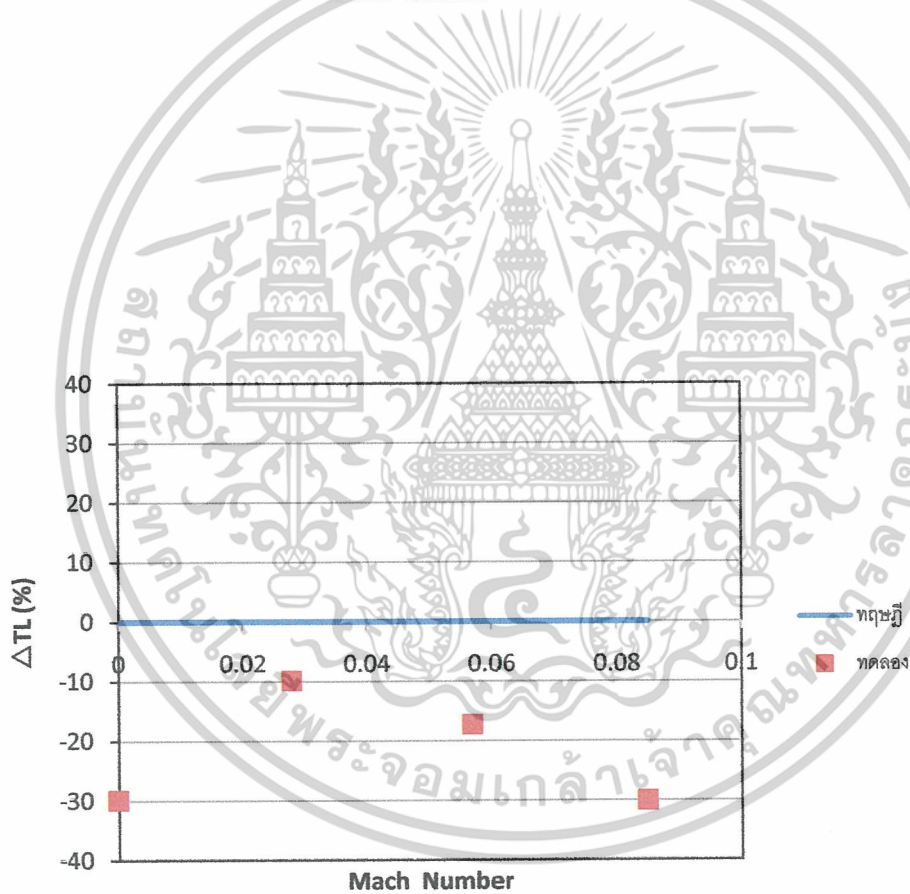
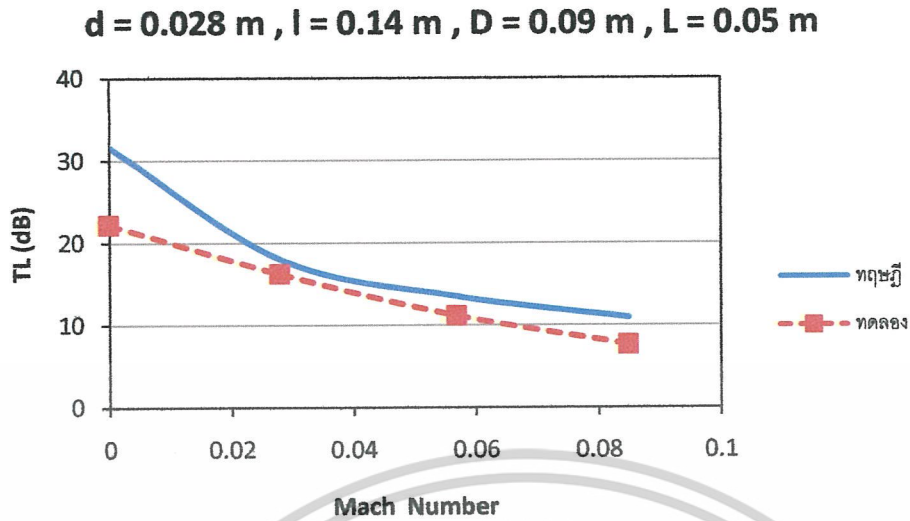
รูปที่ 4.22 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



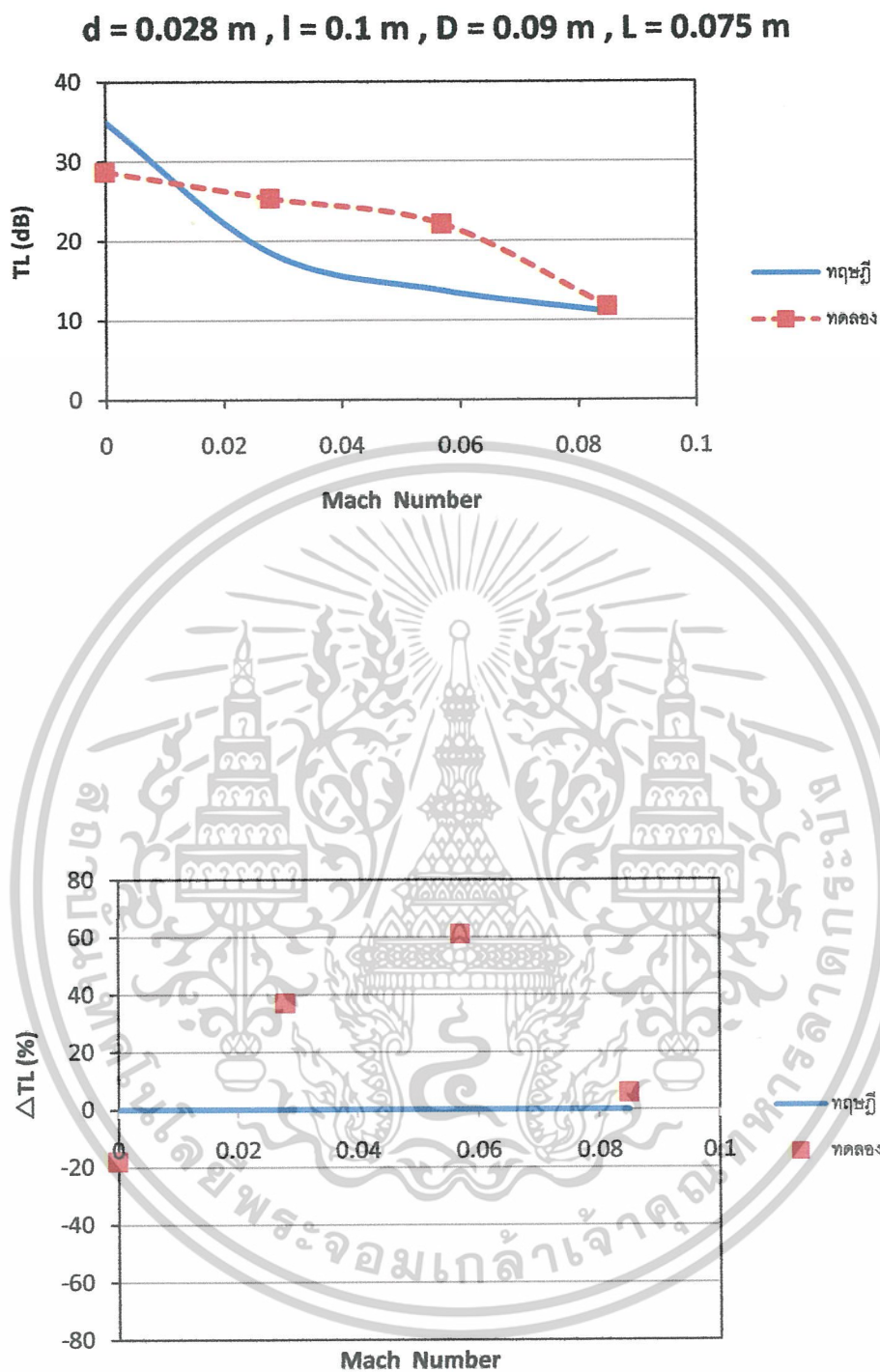
รูปที่ 4.23 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



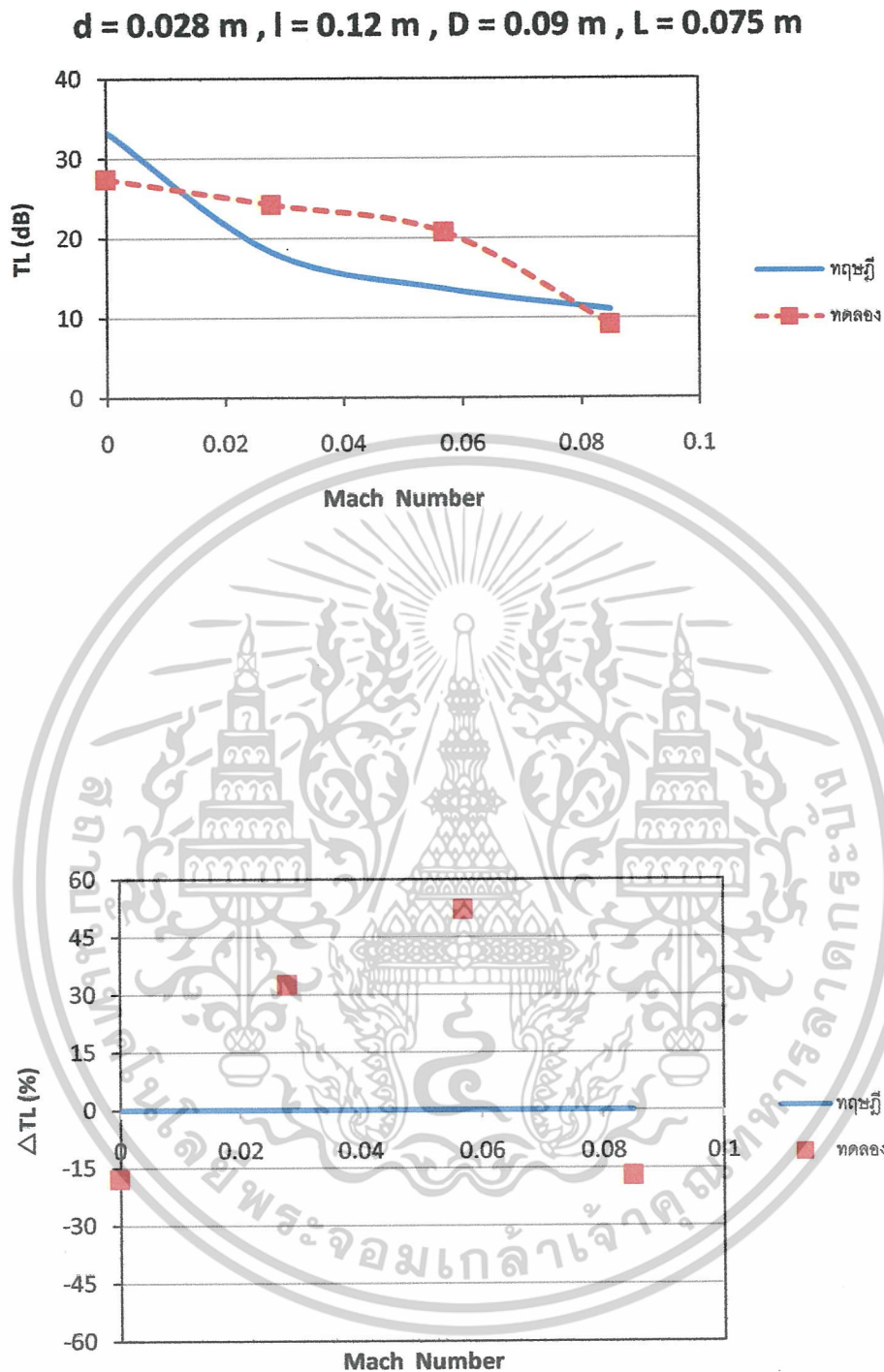
รูปที่ 4.24 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



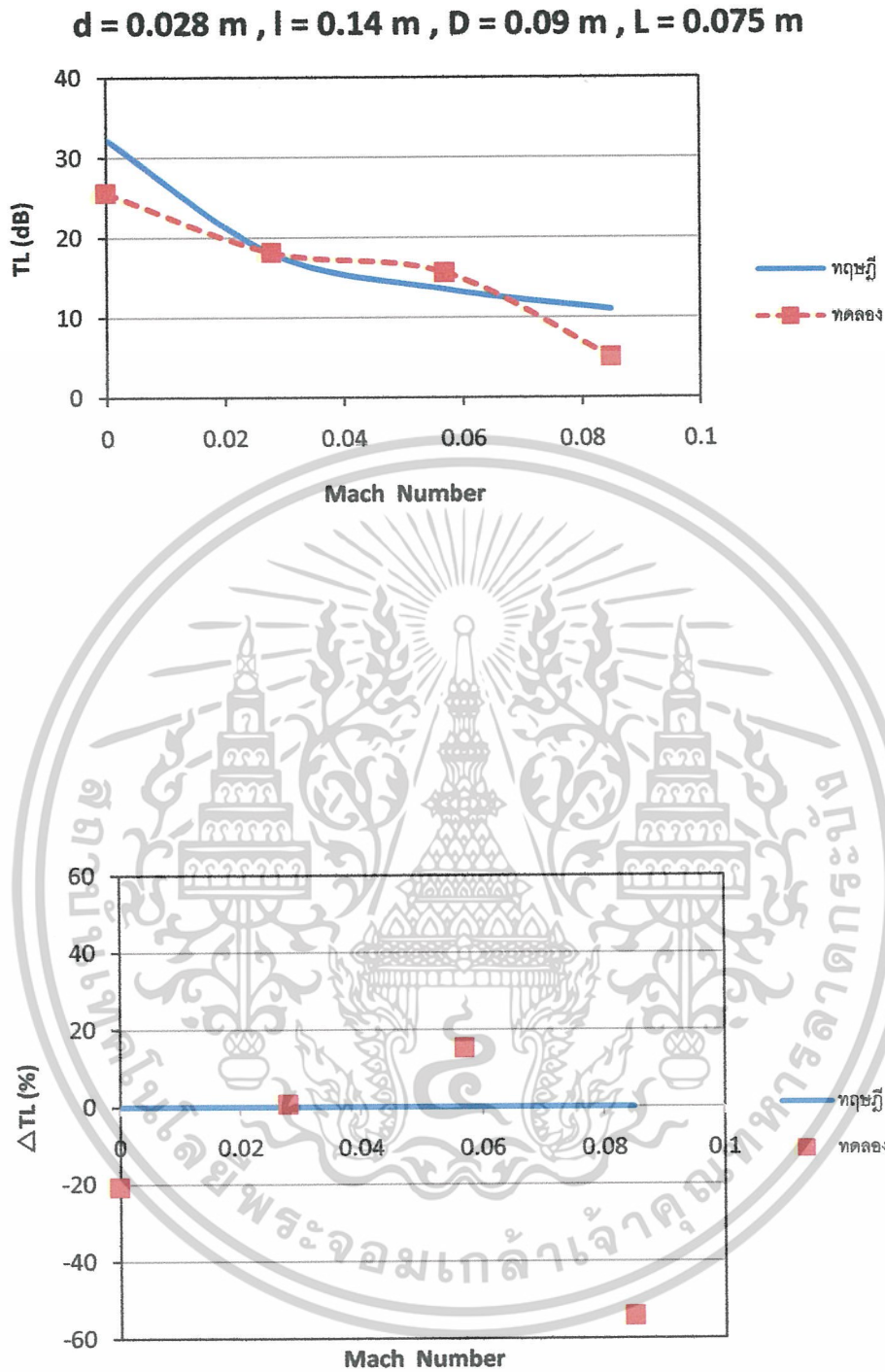
รูปที่ 4.25 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 Resonance performance ของ Helmholtz 2 ตัว

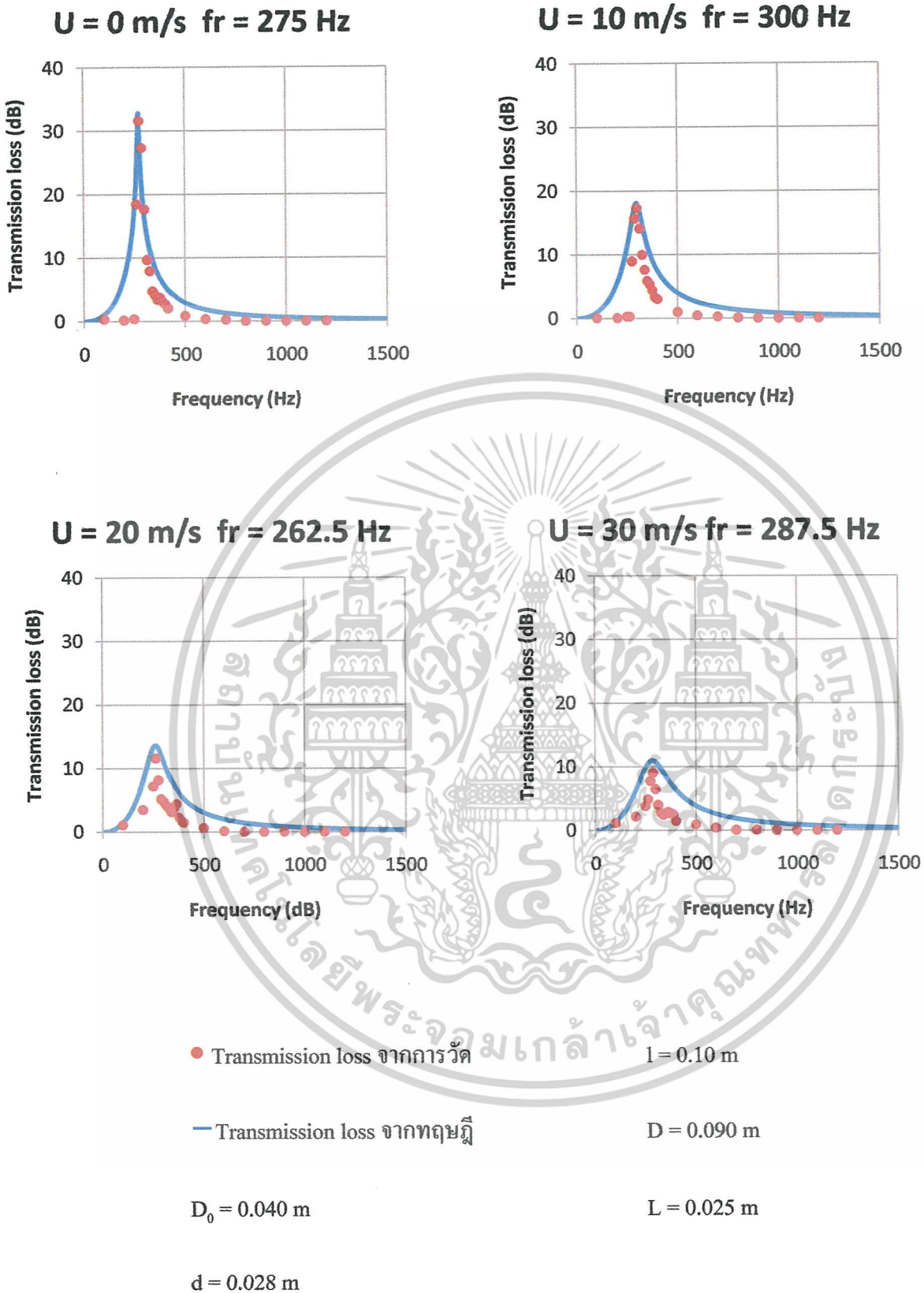
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	c (m/s)	U (m/s)	M	S ₀ (m ²)	D ₀ (m)	S (m ²)	D (m)	d (m)	L (m)	l (m)	V (m ³)	f _r (Hz)	TL _{input} (dB)	TL _{output} (dB)
1	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	275.0	32.79	31.59
2	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	300.0	18.12	17.32
3	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	262.5	13.63	11.63
4	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.100	1.59×10 ⁻⁴	287.5	11.00	9.08
5	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	275.0	31.22	30.65
6	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	312.5	17.82	16.19
7	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	237.5	13.54	11.12
8	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.120	1.59×10 ⁻⁴	275.0	10.93	9.66
9	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	250.0	30.35	30.45
10	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	275.0	17.69	14.82
11	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	237.5	13.42	10.48
12	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.025	0.140	1.59×10 ⁻⁴	262.5	10.87	7.21
13	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	225.0	33.65	36.47
14	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	237.5	18.27	19.89
15	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	212.5	13.69	14.38
16	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.100	3.18×10 ⁻⁴	250.0	11.03	10.92
17	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	200.0	32.60	36.35
18	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	162.5	18.28	17.38
19	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	200.0	13.60	14.13
20	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.120	3.18×10 ⁻⁴	212.5	10.99	9.44
21	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	175.0	31.82	32.70
22	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	162.5	18.08	18.99
23	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	225.0	13.45	13.45
24	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.050	0.140	3.18×10 ⁻⁴	225.0	10.91	9.69

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 4 ตัว

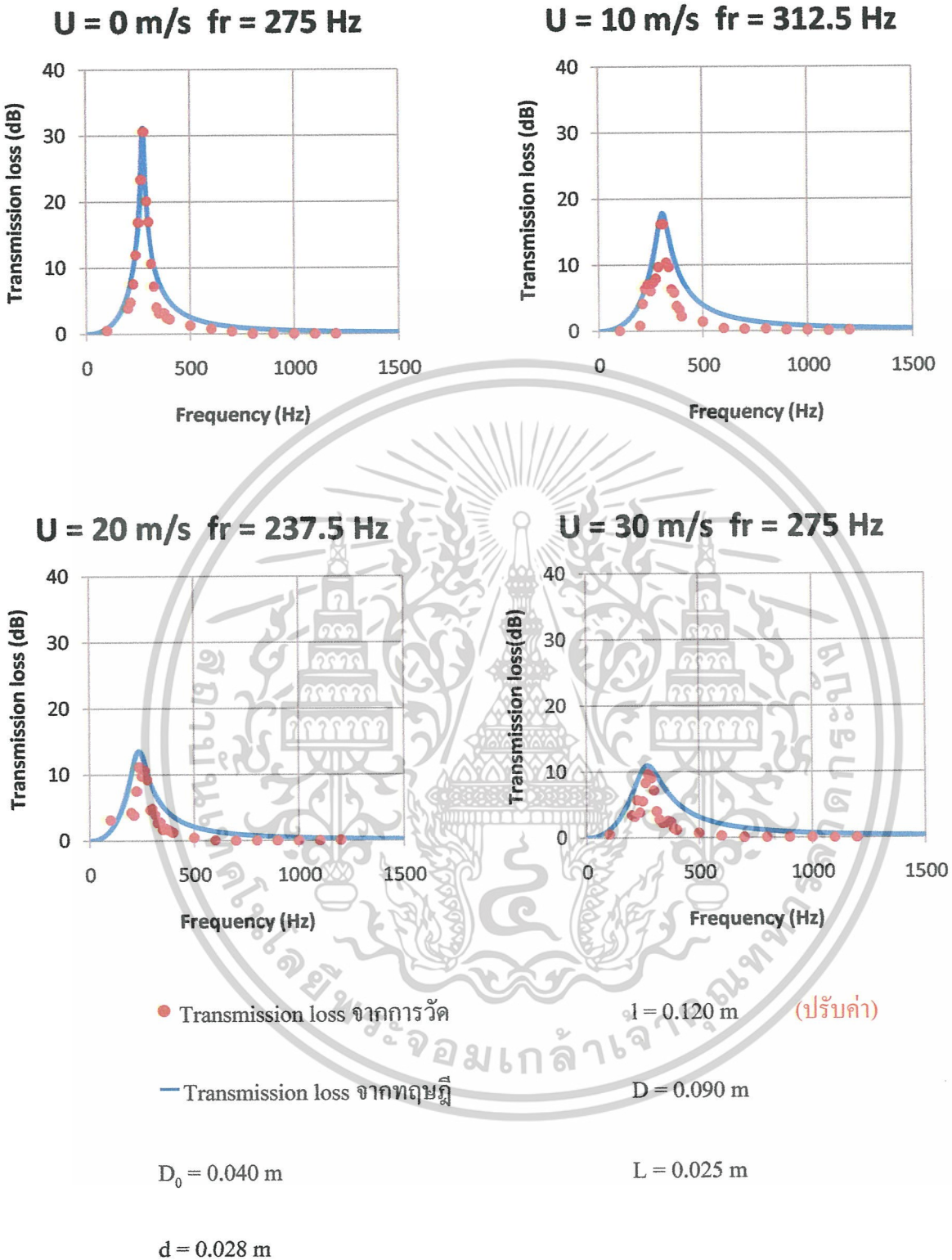
No.	c (m/s)	U (m/s)	M	S ₀ (m ²)	D ₀ (m)	S (m ²)	D (m)	d (m)	L (m)	l (m)	V (m ³)	f _r (Hz)	TL _{ทฤษฎี} (dB)	TL _{ทดลอง} (dB)
25	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	162.5	34.98	36.62
26	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	162.5	18.48	20.23
27	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	187.5	13.73	13.46
28	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.100	4.77×10 ⁻⁴	212.5	11.06	11.46
29	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	162.5	33.50	36.57
30	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	175.0	18.24	18.32
31	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	187.5	13.62	15.41
32	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.120	4.77×10 ⁻⁴	200.0	11.00	10.12
33	352	0	0.000	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	162.5	32.19	33.54
34	352	10	0.028	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	150.0	18.13	18.30
35	352	20	0.057	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	162.5	13.57	14.14
36	352	30	0.085	4×10 ⁻⁴	0.040	6.16×10 ⁻⁴	0.090	0.028	0.075	0.140	4.77×10 ⁻⁴	150.0	11.00	8.21

ตารางที่ 4.2(ต่อ) พฤติกรรมของ Helmholtz Resonator 4 ตัว



รูปที่ 4.28 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

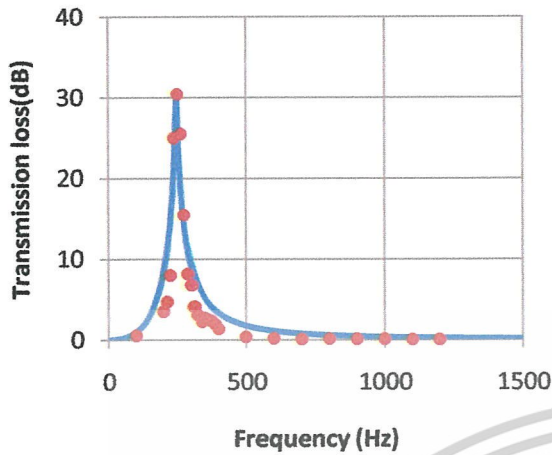
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



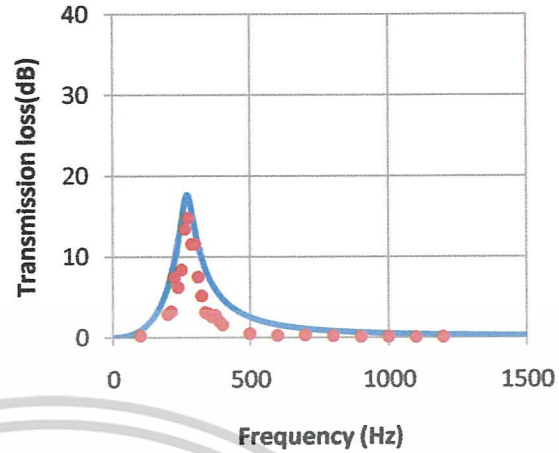
รูปที่ 4.29 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

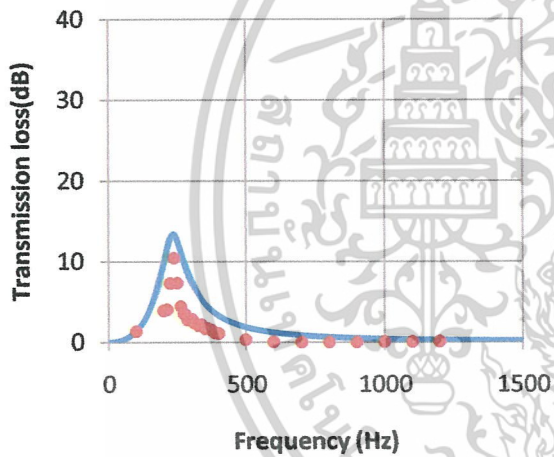
$U = 0 \text{ m/s}$ $f_r = 250 \text{ Hz}$



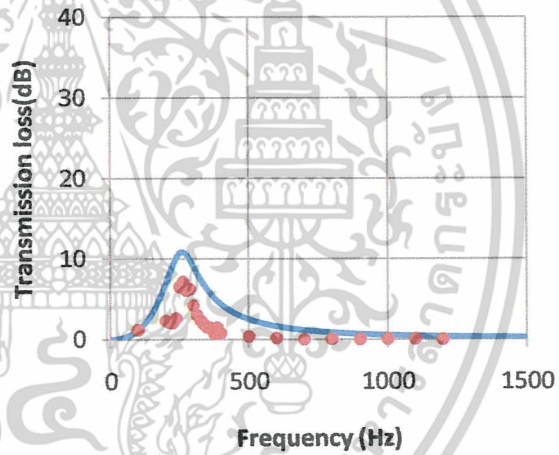
$U = 10 \text{ m/s}$ $f_r = 275 \text{ Hz}$



$U = 20 \text{ m/s}$ $f_r = 237.5 \text{ Hz}$



$U = 30 \text{ m/s}$ $f_r = 262.5 \text{ Hz}$



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.140 \text{ m}$ (ปรับค่า)

— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$

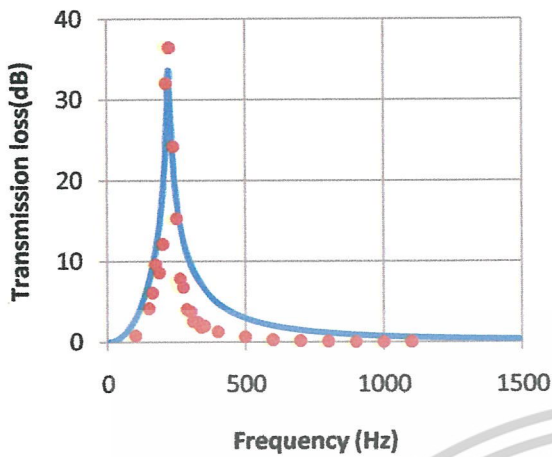
$L = 0.025 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

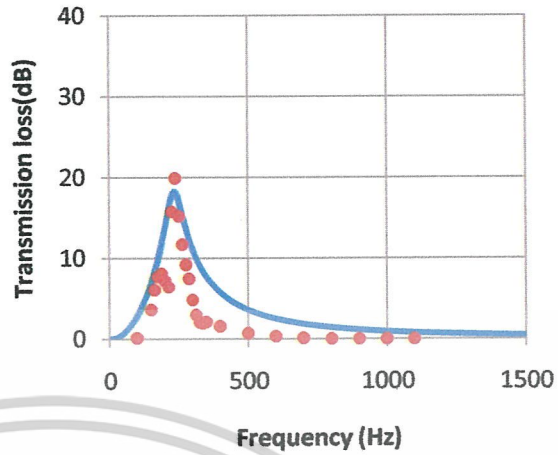
รูปที่ 4.30 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

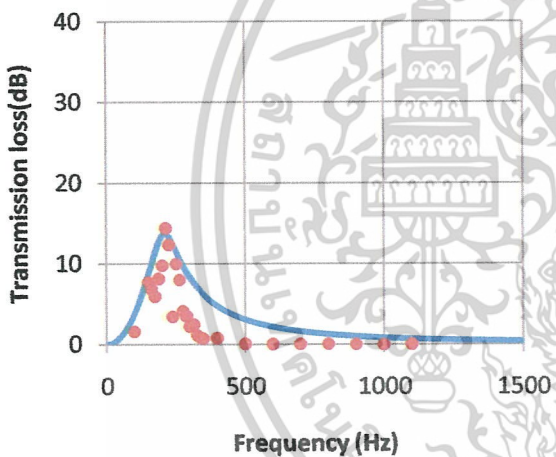
$U = 0 \text{ m/s}$ $f_r = 225 \text{ Hz}$



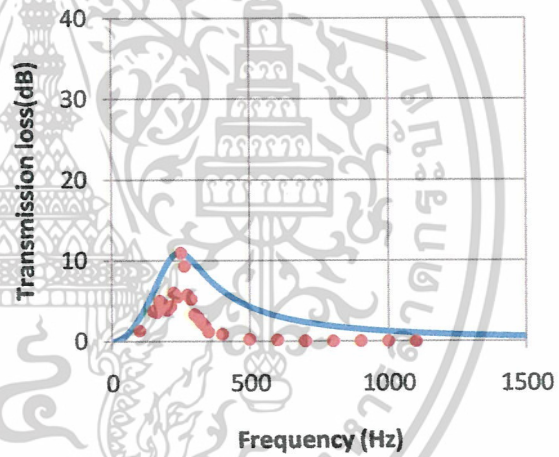
$U = 10 \text{ m/s}$ $f_r = 237.5 \text{ Hz}$



$U = 20 \text{ m/s}$ $f_r = 212.5 \text{ Hz}$



$U = 30 \text{ m/s}$ $f_r = 250 \text{ Hz}$



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.100 \text{ m}$ (ปรับค่า)

— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

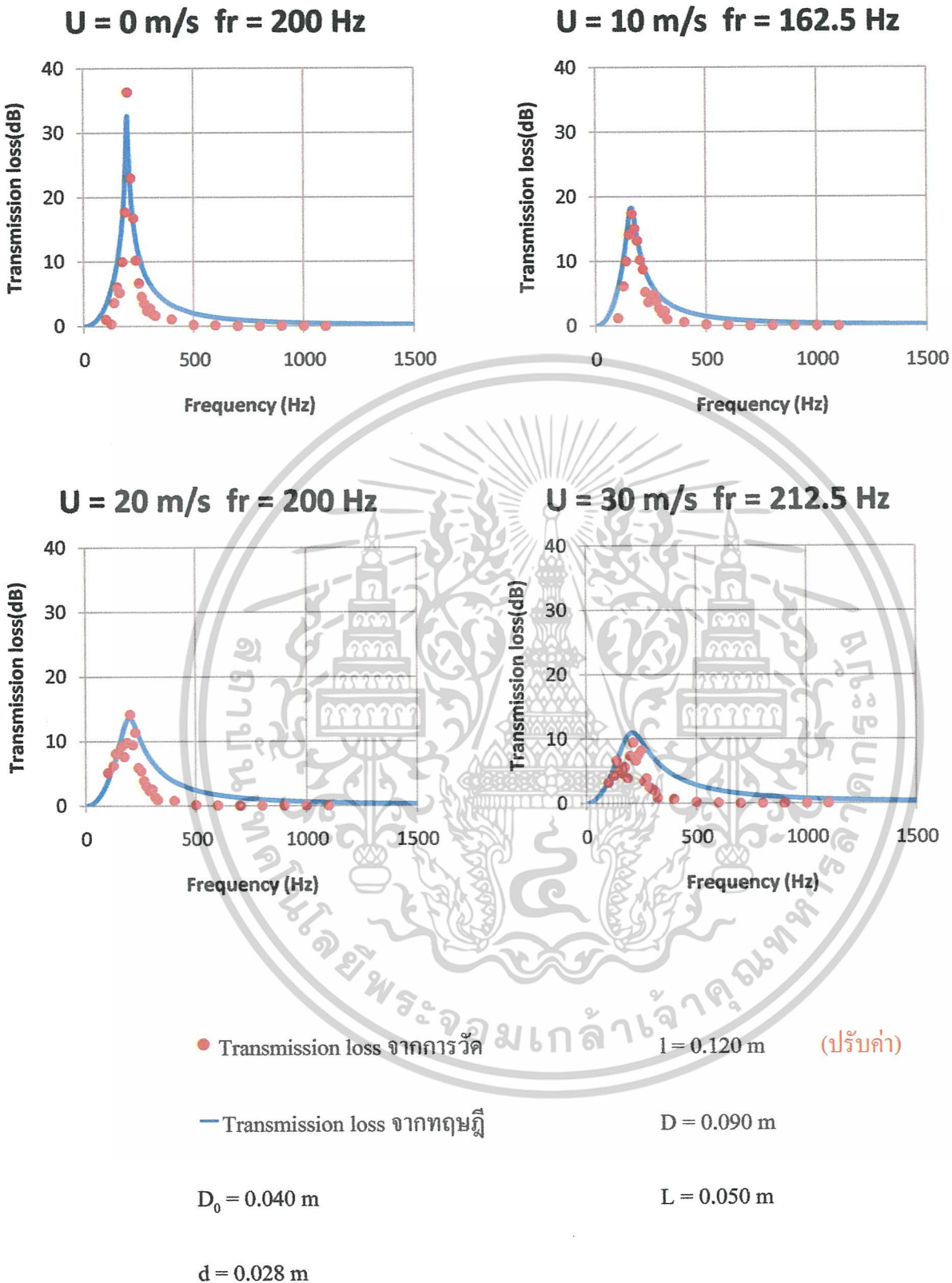
$D_0 = 0.040 \text{ m}$

$L = 0.050 \text{ m}$ (ปรับค่า)

$d = 0.028 \text{ m}$

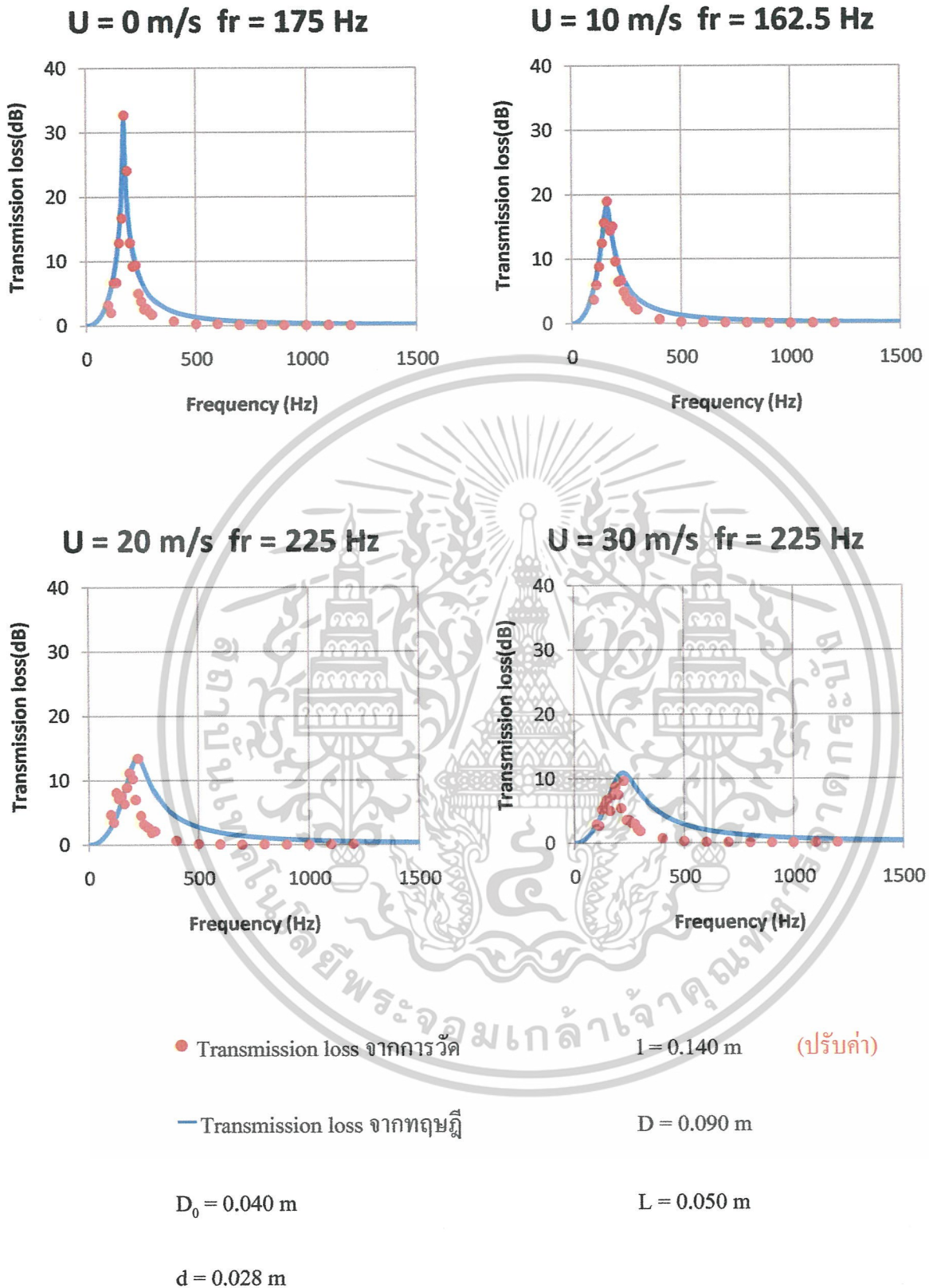
รูปที่ 4.31 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



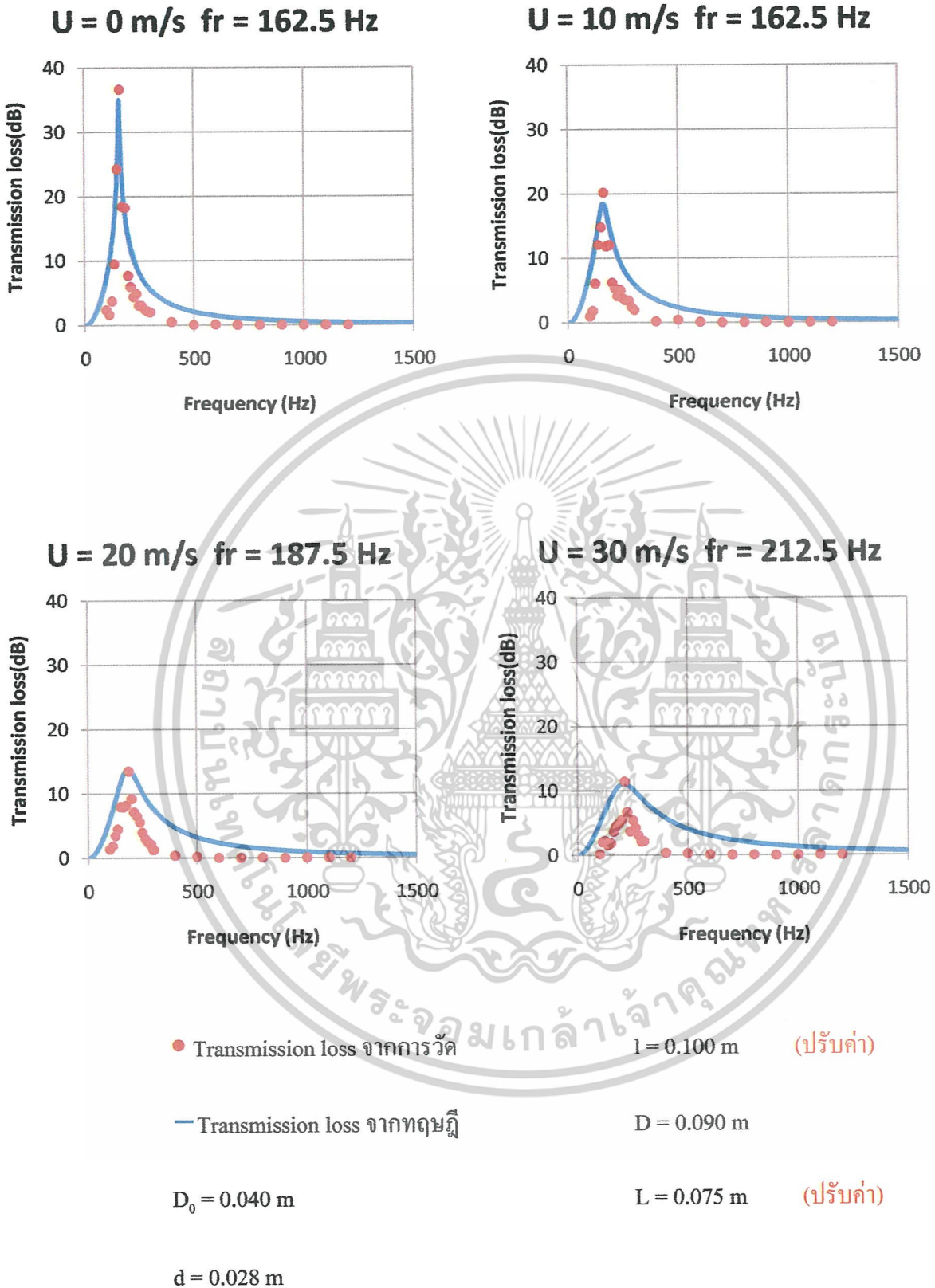
รูปที่ 4.32 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

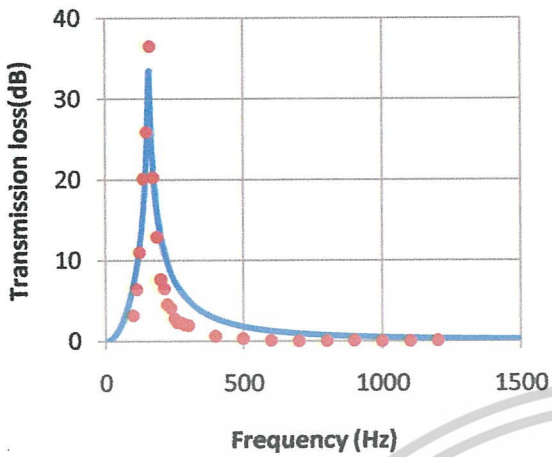
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



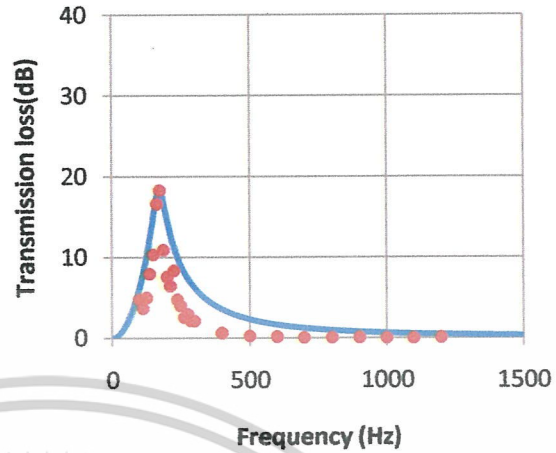
รูปที่ 4.34 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

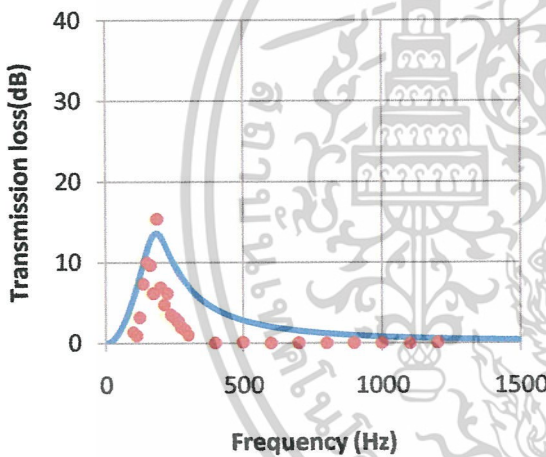
$U = 0 \text{ m/s}$ $f_r = 162.5 \text{ Hz}$



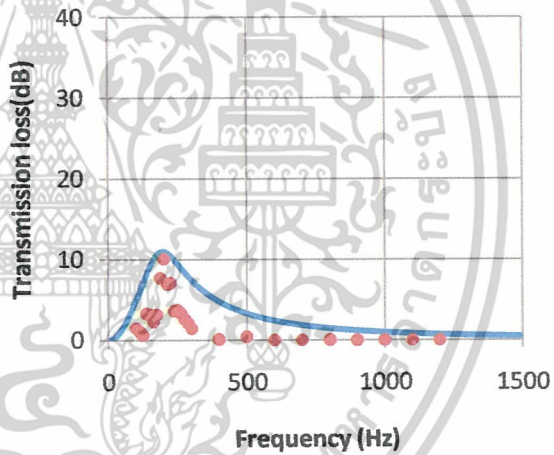
$U = 10 \text{ m/s}$ $f_r = 175 \text{ Hz}$



$U = 20 \text{ m/s}$ $f_r = 187.5 \text{ Hz}$



$U = 30 \text{ m/s}$ $f_r = 200 \text{ Hz}$



● Transmission loss จากทฤษฎี $l = 0.120 \text{ m}$ (ปรับค่า)

— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$

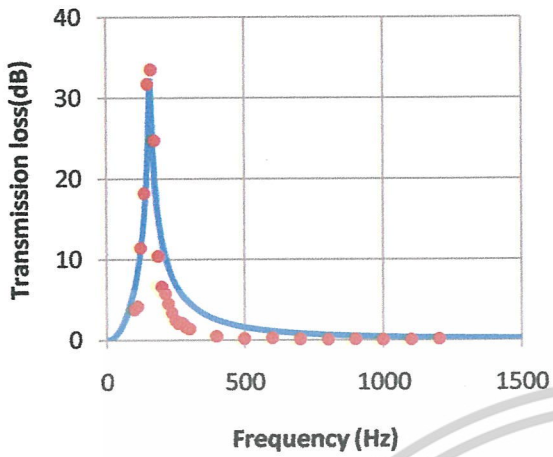
$L = 0.075 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

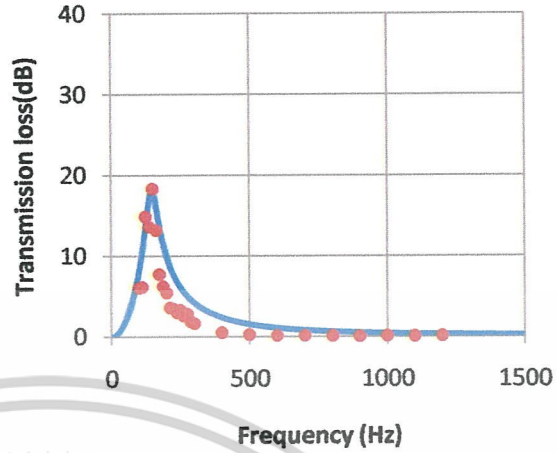
รูปที่ 4.35 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

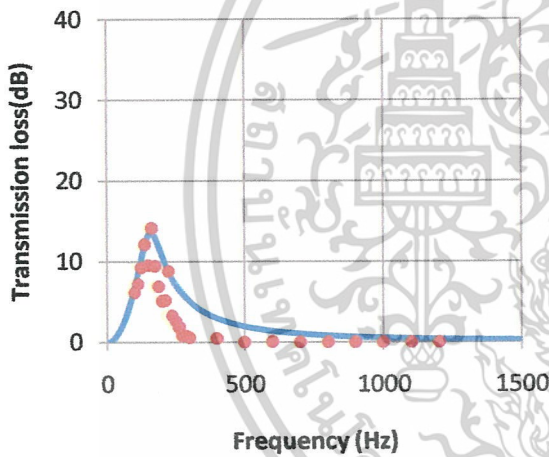
$U = 0 \text{ m/s}$ $fr = 162.5 \text{ Hz}$



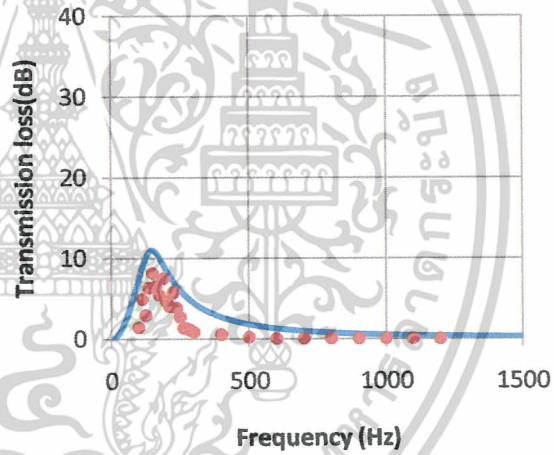
$U = 10 \text{ m/s}$ $fr = 150 \text{ Hz}$



$U = 20 \text{ m/s}$ $fr = 162.5 \text{ Hz}$



$U = 30 \text{ m/s}$ $fr = 150 \text{ Hz}$



● Transmission loss จากการวัด $l = 0.140 \text{ m}$ (ปรับค่า)

— Transmission loss จากทฤษฎี $D = 0.090 \text{ m}$

$D_0 = 0.040 \text{ m}$

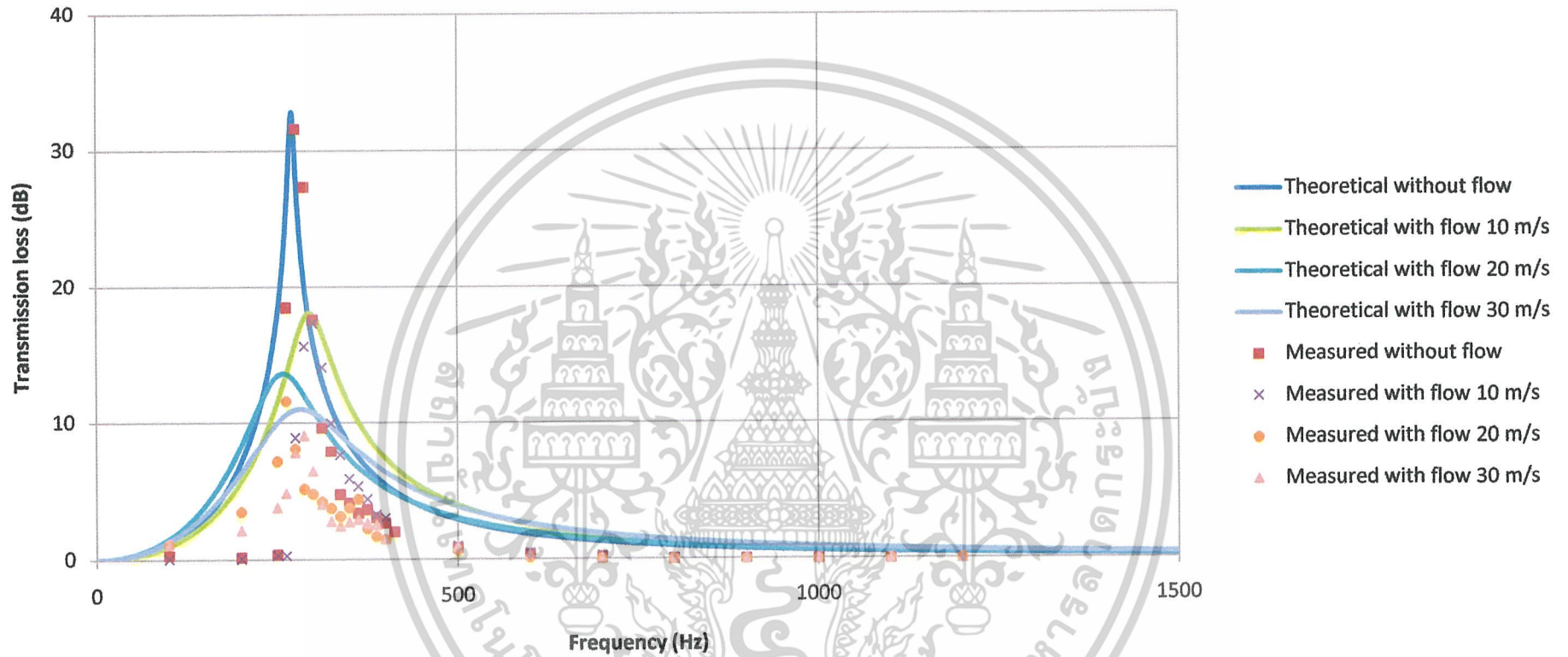
$L = 0.075 \text{ m}$

$d = 0.028 \text{ m}$

รูปที่ 4.36 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

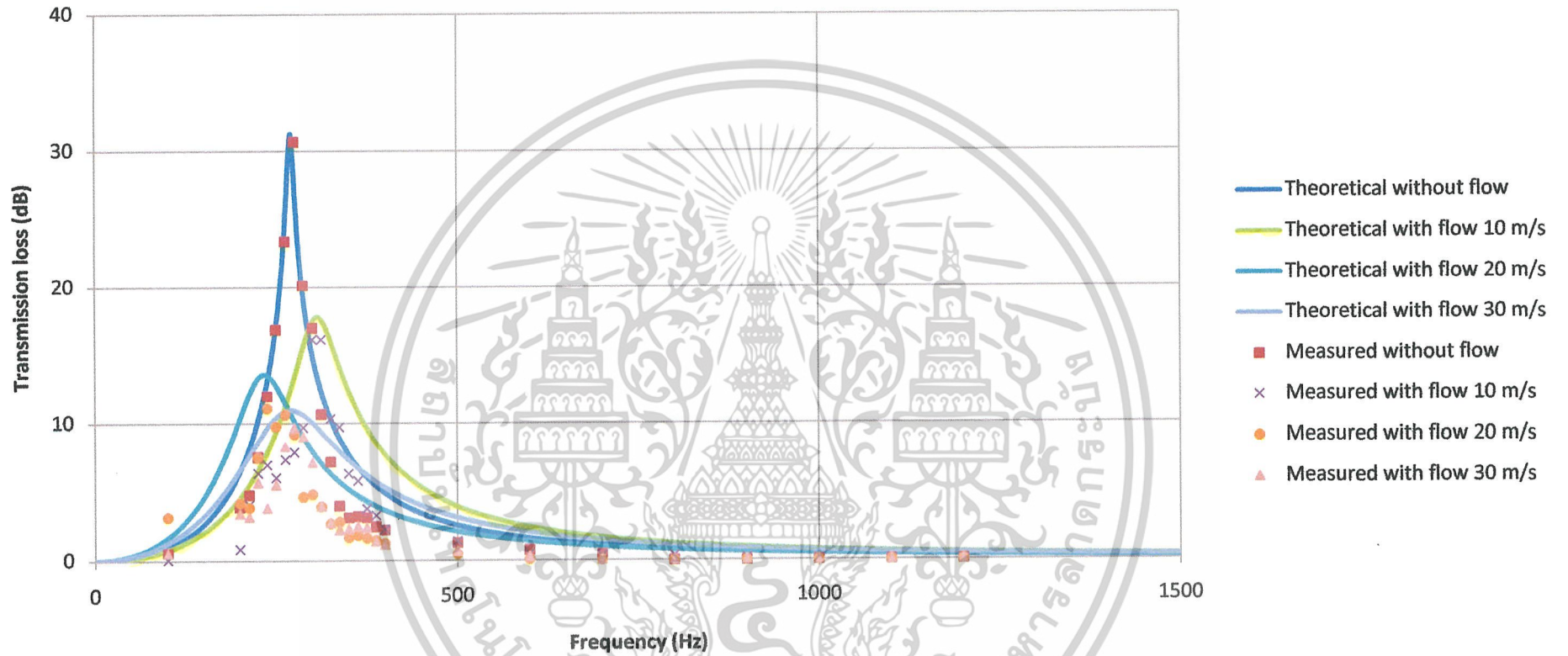
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.1 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 275 \text{ Hz}$



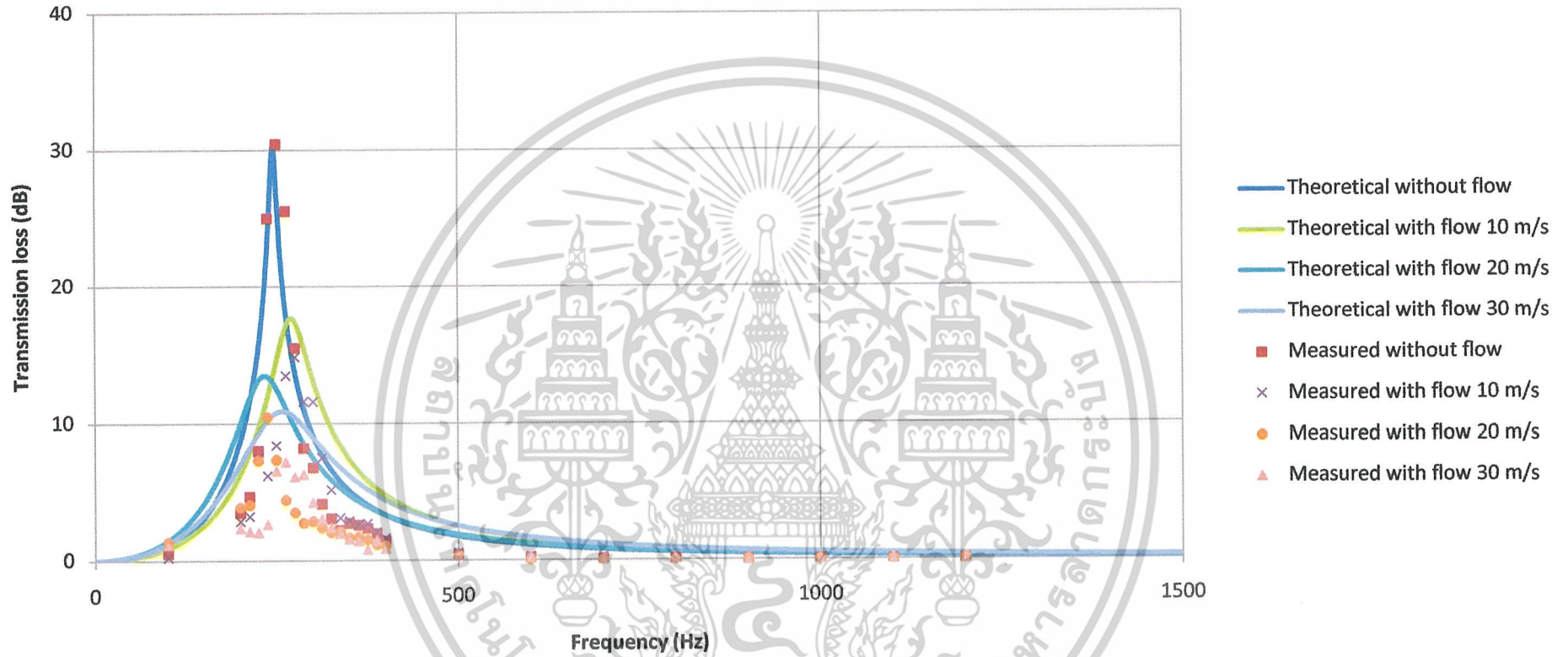
รูปที่ 4.37 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 275 \text{ Hz}$



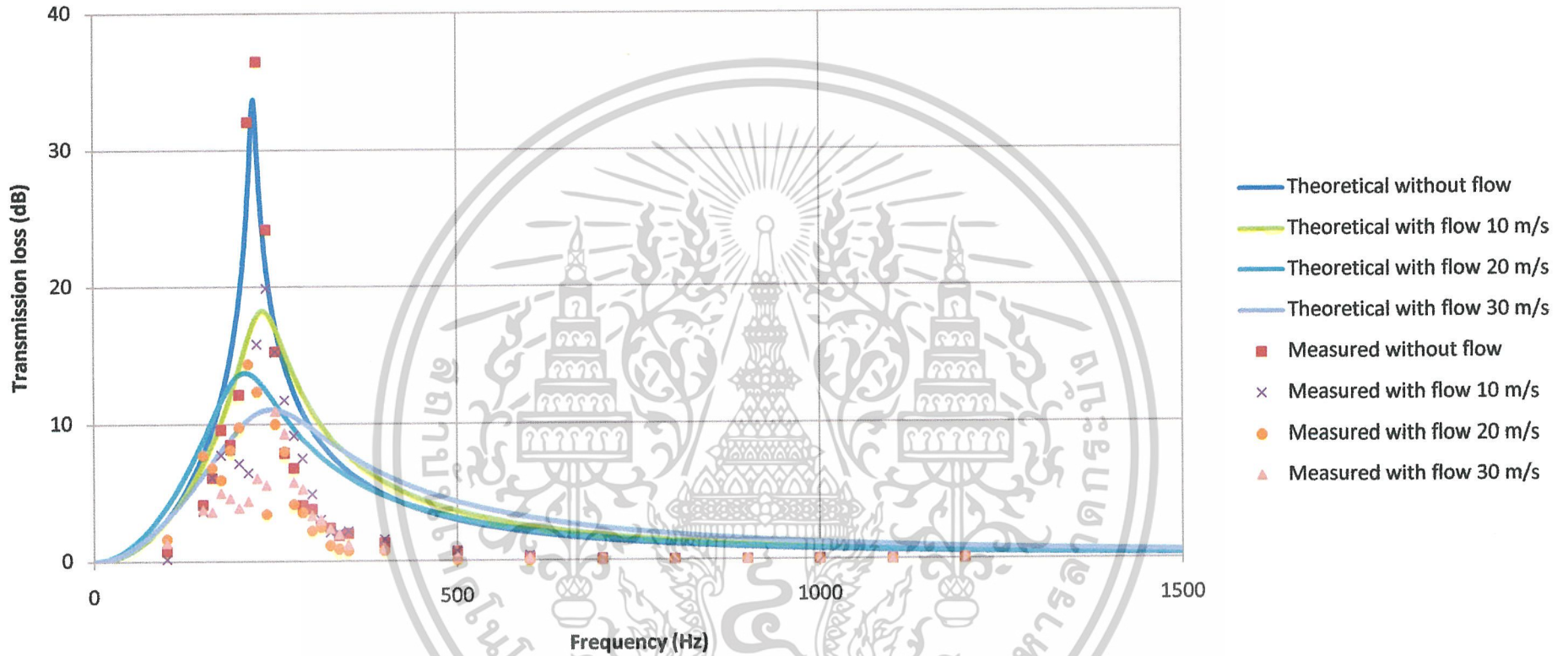
รูปที่ 4.38 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.025 \text{ m}$, $f_{ro} = 250 \text{ Hz}$



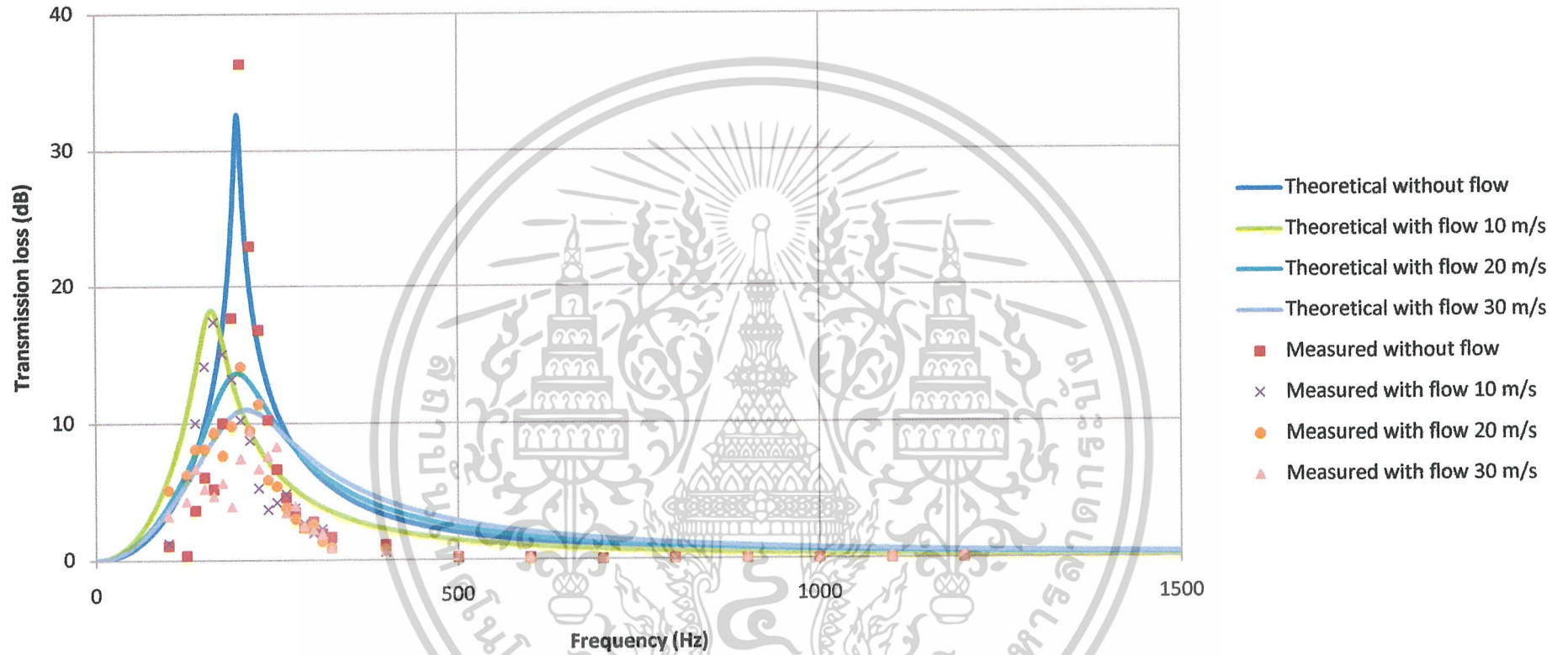
รูปที่ 4.39 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.10 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 225 \text{ Hz}$



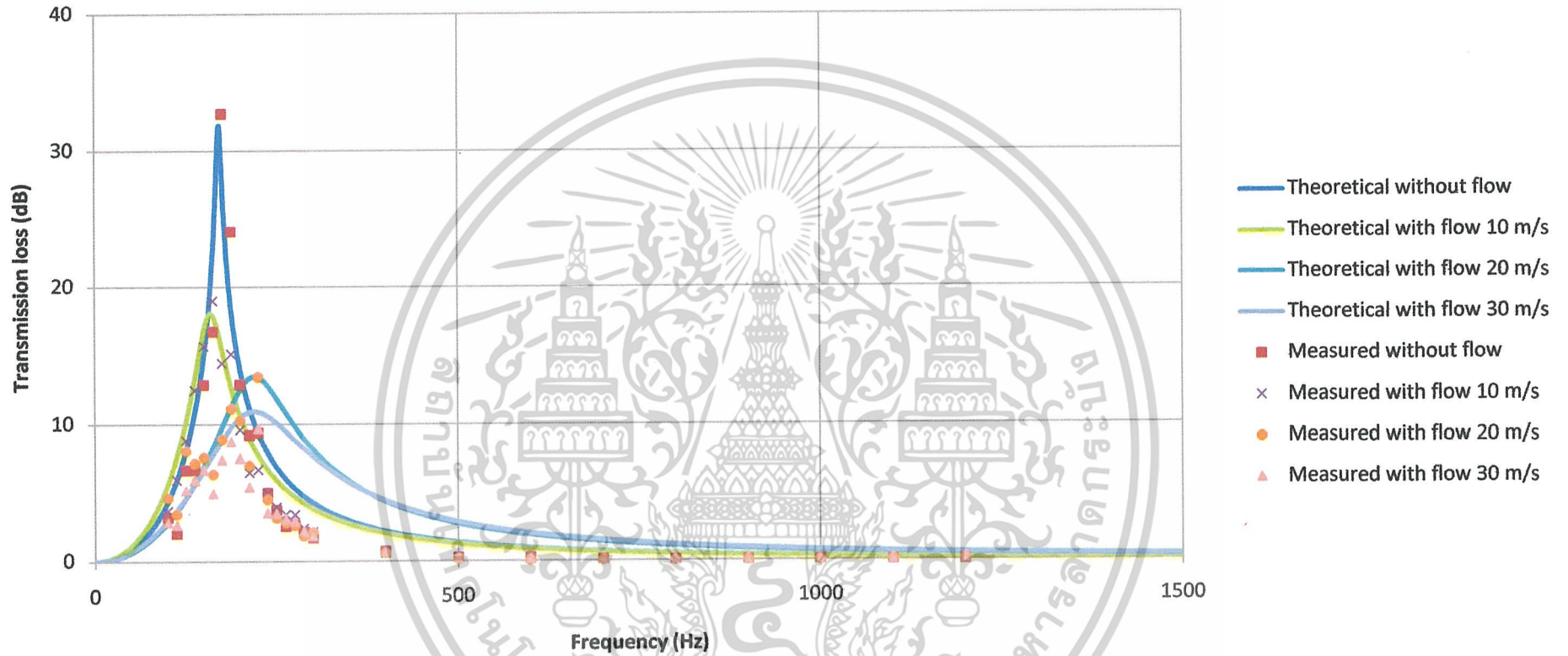
รูปที่ 4.40 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 200 \text{ Hz}$



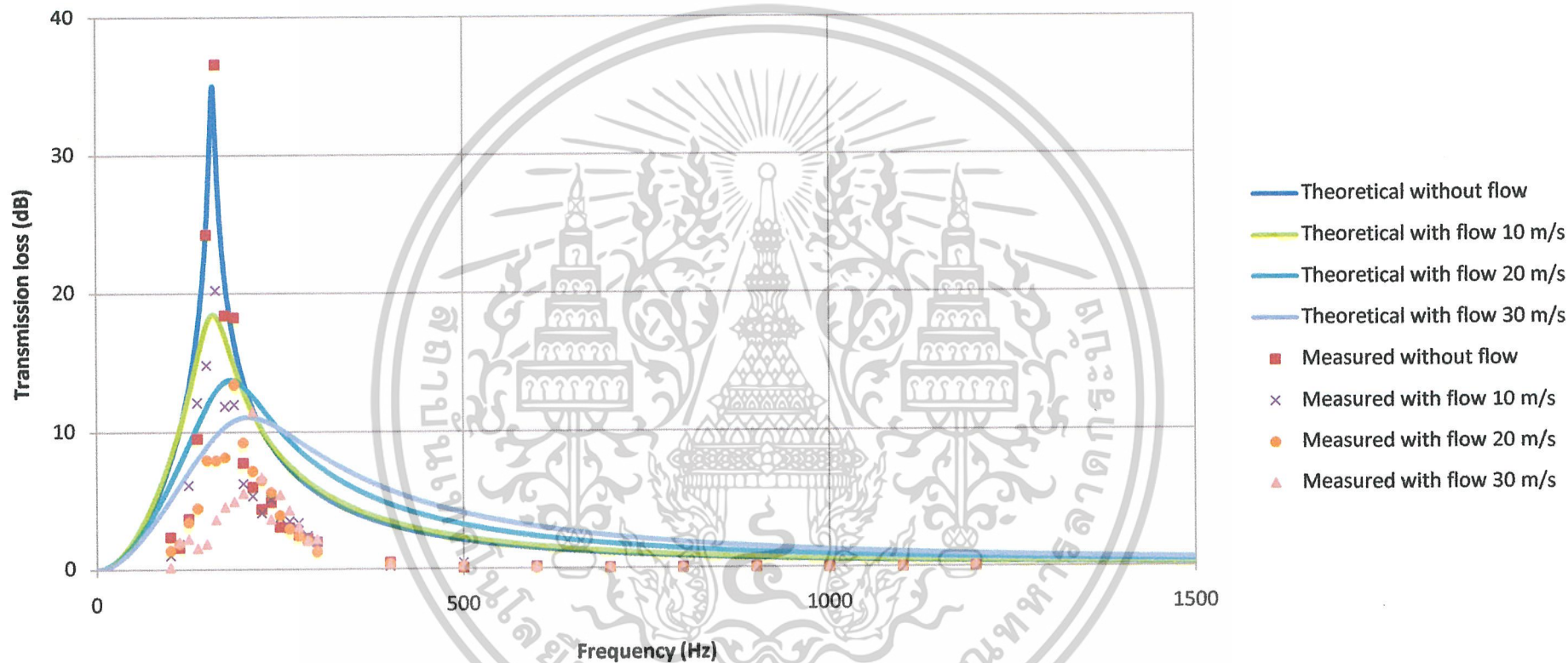
รูปที่ 4.41 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.05 \text{ m}$, $f_{ro} = 175 \text{ Hz}$



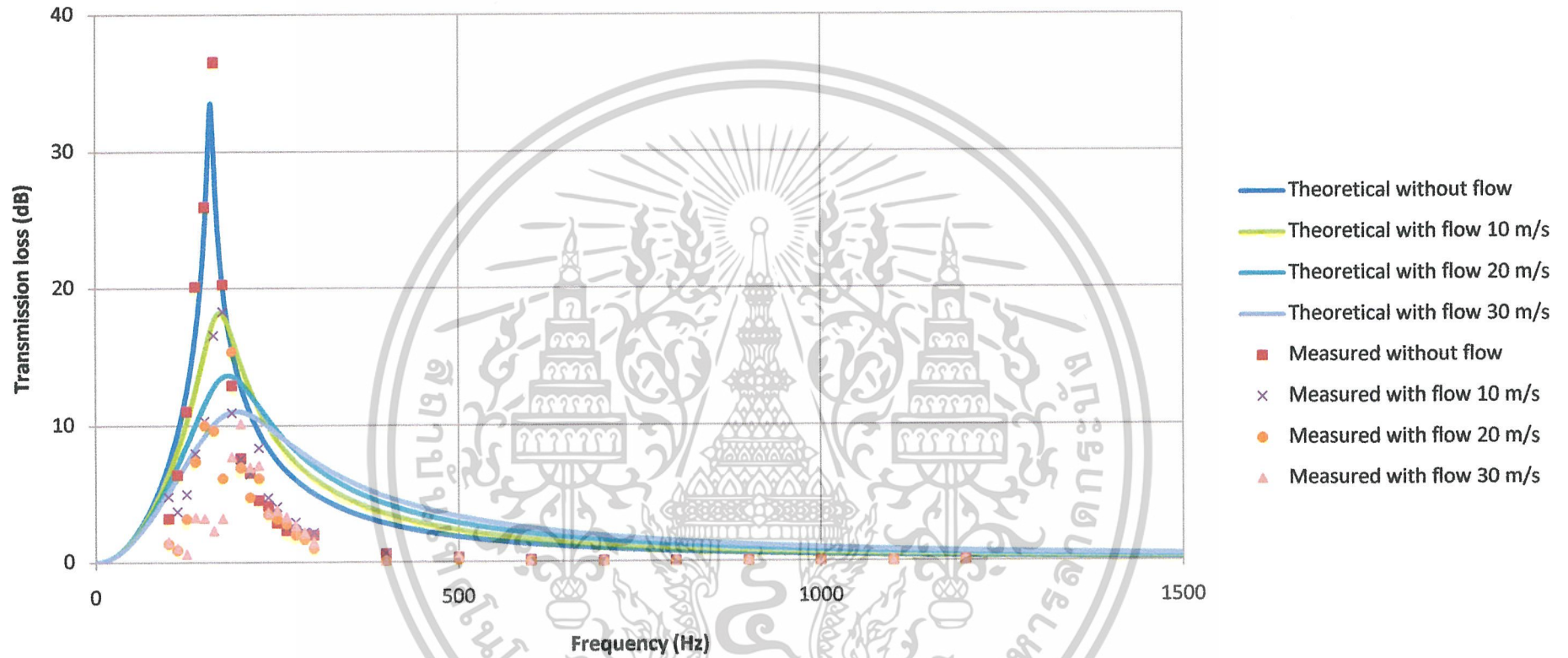
รูปที่ 4.42 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.10 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 162.5 \text{ Hz}$



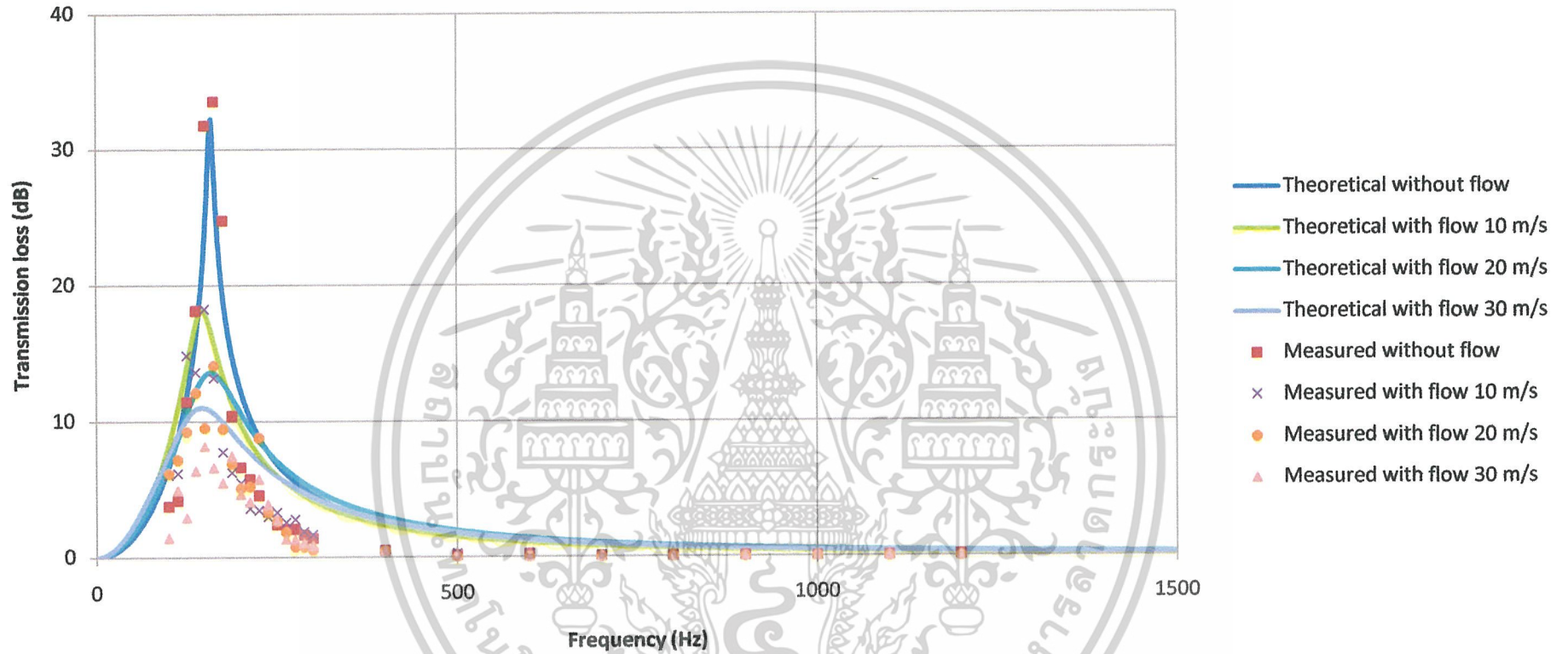
รูปที่ 4.43 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.12 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 162.5 \text{ Hz}$

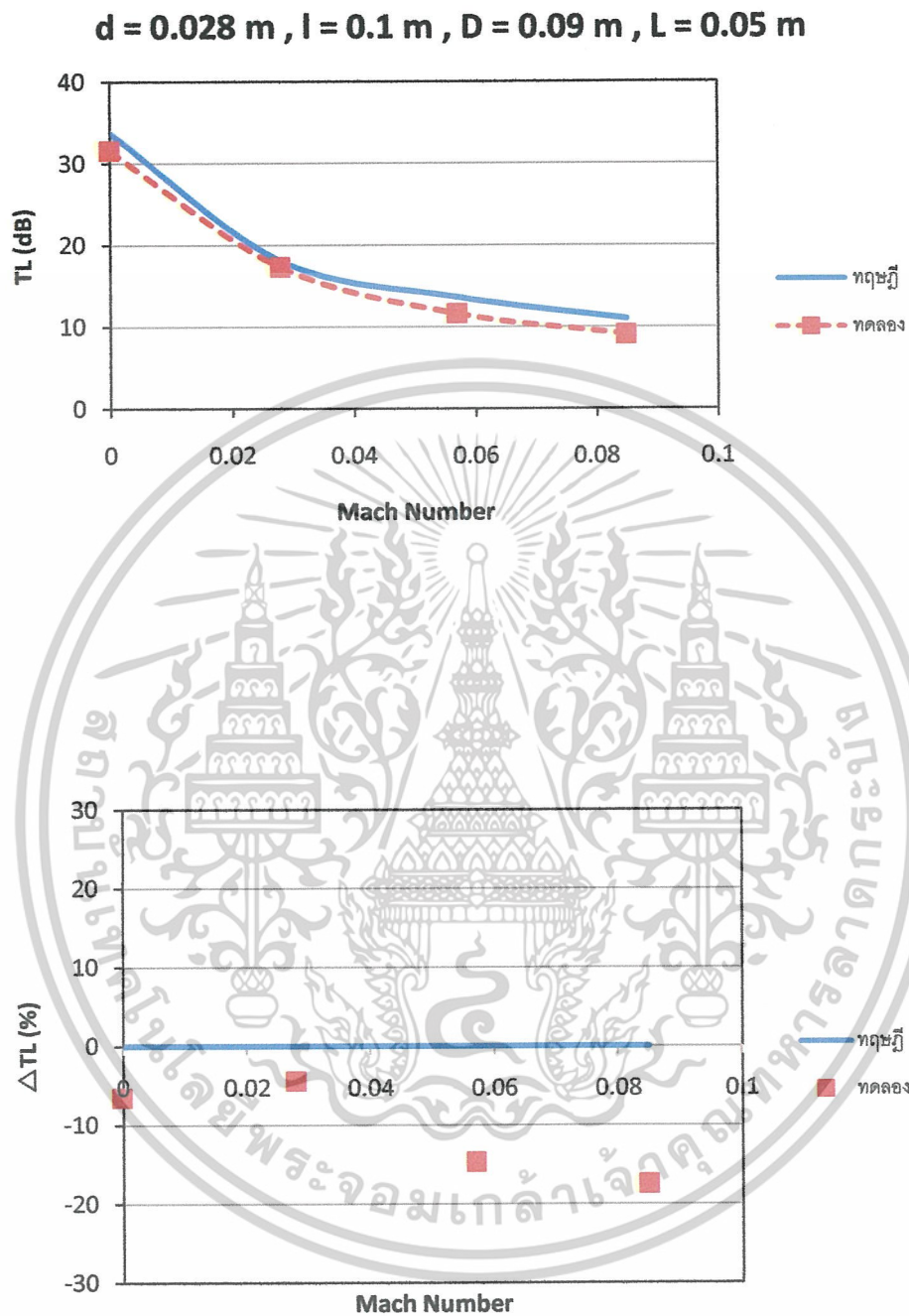


รูปที่ 4.44 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว

$d = 0.028 \text{ m}$, $l = 0.14 \text{ m}$, $D = 0.09 \text{ m}$, $L = 0.075 \text{ m}$, $f_{ro} = 162.5 \text{ Hz}$

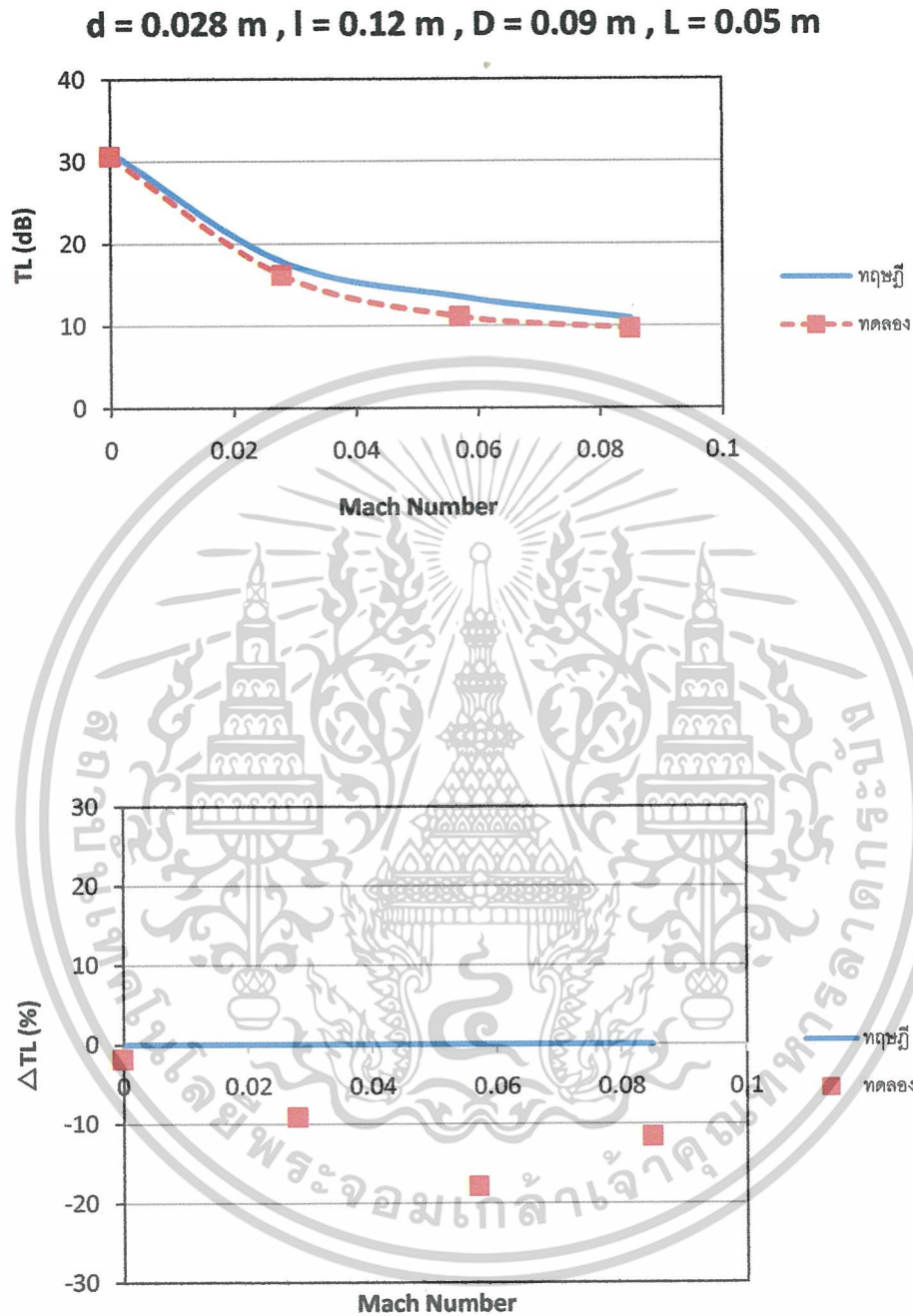


รูปที่ 4.45 Transmission Loss Characteristics ของ Helmholtz 4 ตัว



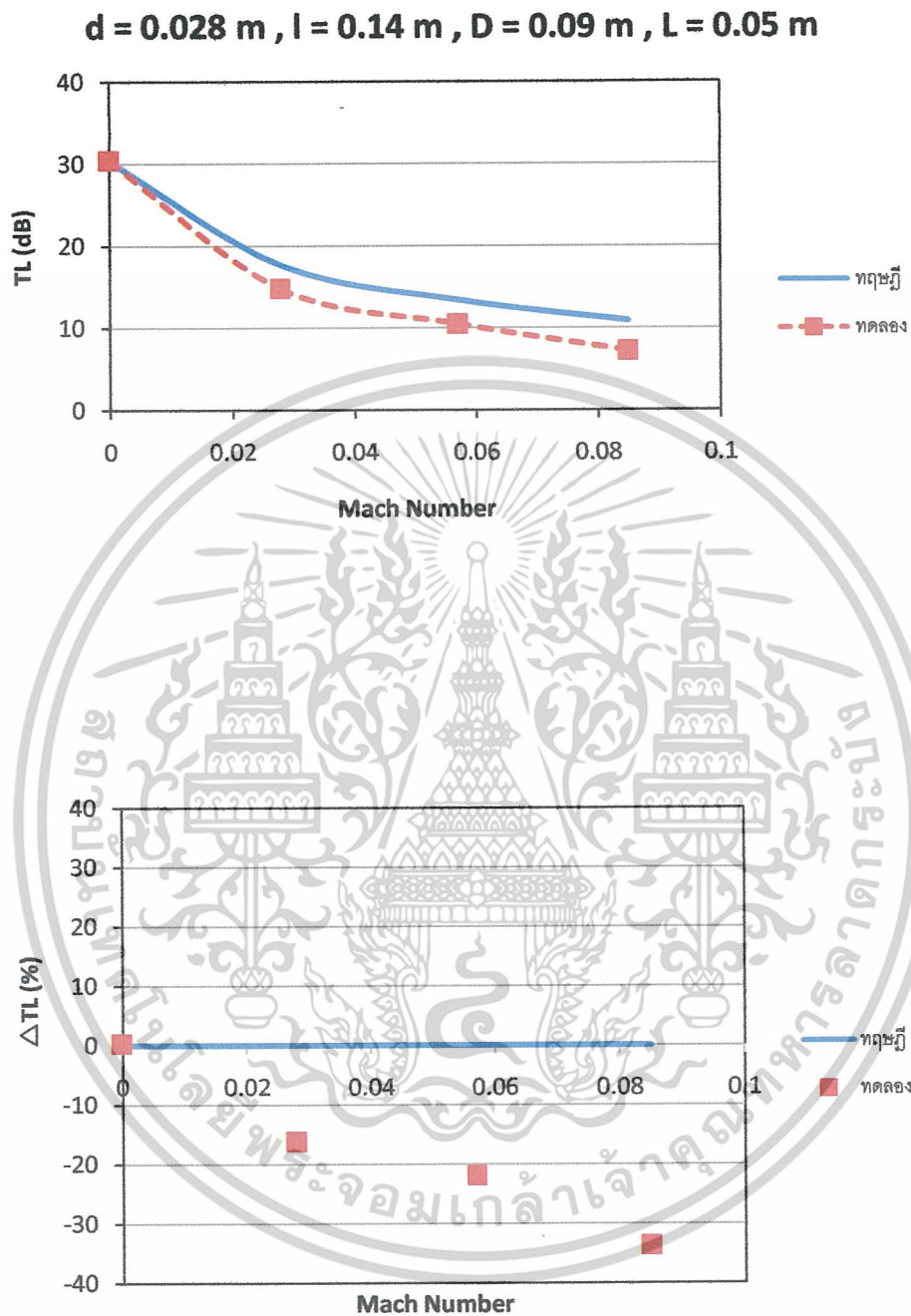
รูปที่ 4.46 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



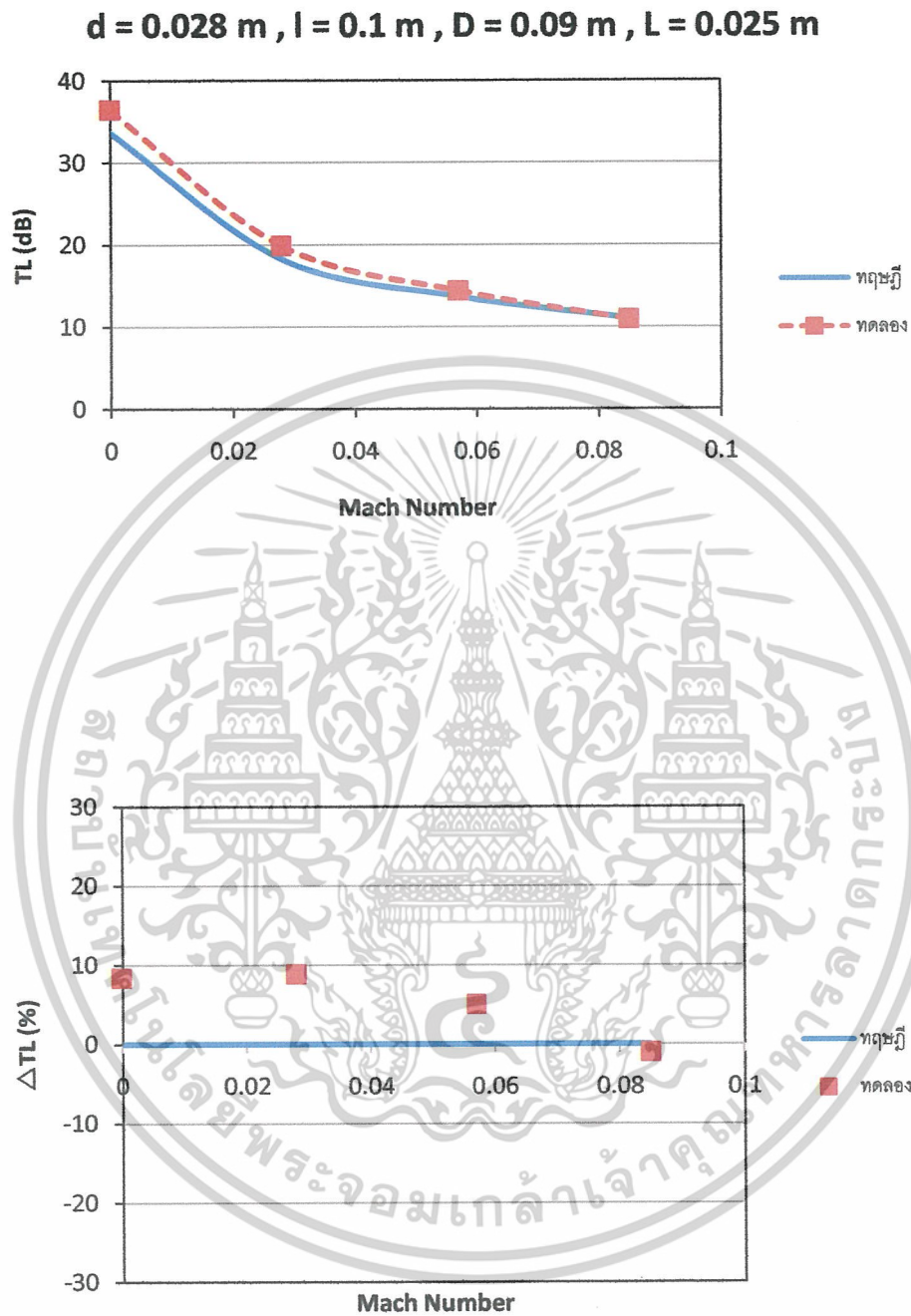
รูปที่ 4.47 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



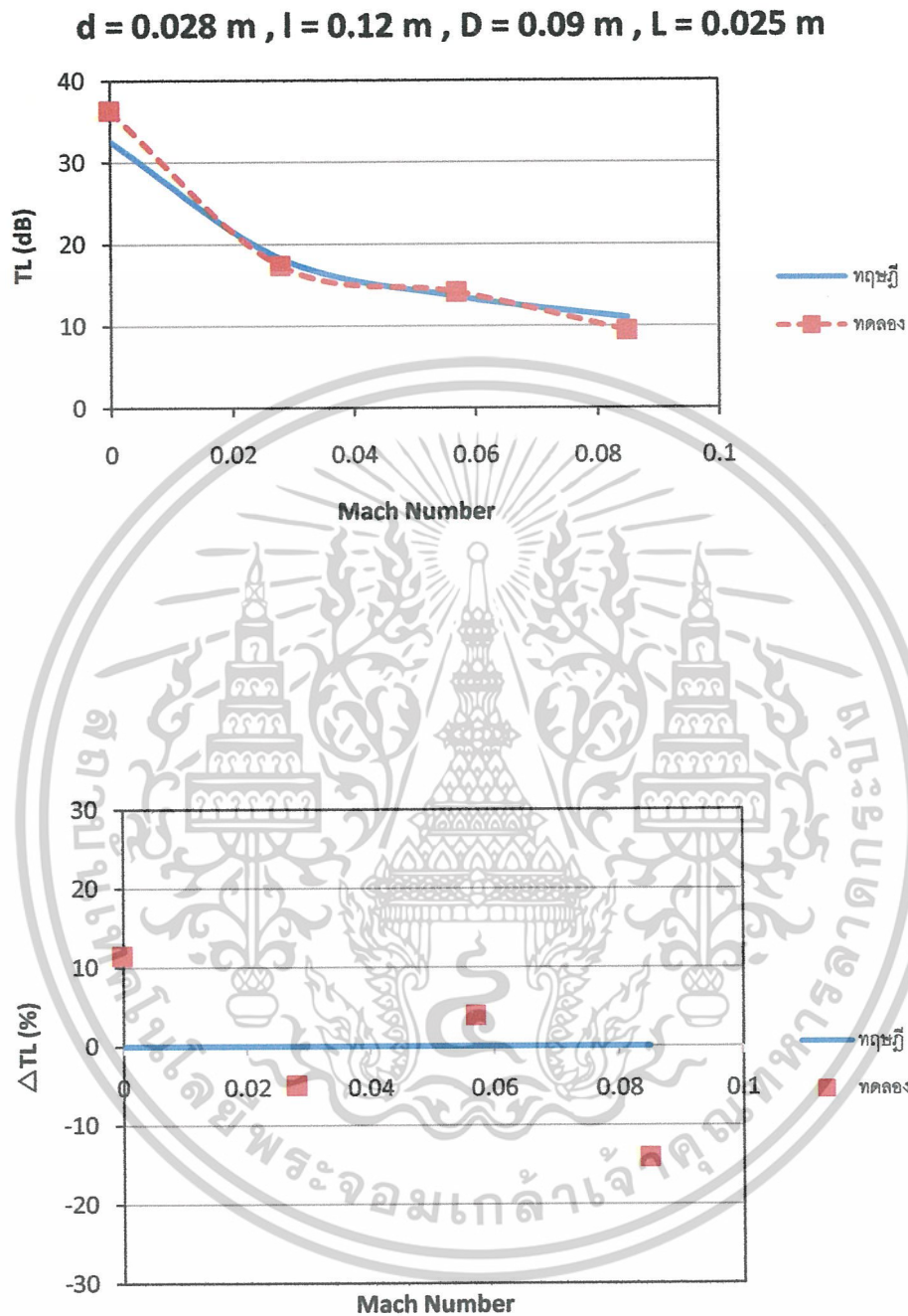
รูปที่ 4.48 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



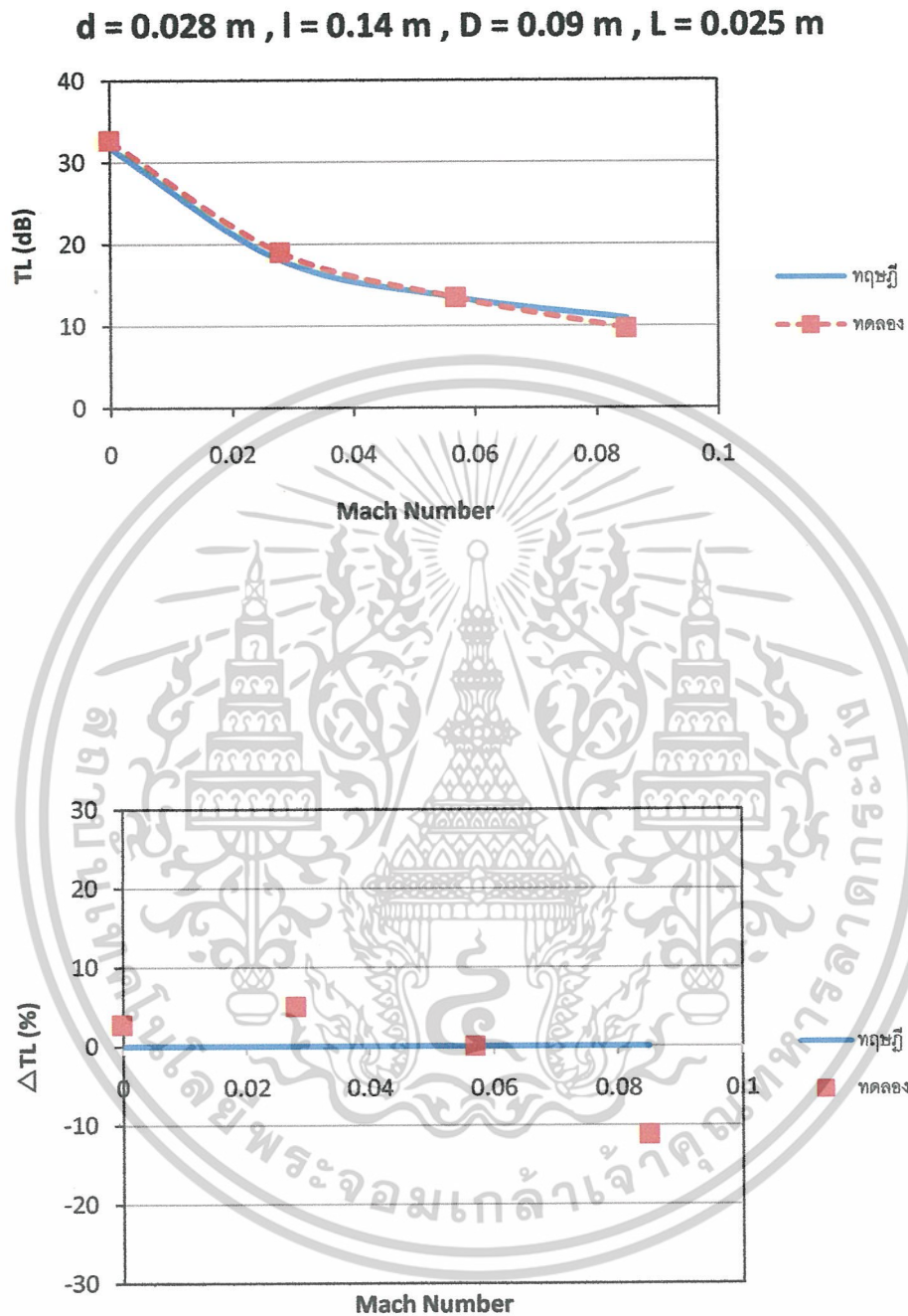
รูปที่ 4.49 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



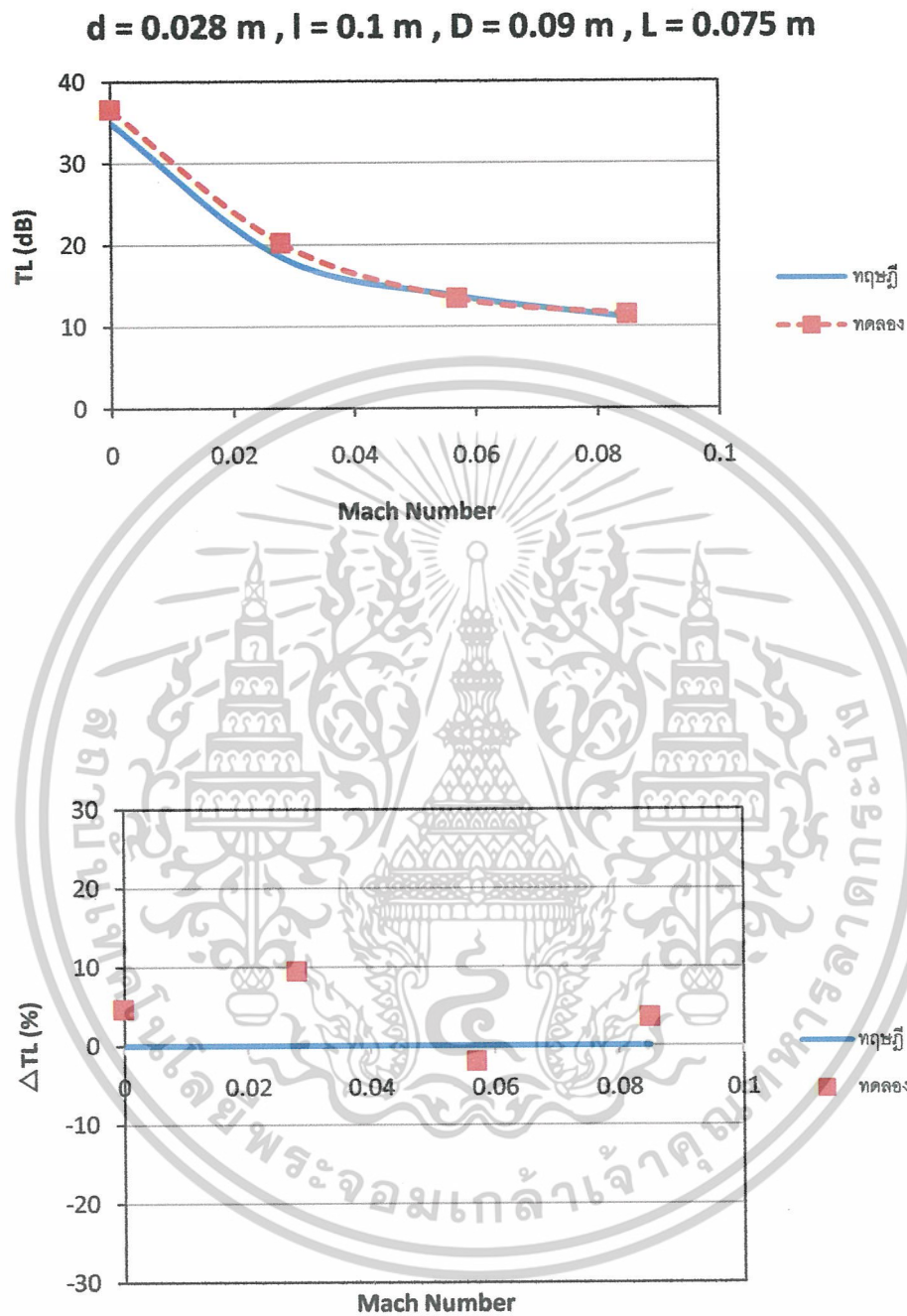
รูปที่ 4.50 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



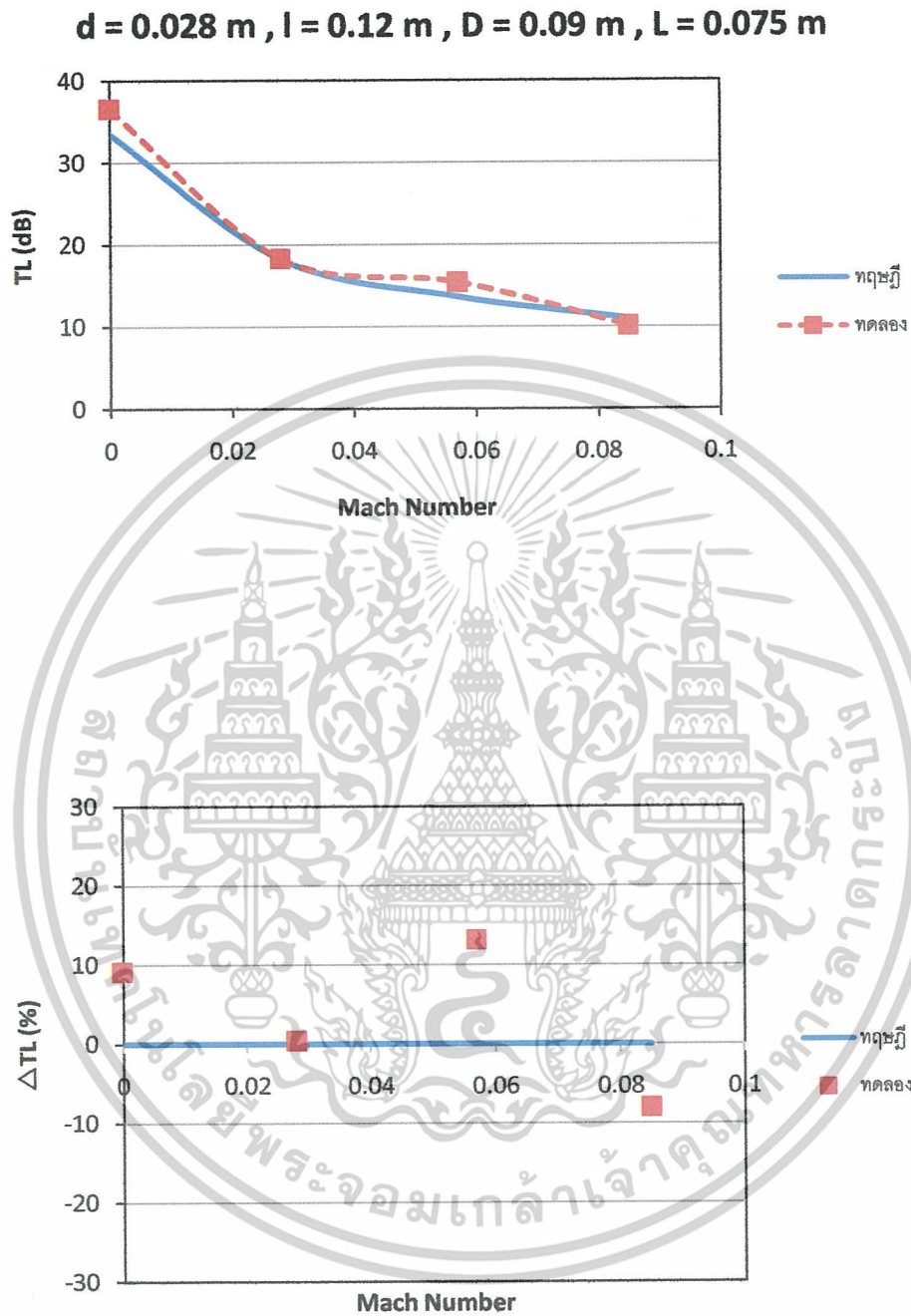
รูปที่ 4.51 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



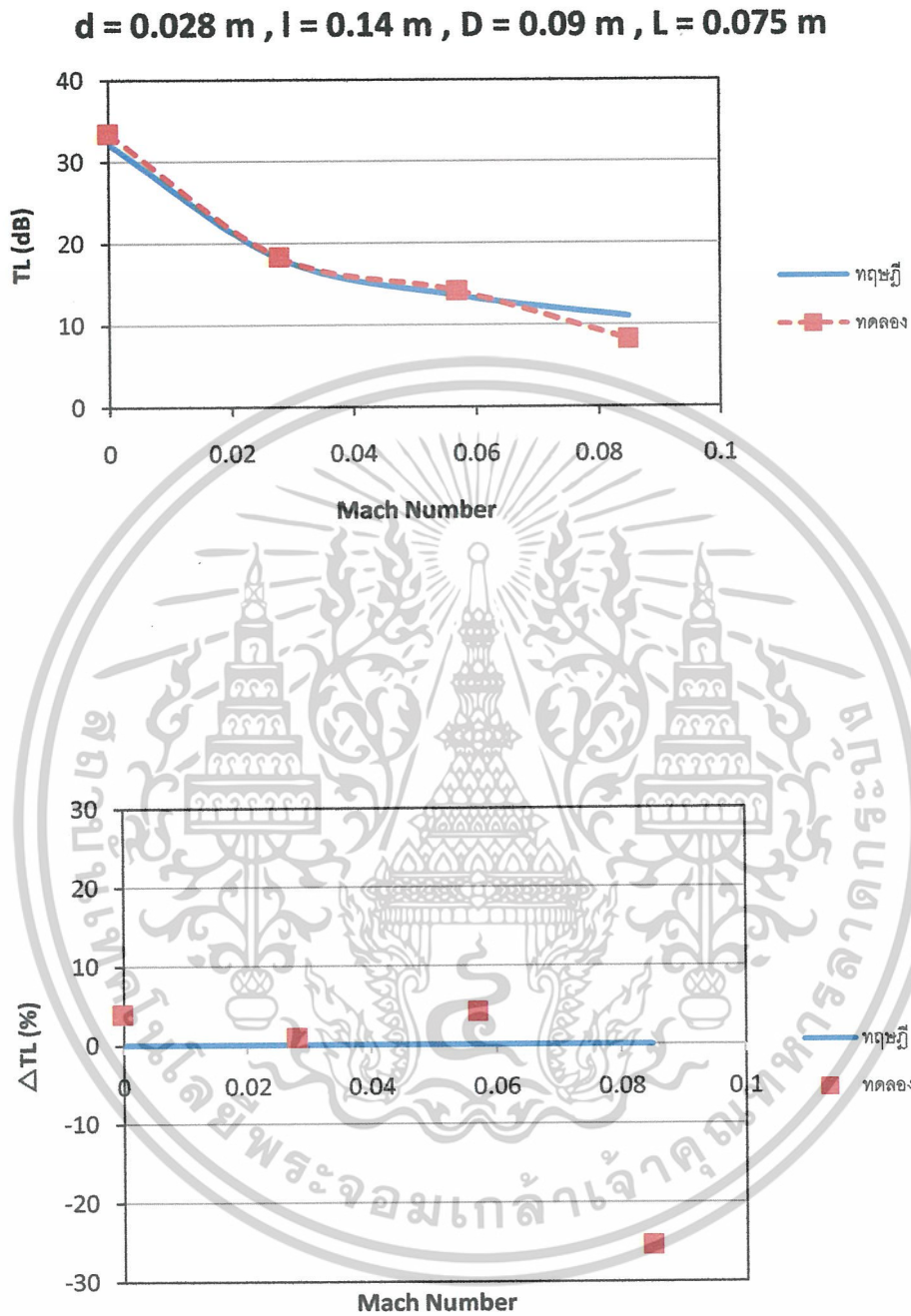
รูปที่ 4.52 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 Resonance performance ของ Helmholtz 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

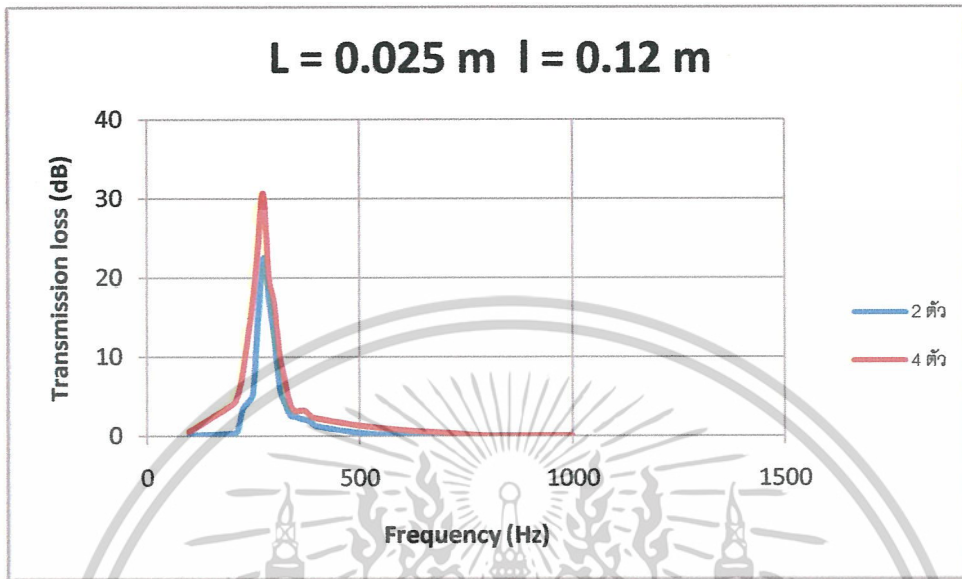
5.1 สรุปผลการทดลองพฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz Resonator

1. เมื่ออากาศที่ไหลภายในท่อนำเสียงมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นพฤติกรรมของความถี่ที่เกิดการกำซัรจะเลื่อนไปในย่านความถี่ที่สูงขึ้นและพฤติกรรมของค่า TL จะมีค่าลดลง
2. ที่ความยาวเท่ากันของอุปกรณ์ลดเสียง เมื่ออุปกรณ์ลดเสียงมีขนาดใหญ่ขึ้น L เพิ่มขึ้น ค่า TL ที่ได้ออกมาจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น
3. การเพิ่มจำนวนของอุปกรณ์ลดเสียงมีผลทำให้ค่า TL มากขึ้น (ลดเสียงได้มากขึ้น)
4. เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการต่อ Helmholtz Resonator แบบ 2 ตัว จะพบว่าการต่อ Helmholtz Resonator แบบ 4 ตัว จะสามารถลดเสียงได้มากกว่าการต่อ Helmholtz Resonator แบบ 2 ตัว

D (m)	d (m)	L (m)	l (m)	TL (dB)		TL เพิ่มขึ้น (%)
				2 ตัว	4 ตัว	
0.090	0.028	0.025	0.010	24.84	31.59	27.17
0.090	0.028	0.025	0.012	22.55	30.65	35.92
0.090	0.028	0.025	0.014	19.69	30.45	54.65
0.090	0.028	0.050	0.010	26.85	36.47	35.83
0.090	0.028	0.050	0.012	24.92	36.35	45.87
0.090	0.028	0.050	0.014	22.22	32.70	47.16
0.090	0.028	0.075	0.010	28.71	36.62	27.55
0.090	0.028	0.075	0.012	27.43	36.57	33.32
0.090	0.028	0.075	0.014	25.61	33.54	30.96

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่า TL ที่เพิ่มขึ้น

5. การต่อ Helmholtz Resonator แบบ 4 ตัว จะได้ช่วงของการลดเสียงที่กว้างกว่าการต่อ Helmholtz Resonator แบบ 2 ตัว



รูปที่ 5.1 ช่วงของการลดเสียงที่กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธี Set เครื่อง FFT Analyzer

1. DISPLAY : ที่ CH B กด **SPEC**
2. FREQ : กด Δ (UP) หรือ ∇ (DOWN) เพื่อให้ X-axis = 5 kHz
3. SEARCH : ที่ CURSOR กด **ON** และ **EU** ; EU = engineering unit setting
4. กด NEXT เลือก MANU B>>
7 COND → **1** CONDIT → **2** AUTO ON → **6** CLK INT → **8** RETURN
5. กด NEXT เลือก MANU B>>
7 COND → **4** SEARCH → **7** S-CURSOR(LINE) → **8** RETURN
6. กด NEXT เลือก MANU B>>
2 UNIT → **4** CH B EU → **6** SET CH B → EU/V **7** SET **8** RETURN
(9500E+9)
7. กด NEXT เลือก MANU B>>
1 DISPLAY → **1** FORMAT → **3** GRID ON → **8** RETURN

หลังการ Set FFT Analyzer ก็จะสามารถทำการสอบเทียบไมโครโฟนได้โดยนำไมโครโฟนไปประกอบกับ Calibrator นี้จะกำเนิดเสียงมีความดัง 124 dB

ถ้าค่าของ FFT Analyzer ที่อ่านได้ไม่เท่ากับ 124 dB ให้ปรับค่า EU/V ของ FFT Analyzer เป็น 9500E+6

บรรณานุกรม

- [1] M.L.Munjaj, "Velocity Ratio – cum - Tranter Matrix Method for the Evaluation of a Muffler with Mean Flow," J.Sound Vib, 39 (1975) No.1 pp.105 - 119
- [2] ชนะภูมิ เขียวอ้อม, ธนา อิงคะ ประสิทธิ์กุล, วัชรารัตน์ ขจัดพาล, "การพัฒนาชุดควบคุมเสียงในท่อไอเสีย", ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2546
- [3] บรรณรพ ศรีสนิท, สูดสว่าง, สมเวตน์ แสงวิรุณ, "ตรวจเสียงผ่านตัวเก็บเสียงแบบดังกังวาน Helmholtz" ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2547