

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านเสียงของตัวเก็บเสียง แบบตัวกังวาน

เฮล์มโฮลทซ์ ชนิดอสมมาตร

Sound Transmission Loss of Asymmetric Helmholtz resonator type Silencer

นาย ชีระศักดิ์ แสงบัวหมัด

นาย สุพรรณมา ไชยบำรุง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 72163

วัน,เดือน,ปี..... 11 ส.ย. 2550

b. 11761211
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านเสียงของตัวเก็บเสียง แบบตัวกังวาน
เฮลิ้มโฮลทซ์ ชนิดอสมมาตร

Sound Transmission Loss of Asymmetric Helmholtz resonator type Silencer

โดย

นาย ธีระศักดิ์ แสงบัวหมัด

นาย สุพรรณมา ไชยบำรุง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง

ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ความสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านเสียงของตัวเก็บเสียง แบบตัวกังวาน

เสลีม โฮลทซ์ ชนิดอสมมาตร

Sound Transmission Loss of Asymmetric Helmholtz resonator type Silencer

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีระศักดิ์ แสงบัวหมัด รหัสประจำตัว47015716

2. นาย สุพรรณมา ไชยบำรุง รหัสประจำตัว47015729



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านเสียงของตัวเก็บเสียง แบบตัวกังวาน
เฮล์มโฮลทซ์ ชนิดอสมมาตร

นาย ชีระศักดิ์ แสงบัวหมัด 47015716
นาย สุพรรณา ไชยบำรุง 47015729

ผศ.มิ่ง โลภกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงในท่อโดยใช้ตัวเก็บเสียงกล่องกังวานแบบ “เฮล์มโฮลทซ์” ชนิดเชิงศูนย์เพื่อหาค่าความสามารถในการลดเสียงพิจารณาจากการสูญเสียจากการส่งผ่าน (Transmission Loss) ที่มีความถี่ 100 -1200 Hz โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้นโดยที่ตัวแปรต่างๆในการศึกษานี้ ได้พิจารณาค่าตำแหน่งเชิงศูนย์ของข้อต่อสัมพันธ์กับห้องกำรกล่องกังวานความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของข้อต่อที่มีผลต่อการลดเสียงที่ความถี่ต่างๆกล่องกังวานติดตั้งอยู่บนท่อนำเสียงที่ความถี่ต่างๆกล่องกังวานติดตั้งอยู่บนท่อนำเสียงชนิดกลม การวิเคราะห์ผล ทางทฤษฎีพิจารณาแบบที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน ซึ่งผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

Sound Transmission Loss of Asymmetric Helmholtz resonator type Silencer

TEERASAK SANGBOVMAD

SUPANNA CHAIBAMRUNG

ASSIST. PROF. MING LOKITSANGTONG ADVISOR
ASSIST. PROF. PONGSAK KAMMOL ADVISOR

Abstract

The project concerns a study of noise reduction characteristics in duct by asymmetric 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 parameter considered are as follow: size of resonator chamber, position of eccentricity of the connector effected noise reduction of various frequency. The resonators were installed on noise conducting duct of circular type. The theoretical analysis of performed for the condition at without air flow and then compared to the experiment.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียง รวมถึงแนวคิดในการนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Helmholtz Resonator จาก ผศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง และ ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมปริญญานิพนธ์และด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ให้ยืมเครื่องวัดระดับเสียง ทำให้นักศึกษารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และเมตตาจากท่านจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชากรรมเครื่องกลที่ช่วยเหลือแก้ไขให้คำแนะนำ รวมทั้งเมตตาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือให้นักศึกษาเข้าใจปัญหานั้น ขอบคุณเพื่อนพี่น้องนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ จนสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย วีระศักดิ์ แสงบัวหมัด 47015716

นาย สุพรรณา ไชยบำรุง 47015729

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 แนวความคิดในการศึกษา	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 ทฤษฎีและนิยามพื้นฐาน (เสียง)	4
2.2 นิยามและคำจำกัดความเบื้องต้น	4
2.3 ทฤษฎีของการวัดเสียง	5
2.3 Propagation of sound through gas	5
2.4 wave Equation	7
2.6 ทฤษฎีการลดเสียง	7
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวณค่า Transmission loss (TL)	8
2.8 The Helmholtz Resonator	9
2.9 MunJal (Transfer matrix)	15
2.10 ค่าแนะนำของ Davis ในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator	17
2.11 ทฤษฎีการวัดอัตราการไหล	18
บทที่ 3 แบบจำลอง	20
3.1 อุปกรณ์ดูดซับเสียงแบบต่างๆ	20
3.2 แบบจำลอง Helmholtz – resonator แบบสมมาตร	22
3.3 แบบจำลอง Helmholtz – resonator แบบอสมมาตร	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	24
4.1	อุปกรณ์สำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator	24
4.2	อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการทดลอง	24
บทที่ 5	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์	31
5.1	การบันทึกผลการทดลอง	31
5.2	วิธีการทดลอง	32
5.3	แสดงผลการทดลอง	33
บทที่ 6	สรุป	75
	ภาคผนวก	76
	บรรณานุกรม	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 Helmholtz –resonator	1
1.2 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงตามความถี่ของเสียงของวัสดุต่างๆ	2
2.1 ระดับกำลังเสียง หน่วยเป็น dB และปอนด์ต่อตารางนิ้ว	5
2.2 ความดันและการกระจัดในคลื่นเสียงมิติเดียว ที่เกิดจากกำแพงที่มีการสั่นแบบ Sinusoidal	6
2.3 ความดันเสียง และระดับความดันเสียง	8
2.4 การแสดง Helmholtz Resonator	9
2.5 การส่งและการสะท้อนของคลื่นในท่อ	13
2.6 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดในท่อ	14
2.7 ความดันบริเวณด้านหน้า- หลังของ Resonator	15
2.8 รายละเอียด Helmholtz Resonator	17
2.9 ค่าแก้ไขความดันสะท้อนกลับด้านหน้า Resonator	18
2.10 ลักษณะของ Venturi	18
3.1 Expansion chamber	20
3.2 Side branch Resonator	20
3.3 Helmholtz Resonator	21
3.4 Model Helmholtz – resonator ทั้งสองแบบ	21
4.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator	24
4.2 ท่อนำเสียงแบบกลม	24
4.3 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer)	25
4.4 Oscillator	25
4.5 Amplifier	26
4.6 Probe Tube	26
4.7 Driver Unit	27
4.8 Microphone	27
4.9 Pre Amplifier	28
4.10 Blower	28
4.11 Calibrator	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพ	หน้า
4.12 Manometer	29
4.13 Sound Level Meter	30
กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model	
5.1 $D = 0.0967 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0150 \text{ m}$	33
5.2 $D = 0.1490 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0150 \text{ m}$	34
5.3 $D = 0.0967 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0200 \text{ m}$	35
5.4 $D = 0.1490 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0200 \text{ m}$	36
5.5 $D = 0.0967 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0300 \text{ m}$	37
5.6 $D = 0.1490 \text{ m}, d = 0.0297 \text{ m}, l = 0.0300 \text{ m}$	38
กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss Characteristics of circular duct) and Model	
$\theta = 0$	
5.7 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.015 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	39
5.8 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.020 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	40
5.9 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.030 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	41
5.10 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.015 \text{ m}, e = 0.015 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	42
5.11 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.015 \text{ m}, e = 0.03 \text{ m}, L = 0.03 \text{ m}, 0.06, 0.09 \text{ m}$	43
5.12 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.020 \text{ m}, e = 0.015 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	44
5.13 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.020 \text{ m}, e = 0.03 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	45
5.14 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.030 \text{ m}, e = 0.015 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	46
5.15 $D = 0.149 \text{ m}, l = 0.030 \text{ m}, e = 0.03 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	47
$\theta = 90$	
5.16 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.015 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	48
5.17 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.020 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	49
5.18 $D = 0.0967 \text{ m}, l = 0.030 \text{ m}, e = 0.01 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	50
5.19 $D = 0.1490 \text{ m}, l = 0.015 \text{ m}, e = 0.015 \text{ m}, L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	51

ภาพที่	หน้า
5.20 $D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.03 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	52
5.21 $D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.02 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	53
5.22 $D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.02 \text{ m}$, $e = 0.03 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	54
5.23 $D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.03 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	55
5.24 $D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.03 \text{ m}$, $e = 0.03 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$	56
รูปที่ 5.41 กราฟ open - End coeaction แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล	
5.25 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	57
5.26 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	58
5.27 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	59
5.28 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	60
5.29 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	61
5.30 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.015 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	62
5.31 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	63
5.32 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	64
5.33 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	65
5.34 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	66
5.35 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	67
5.36 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.020 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	68
5.37 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	69
5.38 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	70
5.39 $D=0.0967 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	71
5.40 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.030 \text{ m}$	72
5.41 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.060 \text{ m}$	73
5.42 $D=0.0149 \text{ m}$, $l= 0.030 \text{ m}$, $L=0.090 \text{ m}$	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

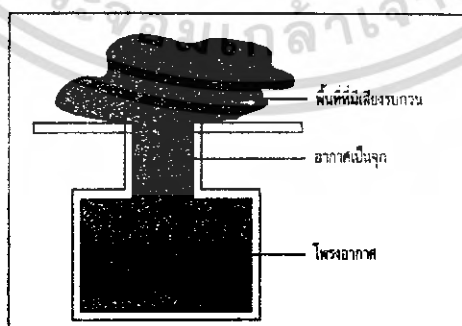
1.1 ที่มาและความสำคัญ

Noise ในภาษาอังกฤษหมายถึง เสียงรบกวนที่ไม่ต้องการ ได้ยินจะมีโทษมากกว่าผลดีและจะทำให้มนุษย์เกิดความรำคาญ ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดตีบลง ในระยะยาว จะส่งผลต่อความผิดปกติของหัวใจ นอกจากนี้เสียงดังยังมีผลต่อการหลั่งฮอร์โมนประเภทต่างๆ การยึดตัวของกล้ามเนื้อ การแปรปรวนทางอารมณ์และจิตใจซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานลดลงมีผลร้ายต่อมนุษย์ noise ที่เข้มมากขึ้นเป็นสาเหตุให้สูญเสียการได้ยินถาวร หลังจากได้รับเสียงนานเกินไป ความเข้มของสายการผลิตในโรงงานหลายแห่งเสียงเครื่องจักร เสียงเหล่านี้อาจเกิดอันตรายแก่มนุษย์ได้ ตัวอย่างเช่น ในโรงงานเกิดอุบัติเหตุสัญญาณเตือนภัยดังขึ้นแต่พนักงานที่อยู่ในห้องปฏิบัติการกลับไม่ได้ยินเสียงจากตัวเครื่องและใบพัดขนาดใหญ่กลบเสียงสัญญาณเตือนภัยหมดเป็นสาเหตุให้พนักงานได้รับอันตรายเป็นต้น ซึ่งในการทำวิจัยการศึกษาพฤติกรรม การลดเสียงรบกวน โดยใช้ Helmholtz resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดเสียง โดยเราจะศึกษาพฤติกรรมการลดเสียง กรณีไม่มีความเร็วลมไหลผ่านและผลที่ได้จากการทดลองวิจัยนี้จะ เป็นแนวทาง ในการพัฒนาอุปกรณ์เสียงและประยุกต์ใช้งานในระบบท่อต่างๆ

1.1.1 Helmholtz-resonator คือ

อุปกรณ์ที่ใช้ดูดซับเสียง หรือเรียกง่าย ๆ ว่า โพรงสร้างกำรดังแสดงไว้ในรูป 1-1 อุปกรณ์ชนิดนี้ประกอบด้วยโพรงที่เชื่อมต่อกับพื้นที่ที่มีเสียงด้วยคอที่สั้น การอัดตัวของอากาศภายในโพรงจะประพฤติคล้ายกับสปริง โดยอากาศในคอจะเคลื่อนตัวไปด้วยกัน คล้ายกับมวลก้อนหนึ่งเมื่ออากาศอยู่บนคอเคลื่อนขึ้นก็จะเกิดการหน่วงด้วยความหนืดซึ่งจะดูดกลืนพลังเสียงไปหมด

ขนาดจำเพาะของความถี่ของการสั่นสะเทือนสามารถกำหนดได้จากปกติของโครงสร้างคอคอมีลักษณะคล้ายกับการเลือกใช้ตัวหน่วงชนิดปรับค่าได้ซึ่งอธิบายไว้ก่อนหน้านี้ซึ่งตัวดูดซับเสียงสะท้อนนี้สามารถนำไปใช้งานที่ความถี่เฉพาะ และอยู่ที่ความถี่จำกัดในช่วงความถี่ของอุปกรณ์นั้นๆ



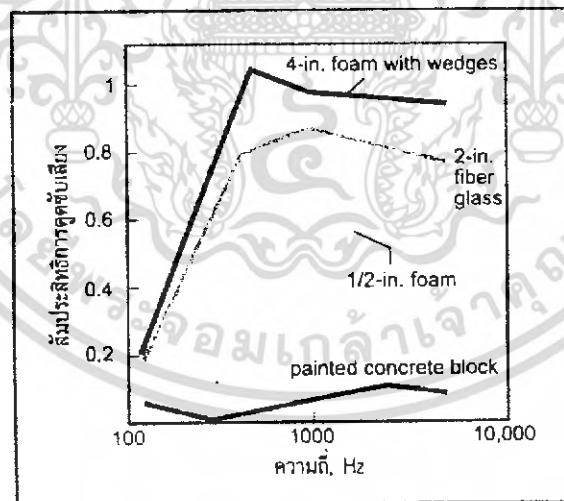
รูปที่ 1.1 Helmholtz -resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 แนวความคิดในการศึกษา

จากแนวความคิดของตัวดูดซับเสียงสะท้อนที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่าการหน่วงการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการง่าย ๆ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของเสียงภายในห้องที่ว่างเปล่ากับห้องที่ติดตั้งแล้วเมื่อเสียงกระทบผนังหรือเครื่องกั้นแล้วพลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนถูกดูดซับ (absorbed) และบางส่วนทะลุผ่านกำแพงออกไป (transmitted) ซึ่งเราจะควบคุมปรากฏการณ์ธรรมชาติเหล่านี้ในทุกๆกรณี โดยมากวัสดุที่ใช้ทำตัวดูดซับเสียงมักจะเป็นวัสดุที่มีรูพรุนมากซึ่งประกอบด้วยท่อที่ต่อเชื่อมกันหรือรูที่มีอากาศอยู่มากมายซึ่งได้แก่วัสดุที่มีโครงสร้างคล้ายเส้นใย เช่นใยแร่ (mineral wool) ใยแก้ว (fiber glass) เป็นต้น ซึ่ง สัมประสิทธิ์ความสามารถในการลดเสียง (noise reduction efficient ; NRC) คือค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ที่ 250, 500, 1000 และ 2000 Hz จะกำหนดตัวเลขเพียงหนึ่งตัวในการเปรียบเทียบกันของวัสดุต่างๆ อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนไม่จำเป็นต้อง อยู่บนรากฐานของ NRC อย่างเดียวเท่านั้น วัสดุบางชนิดมีค่า NRC มากกว่าวัสดุอื่นแต่ยังไม่เหมาะสำหรับการใช้งานเฉพาะอย่าง บางครั้งค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับที่ความถี่เฉพาะเจาะจงจึงมีความจำเป็นจากค่า NRC รูปที่1-2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ ในการดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ

โดยในส่วนของ Helmholtz-resonator ที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วจะเป็นรูปแบบของการดูดซับเสียงที่จะเฉพาะเจาะจงในย่านความถี่ต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ จะเป็นการศึกษารายละเอียดย่อยๆของการศึกษาการลดเสียงในย่านความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรที่แตกต่างกันของอุปกรณ์ลดเสียง Helmholtz-resonator



รูปที่1.2 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงตามความถี่ของเสียงของวัสดุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ Helmholtz –resonator เป็นอุปกรณ์ ลดเสียง โดย resonator ทำหน้าที่เป็น กักเก็บพลังงานที่ทำให้เกิดการลดเสียงก่อนที่จะเสียงจะเคลื่อนที่ไปยังปลายท่อ ค่า π ของ resonator จะถูก คำนวณและทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของค่า π สัมพันธ์กับค่ามัค (Mach number) มิติของ ท่อและมิติของ resonator ในรูปแบบของกราฟ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.3.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมลดเสียงของ Helmholtz –resonator ในการลดเสียงย่าน ความถี่ต่ำ
- 1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของทั้งสองแบบคือ แบบตรงและเอียงศูนย์ว่าผลที่ได้มีความ แตกต่างกันในลักษณะใด
- 1.3.3 นำผลที่ได้ไปประยุกต์ และปรับใช้ในชีวิตประจำวัน

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 การทดลองหาพฤติกรรมลดเสียงของ Helmholtz –resonator ซึ่งจะมี 2 แบบ ด้วยกันคือ Model Helmholtz –resonator ในแบบสมมาตร และ อสมมาตรเพื่อเปรียบเทียบ พฤติกรรมลดเสียงของทั้งสองแบบในช่วงย่านความถี่ 100-1200Hz
- 1.4.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของส่วนต่างๆของ Helmholtz –resonator ทั้งสองชนิดซึ่งจะ เป็นในส่วนของ การเปลี่ยนแปลงความยาวคอ (connector) ขนาด และปริมาตร ของ Helmholtz –resonator และค่าความเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเอียงศูนย์ของ Helmholtz – resonator
- 1.4.3 ผลที่ได้จะนำมาแสดงในรูปแบบของกราฟซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบกับ ทฤษฎี เพื่อหาประสิทธิภาพการลดเสียงของอุปกรณ์ชนิดนี้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำข้อมูล ไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ลดเสียงในท่อกลม
- 1.5.2 ทราบว่าตัวเก็บเสียงมีช่วงความถี่ในการลดเสียงในช่วงความถี่ใด
- 1.5.3 ทราบถึงผลของรูปร่างของตัวเก็บเสียงที่ใช้ในการลดเสียง และสามารถทราบถึงค่า ในการลดเสียง
- 1.5.4 ทำให้ทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานของเสียง
- 1.5.5 สามารถที่จะนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบปรับใช้แก้ไขข้อบกพร่อง หรือจุดผิดพลาดต่างๆและอาจนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ทฤษฎีและนิยามพื้นฐาน

ในสภาพปัจจุบัน การออกแบบระบบเครื่องกล หรือระบบท่อต่างๆ ในอาคารผู้ออกแบบมักจะคำนึงถึงแต่เฉพาะหน้าที่การทำงานของเครื่องกล และระบบให้ได้ตามต้องการเท่านั้น โดยนอกจากการใช้เนื้อที่ใช้สอยต่างๆ ให้เป็นประโยชน์ให้มากที่สุด แล้วยังจำกัดพื้นที่ในส่วนของห้องเครื่องต่างๆ เนื้อที่ในช่องฝ้า และจำกัดความสูงระหว่างชั้นให้น้อยที่สุดด้วย ด้วยเหตุผลด้านการเงิน การลงทุน และการประหยัดค่าก่อสร้างเมื่ออุปกรณ์ต่างๆ ถูกคิดตั้งเสร็จ แล้วยังมักเกิดปัญหาเรื่องเสียงดังรบกวนตามมา ซึ่งการแก้ไขในภายหลังนอกจาก ยุ่งยากแล้ว ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจะมากกว่า เมื่อเทียบกับการได้วางแผนและตรวจสอบตั้งแต่แรก หลายเท่าตัวเลยทีเดียว เพราะจะต้องมีการรื้อถอนอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ดังนั้นในบทความนี้จะกล่าวพื้นฐานเบื้องต้นในเรื่องเสียง คำนิยามต่างๆ สูตร ในแต่ละกรณี

2.2 นิยามและคำจำกัดความเบื้องต้น

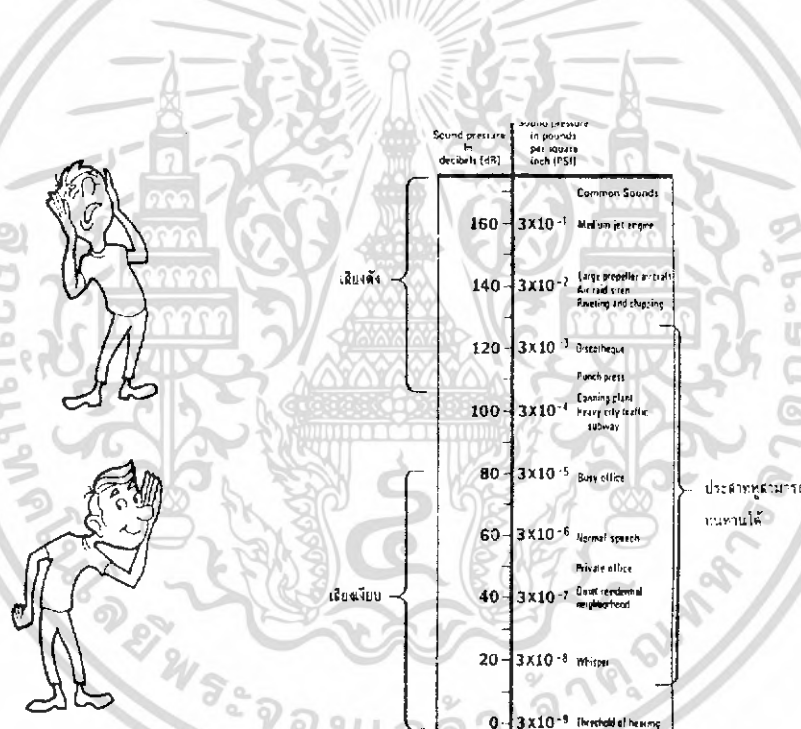
- กำลังเสียง (Sound power, w) เป็นค่าแสดงพลังงานของแหล่งกำเนิดเสียงที่แผ่กระจาย พลังงานออกมาทุกทิศทาง (ทรงกลม) ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง ไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง มีหน่วยเป็นวัตต์
- ระดับกำลังเสียง (Sound power level, L_w) หมายความว่าค่า $10 \log$ ของกำลังเสียง (วัตต์) ต่อกำลังเสียงอ้างอิงมีหน่วยเป็นเดซิเบล
- ความเข้มเสียง (Sound intensity, I) ค่าเฉลี่ยของพลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตำแหน่งใดๆ ขึ้นอยู่กับระยะทางจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร
- ระดับความเข้มเสียง (Sound intensity level, L_I) หมายความว่าค่า $10 \log$ ของความเข้มเสียงต่อความเข้มอ้างอิงมีหน่วยเป็นเดซิเบล
- ความดันเสียง (Sound pressure level, L_p) หมายความว่า เป็นค่าแสดงความดันเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงที่แผ่กระจายออกมาทุกทิศทาง ที่ระยะทางใดๆ สามารถวัดค่าได้โดยตรง มีหน่วยเป็นปาสคาล
- ระดับความดันเสียง (Sound pressure level, L_p) หมายความว่าค่า $10 \log$ ของกำลังสองของความดันเสียง ต่อกำลังสองของเสียงอ้างอิง มีหน่วยเป็นเดซิเบล
- Sound transmission loss (TL) หมายความว่า ผลต่างของระดับกำลังเสียงที่ตกกระทบกับผนังกับระดับกำลังเสียงของเสียงที่ส่งผ่านผนัง มีหน่วยเป็นเดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Noise reduction (NR) หมายความว่า ผลต่างของระดับกำลังเสียงในห้องเดียวกันกับแหล่งกำเนิดเสียงกับระดับความดันเสียงภายนอกห้องที่ระยะไกลๆ ผนังห้องมีหน่วยเป็นเดซิเบล

2.3 ทฤษฎีของการวัดเสียง

ความเข้มหรือระดับกำลัง ของคลื่นเสียง มีหน่วยเป็นเดซิเบล ซึ่งค่าที่ได้เป็น Logarithmic ทำให้สะดวกในการอ่านเพราะเป็นตัวเลขสองหลัก หรือสามหลัก เช่น 90dB หรือ 100dB ในรูปที่ 2 ค่าความดันเสียง 80dB มีค่าเพียง 0.00003 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเท่านั้น ที่ 0 dB เป็นระดับเสียงเริ่มต้นที่ หูฟังได้ยินเสียง และสามารถแยกแยะความดังของเสียงได้ดีที่กำลังคั้นเป็น 10,000 เท่า ของเสียง คือ 80 dB และ 90 dB แต่ถ้าเสียงดังเกิน 90 dB ขึ้นไปแล้ว หูจะไม่สามารถแยกความแตกต่าง ของเสียงได้เลย ปกติเสียงดังรบกวนจะมา จากแหล่งกำเนิด ตั้งแต่สองแหล่งขึ้นไป ส่วนมากจะมีความเข้มของเสียงแตกต่างกันตามรูปที่ 2

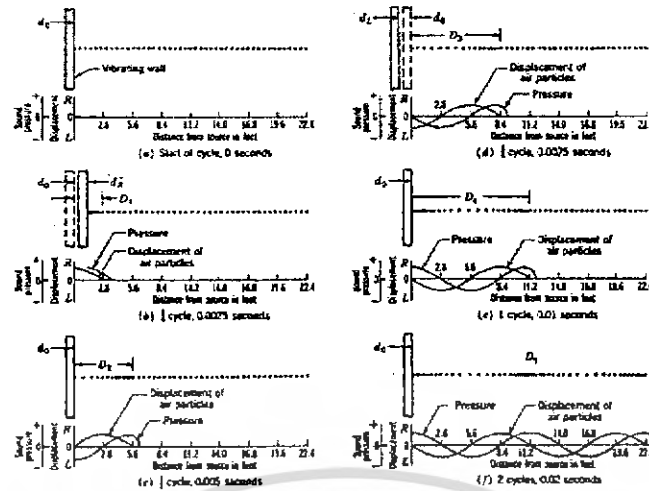


รูปที่ 2.1 ระดับกำลังเสียง หน่วยเป็น dB และปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.4 Propagation of sound through gas

การแพร่กระจายของคลื่นเสียงในตัวกลางที่เป็นอากาศสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ความดันและการกระจัดในคลื่นเสียงมีเดียที่ เกิดจากกำแพงที่มีการสั่นแบบ Sinusoidal

จากรูปที่ 2-2a ถ้าเรามีกำแพงที่สั่นในรูปแบบฟังก์ชันของ \sin ในตัวกลางที่เป็นอากาศ อนุภาคที่อยู่ติดกับกำแพงจะถูกบีบอัดทำให้เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง รูปที่ 2-2b แสดงกระบวนการอัดในช่วงแรกโดยจุดสีดำ แสดงถึงอนุภาคของอากาศอนุภาคของอากาศได้รับโมเมนตัม จากกำแพงจากนั้นจะเคลื่อนที่ไปชนกับอนุภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันและเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมเกิดขึ้น จากนั้นกระบวนการเช่นเดียวกันนี้จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ

เมื่อกำแพงเคลื่อนที่ถอยหลัง จะเกิดความเบาบางลงบริเวณด้านหน้าของกำแพง (ดังรูปที่ 2-2c และ 2-2d) ความเบาบางนี้ จะทำให้อนุภาคของอากาศถูกเร่งให้เคลื่อนที่ถอยหลัง และหลังจากนั้นกระบวนการก็จะกลับมายังตำแหน่งเดิมหรือเกิดเป็นวัฏจักร และจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ

พิจารณาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของความดัน การขจัดของอนุภาคและความเร็วของอนุภาค จะเห็นได้ว่า ณ จุดใดจุดหนึ่ง การขจัดสูงสุดของอนุภาค และความดันสูงสุดของอนุภาคจะไม่เกิดขึ้นที่จุดเดียวกันในคลื่นเสียง ณ จุดที่อนุภาคมีความดันสูงโดยการขจัดของอนุภาคจะมีค่าเป็นศูนย์ ขณะที่การขจัดของอนุภาคมีค่าสูงสุด การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความดัน และการขจัดของอนุภาคมีเฟสต่างกัน 90° ในทางคณิตศาสตร์ ความยาวคลื่นจะเท่ากับความเร็วของการแพร่หารด้วยความถี่ของการสั่น

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2.1)$$

จากสมการ (3) λ คือ ความยาวคลื่น V คือ ความเร็วของคลื่นเสียง และ f คือค่าความถี่ Mach Number คือค่าที่ใช้เปรียบเทียบความเร็วของอากาศ โดยเปรียบเทียบเป็นจำนวนเท่าของความเร็วเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M \frac{V}{c} \quad (2.2)$$

จากสมการ (6) v คือ ความเร็วของอากาศ และ c คือ ความเร็วเสียงสำหรับความเร็วเสียงในอากาศ สามารถหาได้จากสมการ

$$c = \sqrt{kRT} = \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta \rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.3)$$

หรือ

$$c = 331 + 0.6T' \quad (2.4)$$

จากสมการ (4) และ (5) k คือ ค่าความร้อนจำเพาะ p คือ ความดัน R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ และ T คือ อุณหภูมิในหน่วยของศาสับบุรน์

2.5 Wave Equation

สำหรับคลื่นมิติเดียว (plane wave) ที่เคลื่อนที่ในระบบท่อ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (2.5)$$

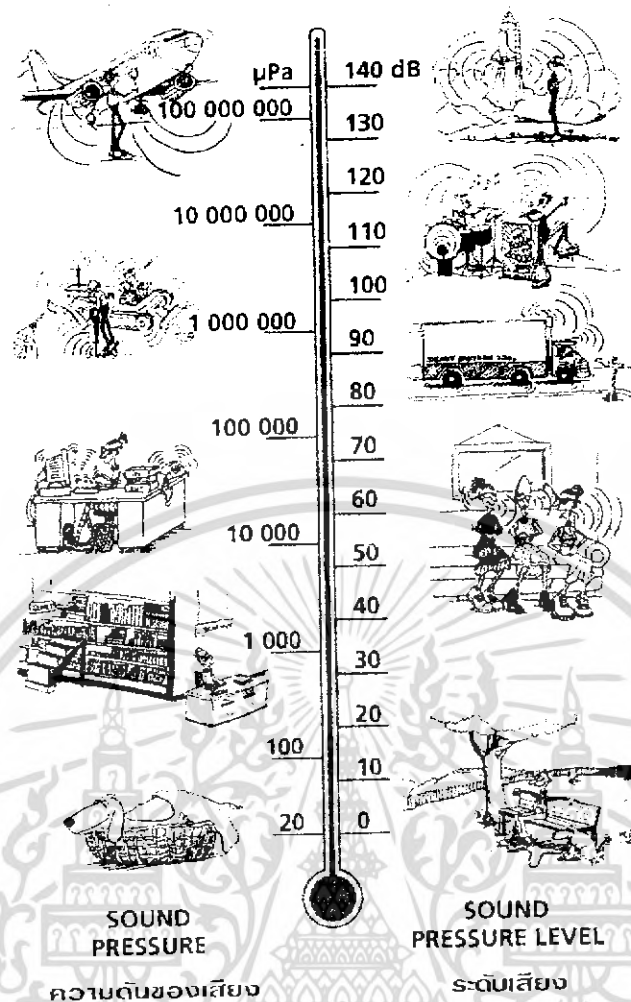
จากสมการ (7) U คือการขจัดของอนุภาค เกลอ เวลา c คือ อัตราเร็วของการแพร่ของคลื่นเสียง

2.6 ทฤษฎีการลดเสียง

เสียงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ย่านความดันเสียงที่หูมนุษย์สามารถได้ยินเสียงได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง $20 \mu \text{pa}$ ถึง 100pa ที่ความดันเสียง $20 \mu \text{pa}$ คือระดับต่ำสุดของการได้ยิน ซึ่งค่านี้ได้มาจากค่าเฉลี่ยของความสามารถของการได้ยินของมนุษย์ และที่ความดันเสียงประมาณ 100pa เป็นเสียงที่ดังมากที่สุดที่ทำให้เกิดความเจ็บปวด จึงเรียกว่า ระดับของความเจ็บปวด

จากการที่อัตราส่วนของค่าความดันเสียงของทั้ง 2 ระดับนี้มีค่ามากกว่ากันล้านเท่า การนำสเกลความดันเสียงในลักษณะเชิงเส้นไปใช้ในการวัดความดันเสียง จึงเป็นสเกลที่กว้างมากและไม่สะดวกในการใช้ ดังนั้นจึงเหมาะสมกว่าที่จะแสดงค่าตัวแปรทางเสียง ในลักษณะอัตราส่วนลอการิทึมของค่าที่ถูกวัดกับค่าอ้างอิง อัตราส่วนลอการิทึมมีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel' dB) ประโยชน์ของการใช้ค่า dB จะเป็นการแปลงสเกลที่มีความกว้างมากกลายเป็นสเกลที่เริ่มจาก 0 dB (ที่ระดับต่ำสุดของการได้ยิน 20MPa) ถึง 130 dB (ที่ระดับสภาวะความเจ็บปวด 100pa) ดังแสดงดังรูปที่ 2-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ความดันเสียง และระดับความดันเสียง

2.7 ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวณค่า Transmission loss (TL)

2.7.1 Transmission Through Ducts

2.7.2 Acoustic Impedance (z)

อ้างอิง One - Dimensional Sound Waves ส่งผ่านท่อปกติ จะไม่มีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัด (cross - sectional area) หรือ Side Branch และเมื่อเกิดการไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้น บางครั้งเสียงจะมีการสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดไปถึงการกำหนดขนาด (magnitudes) ของ Transmitted และคลื่นเสียง จะต้องพิจารณาเงื่อนไข คลื่นเสียงที่ต้องการประการแรก คือ เงื่อนไขของความดัน และ ประการที่สอง เงื่อนไขความเร็ว เมื่อความเร็วคือ Partical velocity time ของ Cross sectional area ซึ่งรวมถึงการพิจารณา Acoustic Impedance เกี่ยวกับการป้องกันเสียงสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$z = \frac{\text{pressure}}{\text{velocity}} = \frac{p}{u} = \frac{p}{s \cdot u} = \frac{z}{s} \quad (2.6)$$

เมื่อ s คือ cross sectional area

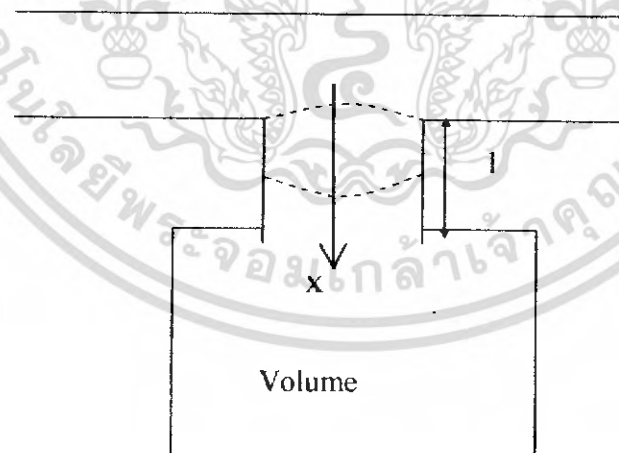
เนื่องจากต้องขึ้นอยู่กับ cross sectional area ดังนั้น Total Acoustic power จึงมีความสำคัญมากกว่า Acoustic Intensity ตัว power ที่ ประกอบอยู่ใน plan wave จะเป็น

$$W = I \times S = \left(\frac{p^2}{\rho_0 c} \right) S = \frac{p^2}{z_0} \quad (2.7)$$

และยังสะดวกต่อการใช้ Acoustic Impedance

2.8 The Helmholtz Resonator

Helmholtz Resonator เป็นเรื่องที่น่าสนใจเพราะถูกใช้ในเรื่อง Acoustic นำไปประยุกต์ใช้ในสิ่งที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นมากกว่าถึงเรื่อง Acoustic Impedance และยังสามารถนำมาแนวคิดในเรื่อง Acoustical stiffness กับ Mass รูปแบบง่าย ๆ จะประกอบด้วยปริมาตรที่เชื่อมเข้ากับท่อนำเสียงของอากาศด้วยท่อกลมเล็กๆ ที่มีความยาว l และมีพื้นที่ $s = \pi r^2$ สันนิษฐานได้ว่าขนาดทุกๆขนาดจะน้อยกว่าความยาวคลื่นเสียงอย่างมาก ซึ่งจะจำกัดการใช้เมื่อเป็นความถี่ต่ำ Resonator ปัจจุบัน จะเหมือนกับพฤติกรรมเชิงกล เช่น Mass spring Damper system ที่มี plug อยู่ใน Neck โดยทำหน้าที่เป็น



รูปที่ 2.4 การแสดง Helmholtz Resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลและปริมาตรของอากาศที่มัดด้วย ก็จะทำหน้าที่เป็นเหมือน Spring และหน้าที่ของ Frictional Force บน plug ของอากาศที่อยู่ใน Neck คือสิ่งที่ไม่ต้องคำนึงถึงก็ได้ เว้นแต่ช่องจะเล็กมากหรือถูกจำกัดโดย เจตนาในทางใดทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อ plug สั่นสะเทือนก็สามารถส่งกระจายเสียงเข้าไปในท่อนำเสียง และ พลังงานจะสูญหายไปยัง Resonator ถ้าข้อจำกัดที่มีอยู่ใน Neck หายไป จำนวนการกระจายเสียงนี้ ก็ต้อง นำมาคำนวณด้วย ในการตั้งสมการ Motion plug ของอากาศถูกสมมติแทนที่ด้วย x ตามแรงภายนอกและจะได้ 4 เทอมดังต่อไปนี้

2.8.1 ความแข็งของมวลภายในปริมาตรถึงปิด (Stiffness of enclosed volume)

การแกว่งที่เร็วเพียงพอสำหรับการขยาย และทำให้ความร้อนคงที่ จะได้สมการ

$$p = \frac{\gamma P_0 S}{V} x = \rho_0 c^2 \frac{S}{V} x \quad (2.8)$$

แรงในแกน $+x = -ps = -\rho c (s/A)x$

2.8.2 มวลของ Plug Fluid

Plug ของ Moving Fluid จะใหญ่กว่า Actual Volume, Sl และมักจะถูกเขียนเป็น Effective volume $Sl' = S(l + 2\Delta)$ จะเหมือนกับ volume ของอากาศซึ่งจะเคลื่อนที่ไปเหมือนลูกสูบกลมของพื้นที่ S ที่กำลังสั่นสะเทือนอยู่ใน Infinite Baffle และปรากฏขึ้น 2 ครั้ง เพราะ Plug มีปลายสองด้าน ดังนั้นมวลทั้งหมดของ fluid

$$= \rho_0 Sl' \quad (2.9)$$

$$= \rho_0 S(l + 2\Delta) \quad (2.10)$$

2.8.3 ความต้านทานการแผ่รังสี (Radiation Resistance force)

การแผ่รังสีจาก plug ของอากาศจะเหมือนกับการแผ่รังสีจากลูกสูบกลมที่อยู่ใน Rigid Baffle

เพื่อความสะดวกเขียนในรูปแบบของ R คงที่

$$F_{RAD} = -RS^2 \frac{dx}{dt} \quad (2.11)$$

2.8.4 แรงเคลื่อนที่ (Driving force)

ถ้า Resonator ถูกขับโดยคลื่นเสียง Harmonic ฉะนั้น

$$F = Sp$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= SA e^{j\omega t} \quad (2.12)$$

สมการของการเคลื่อนที่จะได้

$$\rho_0 l S \frac{d^2 x}{dt^2} + RS \frac{dx}{dt} + \frac{\rho_0 c^2}{V} S^2 x = SA e^{j\omega t} \quad (2.13)$$

อัตราความเร็วเชิงอนุภาค

$$U = \frac{dx}{dt} \quad (2.14)$$

และอัตราเร็วเชิงปริมาตร

$$U = S \frac{dx}{dt} \quad (2.15)$$

ดังนั้น

$$\frac{\rho_0 l}{S} \frac{dU}{dt} + RU + \frac{\rho_0 c^2}{V} \int U dt = Ae^{j\omega t} \quad (2.16)$$

หรือ

$$M \frac{dU}{dt} + RU + K \int U dt = Ae^{j\omega t} \quad (2.17)$$

เมื่อ $M = \rho_0 l / S$ คือมวลของ Acoustic

และ $K = \rho_0 c^2 / V$ คือ stiffness Acoustic

การแก้ปัญหา Harmonic ของสมการ 2.16 คือ

$$U = \frac{Ae^{j\omega t}}{R + j(\omega M - K/\omega)} = \frac{p}{Z} \quad (2.18)$$

Resonator จะถูกกำหนดเป็นการเกิดขึ้นเมื่อ ω ไปถึงจุดสูงสุด ซึ่งหมายถึง c เมื่อ Imaginary หรือ Reactive part ของ Acoustic เป็น 0

$$\omega_0^2 = \frac{K}{M} = \frac{\rho_0 c^2 / V}{\rho_0 l / S} = \frac{c^2 S}{lV} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{S}{Vl} \right]^{1/2} = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{\pi r^2}{V(l+2\Delta l)} \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

ณ. ความถี่ Resonant การตอบรับของ Resonator จะถูกควบคุมไว้ทั้งหมดด้วยความถี่ในระบบในกรณีนี้มาจาก Radiation term ละถ้าความถี่มีเล็กน้อย ความดัน Acoustic จำนวนมากจะถูกผลิตขึ้นภายใน Resonator ณ. ความถี่อื่นจะน้อย และความดัน Acoustic ภายใน Resonator ก็ น้อย Resonator อาจกล่าวได้ว่าเป็น Tuned Filter ซึ่งความถี่จะถูกกำหนดโดยขนาด และความกว้างแถบคลื่น ถูกกำหนดโดยความถี่

สมการ 2.44 จะเป็นสมการที่สำคัญ เพราะว่าจะให้รูปแบบทำๆ ไปสำหรับ Acoustic Mass กับ Acoustic stiffness ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะถูกใช้ภายหลัง เมื่อจะพิจารณาองค์ประกอบ Lumped Acoustic จาก Acoustic Impedance ของ Resonator ซึ่งอาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$Z = R + j(\omega M - K/\omega) \quad (2.21)$$

$$= R + j \frac{\omega \rho_0}{S} (l + 2\Delta l) - \frac{\rho_0 c^2}{\omega V} \quad (2.22)$$

เมื่อ Acoustic Resistance R ของ piston

$$R = \frac{\rho_0 c}{\pi a^2} R_1(2ka) \quad (2.23)$$

ถ้า $2ka < 0.5$

$$R = \frac{\rho_0 c k^2}{2\pi} \quad (2.24)$$

และ Acoustic Reactance คือ

$$X = \frac{\rho_0 c}{\pi a^2} X_1(2ka) \quad (2.26)$$

Acoustic Impedance ของ Acoustic Mass กับ Acoustic Stiffness ให้เป็น $j\omega M$ กับ jK/ω ตามลำดับจะพิจารณาได้ว่า Acoustic Impedance ของกระบอกสูบมีรัศมี a ซึ่ง $a \ll \lambda$ สั้นสะท้อนใน Rigid Infinite Baffle ควรจะประกอบด้วย Radiation Term R และ Term Mass จะตอบสนองไปยังปลายด้านหนึ่งที่ถูกต้อง

2.8.5 การสะท้อนของคลื่นในท่อ

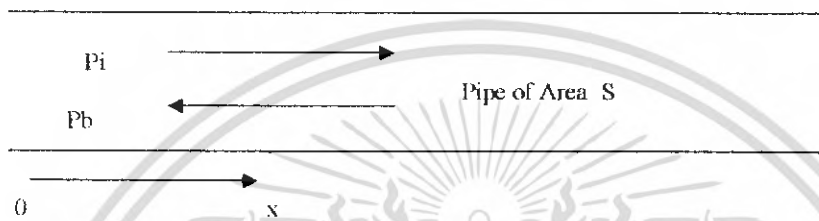
ถ้า single wave เดินทางอยู่ในทิศทาง positive x ไปตามท่อที่มีพื้นที่หน้าตัด คงที่ s ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น Acoustic Impedance ที่ได้จากคลื่นนั้น ก็จะเป็น $\rho_0 c / S$ สมมุติว่ามีความไม่ต่อเนื่องในท่อ อย่างเช่น มีการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นคลื่นที่เกิดขึ้นบางตัว ก็จะถูกสะท้อน และ Acoustic Impedance ของคลื่นที่ถูกสะท้อน ก็จะเป็น $-\rho_0 c / S$ ความดันและอัตราการเร็วปริมาตร ของ Individual wave 2 คลื่น จะได้

$$P_i = Ae^{j(\omega t - kx)}; U_i = \frac{P_i}{\rho_0 c / S} \quad (2.26)$$

$$P_b = Be^{j(\omega t - kx)}; U_b = \frac{P_b}{-\rho_0 c / S} \quad (2.27)$$



รูปที่ 2.5 การส่งและการสะท้อนของคลื่นในท่อ

คลื่นทั้งคู่จะแสดง Total Acoustic Impedance ณ. จุด x ใดๆ ซึ่งจะได้

$$Z_x = \frac{P_i + P_b}{U_i + U_b} = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{P_i + P_b}{P_i - P_b} \quad (2.28)$$

$$= \frac{\rho_0 c}{S} \frac{Ae^{-jkx} + Be^{jkx}}{Ae^{-jkx} - Be^{jkx}} \quad (2.29)$$

เนื่องจากความต้องการต่อเนื่องของความดัน และการต่อเนื่องของอัตราการเร็วเชิงปริมาตรจึงต้อง มีความต่อเนื่องของ Acoustic Impedance ณ. จุดใดๆ ภายในท่อฉะนั้นถ้าบางจุดรู้ว่า Acoustic Impedance มีค่า เฉพาะ Z_0 ที่ได้จากสมการที่ 2.28 ก็ต้องได้ค่านั้นเพื่อความสอดคล้องสมมติว่า Acoustic Impedance เป็น $x = 0$

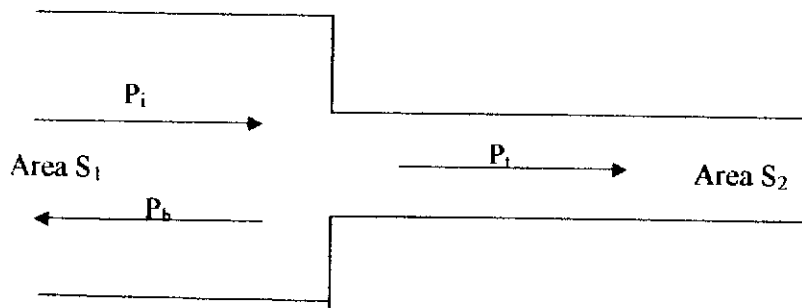
$$Z = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{A + B}{Ae^{-B} - B} \quad (2.30)$$

ซึ่งอาจนำมาจัดใหม่ เพื่อที่จะให้เป็น

$$\frac{A}{B} = \frac{Z_0 - \rho_0 c / S}{Z_0 + \rho_0 c / S} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ 2.30 ถูกนำมาใช้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในพื้นที่หน้าตัดต่อ แสดงไว้ในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดในท่อ

โดยมีเงื่อนไขมีเพียง Single wave P_i เท่านั้นที่อยู่ในท่อของพื้นที่ S_2 นั่นคือจะไม่มีการสะท้อนไปตามท่อซึ่ง Acoustic Impedance ณ จุดเริ่มต้น ก็จะเป็น $\rho_0 c / S_2$ ดังนั้น

$$\frac{B}{A} = \frac{\rho_0 c / S_2 - \rho_0 c / S_1}{\rho_0 c / S_2 + \rho_0 c / S_1} \quad (2.32)$$

$$= \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \quad (2.33)$$

เพื่อที่คำนวณว่า พลังงานที่ปรากฏขึ้นถูกสะท้อนไปมากเท่าไร และถูกส่งผ่านไปเท่าไร จะเขียนการสะท้อนกับสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ได้ดังต่อไปนี้

$$\alpha_b = \frac{W_b}{W_i} = \frac{|B|^2 / 2\rho_0 c / S_1}{|A|^2 / 2\rho_0 c / S_2} = \left| \frac{B}{A} \right|^{1.2} \quad (2.34)$$

$$= \frac{(S_1 - S_2)^2}{(S_1 + S_2)^2} \quad (2.35)$$

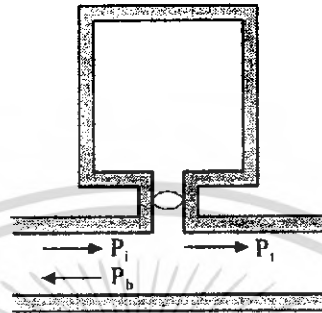
$$\alpha_t = 1 - \alpha_b = \frac{4S_1 S_2}{(S_1 + S_2)^2} \quad (2.36)$$

ดังนั้น α_t กับ α_b จะขึ้นอยู่กับ Ratio $S_1:S_2$ หรือ $S_2:S_1$ เท่านั้นและไม่ขึ้นกับการลดหรือการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด นอกจากนี้ Ratio ก็ต้องใหญ่พอที่จะสร้าง Substantial Reduction ในพลังงานที่ถูกส่งผ่านเช่น ถ้า $S_2/S_1 = 10$ (หรือ 0.1) $\alpha_t = 0.33$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 MunJal (Transfer matrix)

silencer ที่ประกอบด้วย Helmholtz resonator แบบตัวเดียวที่ติดตั้งบนผนังของท่อกลมหรือท่อสี่เหลี่ยมและบริเวณปลายท่อเป็นห้องเก็บเสียงดังแสดงตามรูปที่ 2-3 MunJal ได้สร้าง Transfer matrix เพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ของความดันเสียง และ อัตราการไหล ณ.หน้าตัดของท่อบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของ resonator [1]



รูปที่ 2.7 ความดันบริเวณด้านหน้า- หลังของ Resonator

$$\begin{bmatrix} p_i + p_b \\ \frac{p_i}{Z_0} - \frac{p_b}{Z_0} \end{bmatrix} = \frac{1}{2M + \frac{Z_r}{Z_0}} \begin{bmatrix} M + \frac{Z_r}{Z_0} & M^2 Z_0 \\ \frac{1}{Z_0} & M + \frac{Z_r}{Z_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_t \\ \frac{p_t}{Z_0} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$Z_r = R + j(X + R) \quad (2.38)$$

$$R = \frac{16l}{\pi d^3} \sqrt{\pi \mu \rho_0 f} \quad (2.39)$$

$$X = \frac{2\pi f \rho_0 l_e}{S} - \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f V} \quad (2.40)$$

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S_0} \quad (2.41)$$

จากสมการ (2.36) - (2.40) P_i และ P_b คือความดันกระทบ (incident pressure) และความดันสะท้อนกลับด้านหน้า (Backward pressure) Resonator ตามลำดับ P_t คือความดันกระทบด้านหลัง (Transmitted pressure) ของ Resonator M คือค่า M^2 Z_r คือ Acoustic impedance ของ Resonator Z_0 คือ characteristic impedance ของท่อ R คือค่าความต้านทานของคอ X คือ Resonator reactance ซึ่งไม่พิจารณาในเทอมของความต้านทาน μ คือค่าความหนืดและ ρ_0 คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยในตัวกลาง จากสมการ (2.36) แก้สมการหาค่า p_t/p_i จะได้ค่า Transmission Loss ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$TL = 10 \log \left| \frac{p_i}{p_r} \right|^2 \quad (2.42)$$

แทนค่าสมการที่ (2.36) ลงในสมการที่ (2.41) จะได้

$$TL = 10 \log \left| 1 + \frac{(1-M^2)^2 \left\{ (1-M)^2 + 4 \left(2M + \frac{R}{Z_0} \right) \right\}}{4 \left\{ \left(2M + \frac{R}{Z_0} \right)^2 + \left(\frac{R}{Z_0} + \frac{X}{Z_0} \right)^2 \right\}} \right| \quad (2.43)$$

$$\frac{R}{Z_0} = \frac{16}{c} \left(\frac{d}{l_e} \right) \left(\frac{d}{D_0} \right)^2 \sqrt{\frac{\mu f}{\pi \rho_0}} \quad (2.44)$$

$$\frac{X}{Z_0} = S_0 \left(\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f} \right) \sqrt{\frac{l_e}{VS}} \quad (2.45)$$

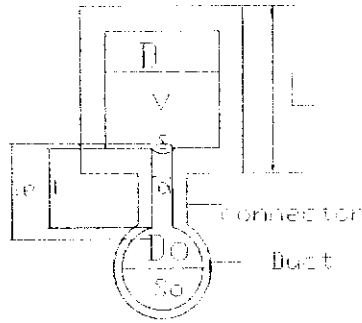
ความถี่ที่เกิดจากการกำจร (Resonator frequency) สามารถหาได้จาก

$$f_r = \frac{c}{2 \pi} \sqrt{\frac{s}{V l_e}} \quad (2.46)$$

$$l_e = l + \beta d \quad (2.47)$$

โดยที่ $S_0 = \frac{A_0}{2}$ เมื่อ $A_0 =$ พื้นที่หน้าตัดท่อนเสียง

จากสมการที่ (2.45) และ (2.46) l_e คือค่าความยาวประสิทธิผล (Effective Length) เนื่องจากเราไม่สามารถคำนวณหา Resonance frequency จาก 1 ได้โดยตรงเพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อน จะต้องใช้ค่าความยาวประสิทธิผลในการคำนวณ และ β คือค่าแก้ไข (open end correction)



รูปที่ 2.8 รายละเอียด Helmholtz Resonator

2.10 ค่าแนะนำของ Davis ในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator

จากรูปที่ 2-7 ในการส่งผ่านคลื่นความดันผ่านท่อหน้าเสียงจะเกิด ความดันสะท้อนกลับด้านหน้า (P_b) ขึ้น ค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้านี้มีผลทำให้ค่า TL มีค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง Davis [2] ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขค่าความดันสะท้อนกลับด้านหน้าของ Resonator ไว้ดังนี้

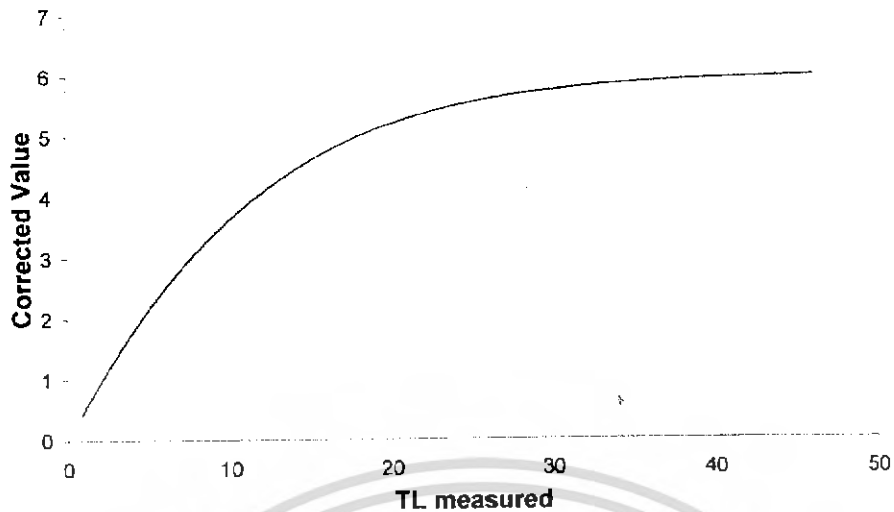
$$\begin{aligned}
 TL_{measured} &= TL_{corrected} - TL_{lure} & (2.48) \\
 &= 20 \log \left(\frac{p_i + p_b}{p_i} \right) + 20 \log \left(\frac{p_i}{p_i} \right)
 \end{aligned}$$

จากสมการ (2.47) TL คือค่า TL ที่วัดได้จริงจากการทดลอง TL คือค่า TL แก้ไขที่อ่านได้จากเส้นกราฟของ Davis ดังรูปที่ 2-9 TL คือค่า TL ที่ถูกต้องตามทฤษฎี p_b คือความดันส่งผ่านบริเวณด้านหน้า Resonator p_b คือความดันสะท้อนกลับด้านหน้า Resonator และ p_i คือความดันส่งผ่านด้านหลัง Resonator

ถ้ากำหนด m คือเปอร์เซ็นต์การสะท้อนกลับของความดันเสียง จากนิยามของ m จะได้ว่า $\frac{p_i}{p_b} = \frac{100}{m}$ แทนค่าลงในสมการที่ (2.47) โดยเลือกแทนค่า $m = 5\% - 99\%$ แล้ว plot Graph จะได้ดังรูปที่ 2-9

72163

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



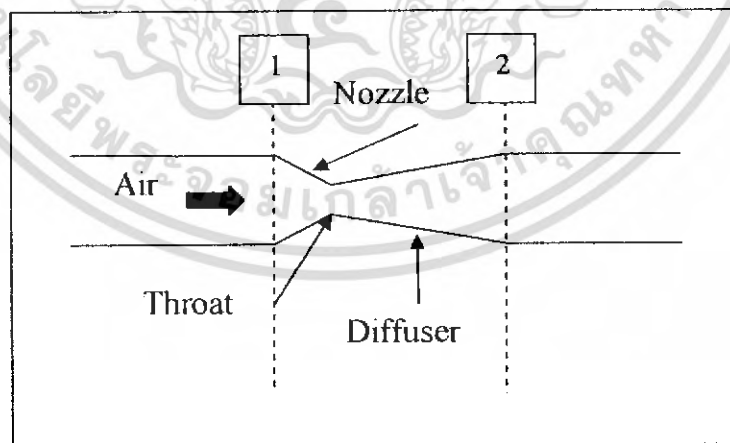
รูปที่ 2.9 ค่าแก้ไขความดันสะท้อนกลับด้านหน้า Resonator

ขั้นตอนการใช้เส้นกราฟของ Davis มีดังต่อไปนี้

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

2.11 ทฤษฎีการวัดอัตราการไหล

สำหรับอัตราการไหลภายในท่อมีการวัดค่าความเร็วเลือกใช้ Venturi Flow Meter ในการวัดค่า



รูปที่ 2.10

Venturi

ลักษณะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีสมการการคำนวณต่อไปนี้

พิจารณาหน้าตัดที่ 1 และ 2 จากสมการ Bernoulli

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} + Z_2 \quad (2.48)$$

และสมการ continuity

$$Q = V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \quad (2.49)$$

จะได้ความเร็วของอากาศภายในท่อ

$$V = \sqrt{\frac{2g\Delta h\gamma_w}{\gamma_a(m^2 - 1)}} \quad (2.50)$$

จากสมการ (2.49) v คือความเร็วของอากาศภายในท่อ Δh คือผลต่างของระดับน้ำที่มาตรโนมิเตอร์ และ m คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ/พื้นที่หน้าตัดของ Throat สัมประสิทธิ์การจ่าย C_D มีนิยามดังนี้

$$C_D = \frac{Q_{actual}}{Q_{theoretical}} \quad (2.51)$$

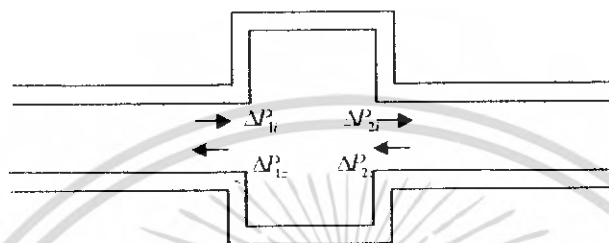
จากสมการ (2.51) Q_{actual} คืออัตราการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจริงภายในท่อ $Q_{theoretical}$ คืออัตราการไหลของอากาศในท่อทางทฤษฎี และ C_D คือสัมประสิทธิ์การจ่ายของ venturi ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ venturi ที่มีสัมประสิทธิ์การจ่ายสูง

บทที่ 3

แบบจำลอง

3.1 อุปกรณ์ดูดซับเสียงแบบต่างๆ

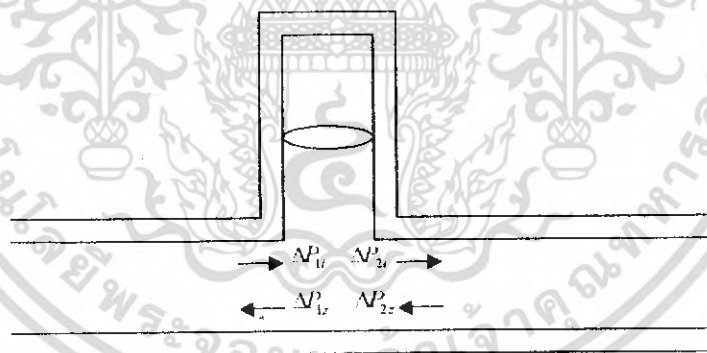
แบบ Expansion chamber เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในรถยนต์ โดยเหมาะกับการลดเสียงรบกวนแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent noise) เสียงรบกวนชนิดนี้เกิดจากที่เครื่องจักรที่ทำงานเป็นรอบหรือคาบ



รูปที่ 3.1 Expansion chamber

Helmholtz Resonator จะมีสองประเภท คือ Helmholtz และ Side branch

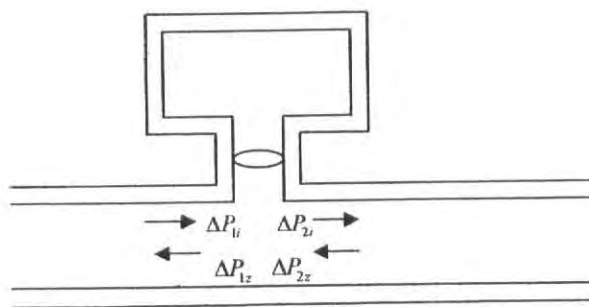
Side branch Resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่ใช้หลักการ เกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ภายใน Resonator เพื่อลดเสียงรบกวนที่ท่อนำเสียง



รูปที่ 3.2 Side branch Resonator

Helmholtz Resonator เป็นอุปกรณ์ลดเสียงที่พิจารณาในงานวิจัยชุดนี้ หลักการลดเสียงของ Resonator ชนิดนี้คือ Resonator ที่ทำหน้าที่เสมือนกล่องเก็บพลังงาน โดยอากาศบริเวณคอ (Connector) ที่เชื่อมต่อระหว่างท่อนำเสียงกับ Resonator เปรียบเสมือนมวล (mass) และอากาศภายในห้องกำจร (Resonance Chamber) ที่ด้านการเคลื่อนที่ของมวลบริเวณคอเปรียบเสมือนสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



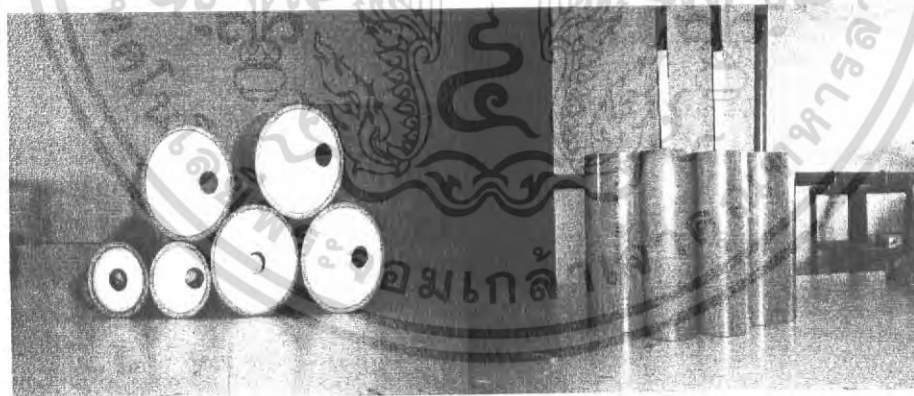
รูปที่ 3.3 Helmholtz Resonator

ในปริศยานี้พบฉบับนี้ใช้ Helmholtz - resonator เป็นอุปกรณ์ ลดเสียงโดย resonator ทำหน้าที่เป็น กล้องเก็บพลังงานที่ทำให้เกิดการลดเสียงก่อนที่เสียงจะเคลื่อนที่ไปยังปลายท่อ ค่า TL ของ resonator จะถูก คำนวณและทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของค่า TL สัมพันธ์กับค่ามีค (Mach number) มีคของ ท่อและมีคของ resonator ในรูปแบบของกราฟ

3.1.1 แบบจำลอง Helmholtz - resonator

อุปกรณ์ดูดซับเสียง Helmholtz - resonator ที่ใช้ในการทดลองมี สองแบบ

1. Helmholtz - resonator แบบสมมาตร
2. Helmholtz - resonator แบบอสมมาตร



รูปที่ 3.4 Model Helmholtz - resonator ทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แบบจำลอง Helmholtz – resonator แบบสมมาตร

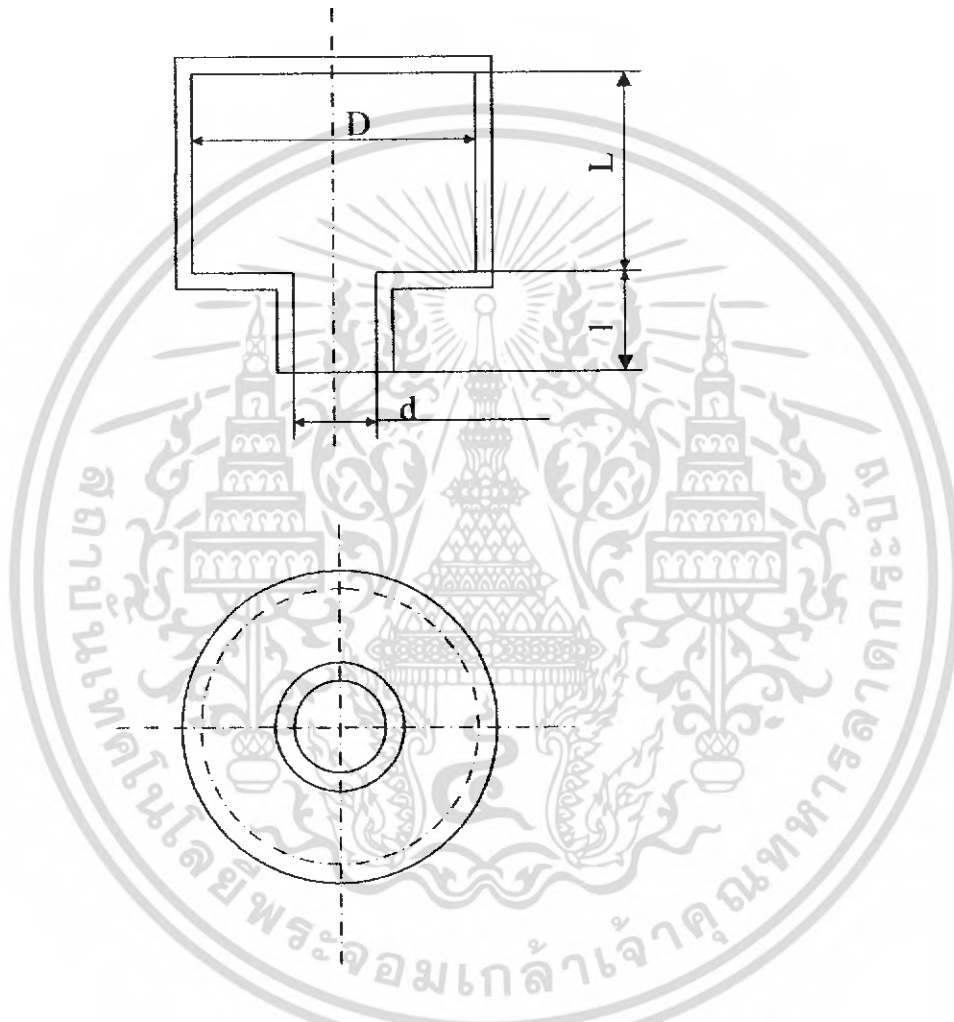
วัสดุที่ใช้ในการทำ

ท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว, 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว

แท่งพลาสติกซูเปอร์ลีน Diameter 2 นิ้ว, 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ยาว 12 เซนติเมตร

เทปกาว

แบบร่าง



Size

D(m)	d(m)	L(m)	l(m)
0.0967	0.025	0.030	0.015
0.1490		0.060	0.020
		0.090	0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แบบจำลอง Helmholtz – resonator แบบอสมมาตร

วัสดุที่ใช้ในการทำ

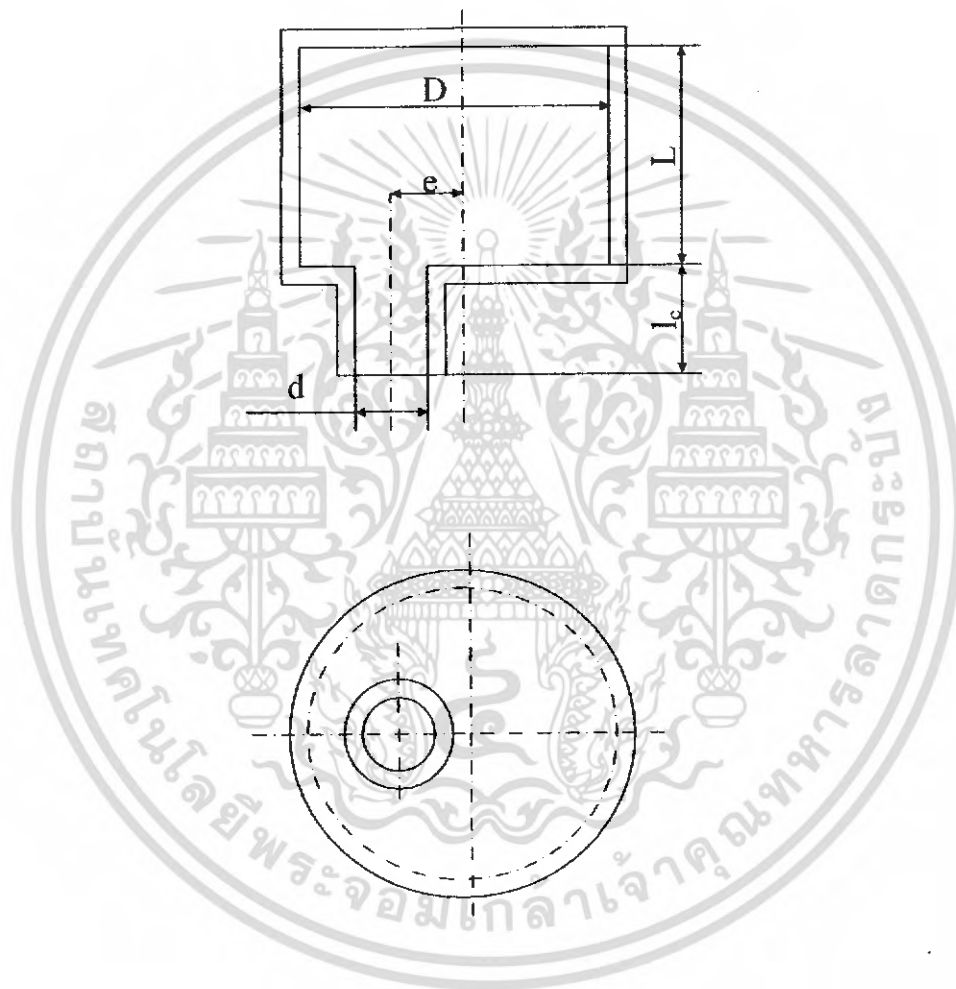
ท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว, 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว

แท่งพลาสติกซูเปอร์สีน Diameter 2 นิ้ว, 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ยาว 12 เซนติเมตร

เทปกา

วาสลีน

แบบร่าง



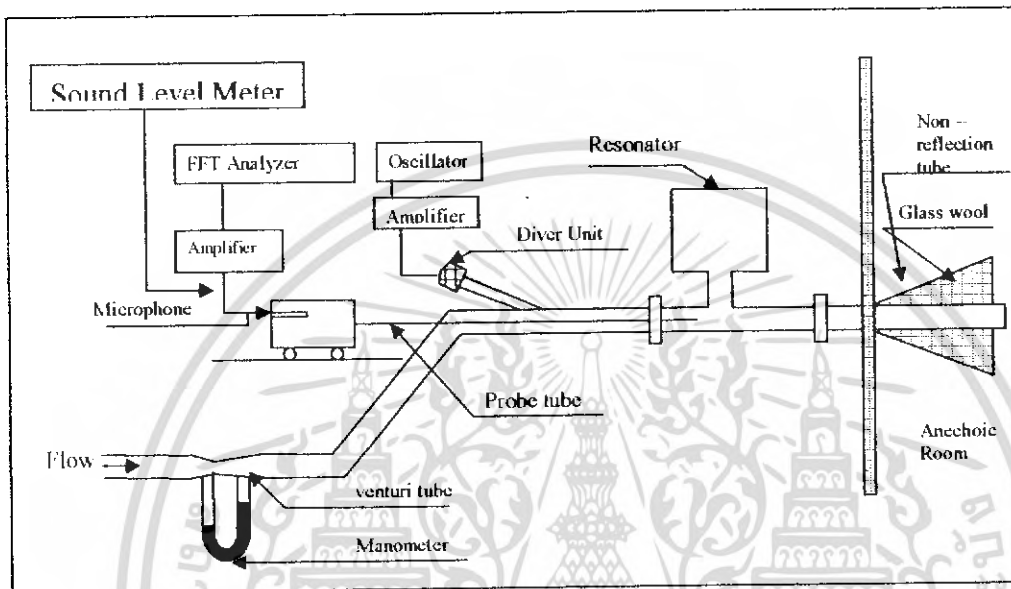
Size

D(m)	d(m)	L(m)	l(m)	e(m)
0.0967		0.030	0.015	0.010
	0.025	0.060	0.020	0.015
0.1490		0.090	0.030	0.020
				0.030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

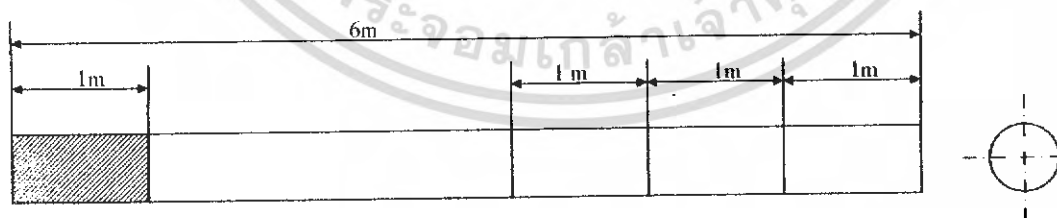
4.1 อุปกรณ์สำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมของ Helmholtz resonator

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการทดลอง

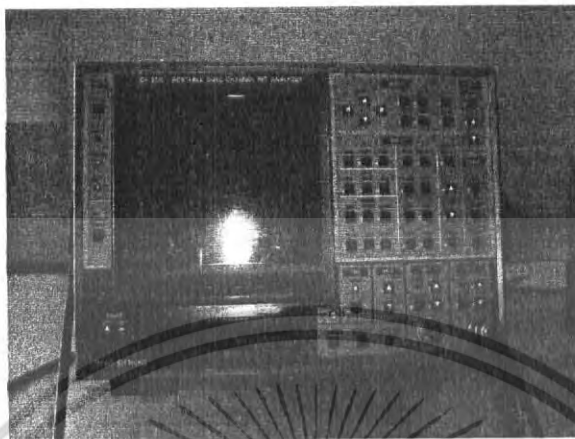
4.2.1 ท่อนำเสียงแบบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 m



รูปที่ 4.2 ท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer) คือ เครื่องมือวัดแปลงสัญญาณความถี่เสียงให้มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)



รูปที่ 4.3 FFT Analyzer (Fast Fourier Transform Analyzer)

4.2.3 Oscillator แหล่งกำเนิดความถี่ของคลื่นเสียงโดยการปรับค่าความถี่



รูปที่ 4.4 Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 Amplifier เป็นตัวขยายความดันเสียง



รูปที่ 4.5 Amplifier

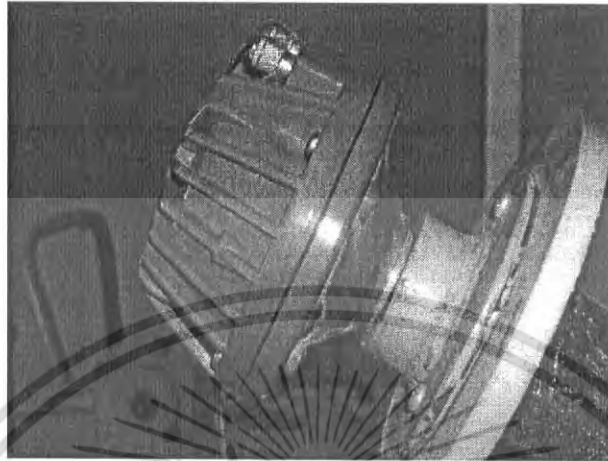
4.2.5 Probe Tube จะถูกสอดอยู่ในท่อนำเสียงและวัดสัญญาณ โดยผ่านมายัง Microphone



รูปที่ 4.6 Probe Tube

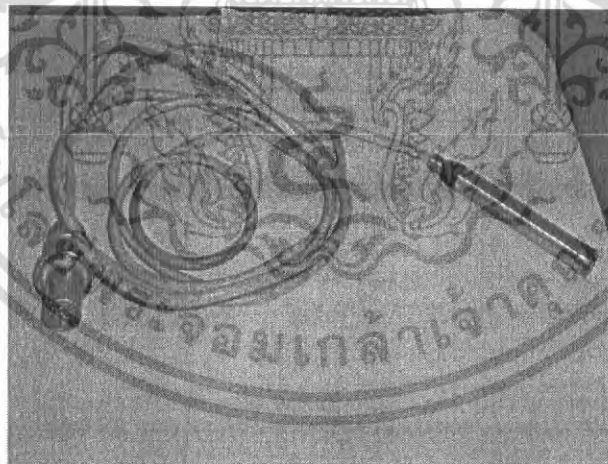
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 Driver Unit ทำหน้าที่ส่งผ่านเสียงไปยังท่อนำเสียง



รูปที่ 4.7 Driver Unit

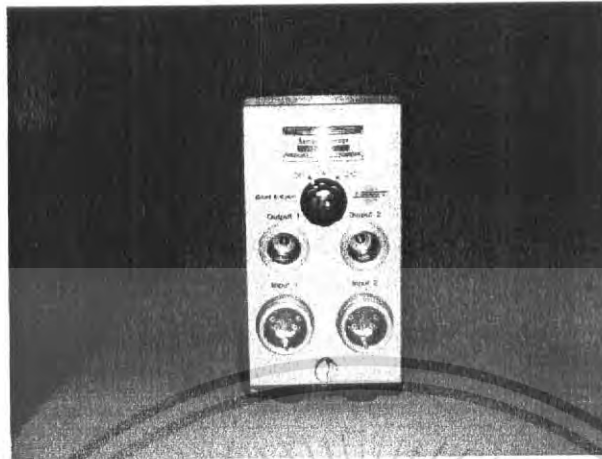
4.2.7 Microphone ใช้ในการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น สามารถวัดความถี่สูงได้



รูปที่ 4.8 Microphone

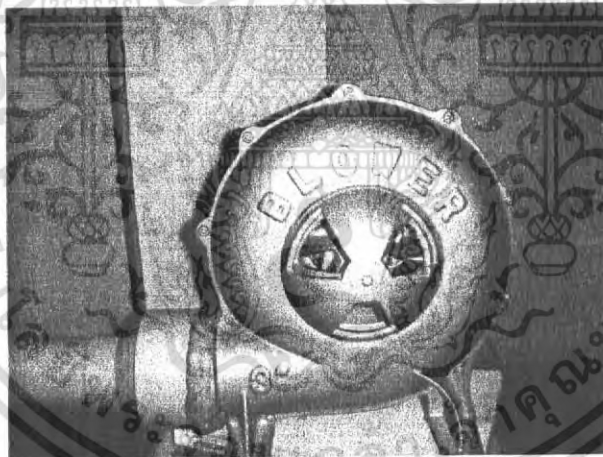
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 Pre Amplifier ตัวขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจากไมโครโฟน



รูปที่ 4.9 Pre Amplifier

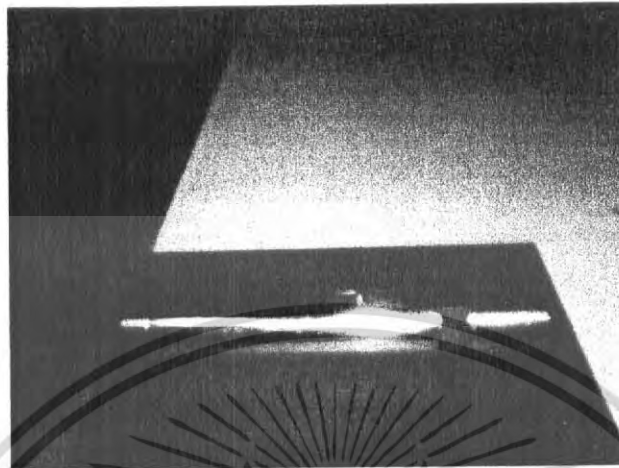
4.2.9 Blower ตื่นกำเนิดของความเร็วลมสำหรับการทดสอบในระบบท่อที่ใช้ความเร็วลม



รูปที่ 4.10 Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2.10 Calibrator เครื่องมือสำหรับปรับเทียบ Microphone เทียบกับ FFT Analyzer ให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.11 Calibrator

- 4.2.11 Inverter อุปกรณ์สำหรับค่าความเร็วลม

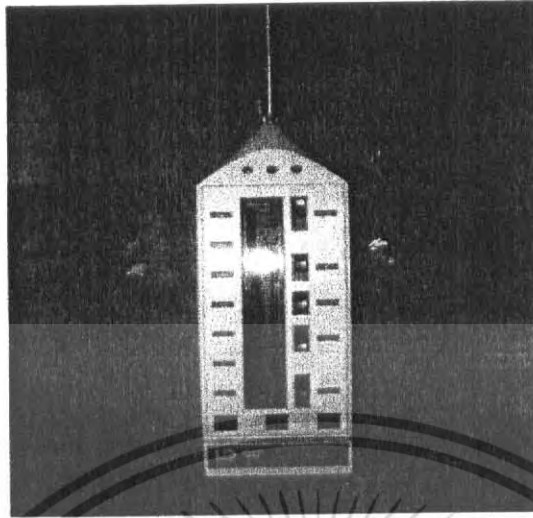
- 4.2.12 Manometer เครื่องมือวัดความเร็วลมในระบบท่อ



รูปที่ 4.12 Manometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.13 Sound level meter เป็นเครื่องมือวัด โดยแปลงสัญญาณความดันเสียงเป็นหน่วย เดซิเบล (dB)



รูปที่ 4.13 Sound Level Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

5.1 การบันทึกผลการทดลอง

เมื่อทำการวัดความดันเสียงมากที่สุดโดยการวัดก่อนผ่าน Helmholtz- resonator และหลังผ่าน Helmholtz- resonator และบันทึกผลการทดลอง จากนั้นทำการปรับค่าความถูกต้อง กับ Davis Curve จากนั้นนำผลที่ปรับค่าความถูกต้องแล้วซึ่งเรียกว่า Transmission Loss มาแสดงอยู่ในรูปของกราฟ ซึ่งใช้กราฟด้วยกัน 2 ชนิดคือ

1. Transmission Loss characteristics แสดงถึงความสามารถในการลดเสียง และความถี่ที่เกิดประสิทธิภาพการลดเสียงสูงสุดหรือความถี่ที่เกิดการกำจร (Resonance frequency) ของ Resonator

2. open - End cocction แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator โดยค่าแก้ไข และ ค่าความยาวประสิทธิภาพ ใช้เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์กันของการเปลี่ยนแปลง ของช่วงคลื่นความถี่ Resonance ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.46)

จากสมการ (2.46)

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{V l_e}}$$

จะได้

$$l_e = \frac{c^2 S}{4\pi^2 f_r^2 V}$$

$$= \frac{\lambda_r^2 d^2}{16\pi v} \quad (4.1)$$

จากสมการ (2.47)

$$l_e = l + \beta d$$

ดังนั้น

$$l_e = l + \Delta l \quad (4.2)$$

จะได้

$$\frac{l_e}{d} = \frac{l}{d} + \frac{\Delta l}{d} = \frac{l}{d} + \beta \quad (4.3)$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{l_e}{d} = \frac{\lambda_r^2 d}{16\pi v}$$

หรือสามารถเขียนในรูป

$$\frac{l_e}{d} = \frac{1}{16\pi \left(\frac{1}{\lambda_r} \sqrt{\frac{V}{d}} \right)^2} \quad (4.4)$$

5.2 วิธีการทดลอง

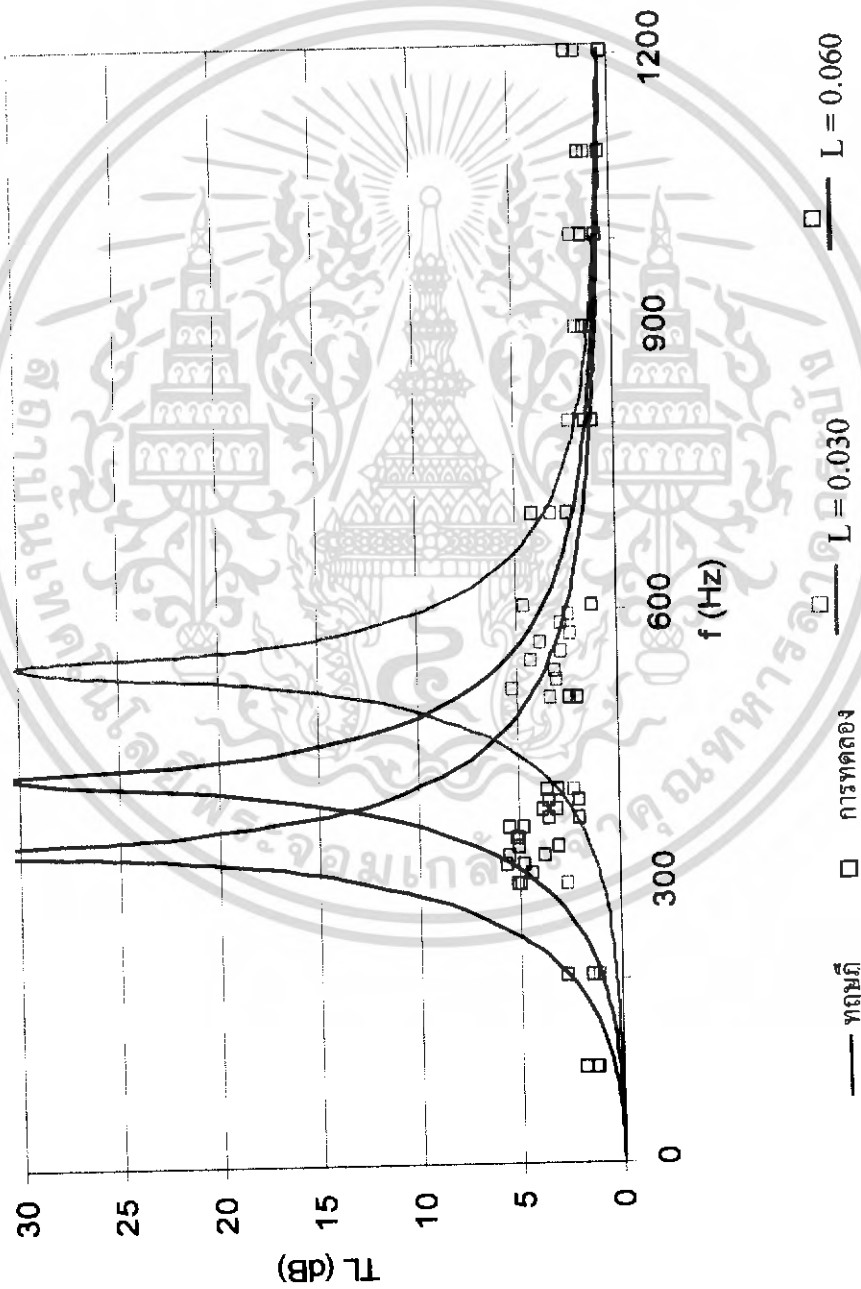
5.2.1 การทดลองโดยใช้ Helmholtz- resonator กรณีที่ไม่มีความเร็วลม

- 1 ติดตั้ง Helmholtz- resonator เข้ากับผนังท่อกลม
- 2 ทำการ set อุปกรณ์เครื่องมือวัดความดันเสียง
- 3 เลื่อนไมโครโฟนเพื่อหาระยะที่มีระดับความดันเสียงที่มากที่สุด โดย การวัดก่อนผ่าน Helmholtz- resonator และหลังผ่าน Helmholtz- resonator
- 4 เปลี่ยนค่าความถี่คลื่นที่ละน้อย และทำ การวัดระดับความดันเสียงตาม ข้อ3 เพื่อหาว่า Helmholtz- resonator สามารถลดเสียงได้มากที่สุดช่วงใด
- 5 ทำการเปลี่ยน Helmholtz- resonator ขนาดต่างๆแล้วทำตาม ข้อ1-4



5.3 แสดงผลการทดลอง

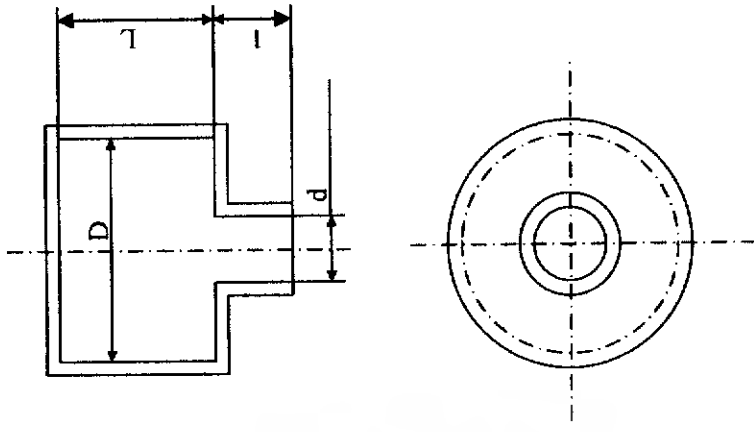
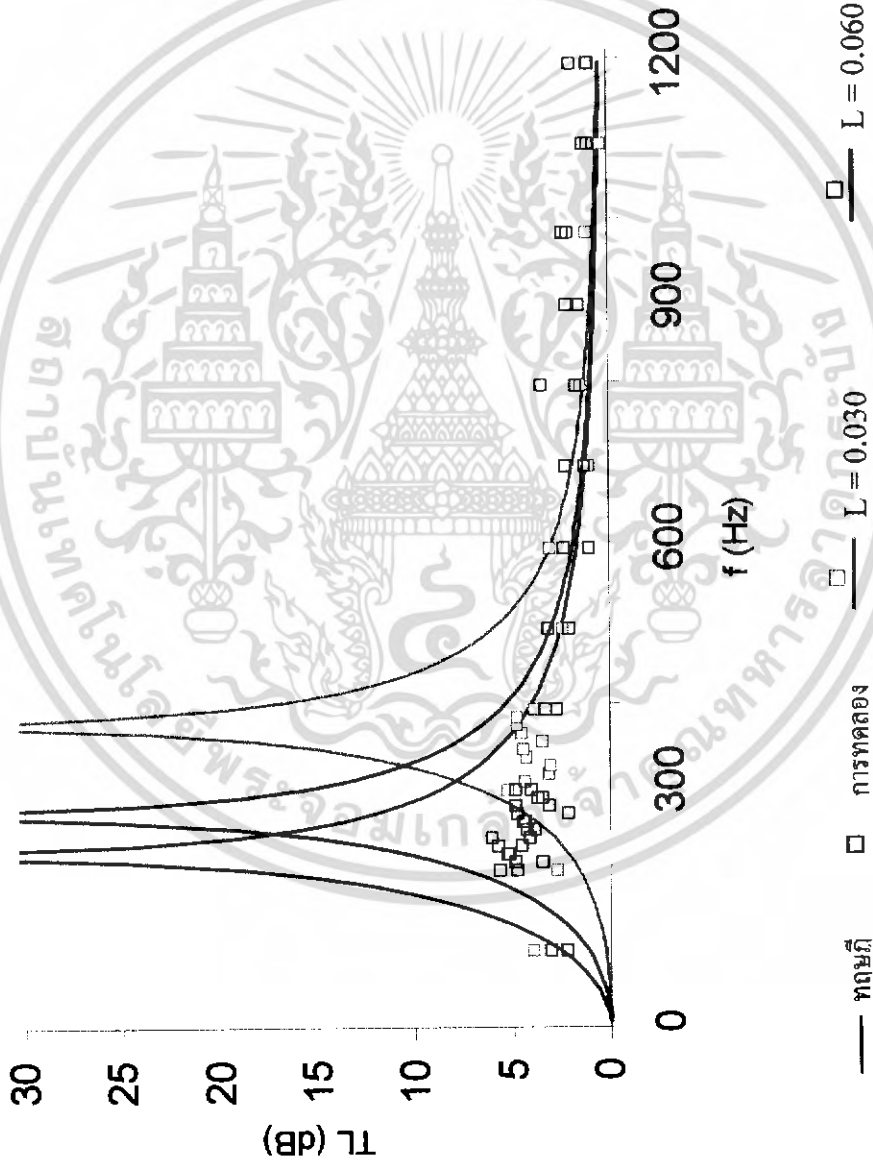
$D = 0.0967 \text{ m}$, $d = 0.0297 \text{ m}$, $l = 0.0150 \text{ m}$



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

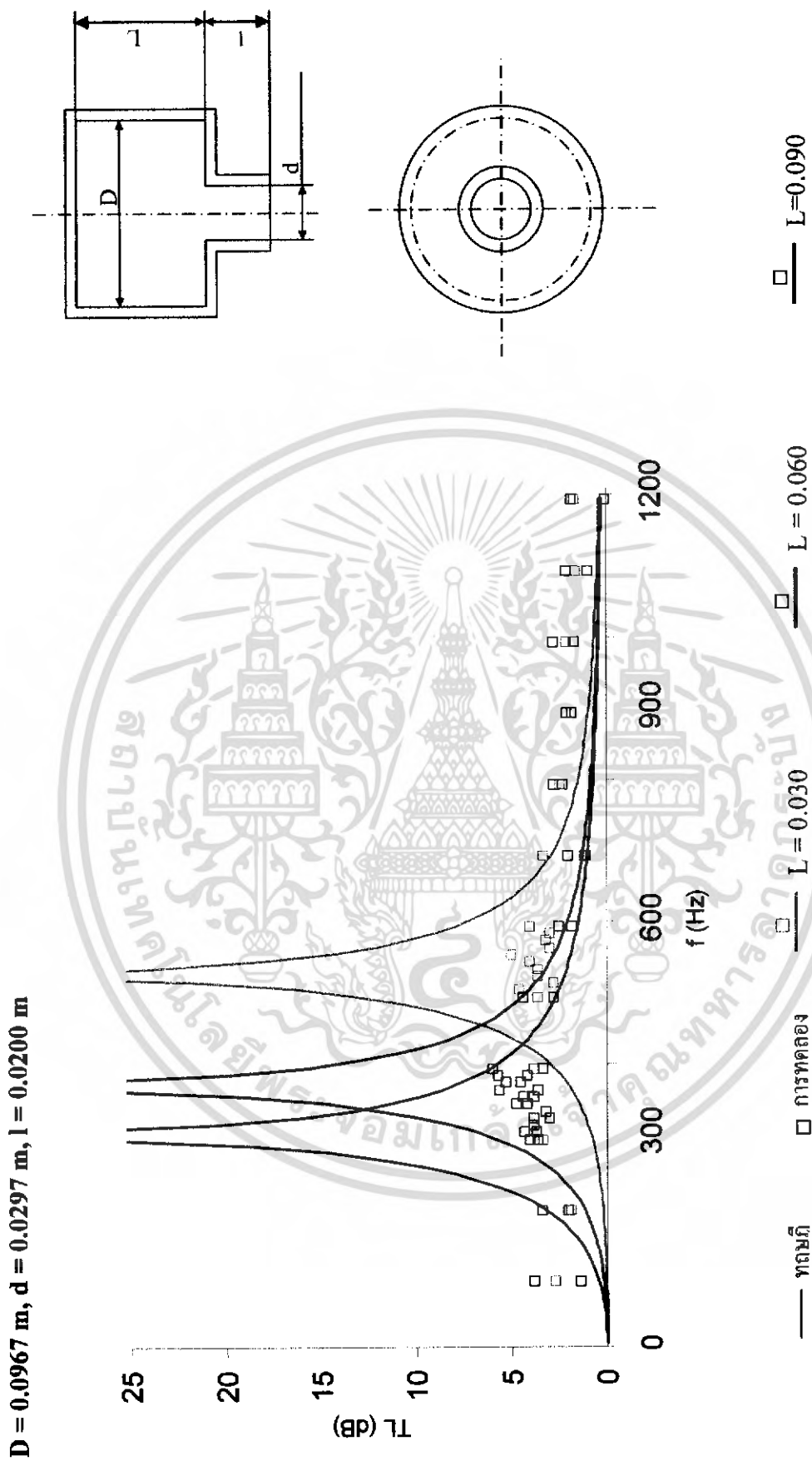
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D = 0.1490 \text{ m}$, $d = 0.0297 \text{ m}$, $l = 0.0150 \text{ m}$



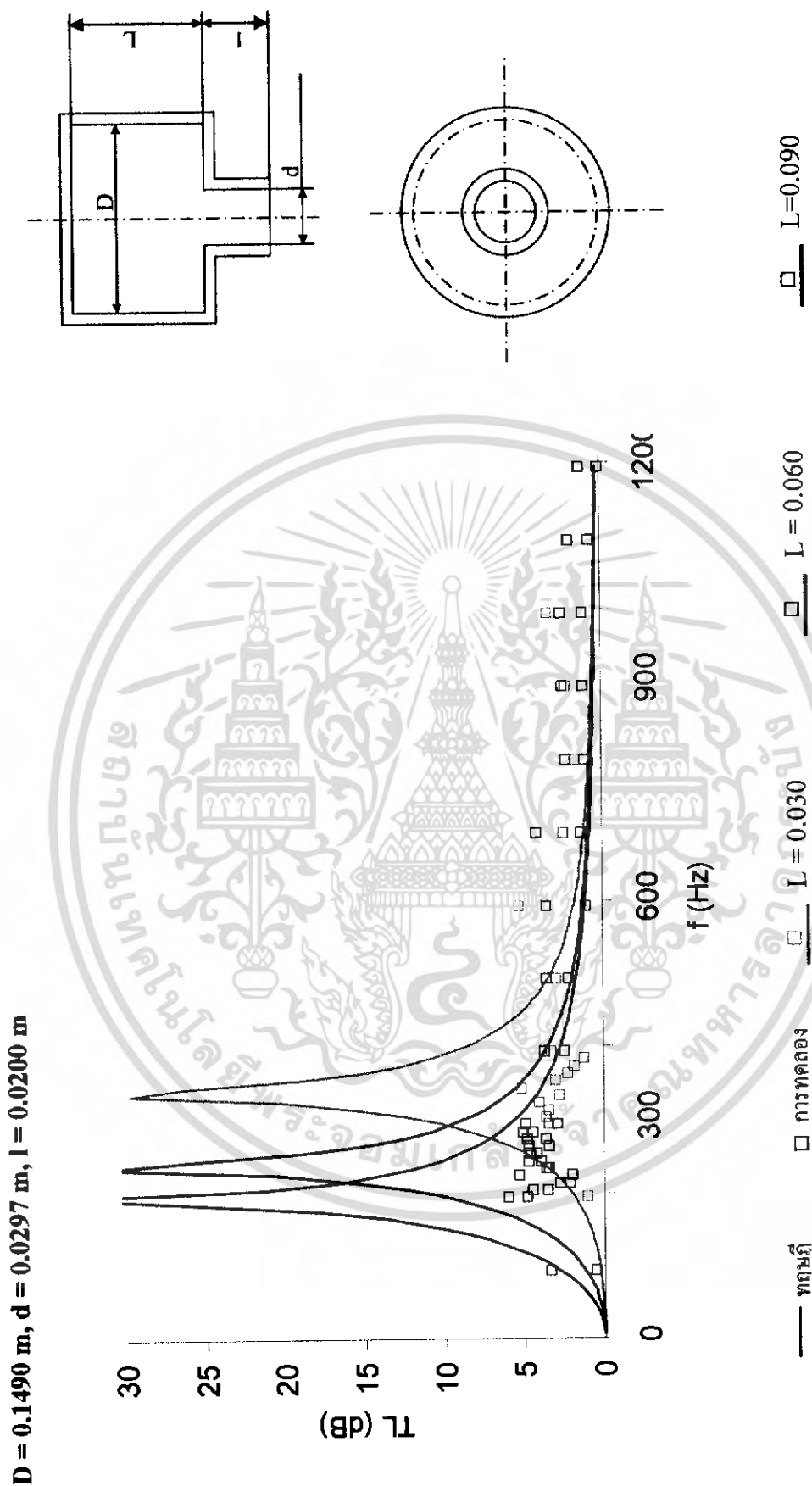
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



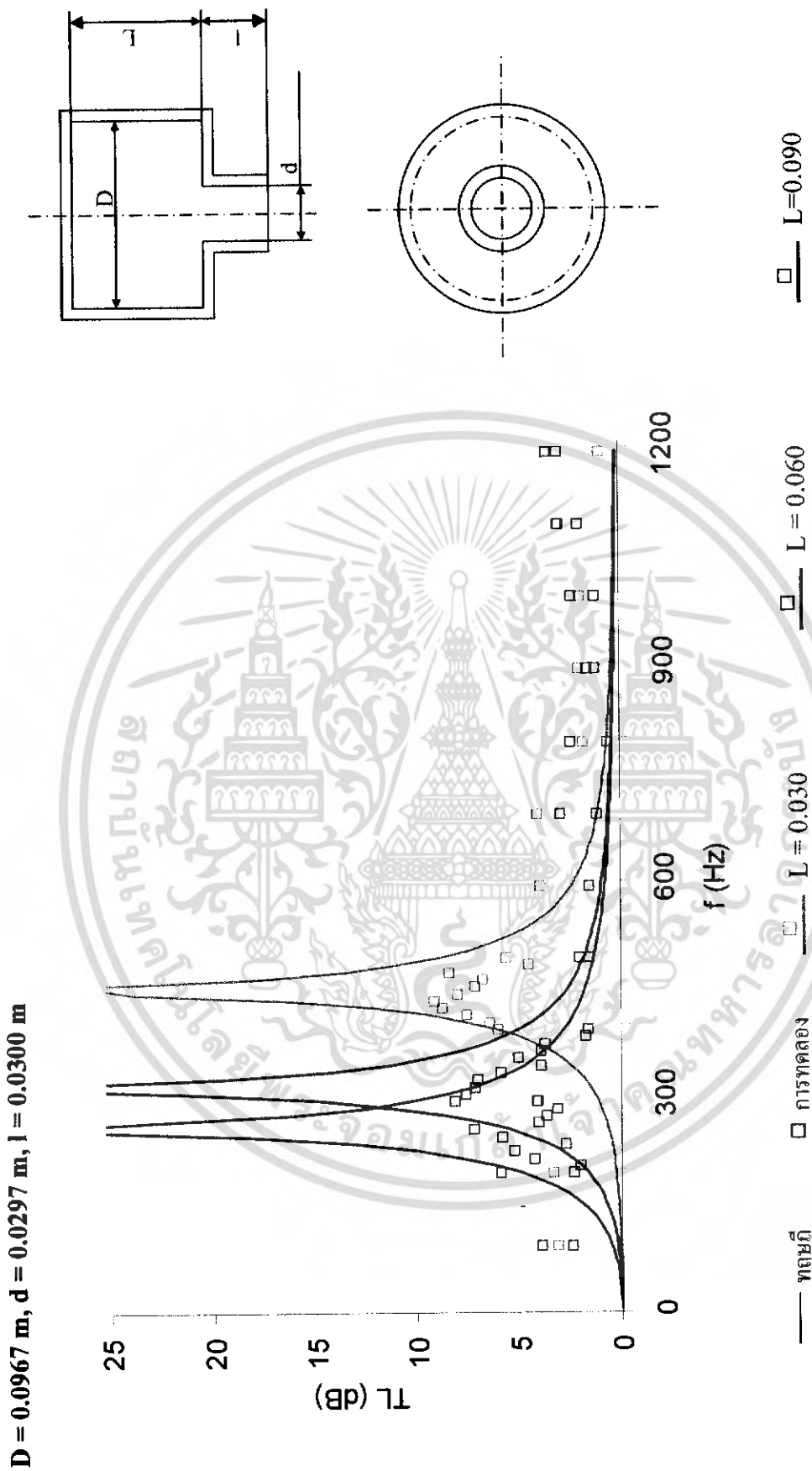
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการทดลองของเบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

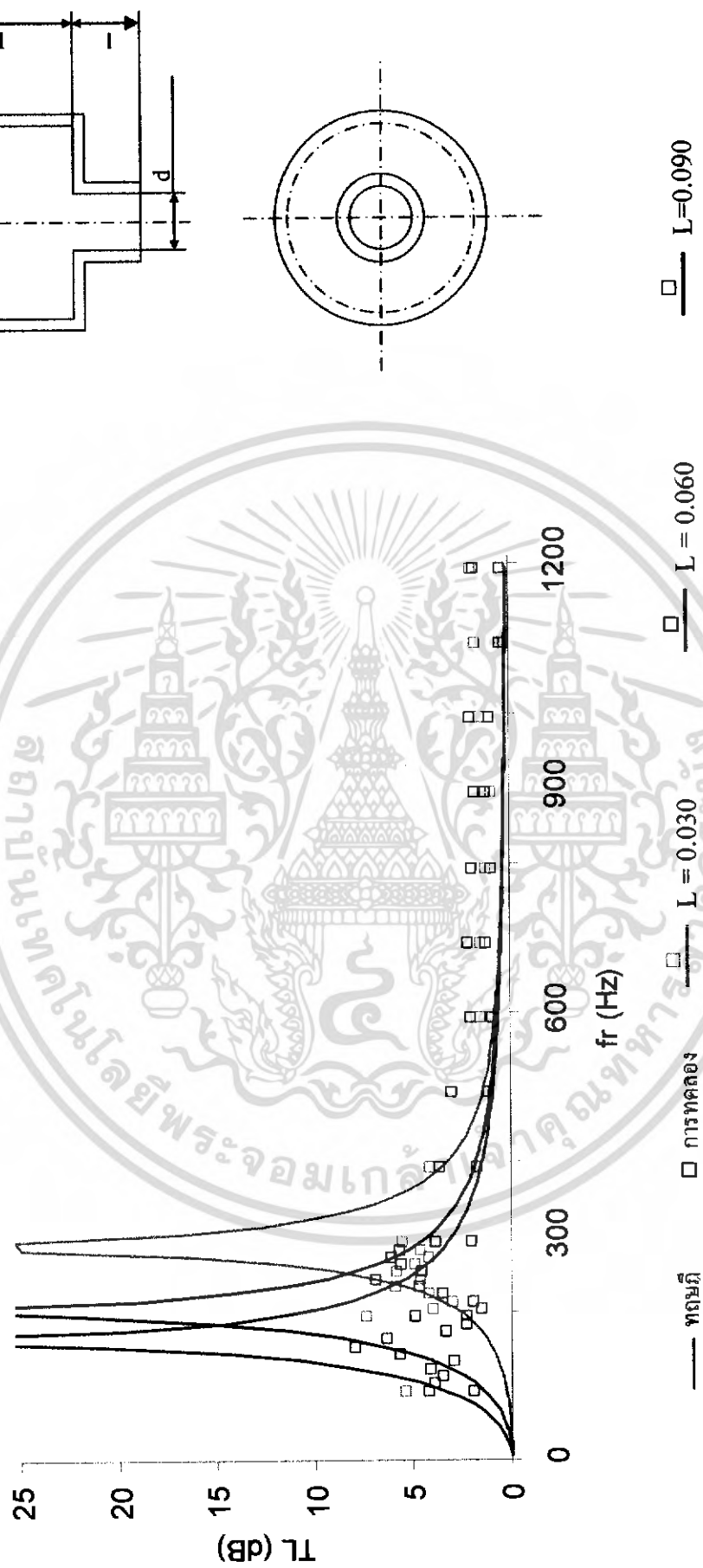
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

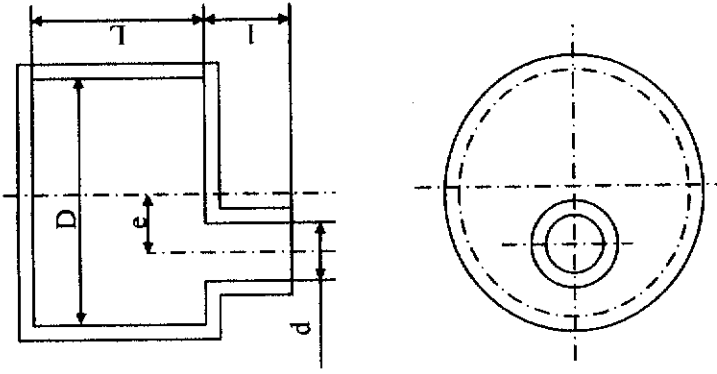
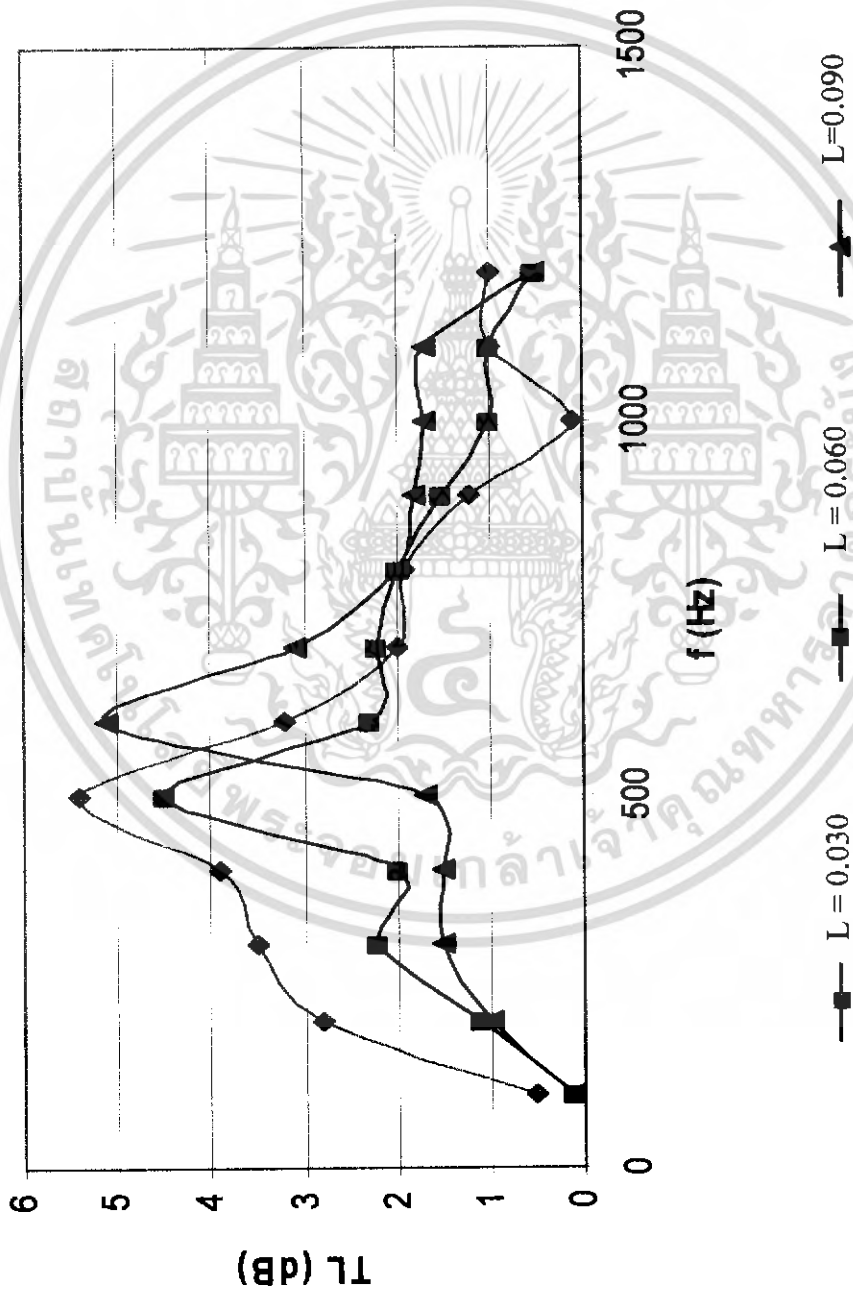
$D = 0.0967 \text{ m}$, $d = 0.0297 \text{ m}$, $l = 0.0300 \text{ m}$



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบตรง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

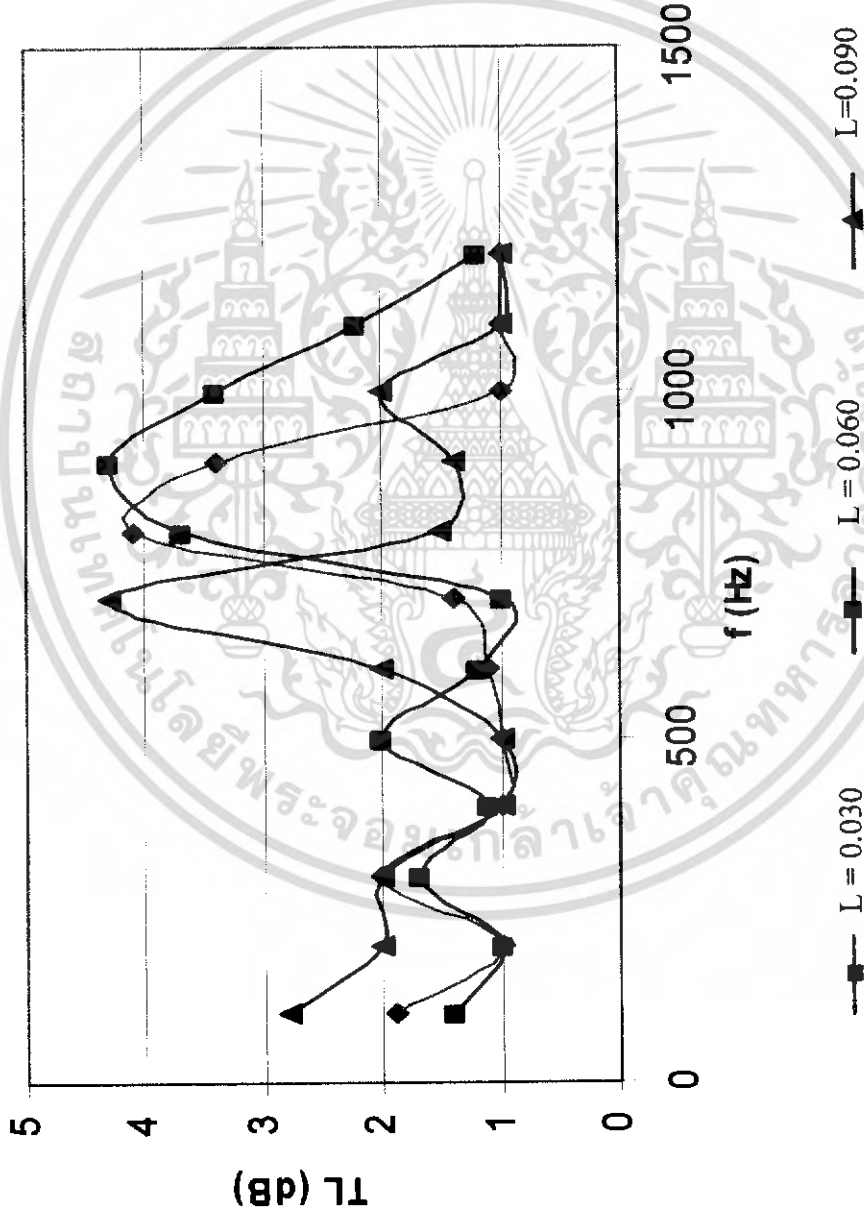
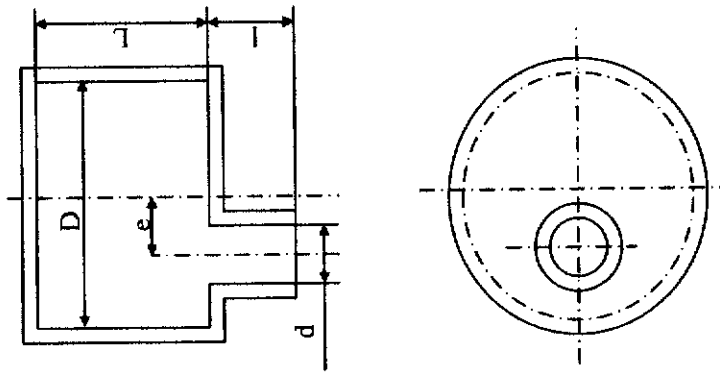
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.01 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$ $\theta = 0$



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเบื่องสูบลู Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

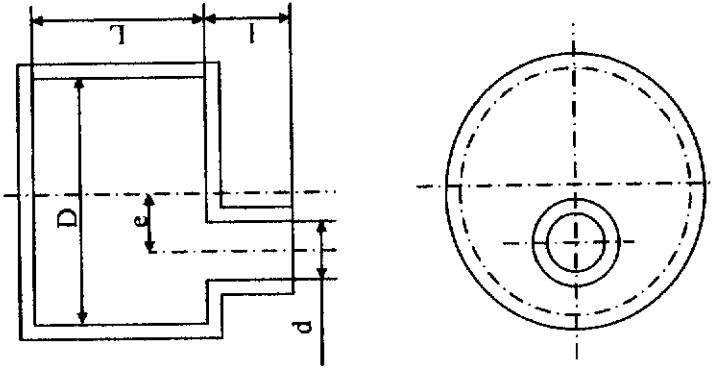
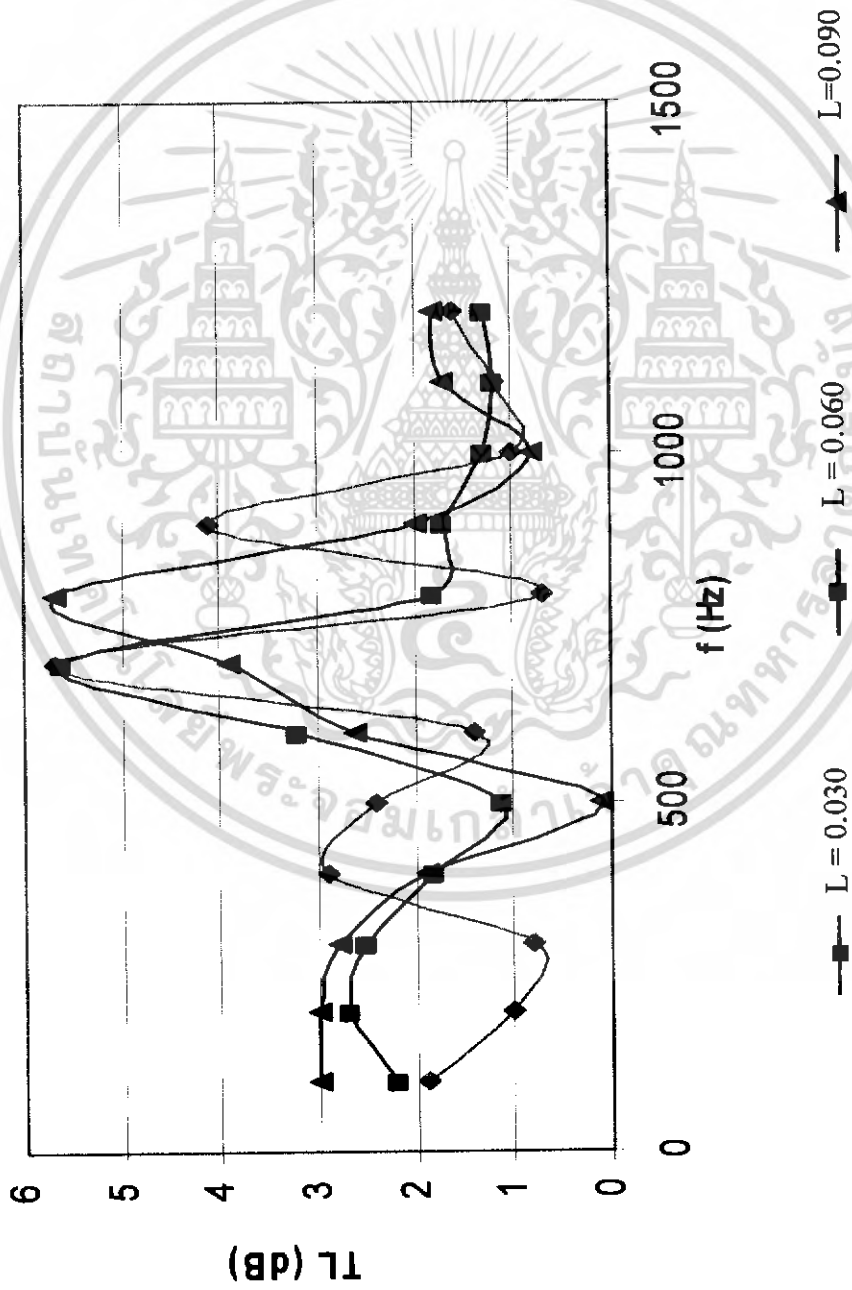
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.020 \text{ m}$, $e = 0.01 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$ $\theta = 0$



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเบี่ยงศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

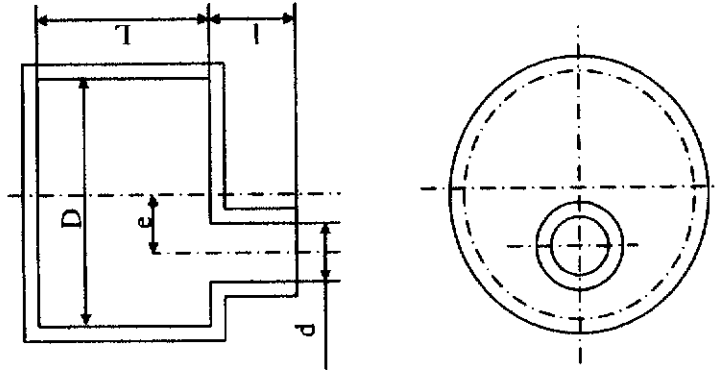
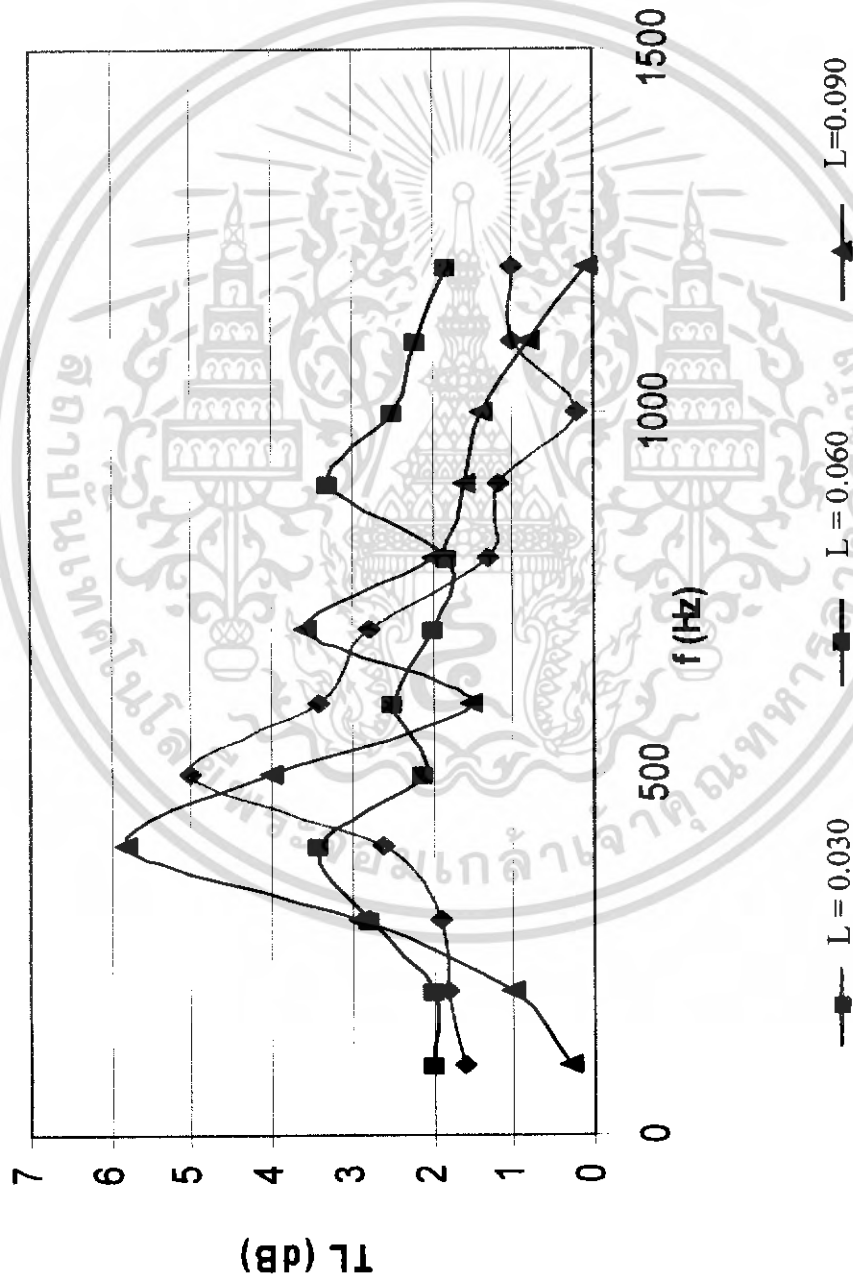
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.01 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$ $\theta = 0$



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 0$

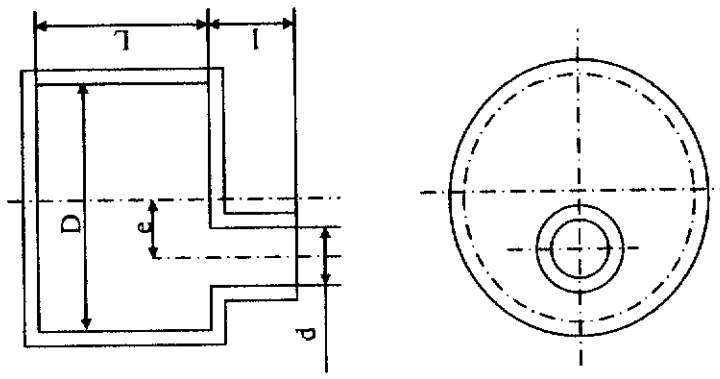
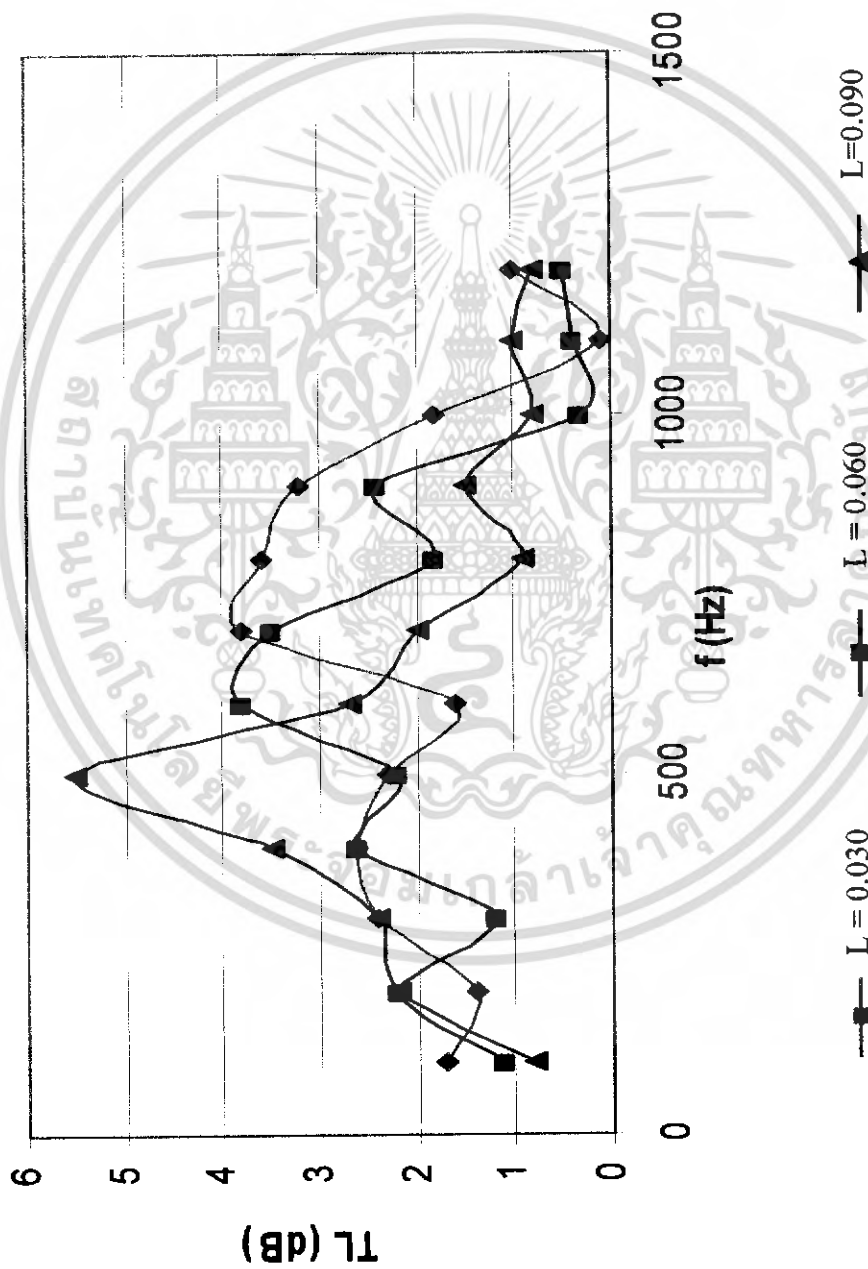


รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

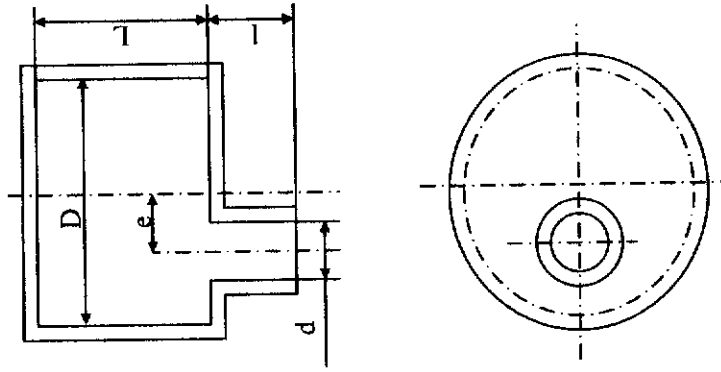
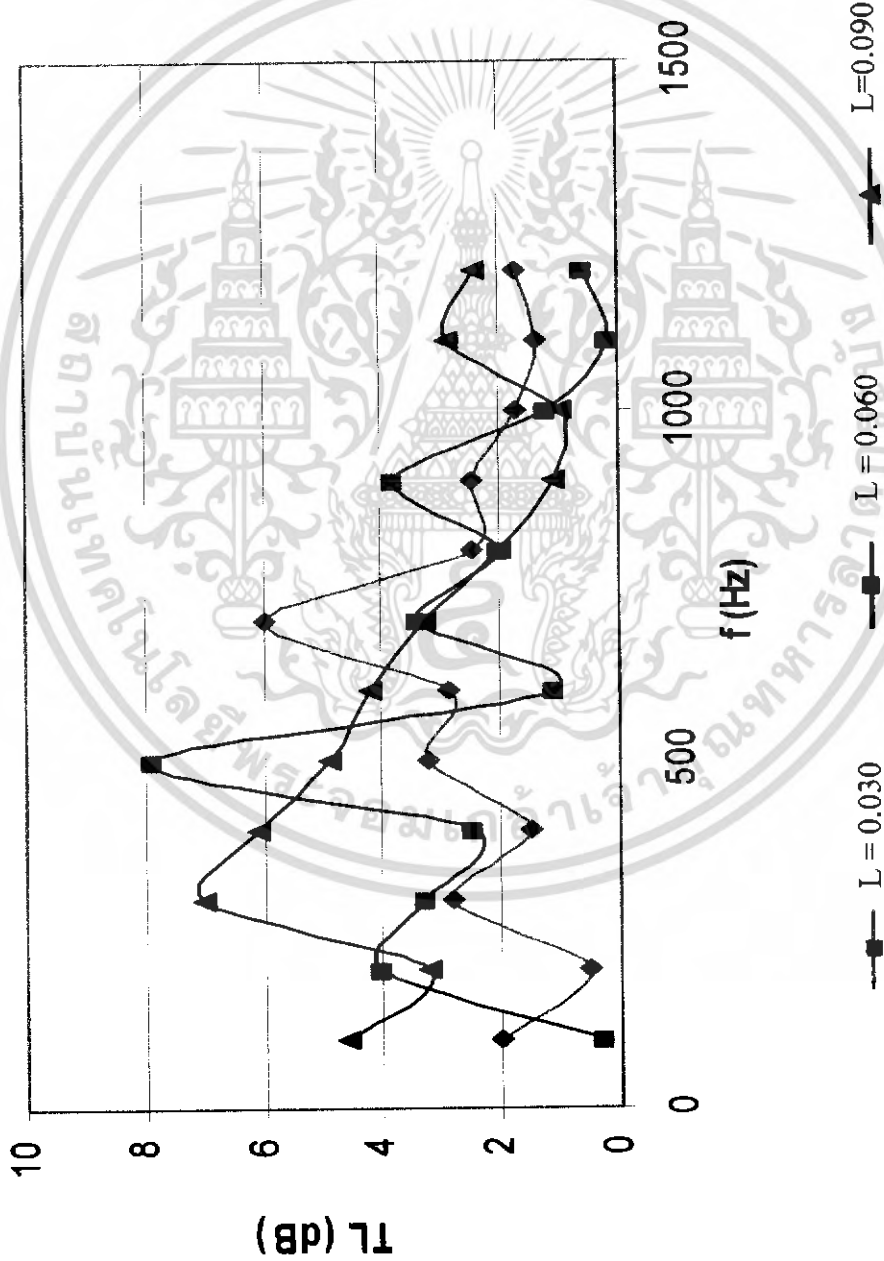
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.020 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 0$



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเบื้องต้น Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

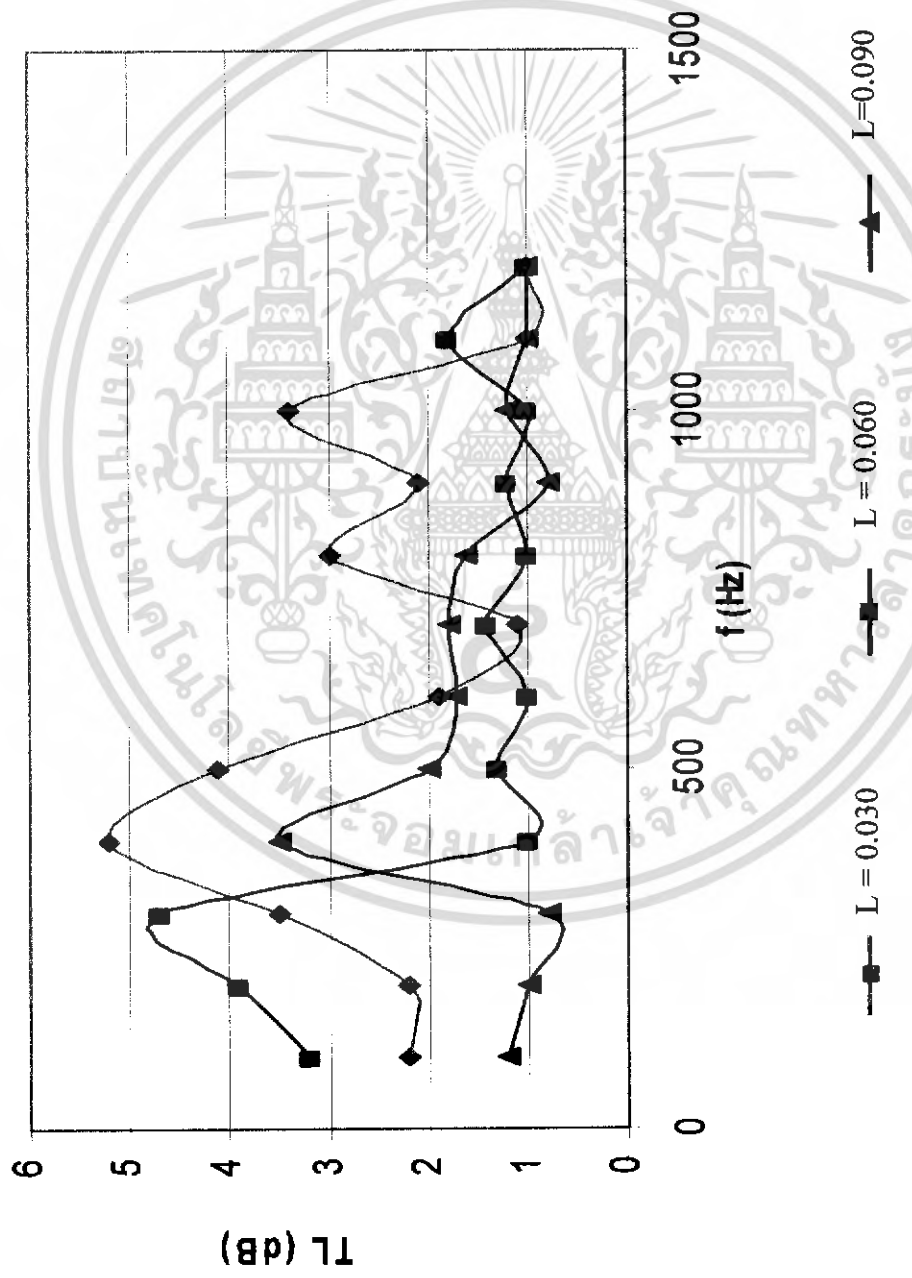
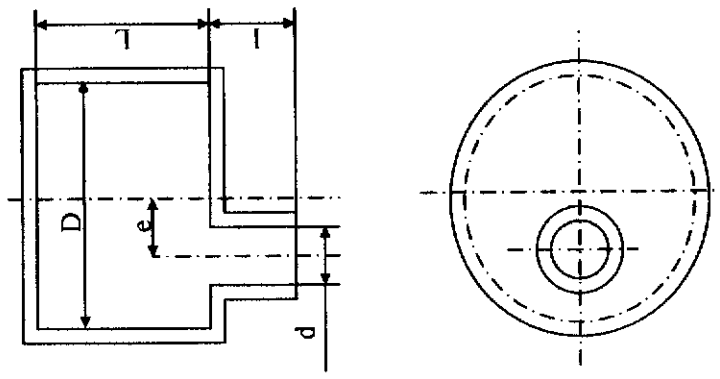
$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 0$



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชื่อมศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

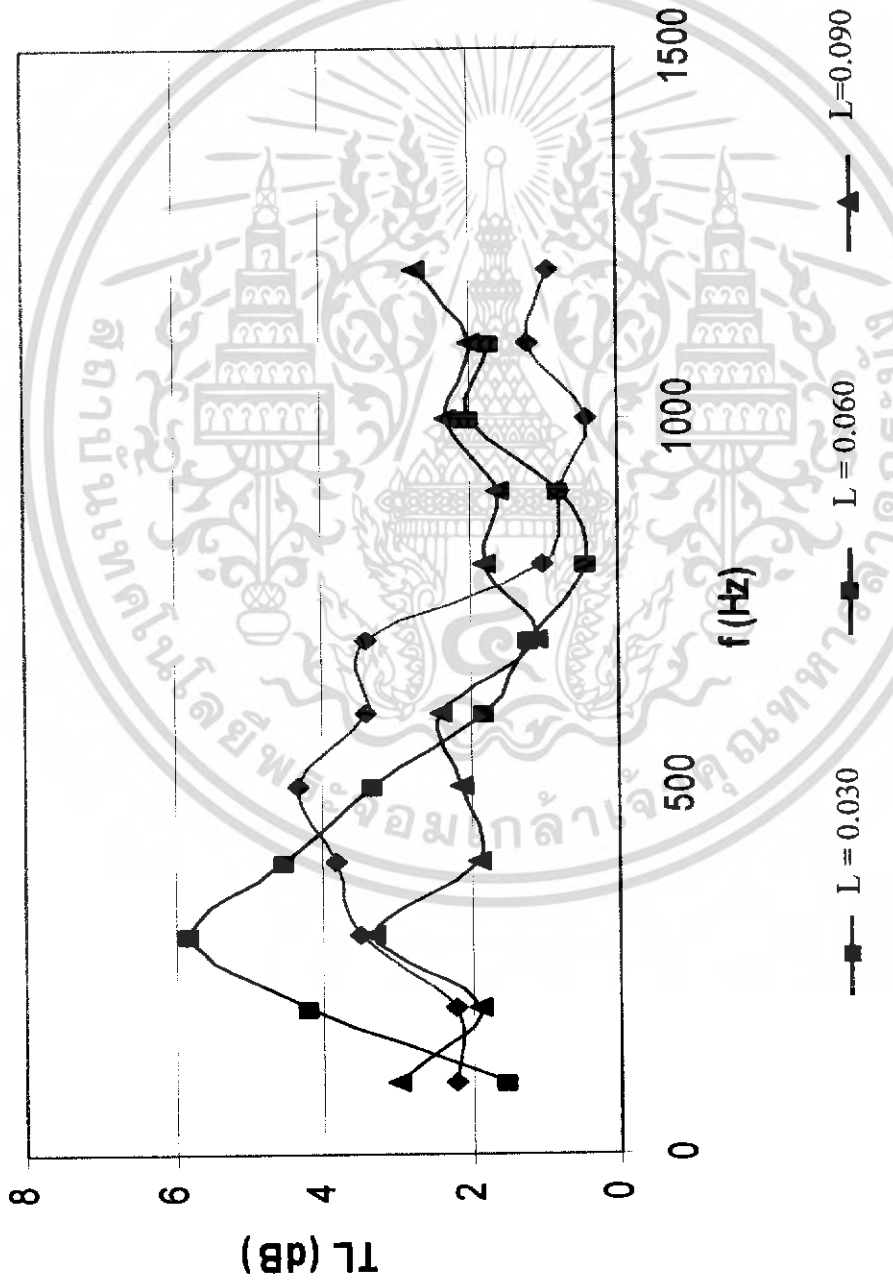
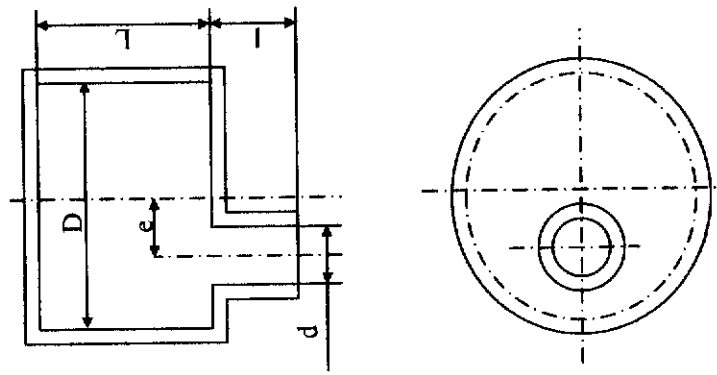
$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 0$



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

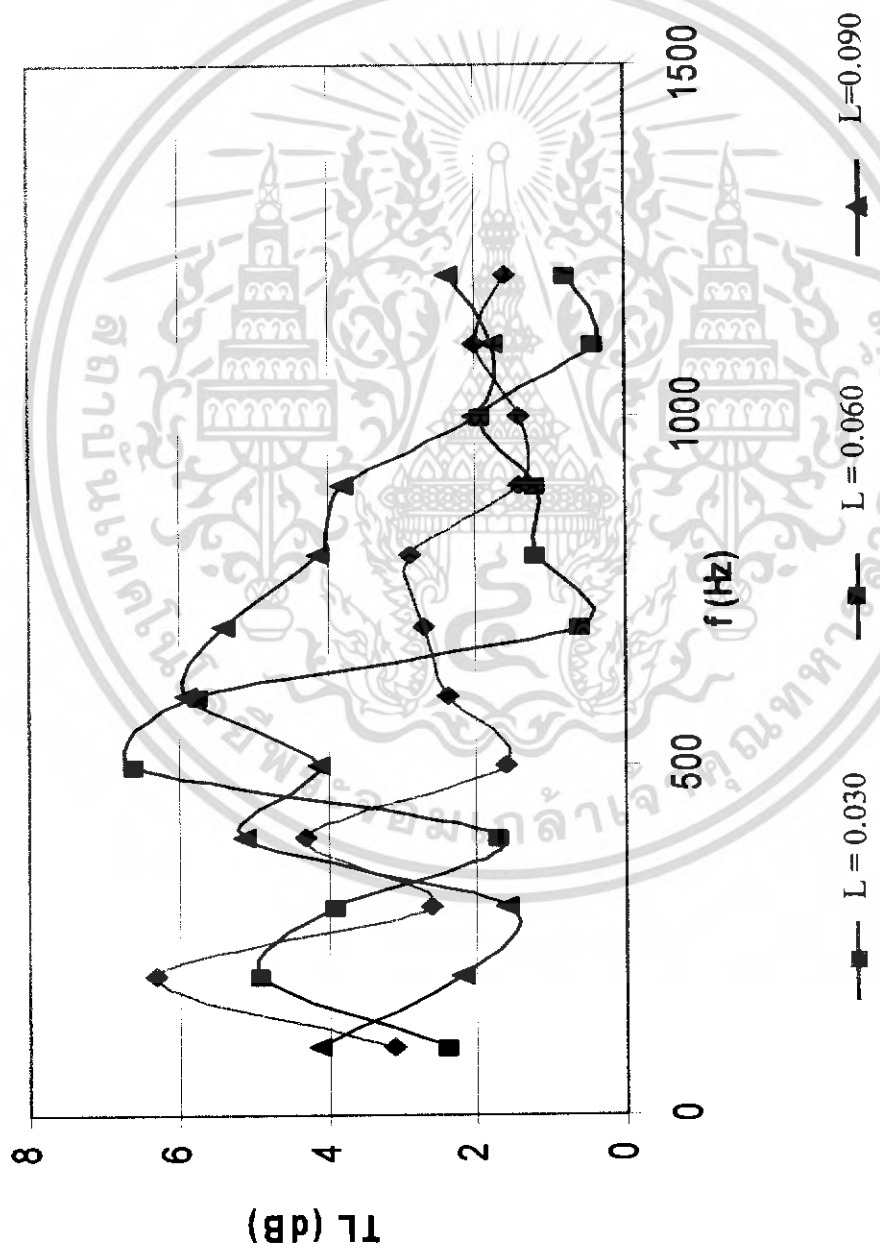
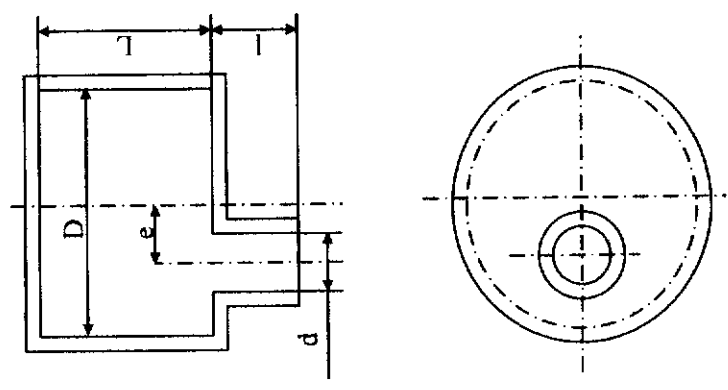
$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.020 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 0$



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

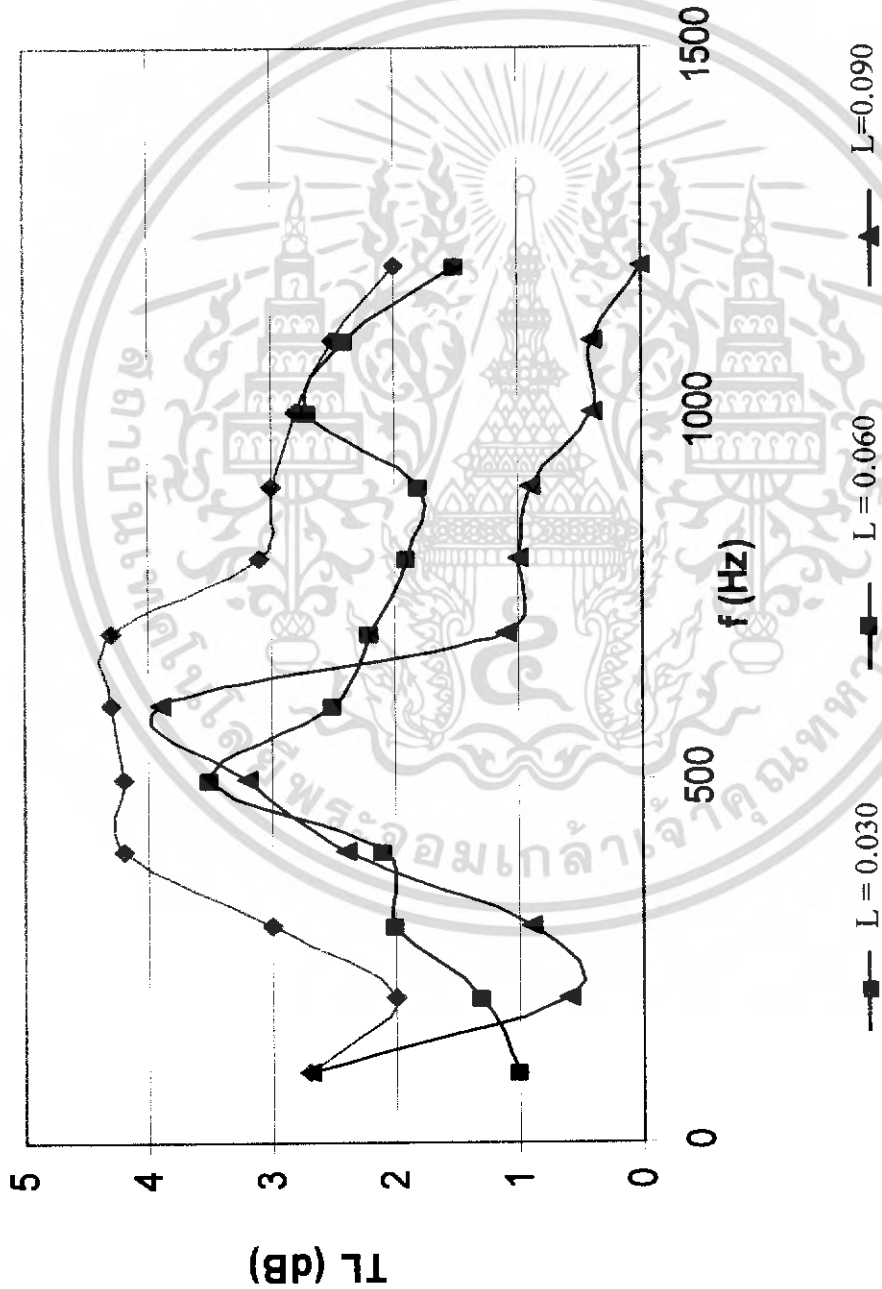
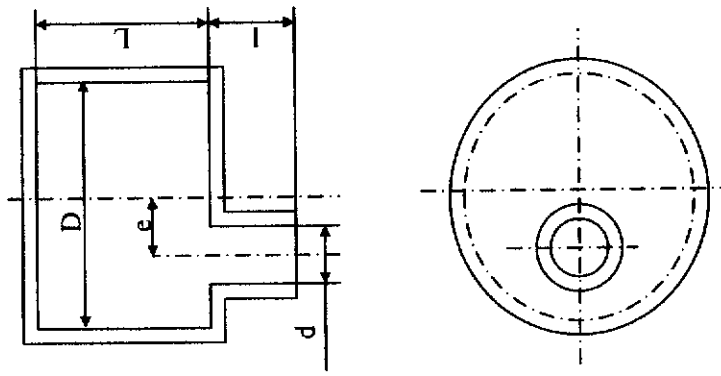
$D = 0.149 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 0$



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

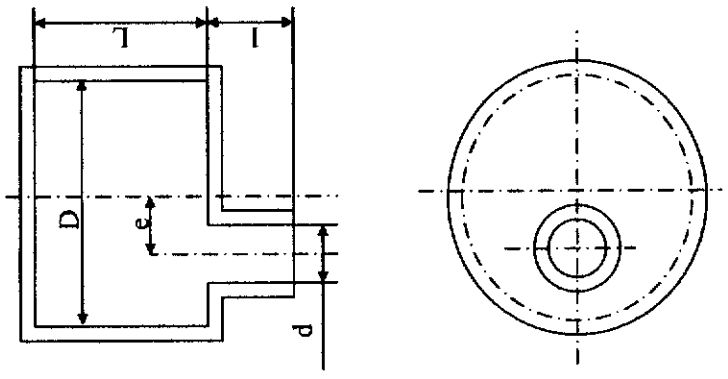
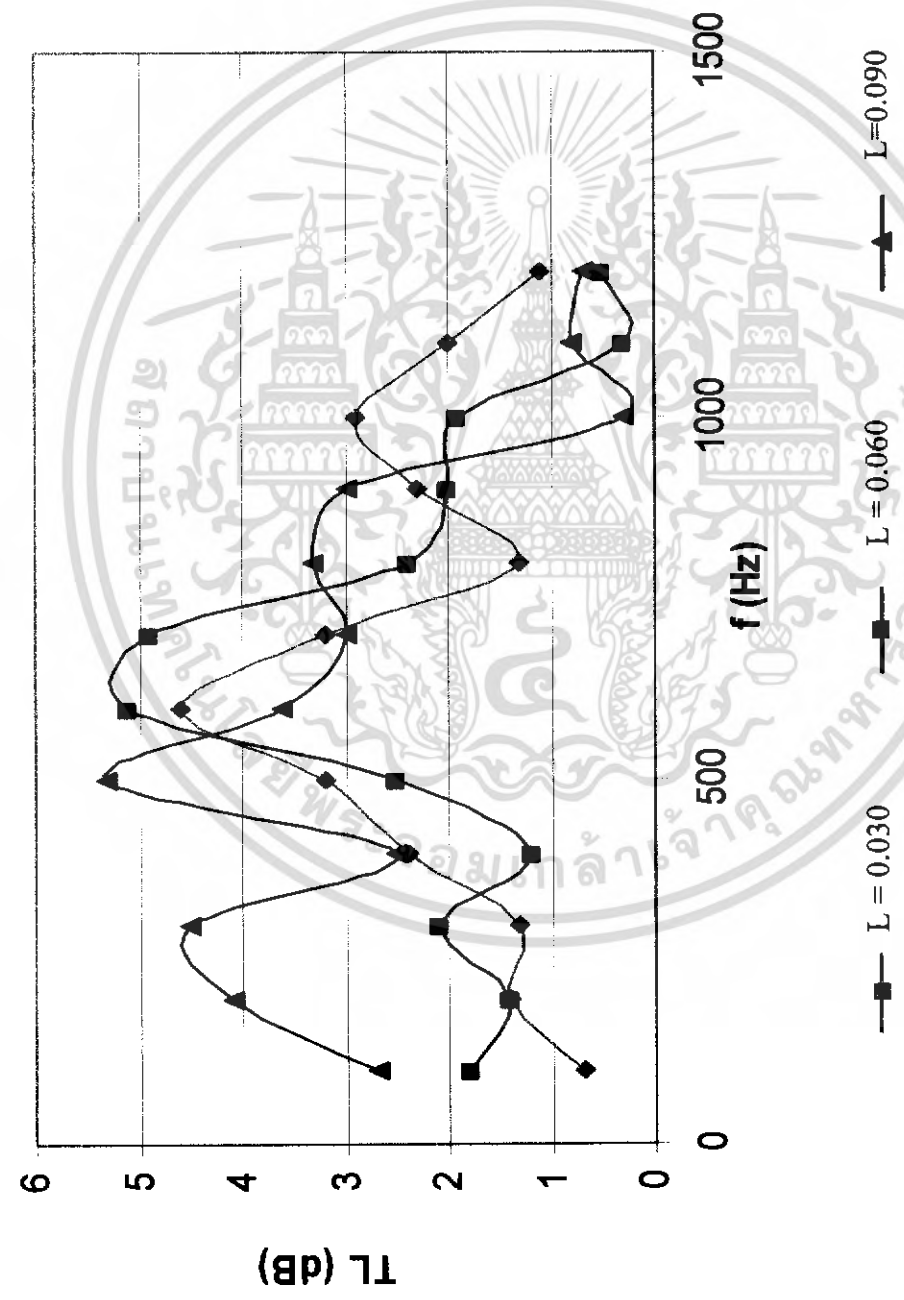
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.010 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 90$



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเบื้องต้น Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

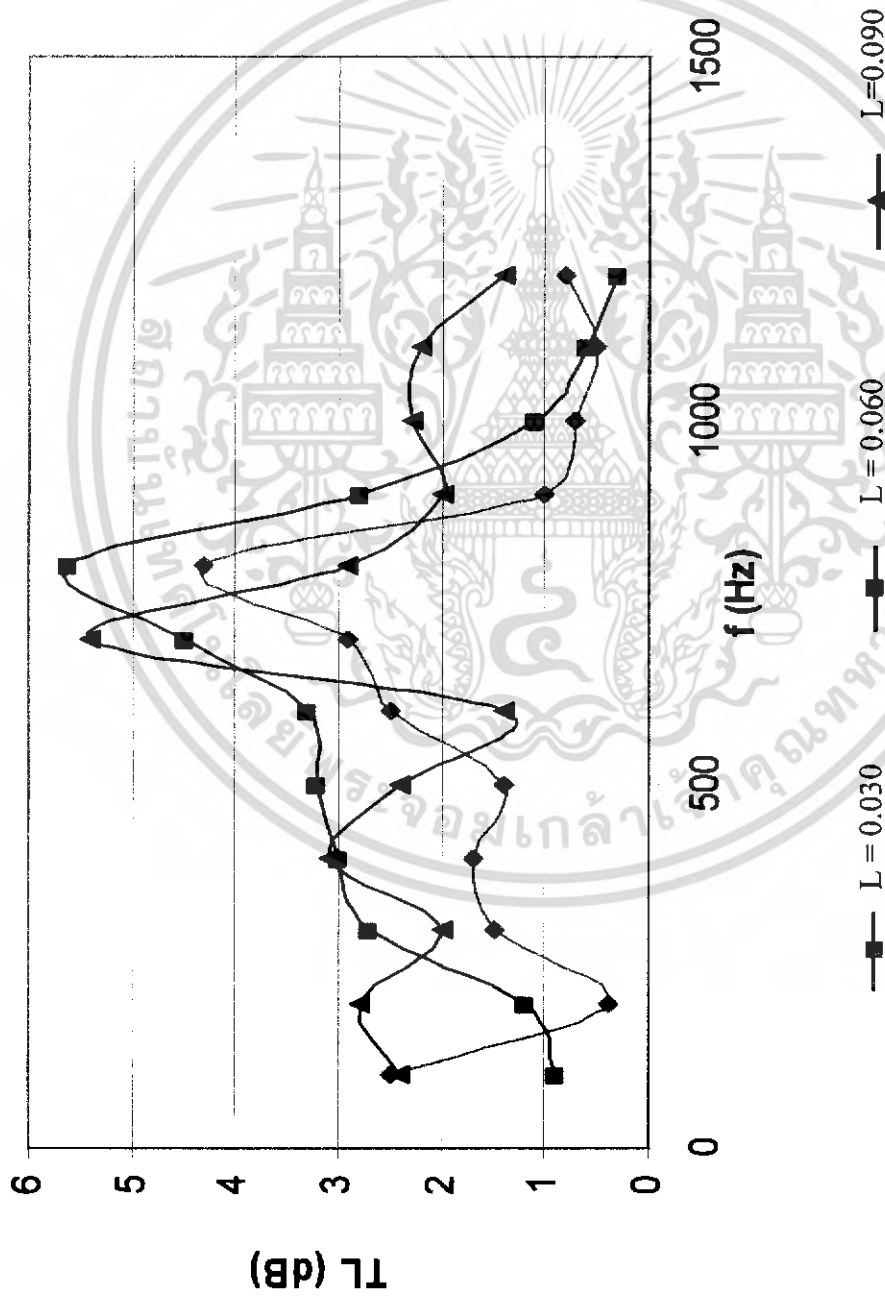
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.020 \text{ m}$, $e = 0.010 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 90$



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

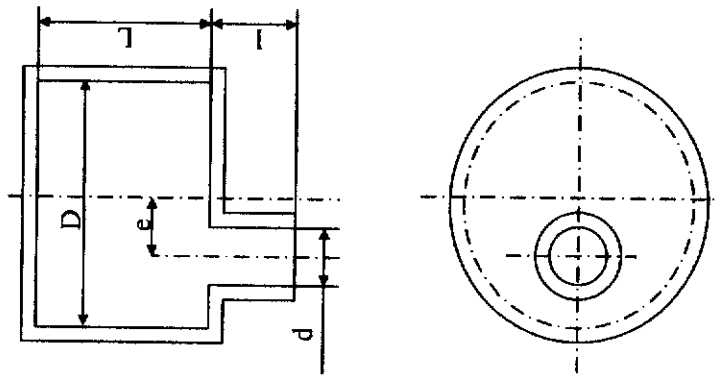
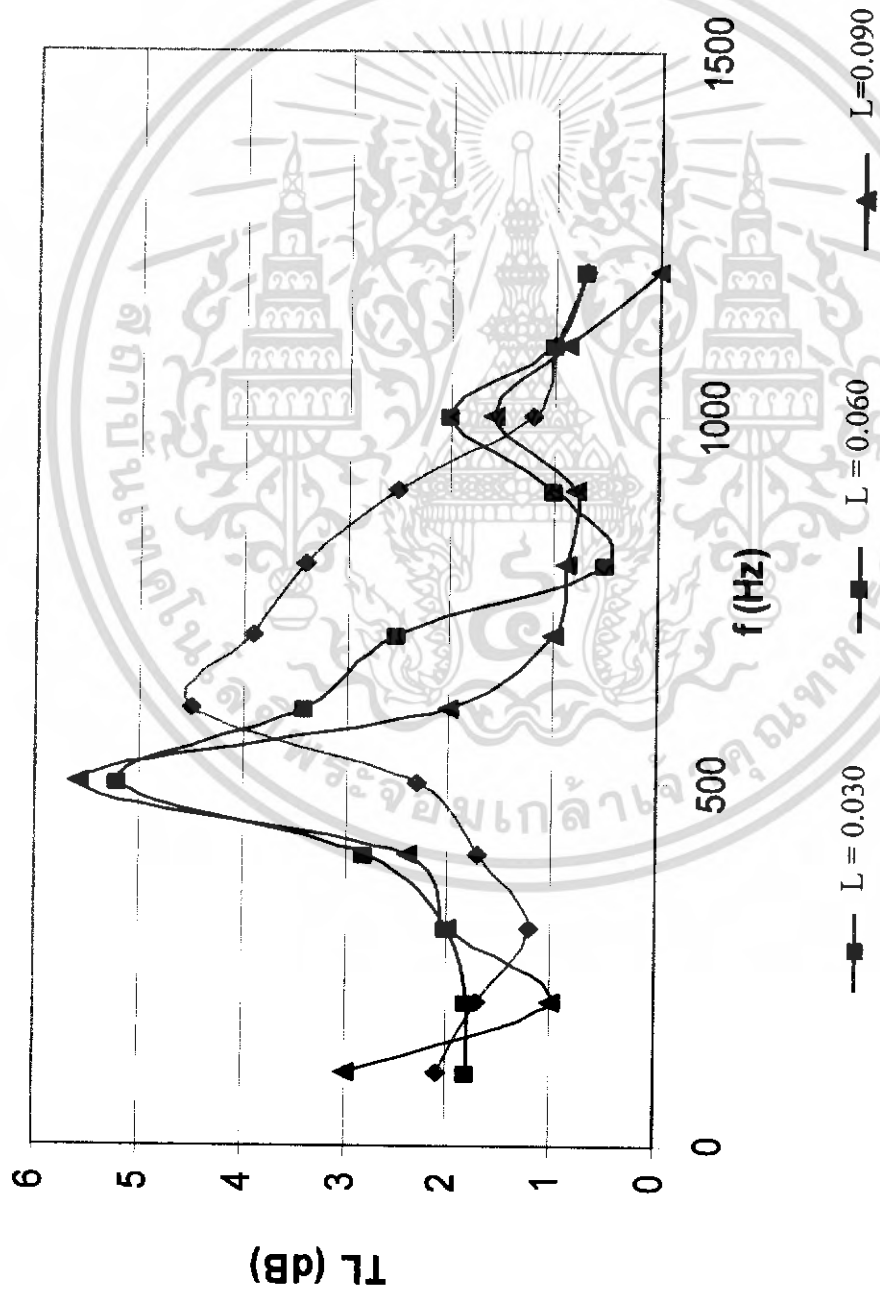
$D = 0.0967 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.010 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 90$



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชื่อมศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

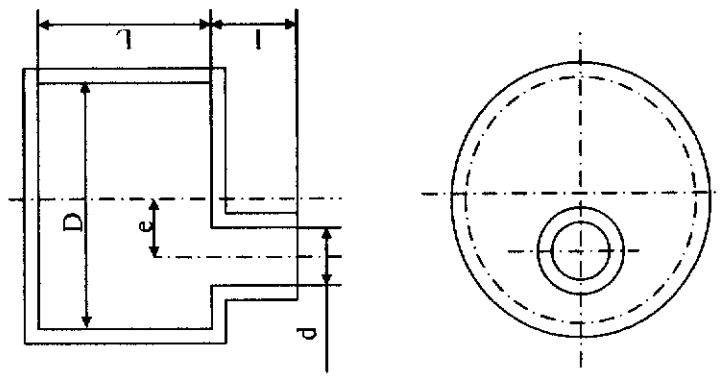
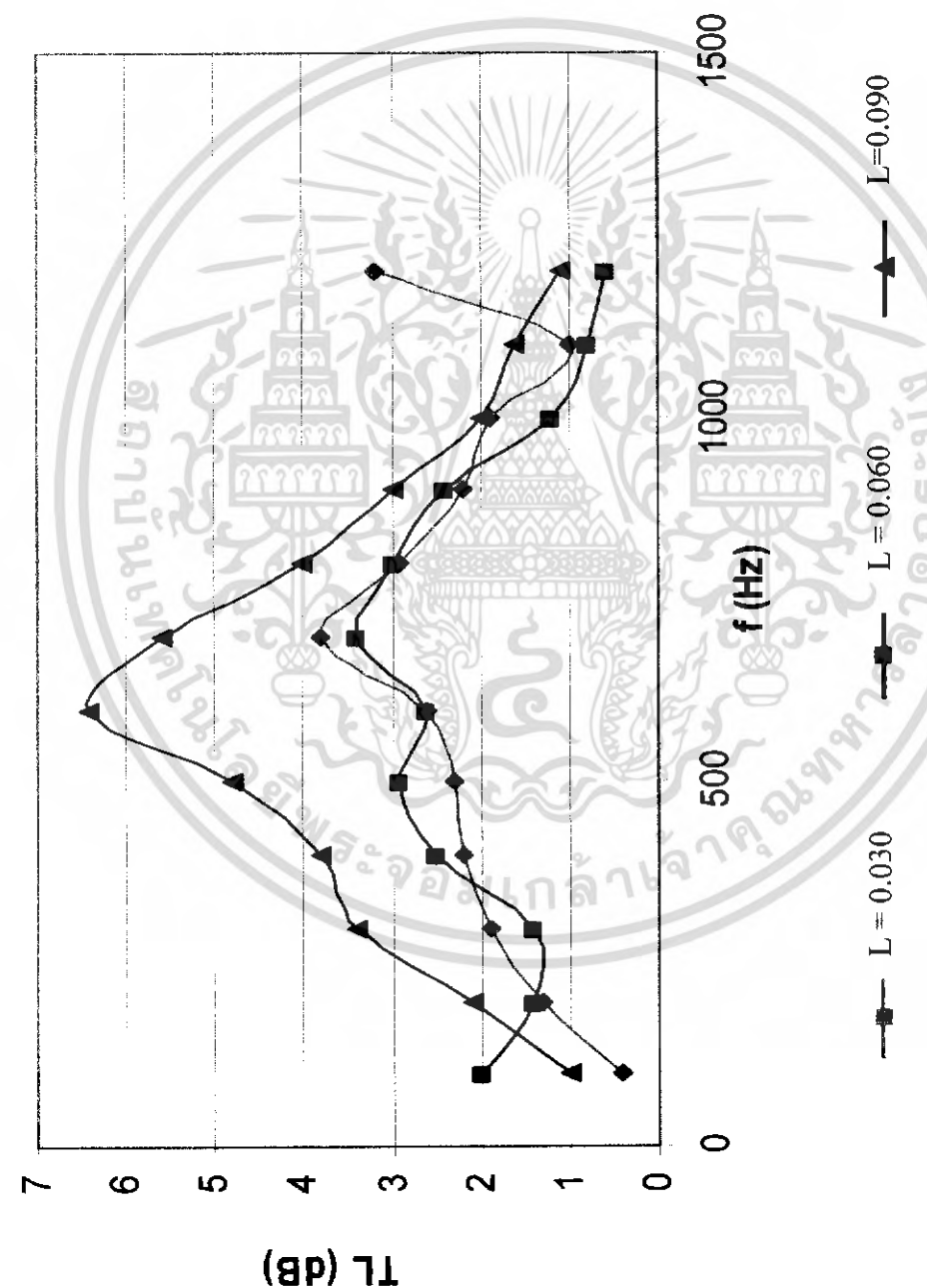
$D = 0.1490 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 90$



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz - Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

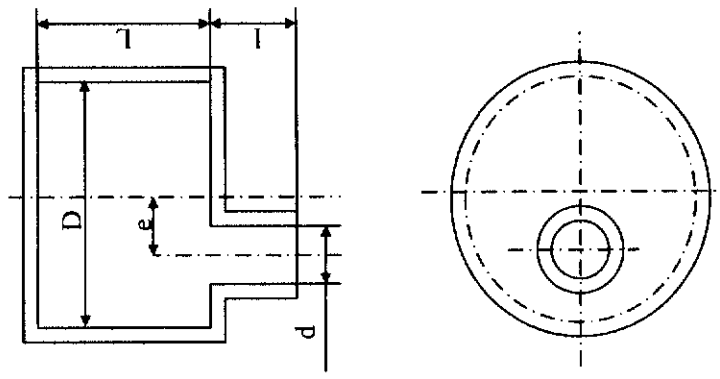
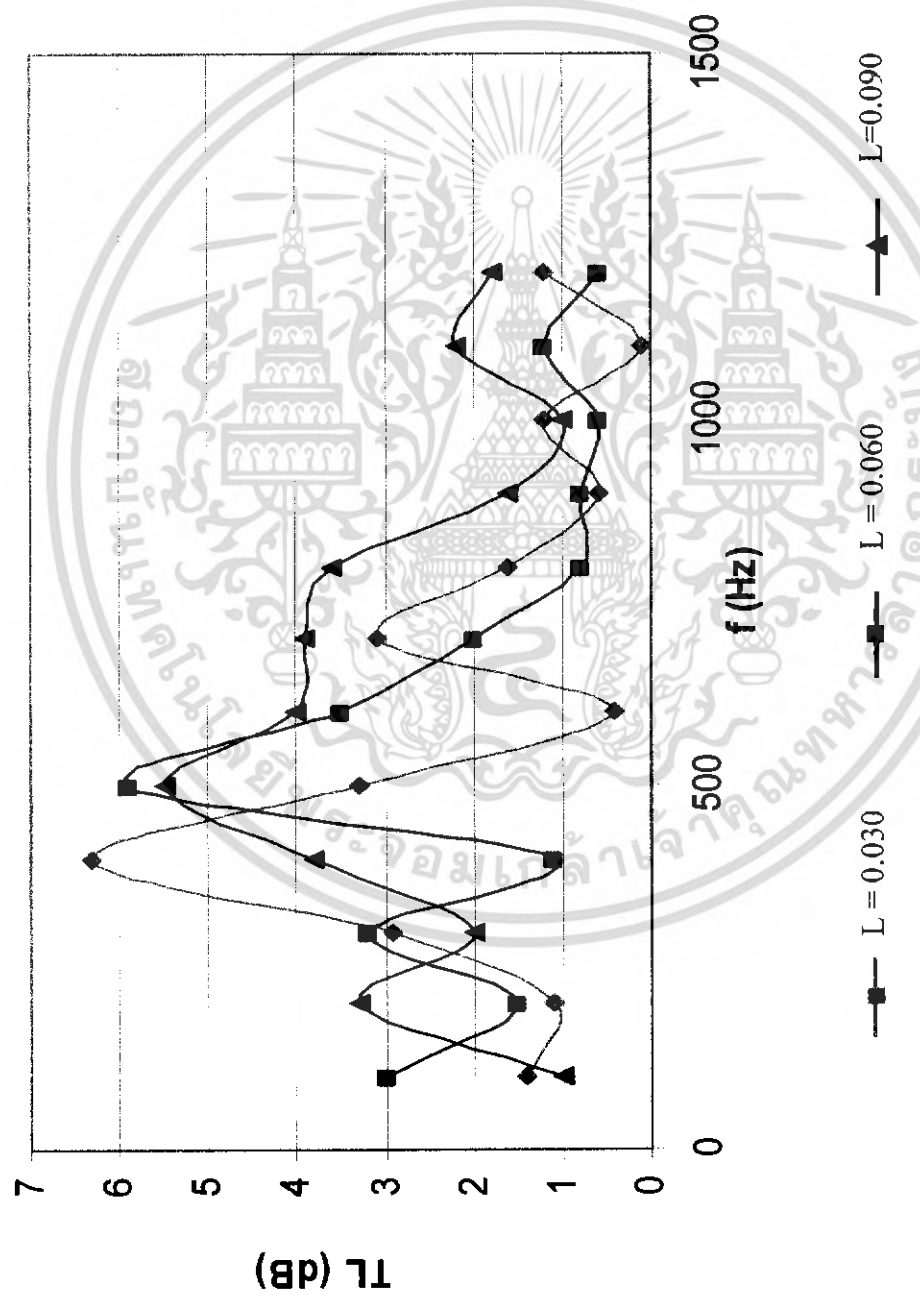
$D = 0.1490$ m, $l = 0.020$ m, $e = 0.015$ m, $L = 0.03, 0.06, 0.09$ m, $\theta = 90$



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz -- Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

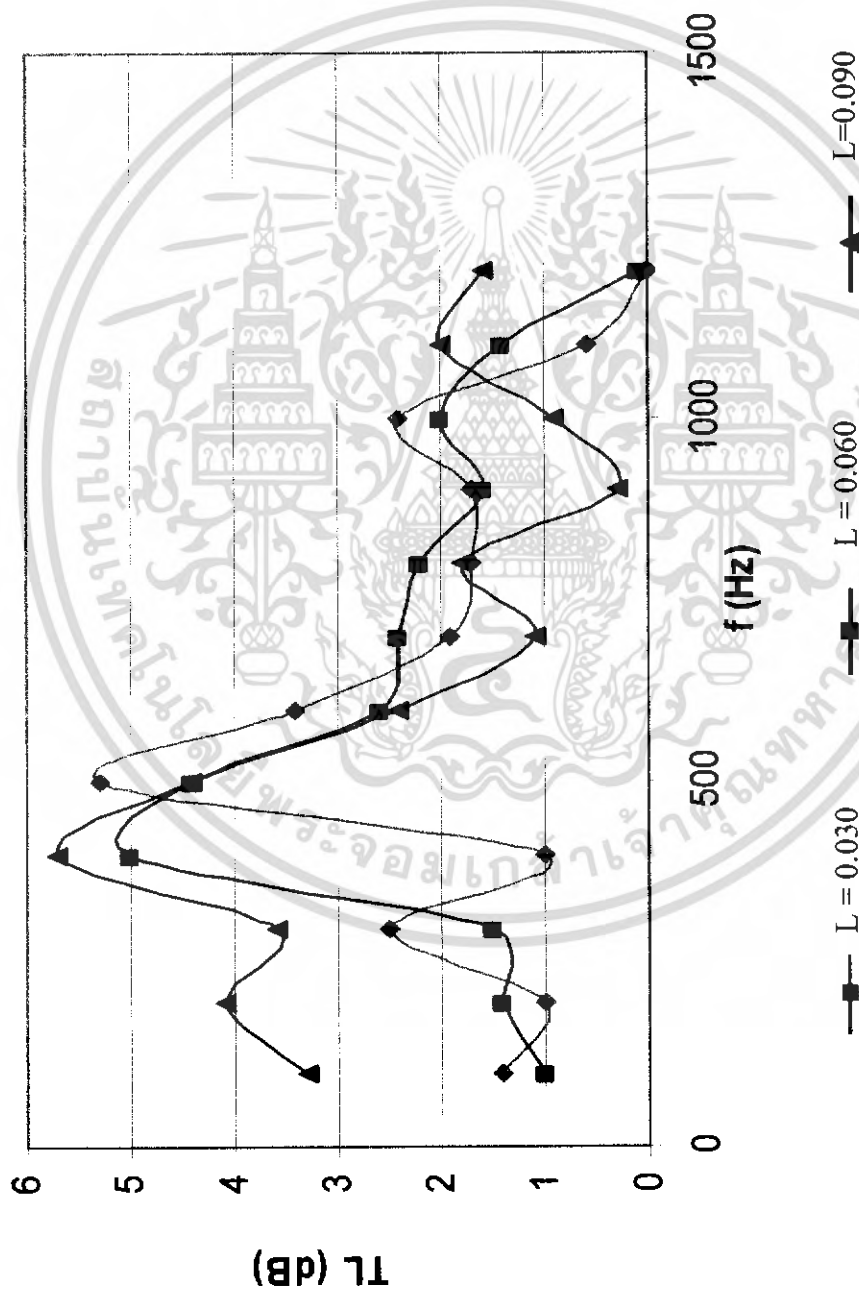
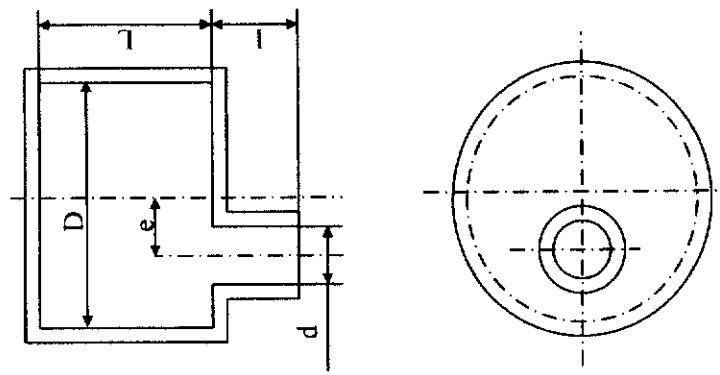
$D = 0.1490 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.015 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 90$



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

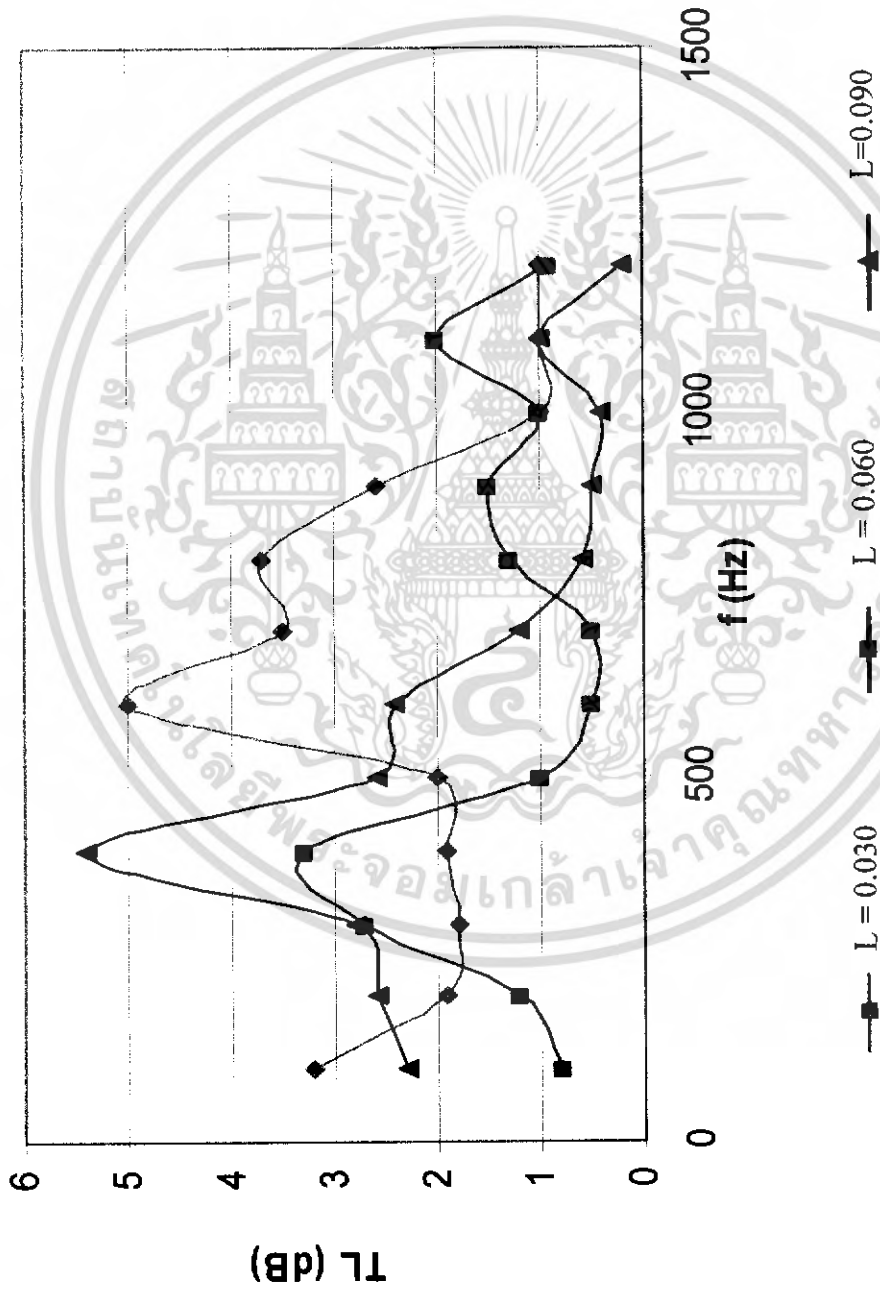
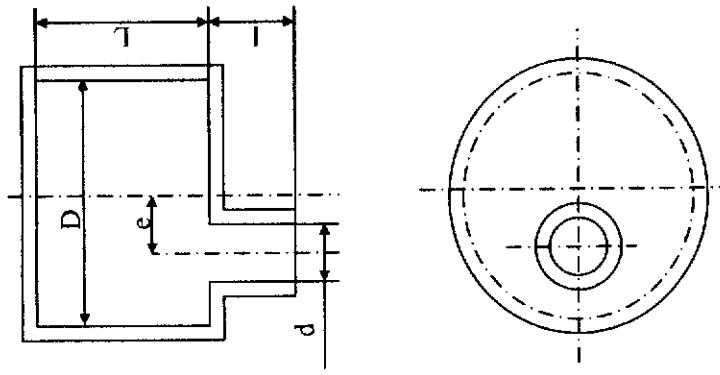
$D = 0.1490 \text{ m}$, $l = 0.015 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03, 0.06, 0.09 \text{ m}$, $\theta = 90$



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบจำลอง Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

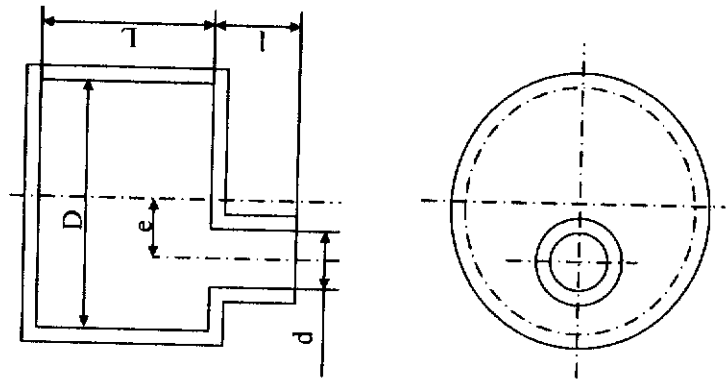
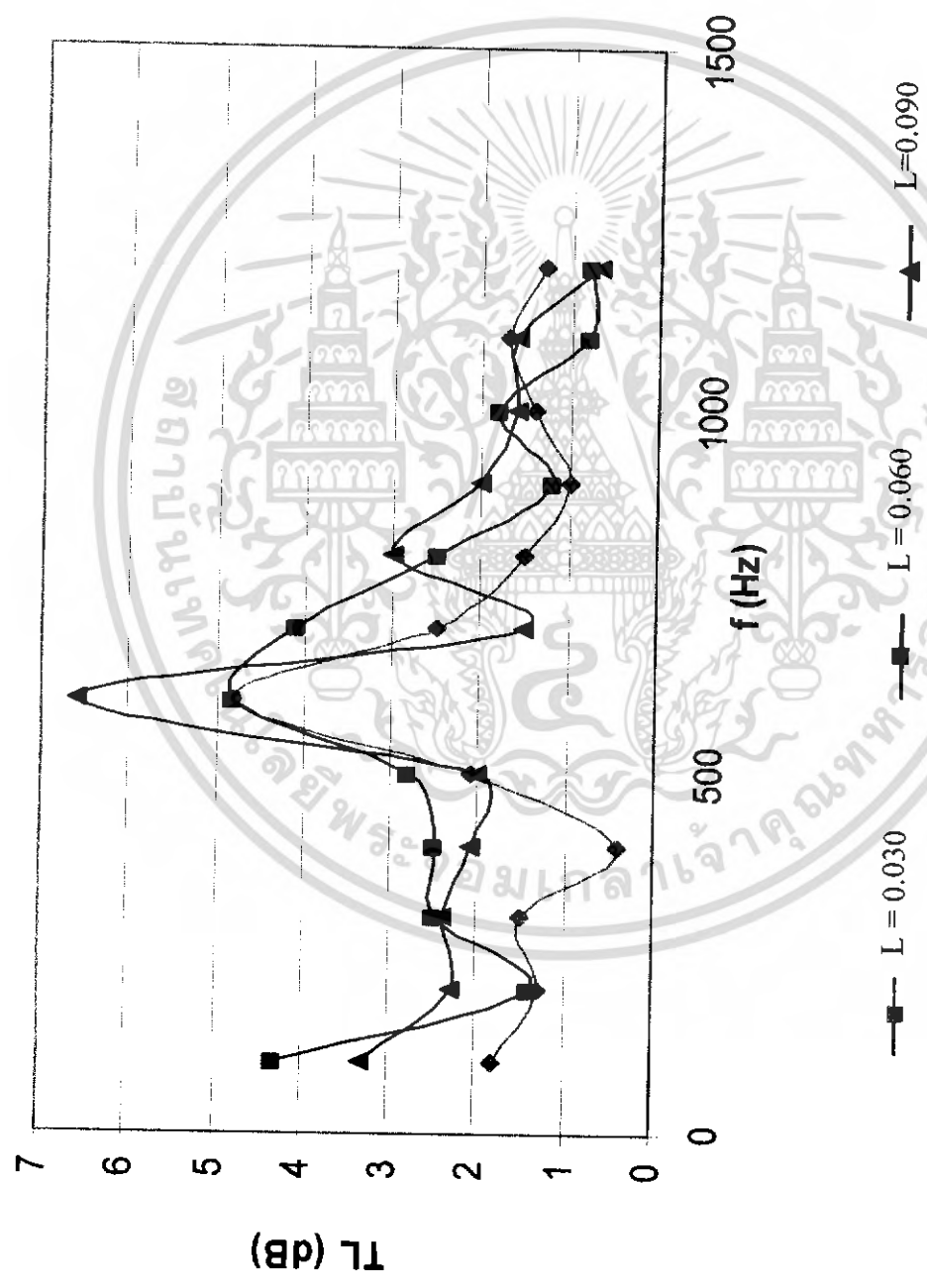
$D = 0.1490 \text{ m}$, $l = 0.020 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 90$



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเบื้องต้น Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

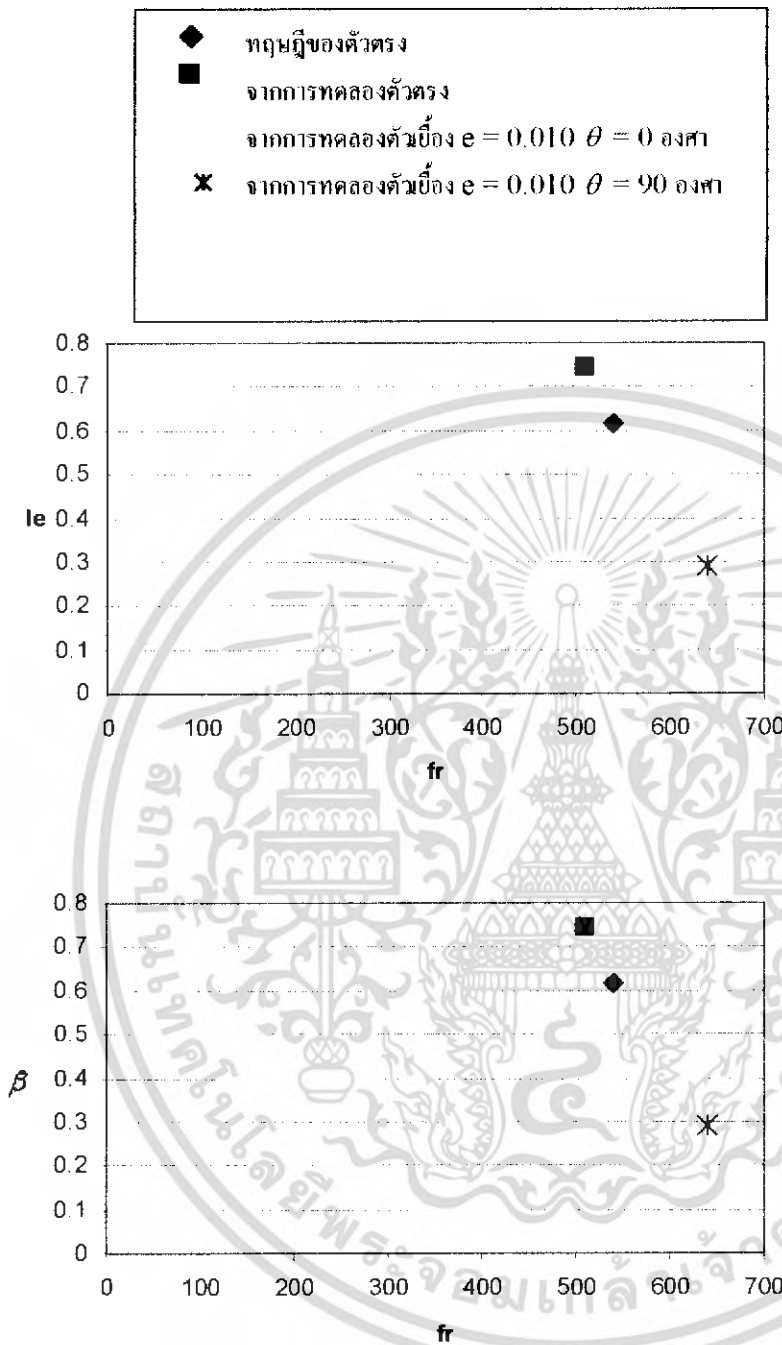
$D = 0.1490 \text{ m}$, $l = 0.030 \text{ m}$, $e = 0.030 \text{ m}$, $L = 0.03$, 0.06 , 0.09 m , $\theta = 90$



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงผลการทดลองของแบบเชิงศูนย์ Helmholtz – Resonator (Transmission loss characteristics of circular duct) and Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D=0.0967$ m, $l=0.015$ m, $L=0.030$ m

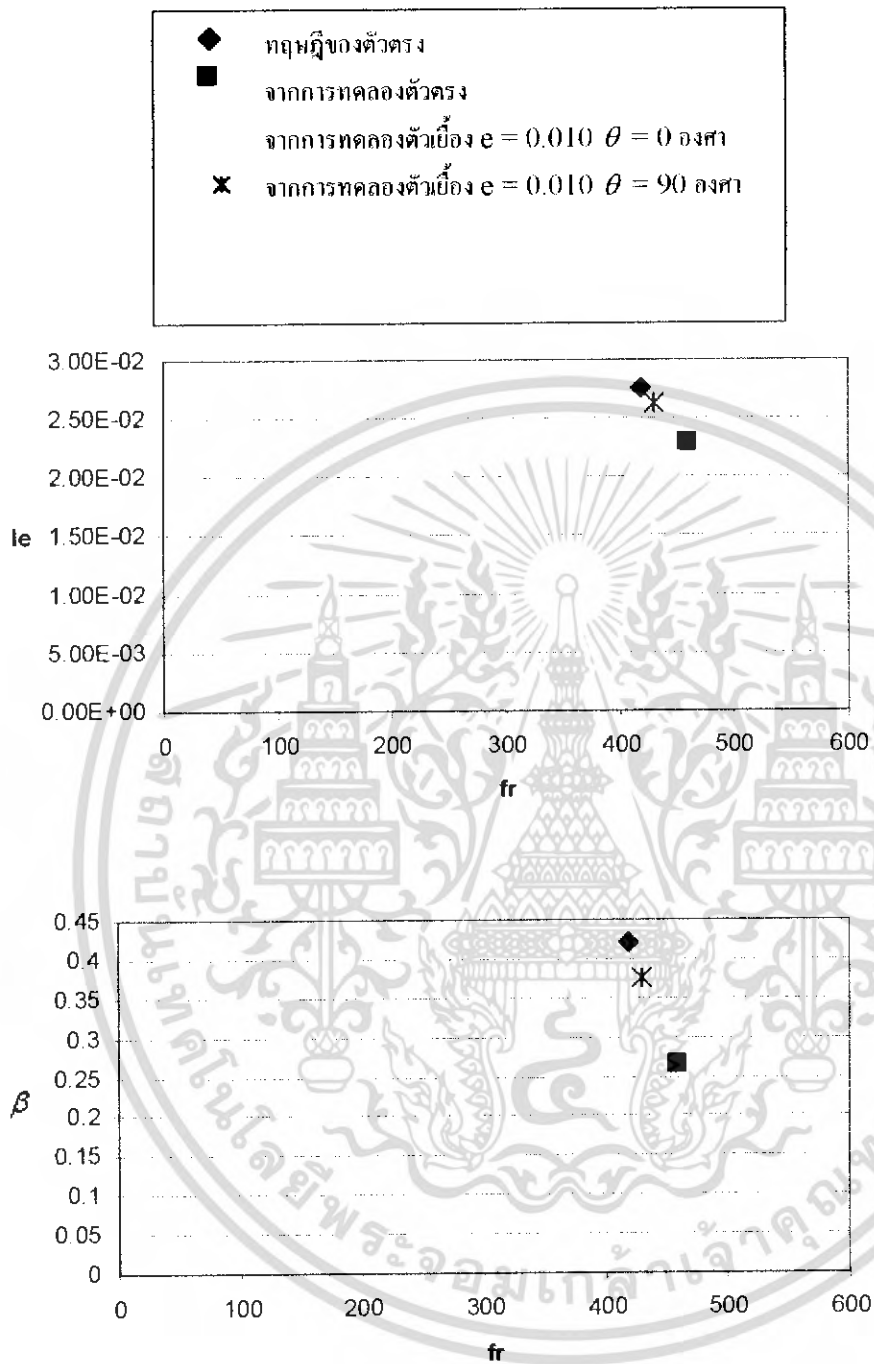


รูปที่ 5.25 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ

กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

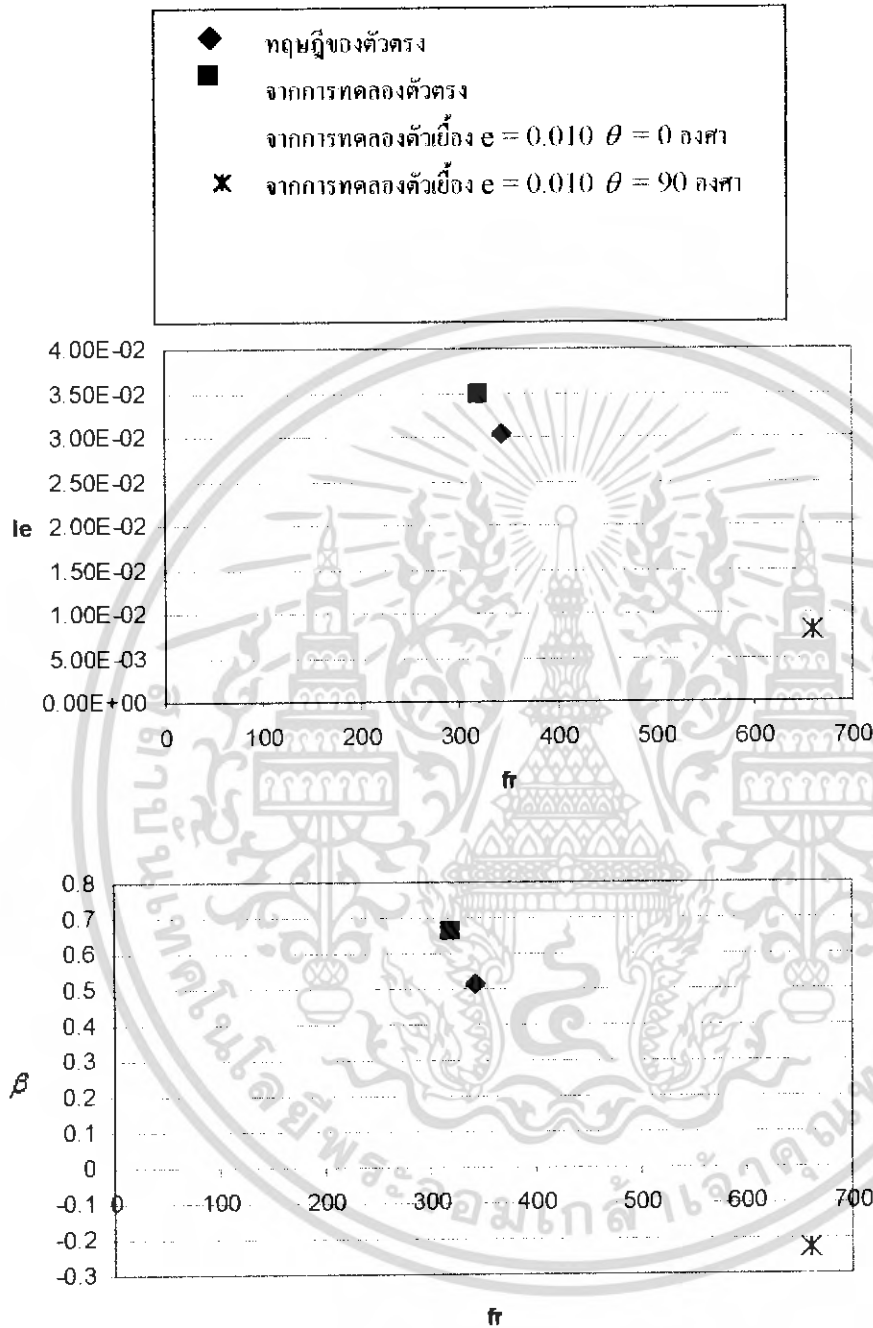
$D=0.0967$ m, $l=0.015$ m, $L=0.060$ m



รูปที่ 5.26 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D=0.0967$ m, $l=0.015$ m, $L=0.090$ m

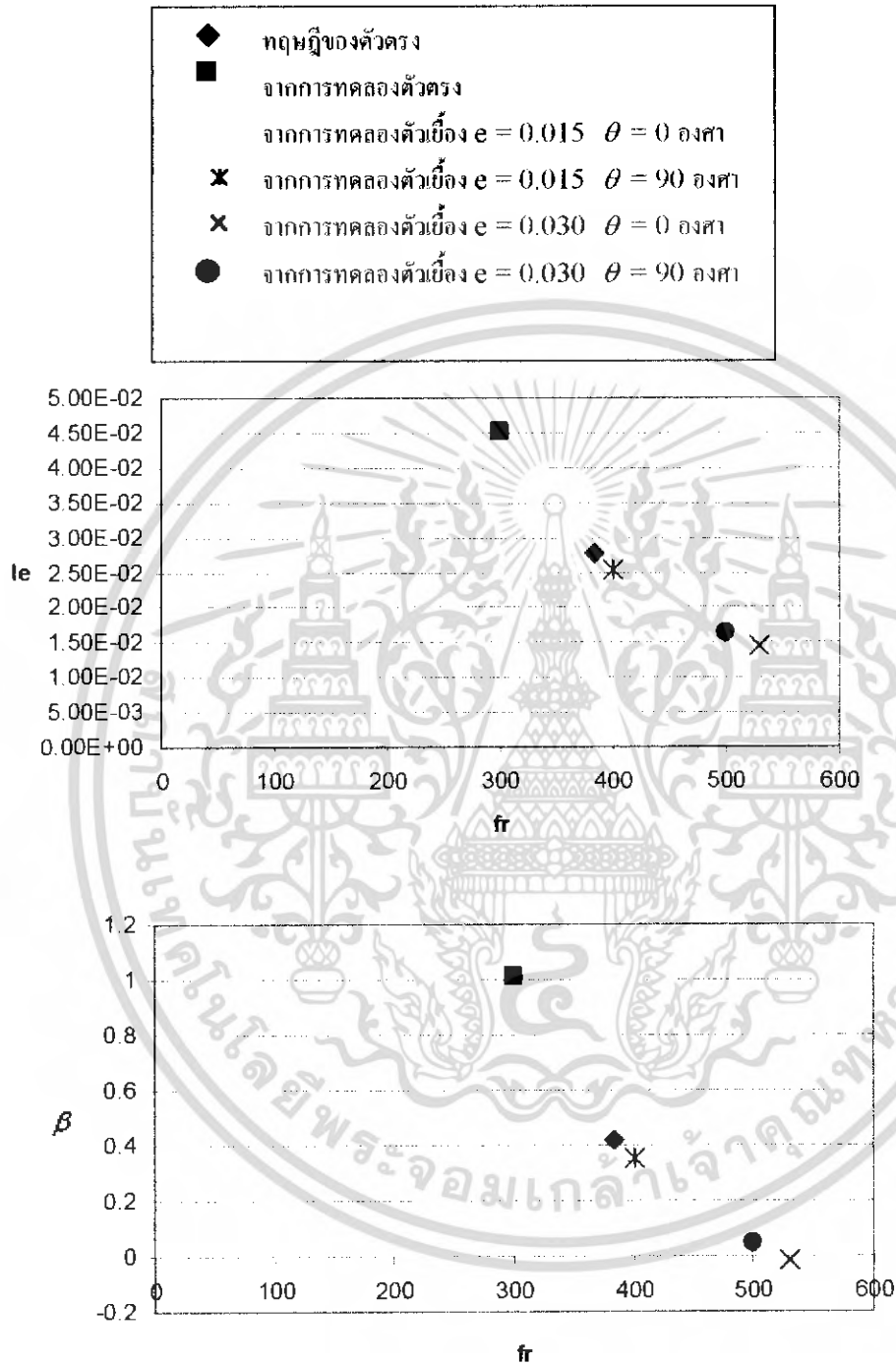


รูปที่ 5.27 กราฟ open - End coxction แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ

กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

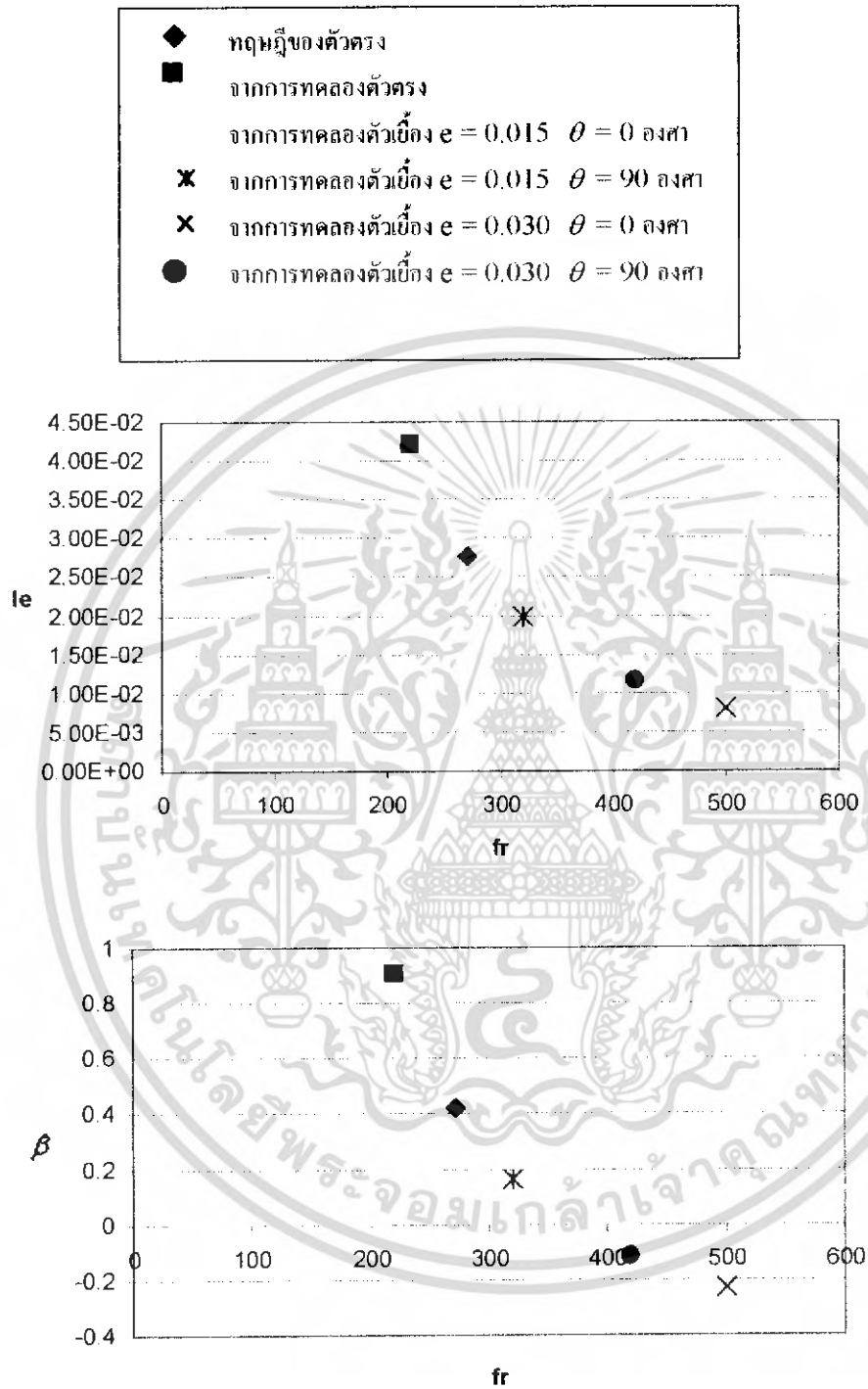
$D=0.0149$ m, $I=0.015$ m, $L=0.030$ m



รูปที่ 5.28 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
 กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

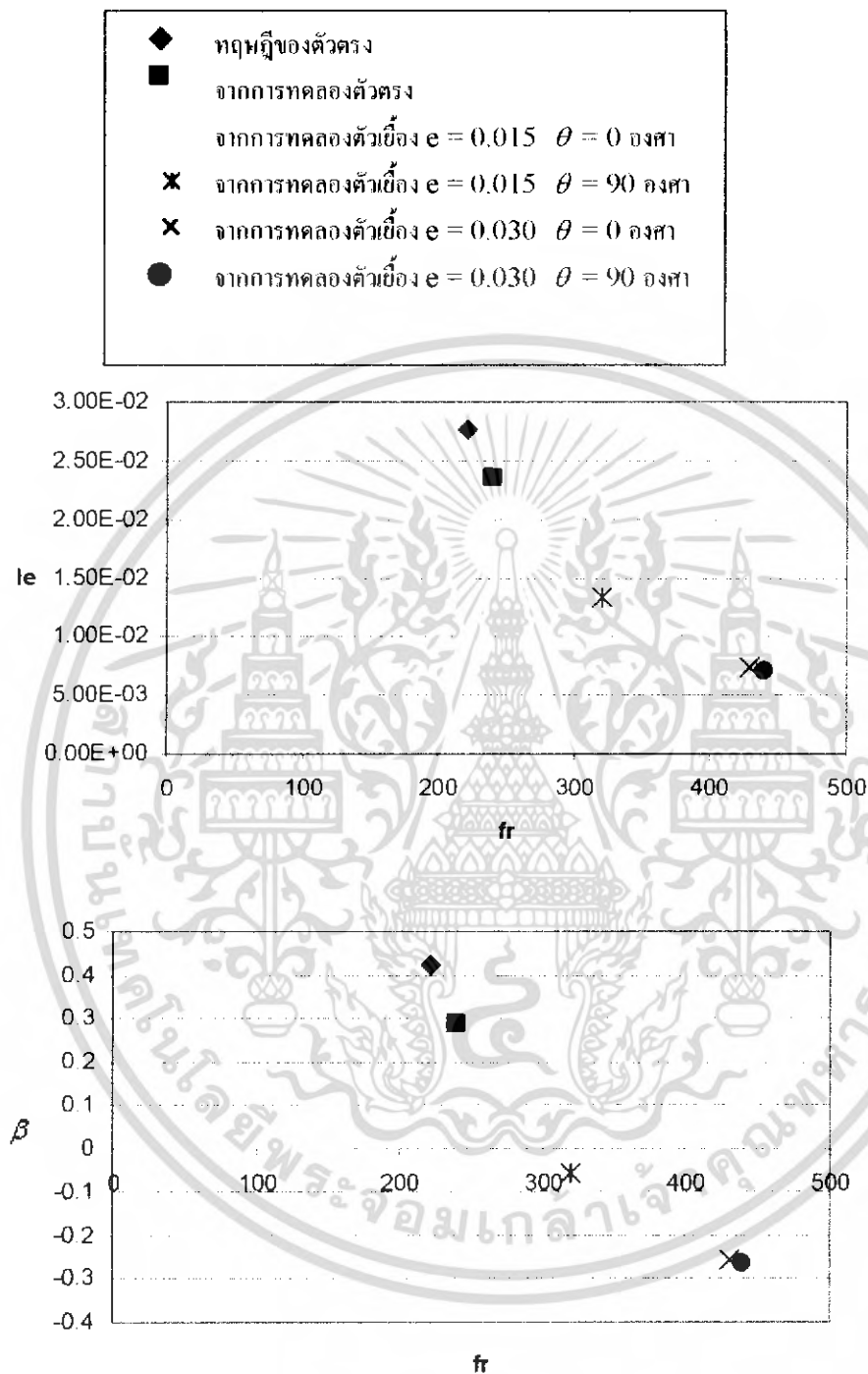
$D=0.0149$ m, $l=0.015$ m, $L=0.060$ m



รูปที่ 2.29 กราฟ open - End coeaction แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

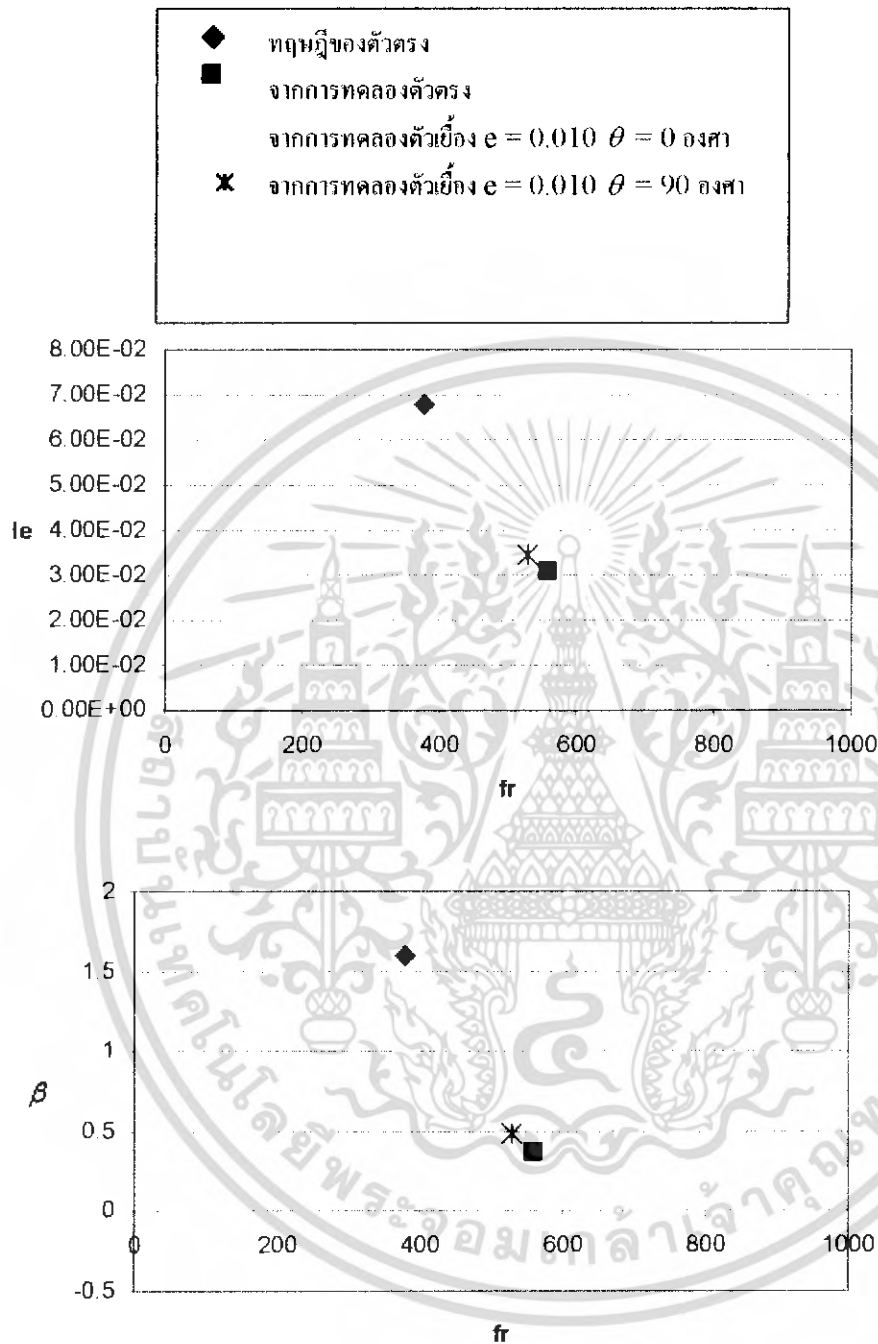
$D=0.0149$ m, $l=0.015$ m, $L=0.090$ m



รูปที่ 5.30 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

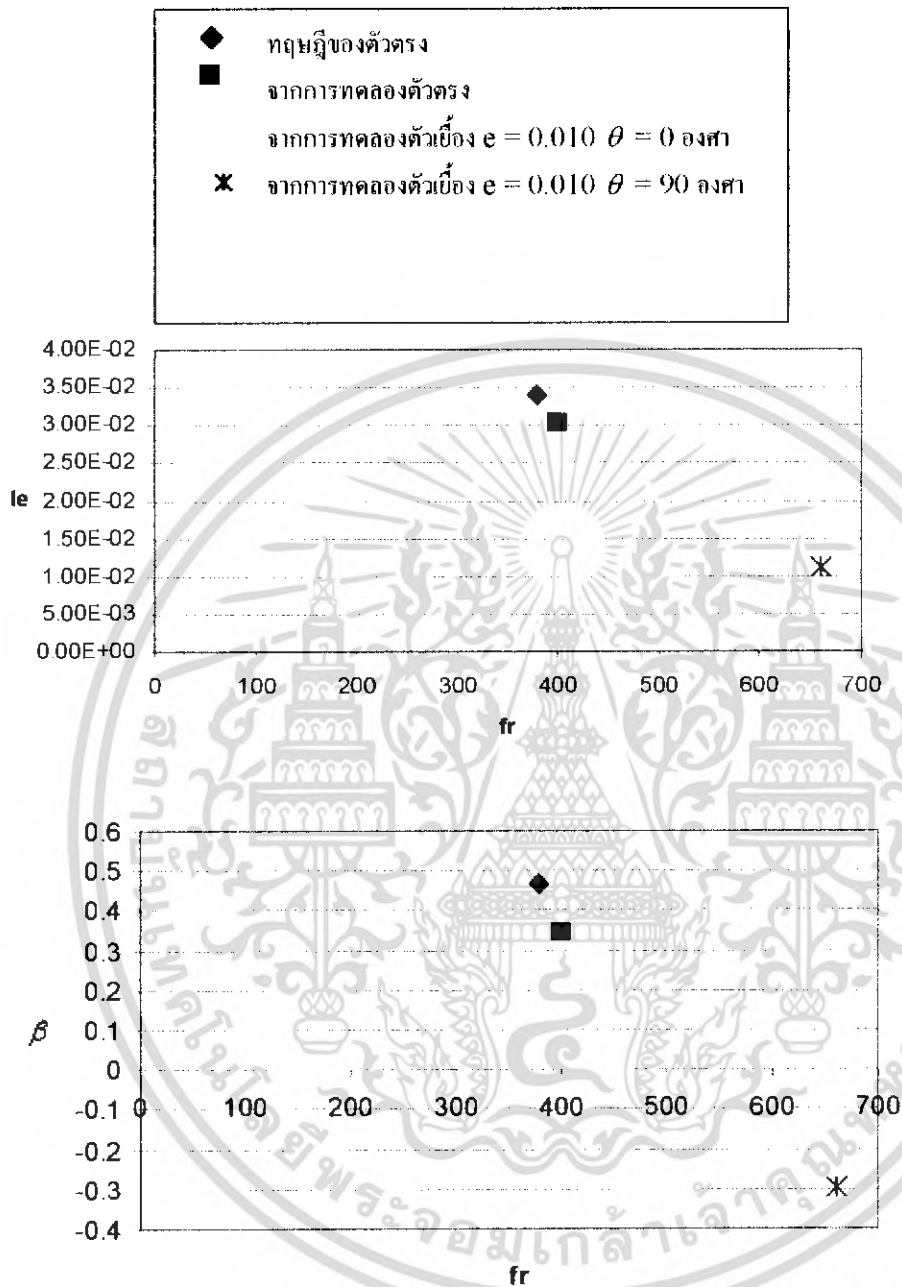
$D=0.0967$ m, $l=0.020$ m, $L=0.030$ m



รูปที่ 5.31 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

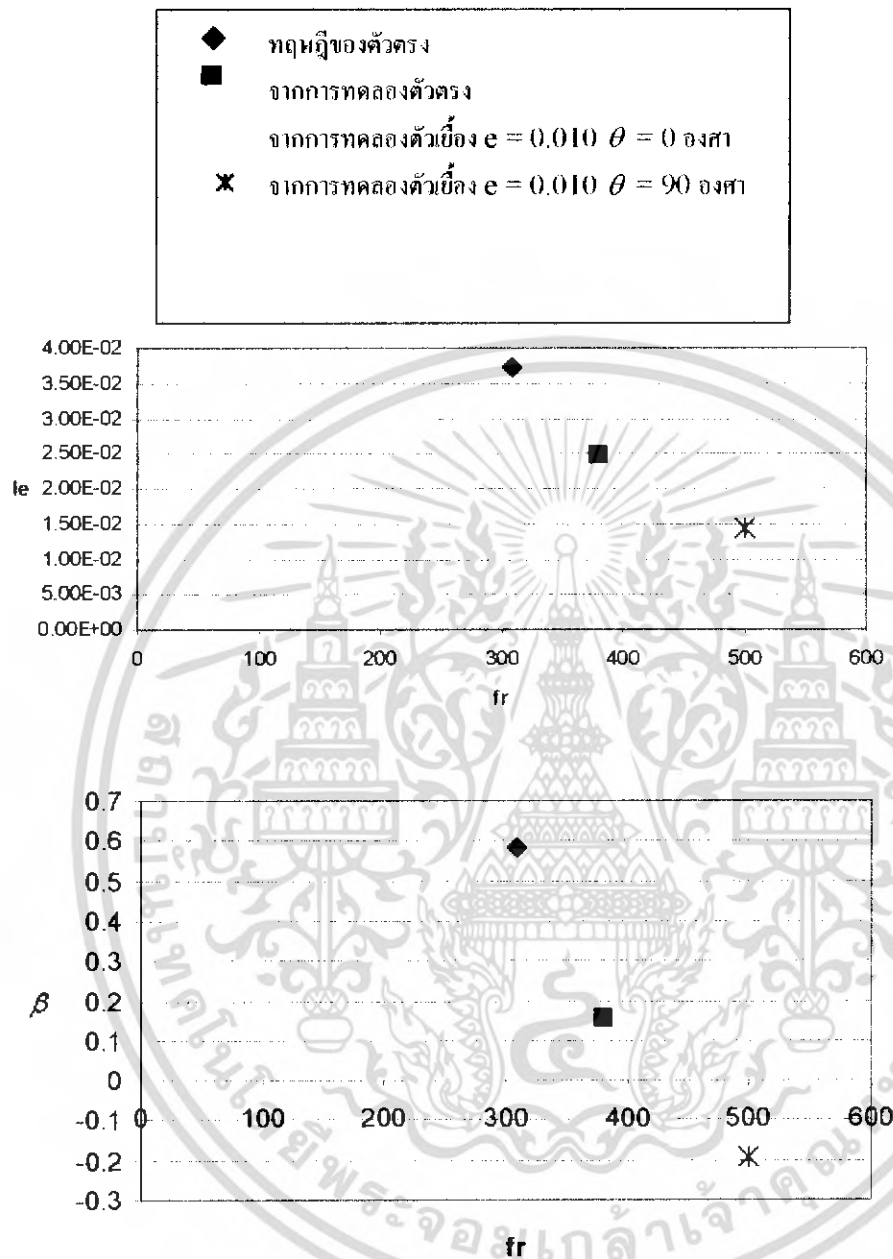
$D=0.0967$ m, $l=0.020$ m, $L=0.060$ m



รูปที่ 5.32 กราฟ open - End coexction แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

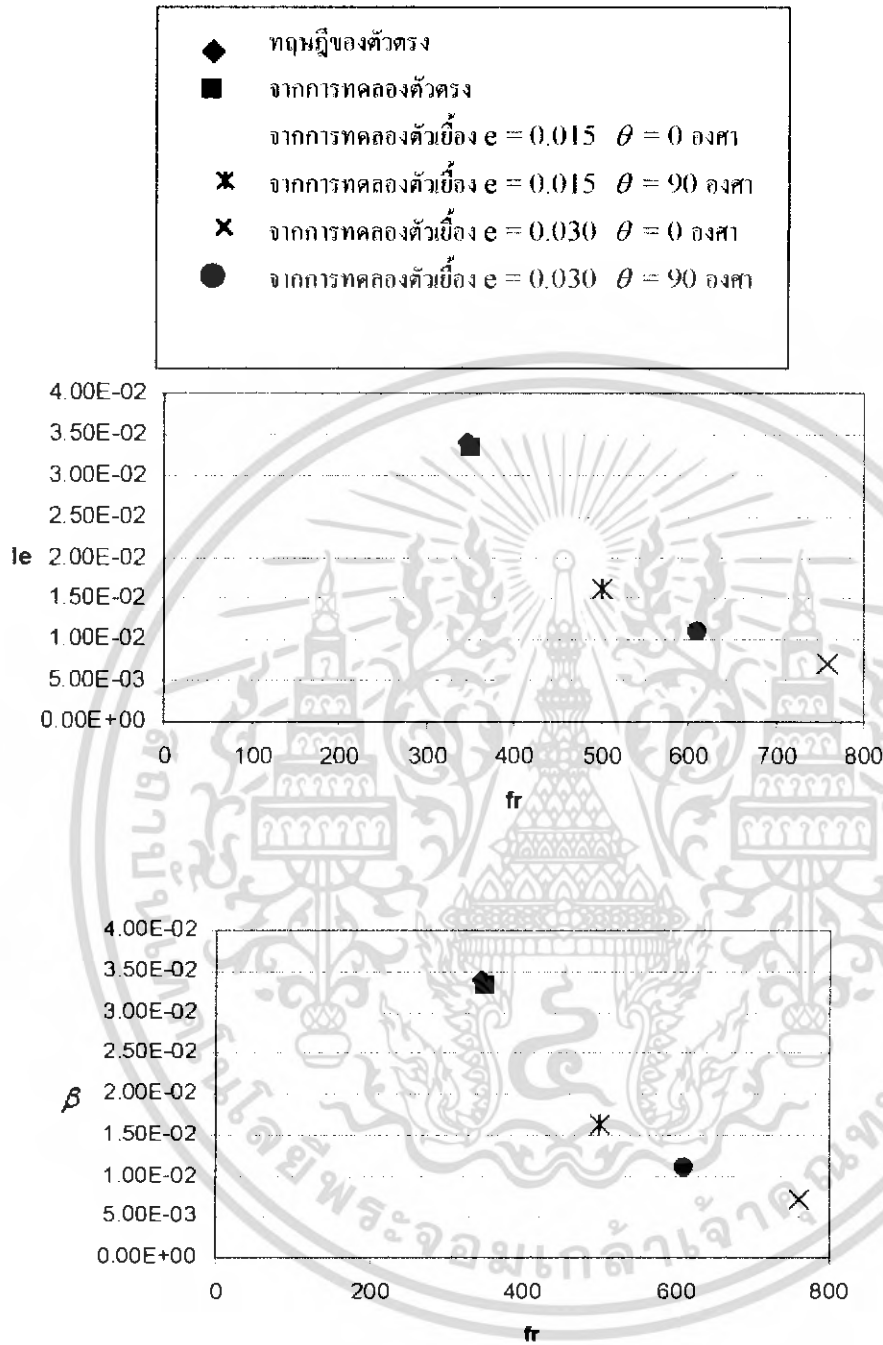
$D=0.0967$ m, $l=0.020$ m, $L=0.090$ m



รูปที่ 5.33 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

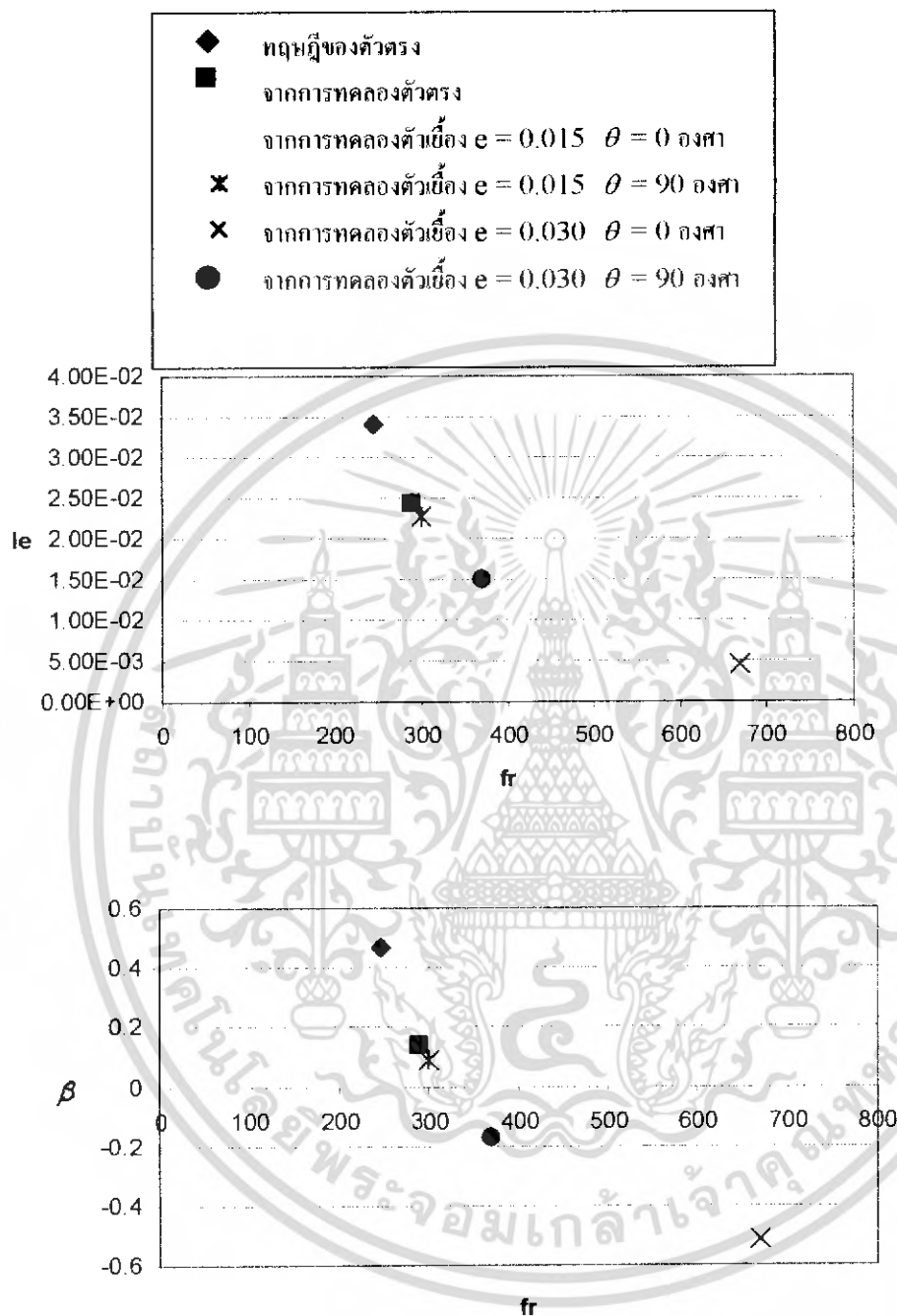
$D=0.0149$ m, $l=0.020$ m, $L=0.030$ m



รูปที่ 5.34 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D=0.0149$ m, $I=0.020$ m, $L=0.060$ m

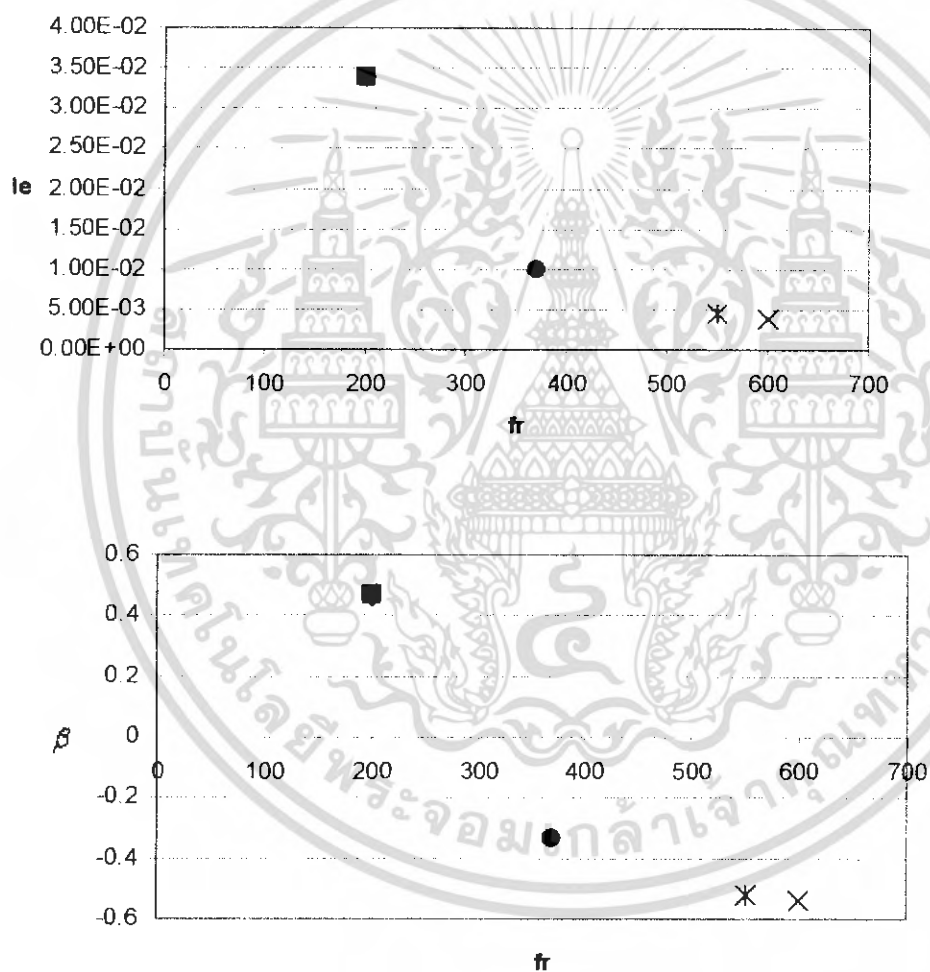
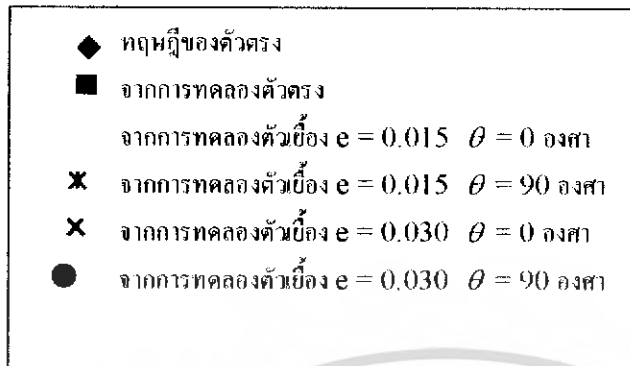


รูปที่ 5.35 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ

กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

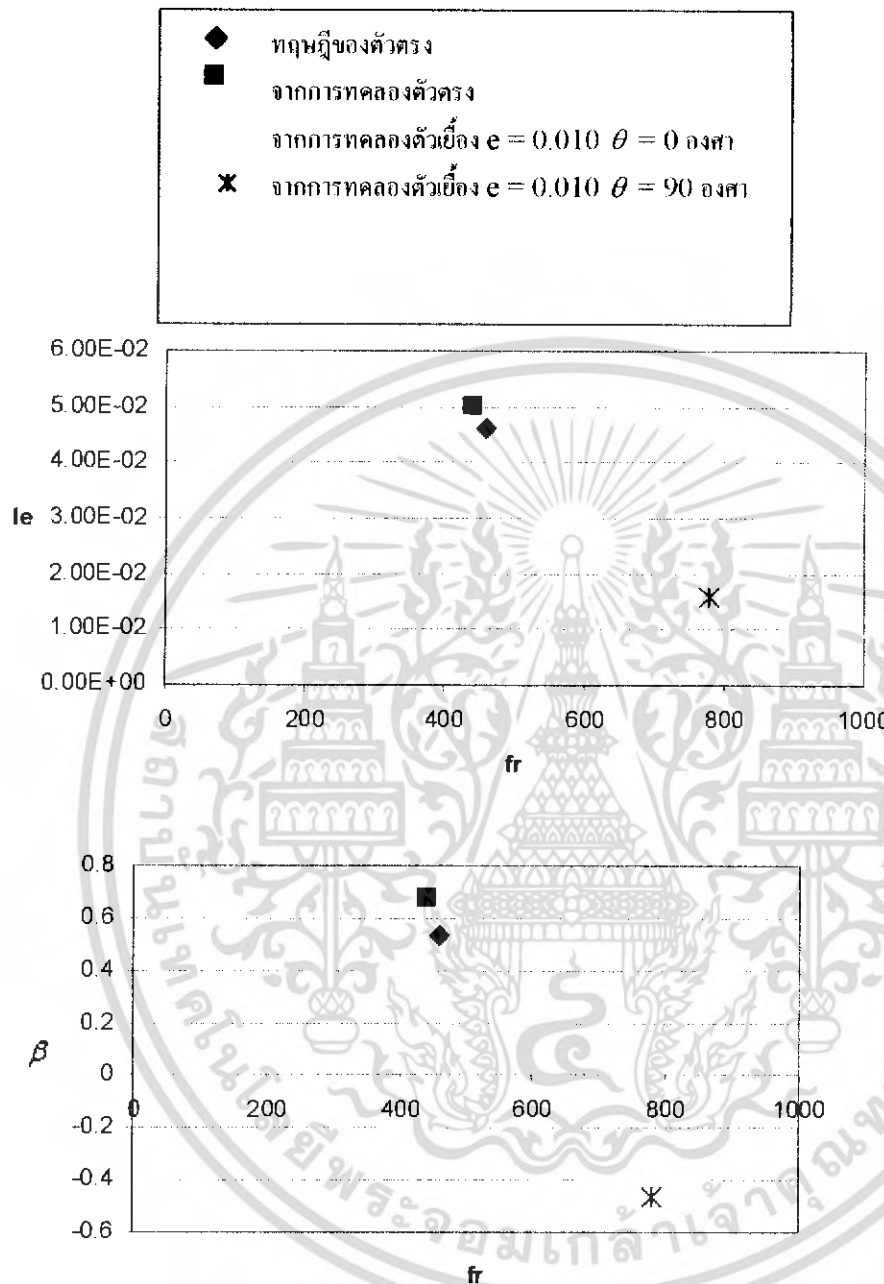
$D=0.0149$ m, $l=0.020$ m, $L=0.090$ m



รูปที่ 5.36 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

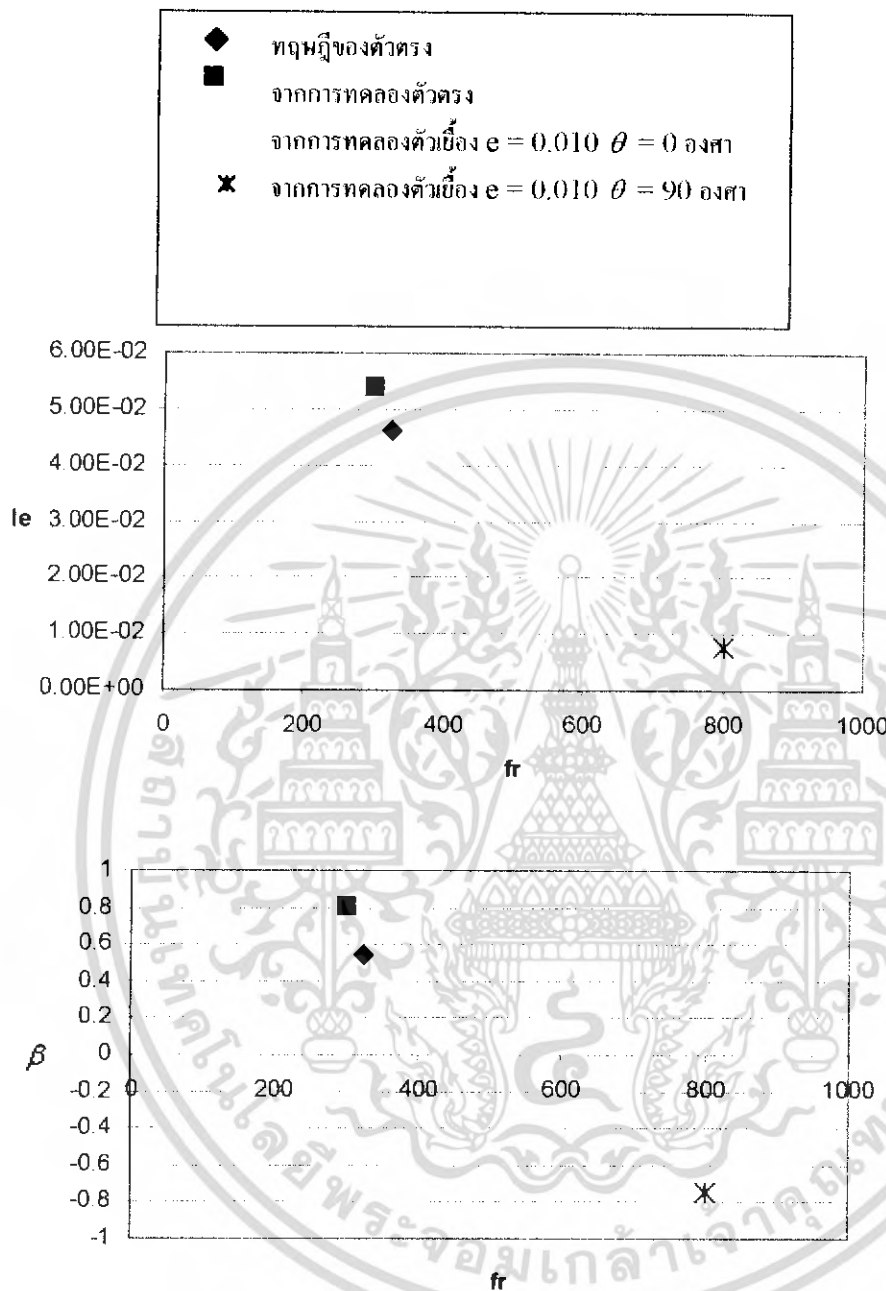
$D=0.0967$ m, $l=0.030$ m, $L=0.030$ m



รูปที่ 5.37 กราฟ open - End excitation แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ กราฟแสดงค่าความขยาประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

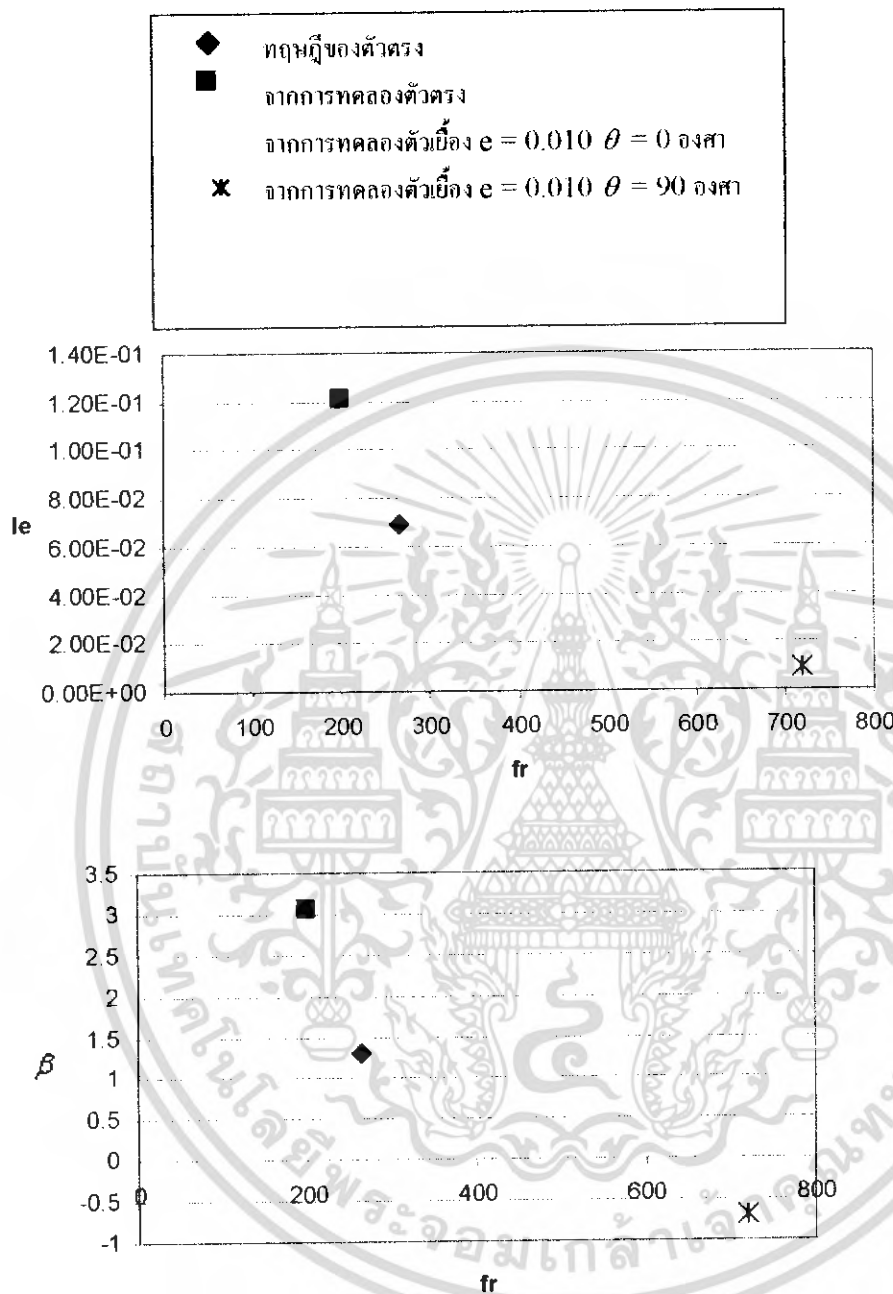
$D=0.0967$ m, $l=0.030$ m, $L=0.060$ m



รูปที่ 5.38 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

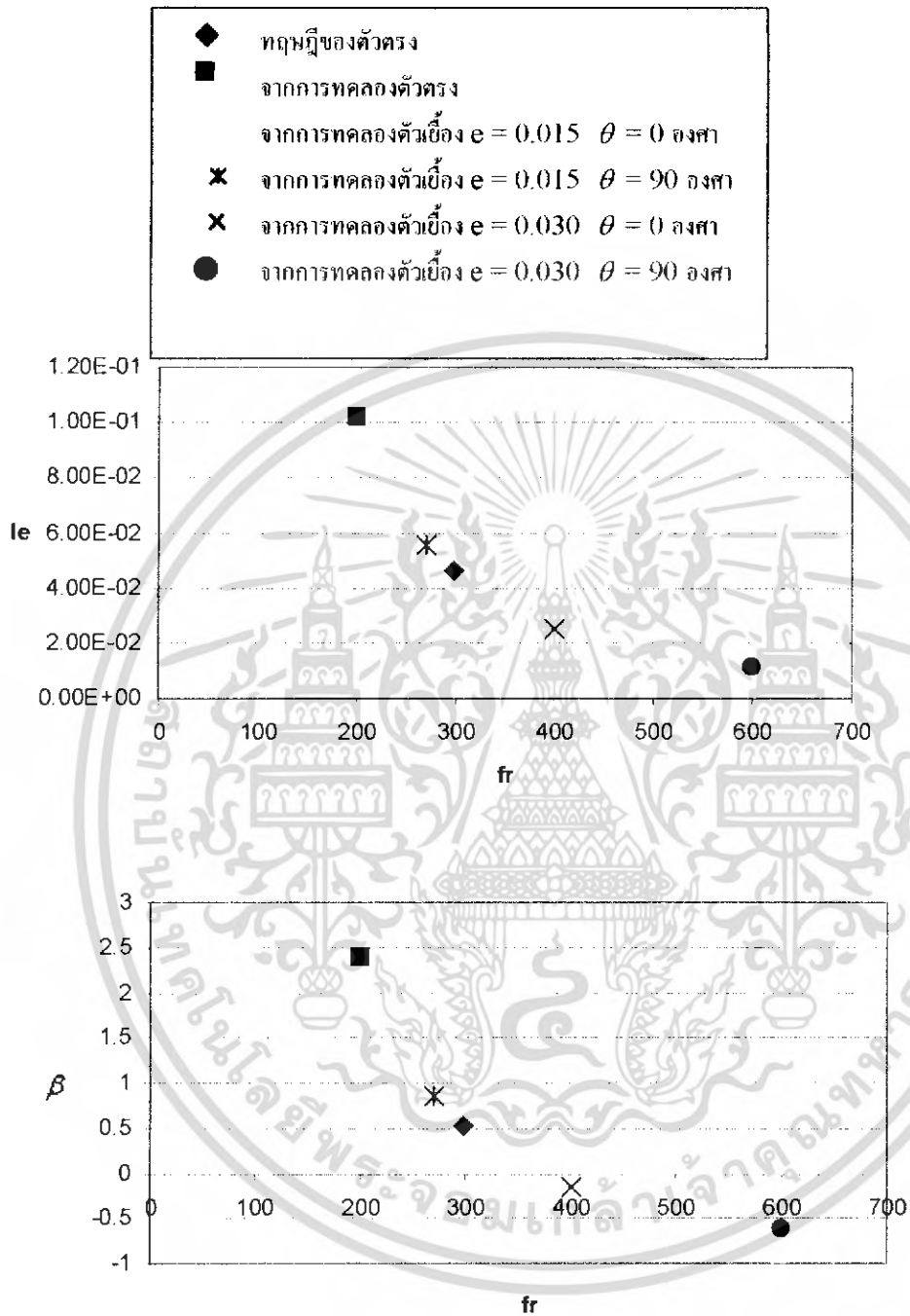
$D=0.0967$ m, $l=0.030$ m, $l_1=0.090$ m



รูปที่ 5.39 กราฟ open - End coeccion แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

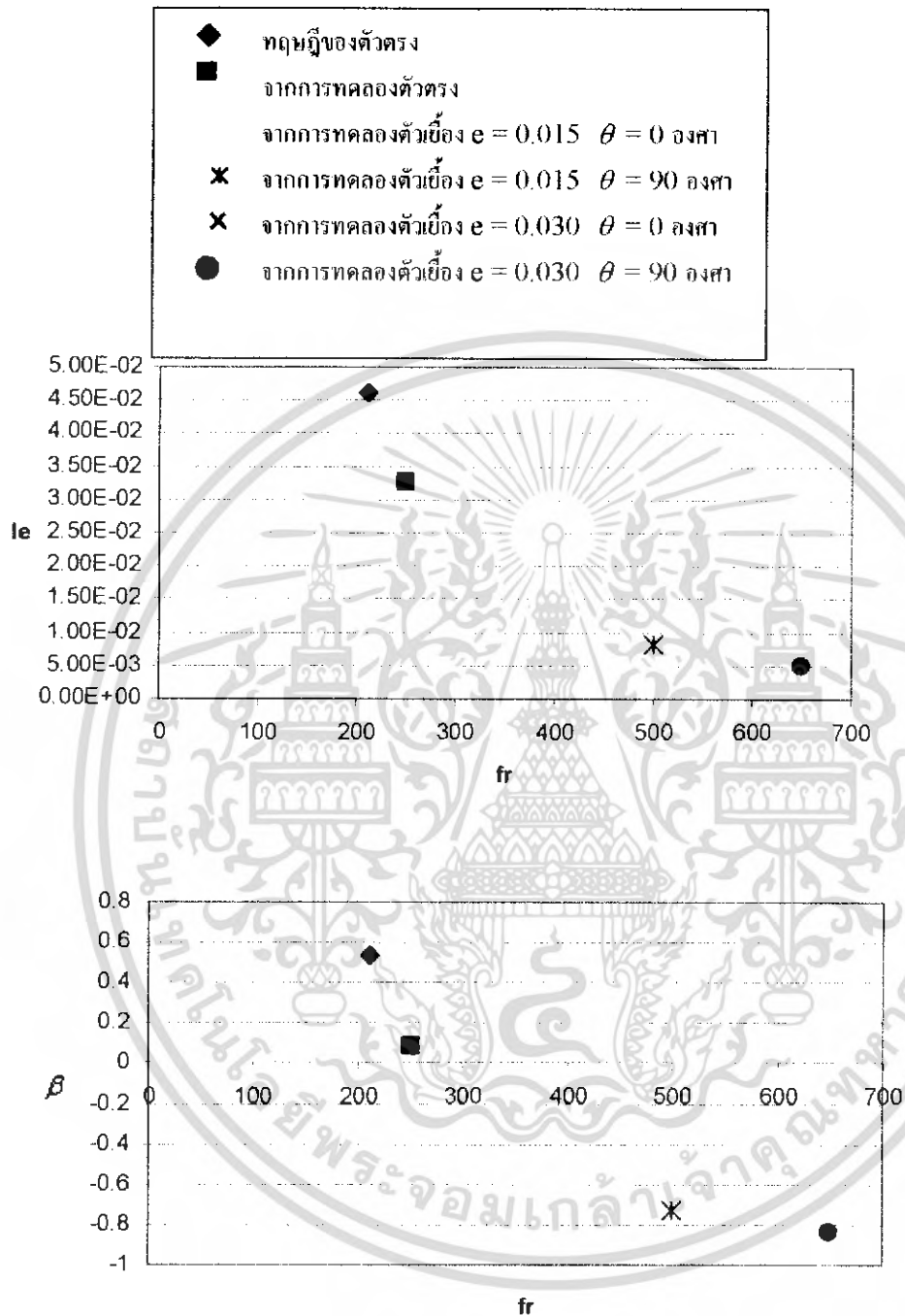
$D=0.0149$ m, $l=0.030$ m, $L=0.030$ m



รูปที่ 5.40 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

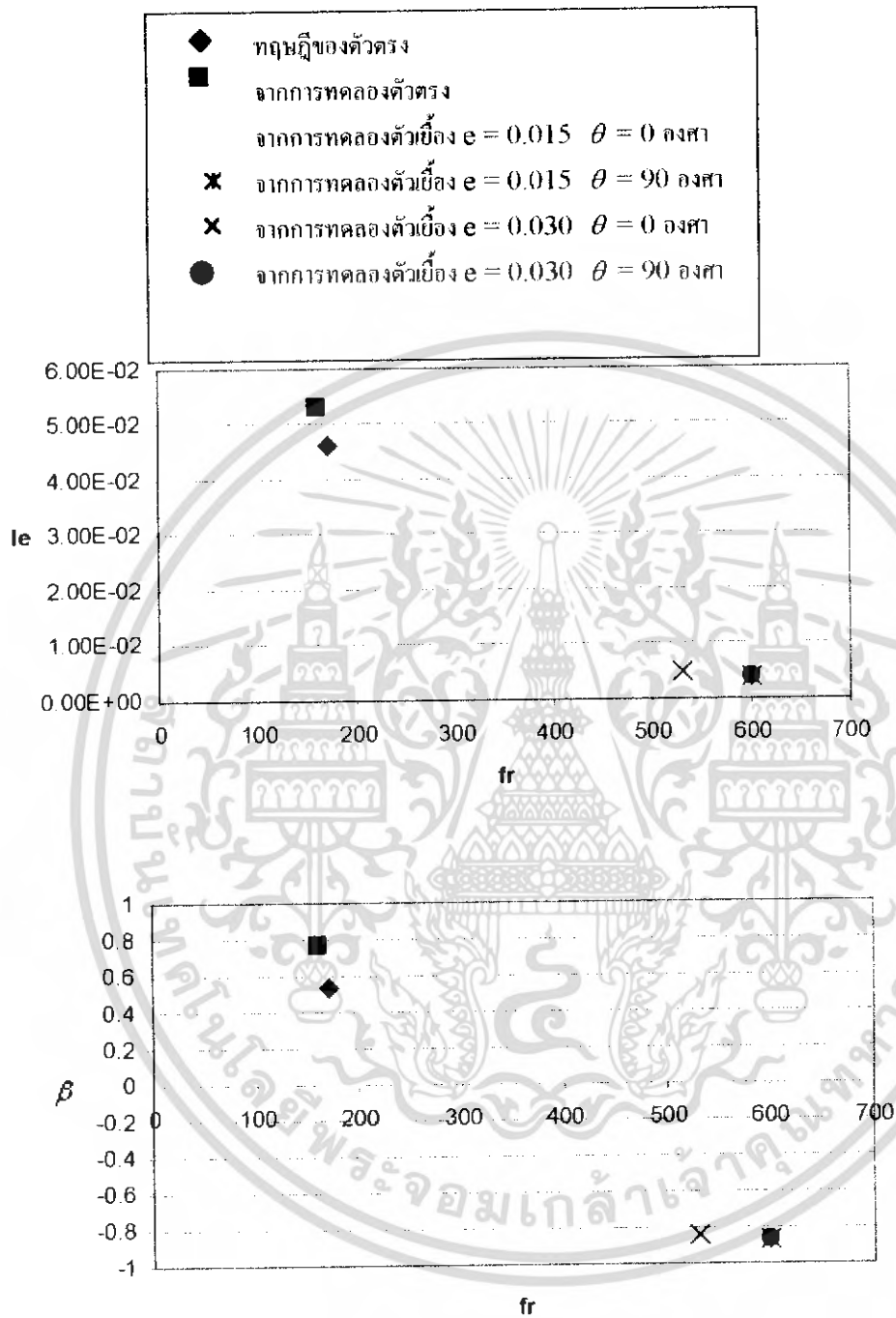
$D=0.0149$ m, $l=0.030$ m, $L=0.060$ m



รูปที่ 5.41 กราฟ open - End coection แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D=0.0149$ m, $l=0.030$ m, $L=0.090$ m



รูปที่ 5.42 กราฟ open - End coeccion แสดงถึงค่าแก้ไข (β) สำหรับการออกแบบ Resonator และ
กราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาและการทดลองพฤติกรรมการลดเสียง โดยใช้อุปกรณ์ลดเสียงแบบ Helmholtz – resonator แบบตรง และ แบบเอียงศูนย์สามารถสรุปการทดลองได้ดังนี้

6.1 จากการทดลองของ Helmholtz – resonator ซึ่งการเก็บค่าเสียงจากแบบตรงช่วงความถี่ที่เกิดของการลดเสียงสูงสุด ค่าที่เก็บได้นั้นเป็นไปตามทฤษฎี

6.2 จากการทดลองของ Helmholtz – resonator ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมการลดเสียงของทั้งสองแบบ

- แบบตรงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Volume และ Connector แล้วความสามารถลดเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ช่วงที่ลดได้ค่อนข้างกว้าง
- แบบเอียงศูนย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Volume และ Connector แล้วความสามารถลดเสียงจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ช่วงที่ลดได้ค่อนข้างแคบ

6.3 Volume ของ Helmholtz – resonator จากการทดลอง

- แบบตรง Volume น้อย จะสามารถลดเสียงในช่วงความถี่สูง และมีช่วงที่กว้าง
- แบบเอียงศูนย์ Volume น้อย จะสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่สูงเหมือนกันแต่ จะมีช่วงความถี่แคบกว่า

6.4 Connector length ของ Helmholtz – resonator จากการทดลองของทั้งสองแบบจะคล้ายกัน คือเมื่อความยาวของ Connector ที่ ยาวขึ้นจะได้ช่วงความถี่ที่สูงขึ้นแต่ช่วงไม่กว้างนัก

6.5 จากกราฟแสดงค่าแก้ไข (β) และกราฟแสดงค่าความยาวประสิทธิภาพ จะเห็นว่าเมื่อค่าความยาวประสิทธิภาพมีค่าลดลงความถี่ที่เกิดการ Resonance จะมีค่ามากขึ้น

ภาคผนวก

วิธี set เครื่อง FFT Analyzer

Ms setting PORTABLE DUAL CHANNEL 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** ; EU **EU** ring unit setting

4. กด NEXT เลือก MANU B >>



5. กด NEXT เลือก MANU B >>



6. กด NEXT เลือก MANU B >>



7. กด NEXT เลือก MANU B >>



หลังการ Set FFT ก็จะสามารถทำการสอบเทียบไมโครโฟนได้โดยนำไมโครโฟนไปประกอบกับ Calibrator โดย Calibrator จะกำเนิดเสียงมีความดัง 124 dB ถ้าค่าของ FFT Analyzer ที่อ่านได้ไม่เท่ากับ 124 dB ให้ปรับค่า EU/V ของ FFT Analyzer เป็น 9500E + 6

Venturi Calibration

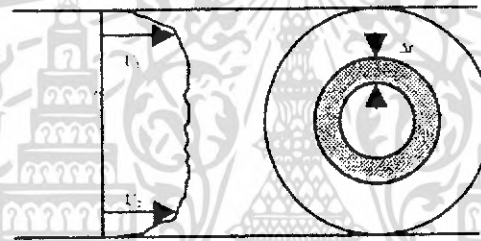
ในการสร้างเครื่องมือวัดใดๆ ต้องมีการสอบเทียบ(calibrate) เพื่อให้ได้มาตรฐานซึ่งในกรณีนี้ใช้ static tube ซึ่งผลิตมาจากบริษัท Tokyo Meter CO.,LTD มาเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบ ซึ่งจากคำแนะนำของ Baker [7] ได้แนะนำ ให้ใช้ 6 รัศมี รัศมีละ 6 จุด ในการหา Velocity Profile โดยคำนวณความเร็วจาก

$$V_{actual} = \sqrt{\frac{2\rho_w g \Delta h}{\rho_{air}}} \quad (B.1)$$

และ

$$Q = \pi \Delta r^2 \sum u \quad (B.2)$$

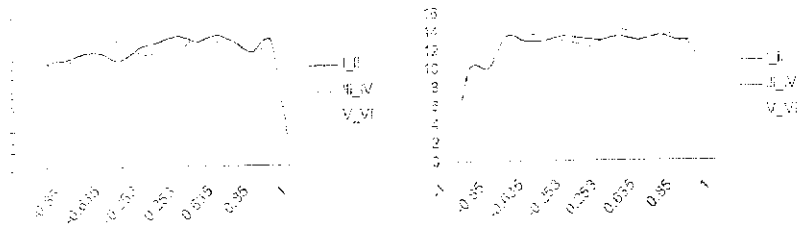
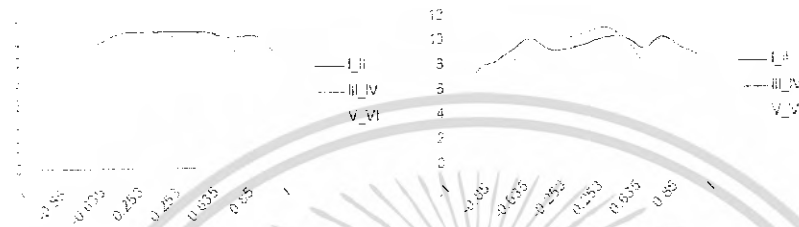
โดยที่ Δh = ผลต่างความสูงที่மானมิเตอร์ของ Pitot



รูปที่ B.1 Velocity Profile ภายในท่อ

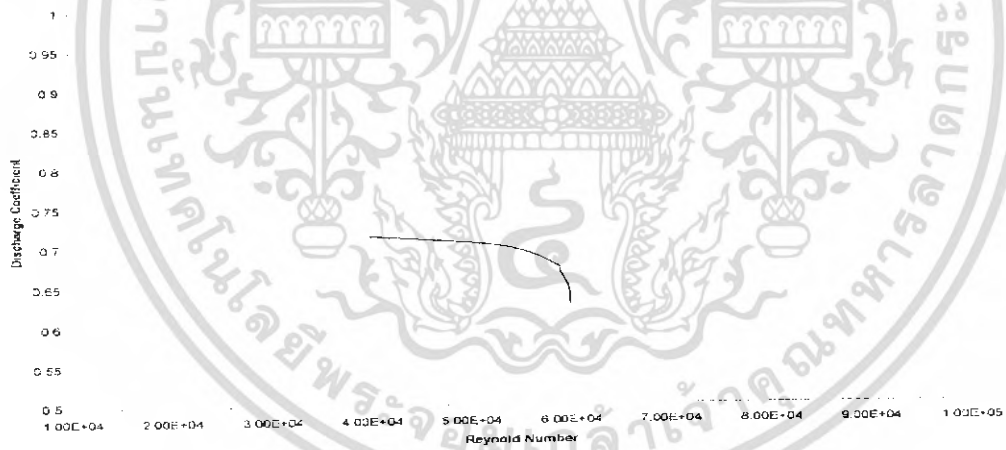
Velocity Profile สำหรับการวัดด้วย Probe Tube มีค่าดังต่อไปนี้ และค่าอัตราการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ B.4 $Q_{\text{actual}} = 0.029119$ รูปที่ B.5 $Q_{\text{actual}} = 0.029328$ รูปที่ B.6 $Q_{\text{actual}} = 0.02777$ รูปที่ B.7 $Q_{\text{actual}} = 0.02106$

Discharge coefficient

เมื่อได้อัตราการไหล 6 จุดจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน เทียบกับ Venturi ก็จะนำมา Plot กราฟ C_D และค่า Re เพื่อที่จะนำมาใช้ในการ Calibrate Venturi ตอนใช้งานจริง

รูปที่ B.8 กราฟ C_D และ Re

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

c	= ความเร็วเสียง
f	= ความถี่
f_r	= ความถี่ Resonance
l	= ความยาวของ Connector length
l_e	= ความยาวประสิทธิผล
M	= มัคนัมเบอร์
P	= ความดันเสียง
P_i	= ความดันตกกระทบ
P_b	= ความดันสะท้อนกลับด้านหน้า
P_r	= ความดันกระทบด้านหลังของ Resonator
R	= ค่าความต้านทานของคอท่อ
S	= พื้นที่หน้าตัดของท่อเสียง
S_0	= เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อเสียง
Z	= Acoustic impedance
Z_r	= Acoustic impedance ของ Resonator
Z_0	= Characteristic impedance ของท่อ
W	= Acoustic length
X	= Resonator reaction จึงไม่พิจารณาในเทอมของความต้านทาน
β	= ค่าแก้ไข (Open end correction)
μ	= ค่าความหนืด
ρ_0	= ความหนาแน่นเฉลี่ยในตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] พงศกร พุกศิริวงศ์ชัย และคณะ, “การศึกษาทางเสียงของตัวเก็บเสียงแบบ เฮล์มโฮลทซ์”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [2] บุญชัย ศิลปะกิจวงษ์กุล “การหาประสิทธิภาพของการลดเสียง”, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
- [3] บรรณณพ ศรีสนิทและคณะ, “ การลดเสียงผ่านตัวเก็บ เสียงแบบตัวกังวาน”สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
- [4] ปราโมทย์ เรืองฤทธิ์, “พฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูง เฮล์มโฮลทซ์”, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2544
- [5] บุญเลิศ ปิยะกุลภิญโญ , ประเมศวร์ พิมพ์บุตร , พรเทพ ลิพหากาญจน, “ การหาประสิทธิภาพของเครื่องลดเสียงแบบ Side Branch เมื่อไม่มีอากาศไหลผ่าน และมีอากาศไหลผ่าน”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,ปี 2534
- [6] Ming Lokitsanglong and Pongsak kummol. “Estimation of sound transmission loss for design of single Helmholtz-Resonator” King Mongkut’ Institute of Technology Ladkrabang
- [7] M.L. Munjal, “Velocity Ratio-cumTransfer Matrix Method for the Evaluation Of muffler whit mean flow,” J.Sound Vib .39(1975) No.1 pp.105-119.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้