

การศึกษาทางเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์  
ACOUSTICAL STUDY OF HELMHOLTZ TYPE SILENCER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เลขหมู่.....สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขทะเบียน.....50134 ปีการศึกษา 2545

วันเดือนปี.....2.1.2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาทางเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์

Acoustical study of Helmholtz type silencer

ผู้จัดทำ

1. นาย เทอดไทย ปัดสำราญ รหัสประจำตัว 42010526

2. นาย พงศกร พุกศิริวงศ์ชัย รหัสประจำตัว 42010569

3. นาย สุภธร ภู่วิภาคารวรรณ รหัสประจำตัว 42010645



อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาทางเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์

นาย เทอดไทย ปัดสำราญ 42010526

นาย พงศกร พุกศิริวงศ์ชัย 42010569

นาย ศุภธร ภูวิภาคารวรรณ 42010645

ผ.ศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. ประสิทธิ์ คำพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอ โครงการ “การศึกษาทางเสียงของตัวเก็บเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์” ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz Resonator โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้นแบบมิติเดียว วัดความสามารถในการลดเสียงจากค่าการลดเสียง Transmission Loss (TL) ในช่วงความถี่ต่างๆกัน เมื่ออยู่ในภาวะไม่มีความเร็วลม ณ อุณหภูมิห้อง นำผลที่ได้จากทางทฤษฎี ซึ่งแสดงออกมาในรูปกราฟ มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองว่าใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด

การทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่, ความยาวของ Connector, ขนาด และ ความยาวของ Resonator, ประเภทของท่อนำเสียง ผลจากการทดลองค่า Transmission Loss มีแนวโน้มตามทฤษฎี แต่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆในการทดลอง



## Acoustical Study of Helmholtz Type Silencer

Mr. Therdtchai Padsumran

Mr. Pongsakorn Puksiriwongchai

Mr. Suppathon Phuwapadawat

Assist.Prof. Ming Lokijsangtong Advisor

Mr. Pongsak Kummoon Advisor

Mr. Prasit Kumpunyim Advisor

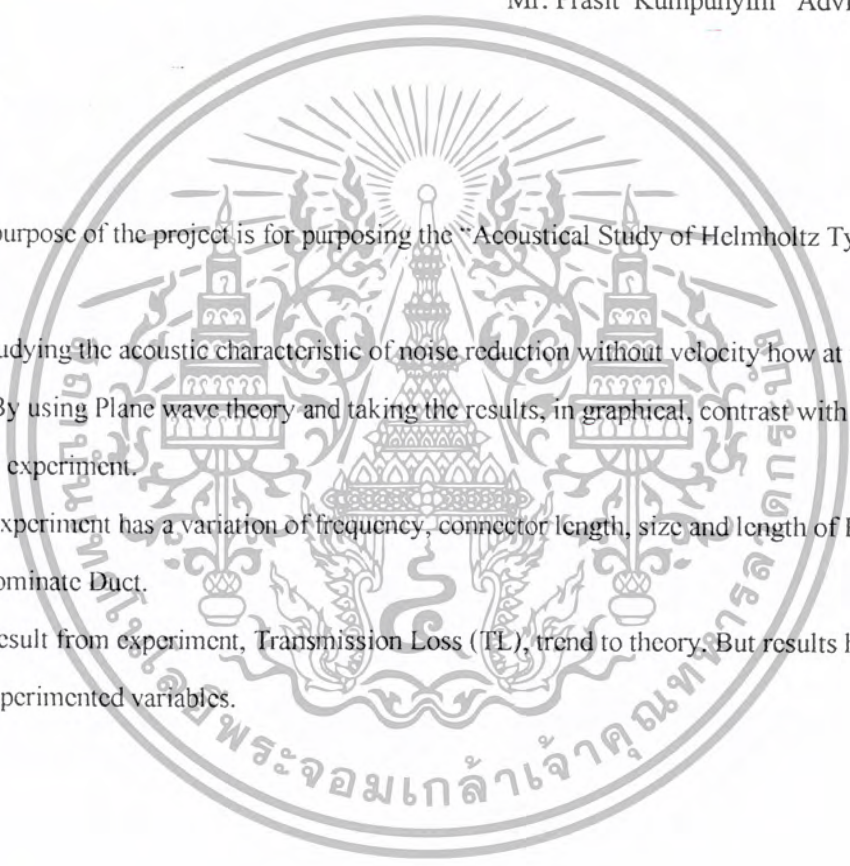
### ABSTRACT

The purpose of the project is for purposing the "Acoustical Study of Helmholtz Type Silencer"

To studying the acoustic characteristic of noise reduction without velocity how at room temperature, By using Plane wave theory and taking the results, in graphical, contrast with the result from practical experiment.

The experiment has a variation of frequency, connector length, size and length of Resonator and type of Nominate Duct.

The result from experiment, Transmission Loss (TL), trend to theory. But results have some errors from experimented variables.



### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากคำแนะนำ และ คำปรึกษาที่เกี่ยวกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องใช้แหล่งข้อมูลเบื้องต้น รวมถึงแนวคิดในการนำผลทดลอง ไปประยุกต์ใช้ในการลดเสียงรบกวนของอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้ Helmholtz Resonator คำแนะนำในการทำงาน รวมถึงการเตรียมตัวสำหรับนำเสนอปริญญาโทฉบับนี้ จาก ผ.ศ. มิ่ง โลกกิจแสงทอง และ อ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล โดยทางนักศึกษารัฐศึกษาชั้นตรี ถึงความอนุเคราะห์จากท่าน และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และ น้องๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ จนเสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำปริญญาโทฉบับนี้



พงศกร พงศ์วิวงศ์ชัย  
เทคโนโลยีบัณฑิตการณ  
ศุภธร ภูวิภาดาบรรณ

# สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง	2
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง	2
2.2.1 ชนิดของคลื่น (Types of Waves)	2
2.2.2 การเคลื่อนที่ของคลื่น (Traveling Waves)	3
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของเสียงที่ใช้ในการทดลอง (Plane wave theory)	5
2.2.1 การแผ่คลื่นเสียงของ Plane wave	5
2.2.2 สมการ Plane wave one Dimension Linearized Theory	7
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวณค่า Transmission Loss (TL)	8
2.3.1 Transmission Through Ducts	8
2.3.2 Acoustic Impedance (Z)	8
2.3.3 The Helmholtz Resonator	8
2.3.3 ผลที่ได้ของ Helmholtz Resonator	9
2.3.4 Coefficient B	12
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง(Experiment Apparatus)	13
3.1 แหล่งกำเนิดเสียง	13
3.1.1 Oscillator	13
3.1.2 Amplifier	13
3.1.3 Driver unit	14
3.2 ส่วนที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2.1 ห้องเก็บเสียง	14
3.2.2 Nominate Duct	14

3.2.3 Probe tube	15
3.2.4 Test Silencer	15
3.3 ส่วนแสดงผล	16
3.3.1 Microphone	16
3.3.2 Test Silencer	16
3.3.2 Pre-amplifier	16
3.3.2 FFT-Analyzer	17
3.4 อุปกรณ์เสริมอื่นๆ	17
3.4.1 Calibrator	17
บทที่ 4 วิธีการทดลอง และ บันทึกผลการทดลอง	18
4.1 วิธีการทดลอง	18
4.2 การบันทึกผลการทดลอง	18
4.3 กรณีศึกษาของ Helmholtz Resonator	19
บทที่ 5 ผลการทดลอง	21
5.1 กราฟที่แสดงผลทางทฤษฎี	21
5.1.1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความยาวของ Helmholtz Resonator (L)	21
5.1.2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความยาวของ Connector (l)	31
5.1.3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator (D)	44
บทที่ 6 บทสรุป	57
ภาคผนวก	58
บรรณานุกรม	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1) ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Noise หมายถึง เสียงรบกวนที่ไม่ต้องการได้ยินนั่นเอง จะมีโทษมากกว่าผลดี และทำให้มนุษย์เกิดความรำคาญ ความดันโลหิตสูง, หลอดเลือดตีบลง และ ในระยะยาวจะส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของหัวใจ นอกจากนี้เสียงดังยังมีผลต่อการหลั่งฮอร์โมนประเภทต่างๆ การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การแปรปรวนทางอารมณ์ และจิตใจ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานลดลงมีผลร้ายต่อมนุษย์ Noise ที่เข้มมาก ๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียการได้ยินถาวรหลังจากที่ได้รับเสียงนานเกินไป ความเข้มของเสียงตามไล่นการผลิตในโรงงานหลายแห่ง, การขับรถยนต์ หรือ มอเตอร์ไซค์ และ ยังอาจเกิดอันตรายให้กับชีวิตมนุษย์ได้ ตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุร้ายแรงอาจเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดเสียงจากใบพัดขนาดใหญ่ในโรงงาน หรือ เสียงลมในระบบท่อกลบเสียงเดือนภัยขณะที่อันตรายใกล้เข้ามา ทั้งหมดนี้จึงเป็นตัวอย่างที่เกิดจาก Noise

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการลดเสียงรบกวน (Noise Reduction) ในระบบท่อ โดยใช้ Single Chamber Resonator ชนิด Helmholtz Resonator เป็นแนวทางนำมาศึกษาพฤติกรรมการลดเสียง กรณีไม่มีความเร็วลมไหลผ่าน ผลที่ได้จากการทดลองวิจัยนี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ลดเสียง และ ประยุกต์ในการใช้งานในระบบท่อต่างๆ

#### 1.2) วัตถุประสงค์ของ โครงการ

1. เพื่อหาผลหรือพฤติกรรมทางเสียงที่เกิดจากการใช้เครื่องลดเสียง แบบ Helmholtz Resonator ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 100 - 1,200 Hz โดยไม่มีความเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีการใช้ ความยาว Connector, ขนาดและความยาวของเครื่องลดเสียงม ประเภทของท่อนำเสียง ที่แตกต่างกัน
2. เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทางทฤษฎีว่ามีผลใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด และสามารถนำไปปรับใช้ให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้มากน้อยเพียงใด และ โดยวิธีใดบ้าง

#### 1.3) ขอบเขตของ โครงการ

1. โครงการจะทดลองในช่วงความถี่ 100 - 1,200 Hz, มีการเปลี่ยนแปลงความยาว Connector, ขนาดและความยาวของ Resonator, ประเภทของท่อนำเสียง ของ Helmholtz Resonator แล้วแสดงผลออกมาในรูปกราฟ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องลดเสียง
2. ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้แสดงผลในรูปกราฟ เราใช้ Microsoft Excel ในการคำนวณ และ สร้างกราฟ

#### 1.4) ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถที่จะนำผลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบ, ปรับใช้, แก้ไขข้อบกพร่อง หรือ จุดผิดพลาดต่างๆ และ อาจนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ตามสมควร
2. สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดจากสิ่งต่างๆ ในการทดลองได้ เป็นการเสริมสร้างสิ่งต่างๆ ให้แก่ผู้ทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง

#### 1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นเสียง

##### - ชนิดของคลื่น (Types of Waves)

ในการยกเอาคลื่นน้ำ คลื่นแสง คลื่นเสียง มาเป็นตัวอย่างของการเคลื่อนที่ของคลื่น (Wave motion) นั้นมิใช่เราจะจำแนกคุณสมบัติทางกายภาพของมันได้อย่างกว้างๆเท่านั้น เรายังสามารถจำแนกชนิดของคลื่นได้ด้วยวิธีอื่นๆอีก

เราสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของคลื่นแต่ละชนิดได้ โดยการพิจารณาว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสสารมีความสัมพันธ์กับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น เราเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า “คลื่นตามขวาง” (transverse wave) ตัวอย่างเช่น เชือกที่ขึงตึงในแนวตั้งถูกทำให้สั่นไปมาที่ปลายข้างหนึ่ง คลื่นตามขวางจะเคลื่อนลงไปตามเชือกแต่ละอนุภาคของเชือกจะสั่นตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

การเคลื่อนที่ของคลื่นบางชนิด ทำให้อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เราเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า “คลื่นตามยาว” (longitudinal wave) ตัวอย่างเช่น เมื่อเราทำให้สปริงที่ขึงตั้งอยู่ในแนวตั้งสั่นขึ้นลงที่ปลายข้างหนึ่ง คลื่นตามยาวจะเคลื่อนที่ลงไปตามสปริง ขดลวดสปริงจะสั่นไปมาในทิศทางเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นเสียงในก๊าซก็จัดเป็นคลื่นตามยาว

คลื่นอาจจำแนกได้เป็น 1, 2 และ 3 มิติตามจำนวนของระนาบที่คลื่นแผ่ขยายออกไป คลื่นที่เคลื่อนที่ในเชือกหรือสปริงเป็นคลื่น 1 มิติ คลื่นที่ผิวน้ำหรือระลอกน้ำที่เกิดจากการโยนก้อนหินลงในของจัดเป็นคลื่น 2 มิติ คลื่นเสียงและคลื่นแสงซึ่งแผ่ขยายออกจากศูนย์กลางในตัวกลางในแนวรัศมีจัดเป็นคลื่น 3 มิติ

เราอาจจำแนกชนิดของคลื่นต่อไปอีกได้ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสสารที่นำคลื่นไป ในช่วงเวลาหนึ่งที่คลื่นแผ่ขยายออกไป ตัวอย่างเช่น ถ้าเราสร้าง “คลื่นเดี่ยว” (Single wave หรือ pulse) ให้เคลื่อนที่ไปตามเชือกที่ขึงตึงโดยการสะบัดที่ปลายเชือกเพียงครั้งเดียว ทุกๆอนุภาคของเชือกจะอยู่นิ่งจนกระทั่งคลื่นเดี่ยวนี้เคลื่อนที่มาถึงซึ่งจะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ในเวลาอันสั้นแล้วก็จะกลับมาอยู่นิ่งอีก

เราสะบัดปลายเชือกไปมาต่อไป จะเกิดคลื่นหลายคลื่น (train of waves) เคลื่อนที่ในเส้นเชือก ถ้าเราสะบัดเชือกเป็นช่วงๆจะเกิด *ขบวนคลื่นเป็นช่วงๆ* (periodic train of waves) ซึ่งทุกๆอนุภาคของเชือกเคลื่อนที่แบบ periodic รูปที่ง่ายที่สุดของคลื่นแบบ periodic คือ คลื่นแบบ ฮาร์โมนิคอย่างง่าย (simple harmonic motion) ซึ่งทุกๆอนุภาคเคลื่อนที่แบบ ฮาร์โมนิคอย่างง่าย (SHM)

พิจารณาคลื่นเดี่ยวใน 3 มิติ เราสามารถเขียนผิวหน้า (Surface) ของทุกๆจุดของคลื่นเดียวกันในช่วงเวลาที่กำหนดให้ได้ ขณะที่เวลาผ่านไปผิวหน้านี้อันจะเคลื่อนที่ขยายออกไปเรื่อยๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าคลื่นเดี่ยวนี้แผ่ขยายออกไปอย่างไร สำหรับคลื่นเดี่ยวอื่นๆที่ตามมาเราก็สามารถเขียนผิวหน้าของคลื่น โดยที่ทุกๆจุดบนผิวนี้มีเฟส (Phase) ของการเคลื่อนที่เป็นเฟสเดียวกัน ผิวหน้าเหล่านี้เรียกว่า “หน้าคลื่น” (Wave fronts) ถ้าเป็นตัวกลางแบบเอกพันธ์และมีคุณสมบัติเหมือนกัน ทิศทางของการแผ่ขยายจะต้องตั้งฉากกับหน้าคลื่นเสมอ เส้นที่ตั้งฉากกับหน้าคลื่นซึ่งแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเรียกว่า “แนวคลื่น” (Ray)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าคลื่นมีรูปร่างหลายแบบ ถ้าคลื่นแผ่ขยายออกไปในทิศทางเดียว เราเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า คลื่นแนวระนาบ ในช่วงเวลาที่กำหนด ระนาบของหน้าคลื่นจะตั้งฉากกับทิศทางของการแผ่ขยายของคลื่น หน้าคลื่นจะเป็นพื้นระนาบและแนวคลื่นจะเป็นเส้นขนาน (รูป 2-2a) กรณีง่าย ๆ อีกกรณีหนึ่ง ได้แก่ Spherical wave ซึ่งคลื่นจะแผ่ขยายออกไปทุกทิศทางจากต้นกำเนิดคลื่น หน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม และ แนวคลื่นพุ่งออกจากต้นกำเนิดในทุกทิศทาง (รูป 2-2b) ยิ่งห่างจากต้นกำเนิด หน้าคลื่นรูปทรงกลมจะ โค้งน้อยลงทุกที และ เราสามารถถือว่ามันเป็นพื้นราบได้ถ้าหน้าคลื่นอยู่ห่างจากต้นกำเนิดไกลเพียงพอ จะเห็นได้ว่า หน้าคลื่นมีรูปร่างเป็นไปได้อย่างหลายแบบ

### การเคลื่อนที่ของคลื่น (Traveling Waves)

พิจารณาเส้นเชือกยาวที่ถูกขึงตั้งอยู่ในแกน  $x$  คลื่นตามขวางถูกหนึ่งกำลังเคลื่อนที่อยู่บนเส้นเชือกนี้ที่เวลา  $t = 0$  รูปร่างของเชือกสามารถแทนได้ด้วย

$$y = f(x) \quad t = 0 \quad (2-1)$$

เมื่อ  $y$  เป็นการขจัด (Displacement) ตามขวางของเส้นเชือก ณ ตำแหน่ง  $x$  ในรูป 2-3a แสดงรูปคลื่น (คลื่นเดียว) ที่เกิดขึ้นบนเส้นเชือกที่เวลา  $t = 0$  การทดลองแสดงให้เห็นว่าขณะที่เวลาผ่านไปคลื่นนี้จะเดินทางไปตามเส้นเชือกโดยไม่เปลี่ยนรูปร่างเลย ถ้าหากว่าเราสูญเสียพลังงาน เนื่องจากความเสียดทานภายในน้อยมาก ที่เวลา  $t$  ต่อมาคลื่นจะเคลื่อนที่ไปทางขวาได้ระยะทาง  $vt$  เมื่อ  $v$  เป็นขนาดของความเร็วคลื่นซึ่งสมมติว่าคงที่ สมการของรูปที่เวลา  $t$  จะเขียนได้เป็น

$$y = f(x-vt) \quad t = t \quad (2-2)$$

ขอให้เราพิจารณาสมการนี้ให้ละเอียดรอบคอบขึ้นอีก ถ้าเราสังเกตส่วนเฉพาะ [หรือเรียกว่า เฟส (Phase)] ของคลื่นขณะที่เวลาผ่านไป จากสมการที่พิจารณาค่าเฉพาะค่าหนึ่งของ  $y$  (ในที่นี้พิจารณาที่ยอดของคลื่นเดียว) โดยทางคณิตศาสตร์หมายความว่าเราคิดว่าพิจารณาว่า  $x$  เปลี่ยนตาม  $t$  อย่างไร เมื่อ  $(x-vt)$  มีค่าคงที่ เราจะเห็นว่าขณะที่  $t$  เพิ่มขึ้น  $x$  จะต้องเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อทำให้  $(x-vt)$  คงที่ ถ้าเป็นเช่นนั้นสมการ (2-2) ที่จริงก็แทนคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เราจะต้องเขียนว่า

$$y = f(x+vt) \quad (2-3)$$

เพราะว่าค่า  $x$  ใน  $(x+vt)$  ของเฟสของคลื่นซึ่งคงที่ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความเร็วของเฟสของคลื่น จะหาได้ง่ายมากสำหรับเฟสใดเฟสหนึ่ง โดยเฉพาะของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา เราจะได้ว่า

$$x-vt = \text{ค่าคงที่}$$

ดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับเวลาจะได้

$$\frac{dx}{dt} - v = 0 \quad (2-4)$$

ดังนั้น  $v$  จึงเป็นความเร็วของเฟส (Phase velocity) ของคลื่น สำหรับคลื่นที่เคลื่อนที่ไปทางซ้าย เราจะได้ความเร็วของเฟส เป็น  $-v$

สำหรับสมการทั่วไปของคลื่น เราจะเห็นว่าค่าคงที่ใดๆของเวลา  $t$  จากสมการจะได้  $y$  เป็นฟังก์ชันของ  $x$  สมการนี้จะให้เส้นโค้ง และ เส้นโค้งนี้แทนรูปร่างที่แท้จริงของเส้นเชือกที่เวลาที่กำหนดให้ สมมติว่าเราสนใจ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใจจุดๆหนึ่งบนเส้นเชือกซึ่งค่าของ  $x$  มีค่าคงที่ เราจะได้สมการ โดยมี  $y$  เป็นฟังก์ชันของเวลา  $t$  ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งตามขวางของจุดนี้บนเส้นเชือกเปลี่ยนตามเวลา  $t$  อย่างไร

สำหรับคลื่นตามยาวก็เช่นเดียวกับคลื่นตามขวาง ตัวอย่างที่คล้ายคลึงกันของคลื่นตามยาว ได้แก่ ท่อตรงยาว ภายในบรรจุไว้ด้วยก๊าซซึ่งวางให้แกนอยู่ในแนวแกน  $x$  และ คลื่นเดี่ยว หรือ pulse ก็คือ ความดันที่เปลี่ยนแปลงได้ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปตามท่อ ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันเราจะได้สมการรูปเดียวกับสมการ (2-2) และ (2-3) ทำให้เราทราบถึงความดันของก๊าซที่แปรผันกับเวลาที่ทุกๆจุดภายในท่อ

ขอให้เราพิจารณาถึงรูปคลื่นโดยเฉพาะ ดังจะได้เห็นความสำคัญต่อไป สมมติว่าที่เวลา  $t=0$  เรามีขบวนคลื่น (Wave train) ขบวนหนึ่งในเส้นเชือกเขียน ได้เป็น

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \quad (2-5)$$

รูปร่างของคลื่นเป็นรูป Sin curve การขจัดมากที่สุด  $y_m$  คือ แอมพลิจูด (Amplitude) สมมติให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปทางขวาด้วยความเร็วของเฟส  $=v$  ดังนั้นสมการของคลื่นที่เวลา  $t$  คือ

$$y = y_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \quad (2-6)$$

จะสังเกตได้ว่าสมการนี้เป็นรูปของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ (สมการ 2-2)

เวลาแกว่งครบรอบ (Period)  $T$  เป็นเวลาที่คลื่นใช้ในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่ากับความยาวคลื่น  $\lambda$  ดังนั้น

$$\lambda = vT \quad (2-7)$$

แทนความสัมพันธ์นี้ลงในสมการของคลื่น จะได้

$$y = y_m \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \quad (2-8)$$

จากสมการเห็นชัดว่า ที่เวลาใดๆ  $y$  มีค่าคงที่ที่  $x + \lambda, x + 2\lambda, \dots$  และที่ตำแหน่งใดๆ  $y$  มีค่าคงที่ที่  $t + T, t + 2T, \dots$

เมื่อทำสมการ (2-8) ให้กะทัดรัดยิ่งขึ้น เราให้  $k$  เป็นเลขคลื่น (Wave number) และ  $\omega$  เป็นความถี่เชิงมุม (Angular frequency) ซึ่ง

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{และ} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2-9)$$

แทนพจน์เหล่านี้ลงในสมการ (2-8) จะได้สมการ Sine wave ของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายใน  $y = y_m \sin 2\pi(Kx - \omega t)$  เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสมการ Sine wave ของคลื่นที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเขียนได้เป็น

$$y = y_m \sin 2\pi(KX + \omega t) \quad (2-10b)$$

เปรียบเทียบสมการ (2-7) กับสมการ (2-9) เราจะเห็นว่าความเร็วของเฟส  $v$  ของคลื่นเป็น

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (2-11)$$

สำหรับคลื่นในสมการ (2-10a) และ (2-10b) เราได้สมมติว่า ระยะ  $y = 0$  ที่ตำแหน่ง  $x = 0$  เมื่อเวลา  $t = 0$  รูปสมการทั่วไปของขบวนคลื่นรูป Sine ที่กำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา คือ

$$y = y_m \sin(KX - \omega t + \phi) \quad (2-12)$$

$\phi$  เรียกว่าค่าคงที่ของเฟส (Phase constant) ตัวอย่างเช่น ถ้า  $\phi = -90^\circ$  ระยะ  $y$  ที่  $x = 0$  และ  $t = 0$  เป็น  $y_m$  สำหรับตัวอย่างนี้

$$y = y_m \cos(KX - \omega t) \quad (2-13)$$

เพราะ  $\sin 90^\circ = \cos 0^\circ = 1$

ถ้าเราสนใจจุดที่กำหนดคิให้บนเส้นเชือกเช่นที่ ระยะ  $y$  ที่จุดนั้นจะเขียนได้เป็น

$$y = y_m \sin(\omega t + \phi) \quad (2-14)$$

สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิคอย่างง่าย บนคลื่นส่วนต่างๆของเส้นเชือก จะเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิคอย่างง่ายรอบตำแหน่งสมดุลของมัน ขณะที่ขบวนคลื่นเคลื่อนที่ตามเส้นเชือก

## 2. ทฤษฎีพื้นฐานของเสียงที่ใช้ในการทดลอง (Plane wave theory)

โดยทั่วไปนั้น คลื่นเสียงจะมีลักษณะที่ซับซ้อนและไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ได้โดยง่ายเราจึงพิจารณาคลื่นเสียงในรูปลักษณะของ Plane wave โดยมีคุณสมบัติในรูปคลื่นมีมิติเดียว เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาที่ยู่ยากซับซ้อน

### 2.2.1 การแผ่คลื่นเสียงของ Plane wave

ในกรณีของการแผ่คลื่นเสียง Plane wave เราจะพิจารณาเพียงการเคลื่อนที่ในรูปคลื่นมิติเดียว ในการอธิบายสนามของคลื่นเสียง ตัวอย่างในกรณีนี้ คือ การแผ่คลื่นเสียงในท่อโดยมีผนังของท่อเป็นตัวบังคับและจำกัดการเคลื่อนที่

กำหนดให้ การแผ่คลื่นเสียงเป็นไปในทิศทางบนแกน  $x$

จากสมการ Wave Equation

$$\nabla^2 \phi = \left( \frac{1}{c^2} \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะได้

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \left( \frac{1}{c^2} \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) เราแทนค่าต่างๆลงในสมการจะได้

$$\phi = f(ct \pm x) \quad (2.17)$$

โดยที่  $\phi$  อธิบายการแผ่กระจายของคลื่นเสียงในทิศทางในแกน  $x$  ในขณะเวลา  $t$  ใดๆ หรือ แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า  $x$  ตามเวลา  $t$

ถ้าเรากำหนดให้ Argument ( $ct \pm x$ ) คงที่ ในขณะที่เวลาเพิ่มขึ้น ค่าของระยะ  $x$  จะลดลง ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $c$  เมื่อใช้เครื่องหมายบวก แต่ถ้าระยะ  $x$  เพิ่มขึ้น เครื่องหมายในวงเล็บก็จะเป็นลบ ในทำนองเดียวกันนี้ คลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ในทิศทางบวก  $x$  ในขณะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $c$  เครื่องหมายในวงเล็บจะเป็นลบ โดยในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ในทิศทางลบ  $x$  เครื่องหมายในวงเล็บจะเป็นบวก

$$u = -\nabla \phi \quad (2.18)$$

$$p = \rho \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.19)$$

จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่าง Acoustic pressure และ Particle velocity สำหรับ Plane wave

จากสมการ (2.17) และ (2.18) จะได้

$$u = \pm f'(ct \pm x) \quad (2.20)$$

และจากสมการ (2.17) และ (2.19) จะได้

$$p = \rho c f'(ct \pm x) \quad (2.21)$$

ดังนั้น

$$\frac{p}{u} = \pm \rho c \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการ (2.22) เครื่องหมายบวก จะใช้เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ในทิศทางบวก x ในขณะที่เครื่องหมายลบ จะใช้เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ในทิศทางลบ x

ปริมาณ  $\rho c$  จะปรากฏเป็นประจำเมื่อเราพิจารณาการแผ่ของเสียง ปริมาณ  $\rho c$  นี้เรียกว่า Characteristic impedance และเป็นหนึ่งในสามชนิดของ impedance ที่ใช้อธิบายและใช้ในการศึกษาค้นเสียง  
 ทุกๆ Function  $f(ct \pm x)$  เราสามารถใช้การวิเคราะห์แบบ Fourier ได้ โดยพิจารณาว่าเป็นผลรวมของ Simple harmonic function ในสมการ Wave equation จะได้สมการ

$$\phi = Ae^{j(\omega t \pm kx + \beta)} \quad (2.23)$$

เครื่องหมายลบ จะใช้เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ในทิศทางบวก x ในขณะที่เครื่องหมายบวก ใช้เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ในทิศทางลบ x

เมื่อ	$\phi$	=	Potential function
	$\beta$	=	Arbitrary constant of integral
	$\omega$	=	Angular velocity
	$c$	=	Sound velocity
	$k$	=	Wave number
	$p$	=	Acoustic pressure
	$t$	=	Time
	$u$	=	Fluid particle velocity

### 2.2.2 สมการ Plane wave one Dimension Linearized Theory

จากทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงที่ไหลผ่านในระนาบที่จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (2.24)$$

โดยให้

$U$	=	การขจัดอย่างรวดเร็ว
$C$	=	อัตราเร็วของการแพร่ของคลื่น
$C^2$	=	$B/\rho$ $B$ = Bulk Modulus

ซึ่งได้นำมาวิเคราะห์ การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในระนาบของท่อ ซึ่งเป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid tube)

โดยกำหนดให้สมมติว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความหนืดมีค่าเป็นศูนย์ ( $\mu=0$ )
2. มีการไหลต่อเนื่อง (Continuous flow)
3. ไม่มีการสูญเสียความร้อน (Adiabatic)
4. ความดันคงที่ ( $P=C$ )
5. อุณหภูมิคงที่ ( $T=C$ )

### 3. ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวณค่า Transmission Loss (TL)

#### 2.3.1 Transmission Through Ducts

#### 2.3.2 Acoustic Impedance (Z)

อ้างอิง One-Dimensional Sound Waves ส่งผ่านท่อปกติจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (Cross-sectional area) หรือ Side Branch และเมื่อเกิดการไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้น บางครั้ง เสียงจะมีการสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดไปถึงการกำหนดขนาด (Magnitudes) ของ Transmitted และ คลื่นเสียง จะต้องพิจารณาเงื่อนไขคลื่นเสียงที่ต้องการประการแรก คือ เงื่อนไขของความดัน และ ประการที่สอง เงื่อนไขความเร็ว เมื่อความเร็วคือ Partical velocity time ของ Cross sectional area ซึ่งรวมถึงการพิจารณา Acoustic Impedance เกี่ยวกับ การรบกวนเสียงสะท้อน

$$Z = \frac{\text{ความดัน}}{\text{ความเร็ว}} = \frac{P}{U} = \frac{\rho}{S \cdot U} \frac{Z}{S} \quad (2.25)$$

เมื่อ S คือ Cross sectional area

เนื่องจากต้องขึ้นอยู่กับ Cross-sectional area ดังนั้น Total Acoustic power จึงมีความสำคัญมากกว่า Acoustic Intensity ตัว Power ที่ประกอบอยู่ใน Plan wave จะเป็น

$$W = I \times S = \left( \frac{P^2}{\rho_0 c} \right) S = \frac{P^2}{Z_0} \quad (2.26)$$

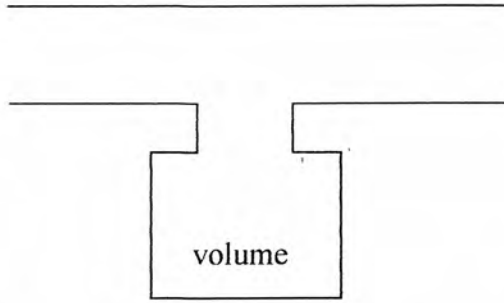
และยังสะดวกต่อการใช้ Acoustic Impedance

#### 2.3.3 The Helmholtz Resonator

Helmholtz Resonator เป็นเรื่องที่น่าสนใจเพราะถูกใช้ในเครื่อง Acoustic นำไปประยุกต์ใช้ในสิ่งที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นมากกล่าวถึงเรื่อง Acoustic Impedance และยังคงจะแนะนำแนวความคิดในเรื่อง Acoustic Stiffness กับ Mass รูปแบบต่างๆ จะประกอบด้วย Volume ที่เชื่อมเข้ากับ Main Ducts ของ Fluid ด้วยท่อกลมเล็กๆที่มีความยาว L และมีพื้นที่  $S = \pi a^2$  สันนิษฐานได้ว่าขนาดทุกๆขนาดจะน้อยกว่าความยาวคลื่นเสียงอย่างมาก ซึ่งจะจำกัดการใช้ เมื่อเป็นความถี่ต่ำ Resonator ปัจจุบันจะเหมือนกับ Mechanical Mass Spring Damper System

ที่มี Plug อยู่ใน Neck โดยทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 Representation of a Helmholtz Resonator

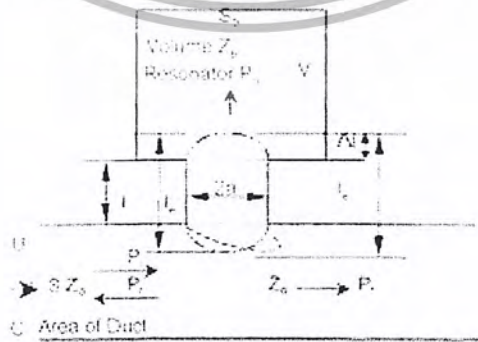
Mass และตัว Volume ของ Fluid ที่มาด้วย ก็จะทำหน้าที่เป็นเหมือน Spring และหน้าที่ของ Frictional Force บน Plug ของ Fluid ที่อยู่ใน neck คือสิ่งที่ต้องเอาค้ำไว้ถึงก็ได้ เว้นแต่ช่องจะเล็กมากหรือถูกจำกัดโดยเจตนาในทางใดทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อ Plug สั่นสะท้อนก็สามารถส่งกระจายเสียงเข้าไปใน Main Ducts และ พลังงานจะสูญหายไปยัง Resonator

2.3.4 ผลที่ได้ของ Helmholtz Resonator

Main pipe ที่มีพื้นที่ S จะมี Helmholtz Resonator ของ Acoustic Impedance  $Z_b$  ที่ตำแหน่ง  $X=0$  จะไม่มีคลื่นสะท้อนไปข้างหลังของ Side Branch และ Acoustic Impedance ของ Main pipe ที่  $X=0$  จะเป็น  $\rho_0 c / S$  ซึ่ง Side Branch เป็นต้นเหตุให้เกิดการสะท้อนของคลื่นที่ปรากฏขึ้น และ ที่  $X=0$  อาจเขียนสมการความดันกับอัตราการความเร็วได้ 4 ตัวแปร คือ

$$P_i = A e^{j\omega t} \quad U_i = \frac{P_i}{\rho_0 c / S} \quad (2.27)$$

$$P_r = B_1 e^{j\omega t} \quad U_r = \frac{P_r}{\rho_0 c} \quad (2.28)$$



รูปที่ 2.2 Schematic diagram of Helmholtz Resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_t = A_2 e^{j\omega t} \quad U_t = \frac{P_t}{\rho_0 c / S} \quad (2.29)$$

$$P_b = A_3 e^{j\omega t} \quad U_b = \frac{P_b}{\rho_0 c / S} \quad (2.30)$$

ต้องการพิจารณาเงื่อนไขความดันและอัตราความเร็วปริมาตรแยกจากกัน

(1) ความต่อเนื่องของความดัน

$$P_i + P_r = P_t + P_b \quad (2.31)$$

(2) ความต่อเนื่องของอัตราความเร็ว

$$U_i + U_r = U_t + U_b \quad (2.32)$$

รวมสมการ 2.31 กับ 2.32 เข้าด้วยกันจะได้

$$\frac{U_i + U_r}{P_i + P_r} = \frac{U_t + U_b}{P_t + P_b} \quad (2.33)$$

หรือ

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_t} + \frac{1}{Z_b} \quad (2.34)$$

เมื่อ

$$Z = \frac{\rho_0 c}{S} \frac{A_1 + B_1}{A_1 - B_1} \quad \text{และ} \quad Z_t = \frac{\rho_0 c}{S}$$

สมการ 2.34 จะถูกเขียนใหม่ จะได้

$$\frac{B_1}{A_1} = \frac{-\rho_0 c}{\rho_0 c / 2S} \frac{2S}{2S + Z_b} \quad (2.35)$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{A_3}{A_1} = \frac{Z_b}{\rho_0 c / (2S + Z_b)} \quad (2.36)$$

โดยทั่วไป Acoustic Impedance ของ Helmholtz Resonator จะซับซ้อน อาจเขียนได้เป็น

$$Z_b = R_b + jX_b \quad (2.37)$$

และสำหรับที่ให้ไว้ในสมการที่ 2.37 จะรวมเทอมของ Radiation เข้าด้วยกัน เมื่อใช้ Helmholtz Resonator พลังงานที่ส่งกระจายรังสีออกมาจะถูกย้อนกลับไปยัง Main pipe และด้วยเหตุนี้ Impedance ของ Resonator ก็จะเป็น

$$Z_b = j \frac{\omega \rho_0 l'}{S_b} - \frac{\rho_0 c^2}{\omega V} \quad (2.38)$$

เมื่อ  $l' = l + \frac{16a}{3\pi}$

ณ ความถี่ Resonance ของ Resonator นั้นคือเมื่อ  $f = f_0 = \left( \frac{c}{2\pi} \right) \left( \frac{S_b}{l'V} \right)^{0.5}$

โดย

- $P_i$  คือ ความดันเสียงที่เข้าด้านหน้า Resonator
- $P_r$  คือ ความดันเสียงสะท้อนกลับเข้าด้านหน้า Resonator
- $P_t$  คือ ความดันเสียงที่ผ่านไปด้านหลัง Resonator
- $P_b$  คือ ความดันเสียงที่เข้าตัว Resonator
- $U_0$  คือ ความเร็วเสียง

เมื่อพิจารณาผลกระทบของ Helmholtz Resonator ที่ความหน่วง  $Z = R + iX$

$$TL = 10 \log \left( 1 + \frac{Z_0^2}{4X_b^2} \right) \quad (2.39)$$

แทนค่า  $X_b$  และ  $Z_0$  ลงในสมการ 2.39 จะอยู่ในรูป

$$\frac{X_b}{Z_0} = S_0 \left( \frac{f}{fr} - \frac{fr}{f} \right) \sqrt{\frac{l_e}{S \cdot V}} \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Resonance Frequency คือ

$$fr = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V \cdot I_e}} \quad (2.41)$$

เมื่อ  $I_e = I + \beta d$

### 2.3.4 Coefficient B

Resonance ในท่อ และ แนวคิดของ Acoustic Impedance สามารถนำมาใช้ในการหาพฤติกรรมของท่อที่มีความยาวแน่นอน พิจารณาท่อที่มีรูปแบบพื้นที่หน้าตัดแบบเดียว  $S = \pi a^2$  และ มีความยาว  $L$  สมมติว่า Acoustic Impedance เป็น  $Z_0$  ที่  $x = 0$  และ  $Z_L$  ที่  $X=L$  ดังนั้น จะได้

$$Z_L = \frac{\rho_0 c (Ae^{-jkL} + Be^{jkL})}{S(Ae^{-jkL} - Be^{jkL})} \quad (2.42)$$

และ

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

รวมสองสมการเข้าด้วยกันเพื่อกำจัด  $A$  และ  $B$  จะได้

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c Z_L + j \left( \frac{\rho_0 c}{S} \right) \tan kL}{S \left( \frac{\rho_0 c}{S} \right) + j Z_L \tan kL} \quad (2.43)$$

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Experiment Apparatus)

3.1) แหล่งกำเนิดเสียง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ สามส่วนต่ออยู่ด้วยกัน และ เชื่อมต่อกับ

Nominate Duct ดังนี้

- 3.1.1 Oscillator คือ ตัวกำเนิดความถี่
- 3.1.2 Amplifier คือ ตัวขยายสัญญาณความถี่
- 3.1.3 Driver unit คือ ตัวกำเนิดเสียงตามความถี่ที่เปลี่ยนแปลง ต่อติดอยู่ กับ

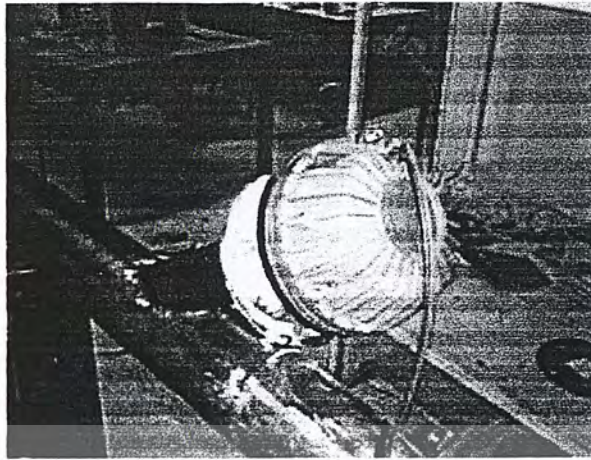
Nominate Duct ส่งคลื่นเสียงผ่านเข้าไปในระบบท่อนำเสียง



รูปที่ 3.1 Oscillator

รูปที่ 3.2 Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

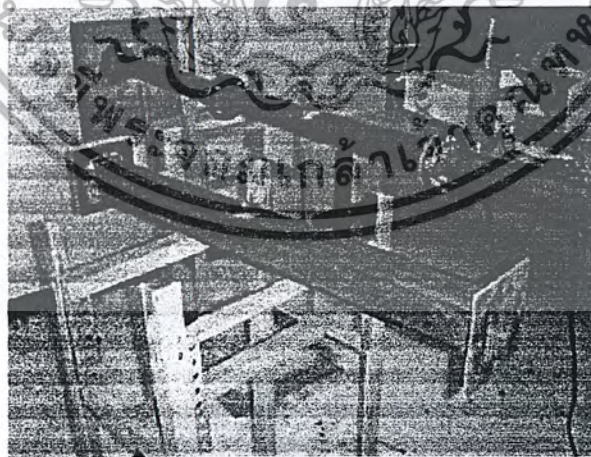


รูปที่ 3.3 Driver unit

3.2) ส่วนที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

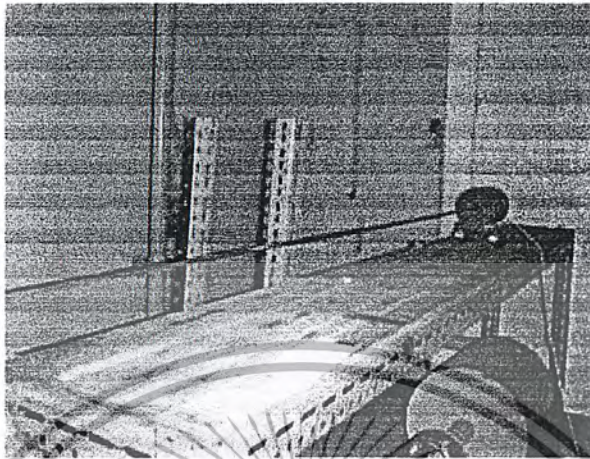
3.2.1 ห้องเก็บเสียงจะบุด้วย Fiber ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้เกิดการสะท้อนกลับ ใน Nominate Duct ในการทดลองปลายของท่อนำเสียงจะถูกปล่อยไปยังห้องเก็บเสียง

3.2.2 Nominate Duct คือ ท่อนำเสียง ซึ่งเป็นท่อเหล็ก มี 2 แบบ คือ แบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดภายใน 70x70 mm และท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 83 mm ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการเดินทางของเสียง และจะต้องไม่มีการสะท้อนของเสียงในท่อนี้ ซึ่งจะให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นในการทดลอง



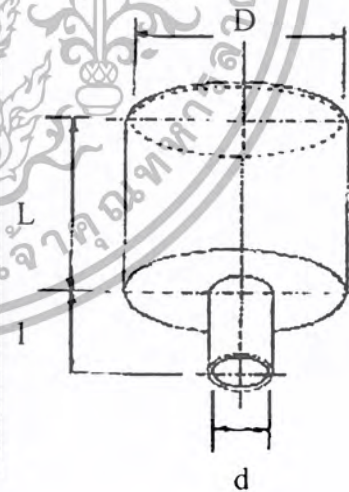
รูปที่ 3.3 Nominate Duct กลม และ Nominate Duct เหลี่ยม

3.2.3 Probe tube คือ ท่อทองเหลือง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 7 mm ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์นำเสียงที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.5 Probe tube

3.2.4 Test Silencer เป็นแบบ Helmholtz Resonator ทำจากท่อ PVC ชนิดหนา เป็นอุปกรณ์สำหรับลดเสียงให้น้อยลงในระบบท่อ มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก และมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ...เล็ก ๆ เชื่อมระหว่างท่อกับ Resonator สามารถปรับปริมาตรได้



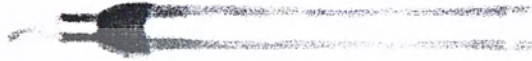
รูปที่ 3.6 รายละเอียดของ Helmholtz Resonator

- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator
- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Connector
- L คือ ความยาวของ Helmholtz Resonator
- l คือ ความยาวของ Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนแสดงผล

3.3.1 Microphone รับเสียงเพื่อส่งสัญญาณความถี่มาที่ตัว EFT-Analyzer มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว



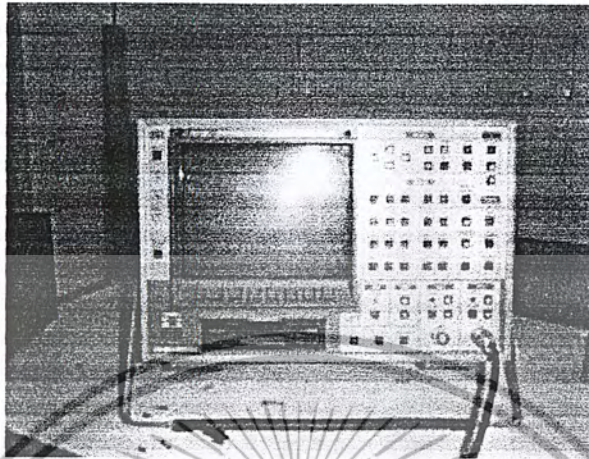
รูป 3.7 Microphone

3.3.2 Pre-amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่รับมาจาก Microphone



รูป 3.8 Pre-amplifier

- 3.3.3 EFT-Analyzer เป็นส่วนการแสดงผลที่ได้จากการทดลอง และ วัดค่าออกมาในรูปของความถี่เสียง หน่วยเป็น เดซิเบล



รูป 3.9 EFT-Analyzer

3.4 อุปกรณ์เสริมอื่นๆ

3.4.1 Calibrator

เครื่องมือสำหรับ Calibrator Microphone เปรียบเทียบกับ EFT-Analyzer ให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะต้องอ่านค่าได้ 124 dB ส่วนวิธีการใช้งาน จะต้องดูจากคู่มือการผลิต



รูป 3.10 Calibrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### วิธีการทดลอง และ บันทึกผลการทดลอง

#### วิธีการทดลอง

1. เชคเครื่อง EFT-Analyzer ณ จุด center ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ การต่ออุปกรณ์และการตั้งค่าต่างๆ
2. สำหรับตัวกำเนิดความถี่ (Oscillator) จะมีการปรับช่วงความถี่ให้อยู่ในช่วงที่ทำการทดลองคือ 100-1200 Hz และทดลองเป็นระยะความถี่ในช่วงซึ่งกราฟ ทางทฤษฎีมีประสิทธิภาพในการเก็บเสียงมากที่สุด โดยที่ Amplifier จะคงค่าเดิมที่เซตไว้ตอนต้นตลอดการทดลอง
3. พิจารณาที่ Probe tube ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ center ทำการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงก่อนผ่าน Helmholtz Resonator และช่วงหลังผ่าน Helmholtz Resonator โดยการเลื่อนตัวของ Probe tube ตาม Nominate Duct สังเกตค่าเปลี่ยนแปลงที่ EFT-Analyzer แล้วบันทึกผลการทดลอง
4. ทำตามข้อ 1-3 โดยมีการเปลี่ยนแปลง Connector, ขนาดและความยาวของ Volume Chamber ของตัว Helmholtz Resonator, เปลี่ยนแปลงประเภทของท่อนำเสียง ตามที่ได้มีการเตรียมอุปกรณ์ไว้แล้วให้ครบทุกกรณีทดลอง

#### การบันทึกผลการทดลอง

1. พิจารณาที่ EFT-Analyzer ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปค่าของความถี่หน่วย dB เนื่องจากคลื่นเสียงมีลักษณะเป็น Sine wave เพราะฉะนั้นค่าความถี่ออกมาที่ EFT-Analyzer จะมีลักษณะเป็น Sine wave เช่นกัน ในที่นี้จะใช้แต่เพียงค่าสูงสุดเท่านั้น ทั้งในช่วงก่อน และ หลังผ่าน Helmholtz Resonator (ค่าสูงสุดที่ได้จาก EFT-Analyzer เป็นค่าที่เกิดจากการสังเกตุด้วยสายตาเพราะฉะนั้น จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นมากน้อย ขึ้นกับตัวผู้ทดลองเอง)
2. นำค่าสูงสุดของความถี่ในหน่วย dB ที่ได้จากทั้ง 2 ข้าง มาคำนวณหาค่า Transmission Loss (TL) โดยค่า

$$\text{Transmission Loss (TL)} = \text{ค่าสูงสุดก่อนผ่าน Helmholtz Resonator (dB)} - \text{ค่าสูงสุดหลังผ่าน Helmholtz Resonator (dB)}$$

ซึ่งค่า Transmission Loss นี้จะเปลี่ยนไปตามค่าความถี่ในช่วงของการทดลอง ทำการบันทึกผลค่า TL เพื่อนำไปปรับแก้ต่อไป

นำค่า Transmission Loss ที่ได้ มาปรับค่าความถี่คู่กับ Davis curve จากนั้น นำผล Transmission Loss ที่ได้จากการปรับค่าความถี่คู่กันแล้ว มาแสดงผลอยู่ในรูปของกราฟเพื่อความสะดวกในการศึกษา

## กรณีศึกษาของ Helmholtz Resonator

D (m)	l (m)	L (m)	d (m)	
0.0508	0.020	0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	
	0.025	0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	
	0.030	0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	
	0.1016	0.020	0.04	0.0297
			0.06	0.0297
			0.08	0.0297
			0.10	0.0297
0.025		0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	
0.030		0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D (m)	l (m)	L (m)	d (m)	
0.1524	0.020	0.04	0.0297	
		0.06	0.0297	
		0.08	0.0297	
		0.10	0.0297	
	0.025	0.04	0.04	0.0297
			0.06	0.0297
			0.08	0.0297
			0.10	0.0297
	0.030	0.04	0.04	0.0297
			0.06	0.0297
			0.08	0.0297
			0.10	0.0297



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

กราฟผลการทดลองประกอบด้วย แกนนอนเป็นค่าความถี่ ( $H_2$ ) และแกนตั้งเป็นค่า Transmission Loss (TL) ที่ค่าความถี่ต่างๆ โดยเส้นกราฟ เป็นส่วนที่แสดงผลตามทฤษฎี และ จุดในกราฟเป็นผลที่ได้จากการทดลอง ทั้งสองส่วนจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร

ตัวแปรที่อยู่ในกราฟ เป็นส่วนของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงของ Helmholtz Resonator และ ประเภทของท่อนำเสียงตามที่ได้กำเนิดไว้ในตอนต้น โดยมีรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator
- d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของ Connector
- L คือ ความยาวของ Helmholtz Resonator
- l คือ ความยาวของ Connector
- Square duct = ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม ขนาด 70mm X 70mm
- Circular duct = ท่อนำเสียงแบบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 83 mm

ผลการทดลอง แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

#### 5.1 กราฟที่แสดงผลทางทฤษฎี

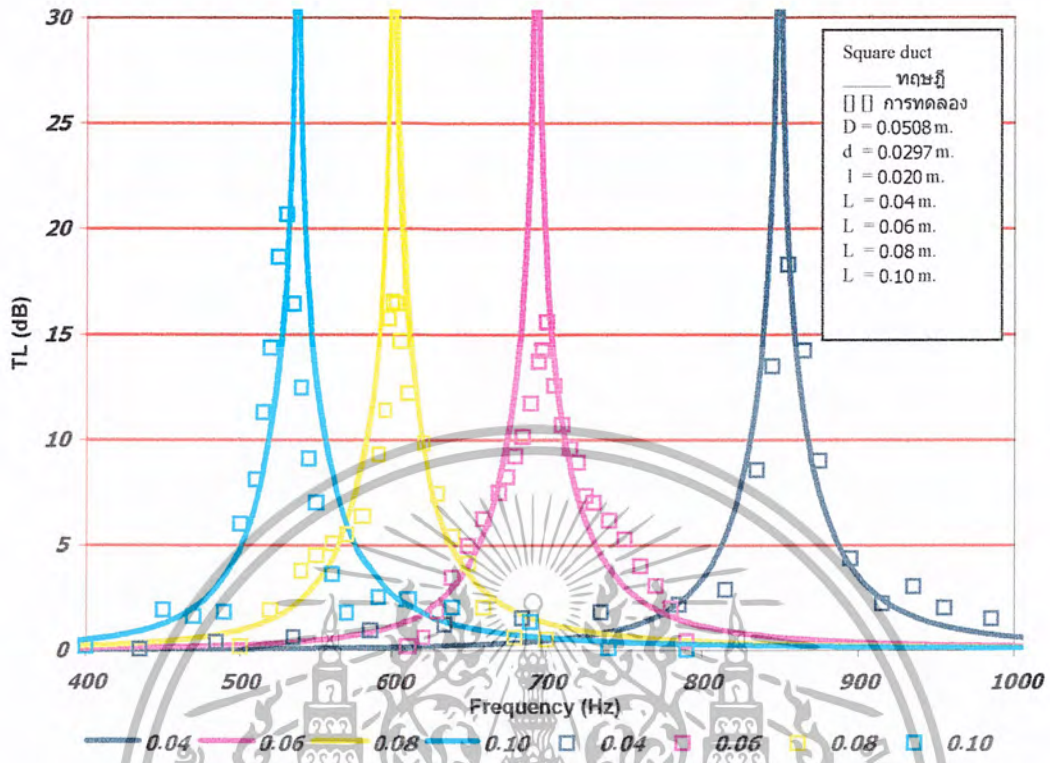
การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องลดเสียงแบบ Helmholtz Resonator จะพิจารณาที่ค่า Transmission Loss เป็นหลัก โดยเปรียบเทียบในช่วงความถี่ ซึ่งผลการทดลองจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลัก 3 ตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator (D), ความยาวของ Helmholtz Resonator (L), ความยาวของ Connector (l)

ในขั้นต้นเราจะเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหลัก โดยที่ตัวแปรที่เหลือมีค่าคงที่ แบ่งการเปรียบเทียบออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

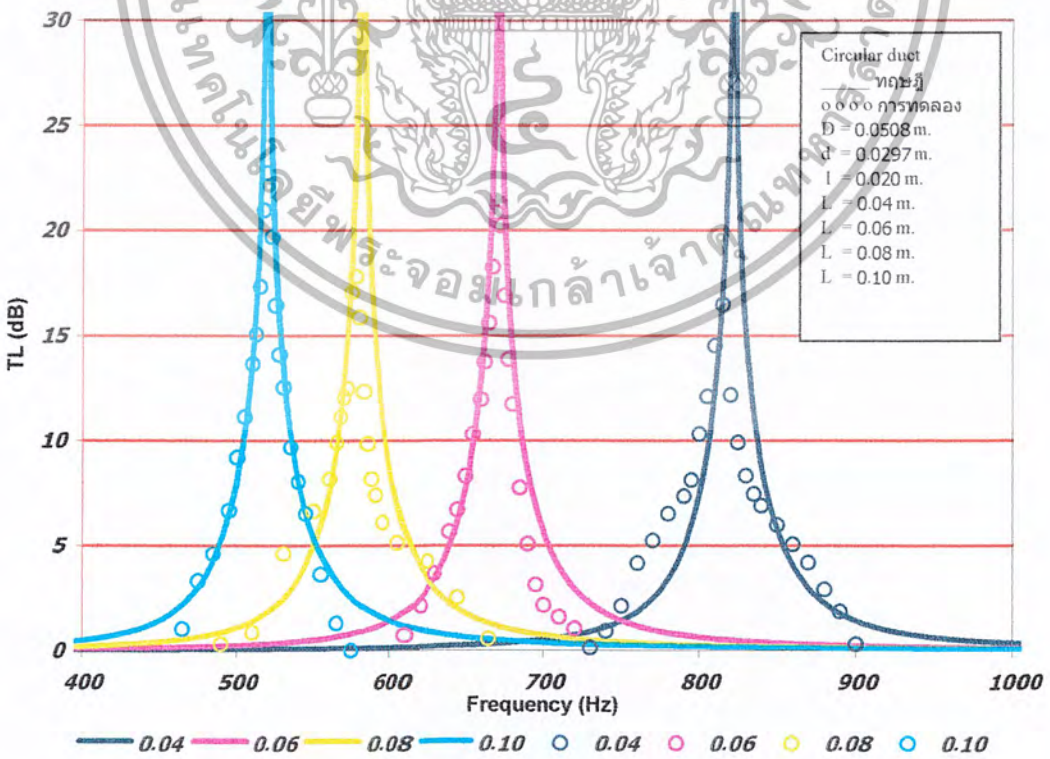
5.1.1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความยาวของ Helmholtz Resonator (L) เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator (D), ความยาวของ Connector (l) มีค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

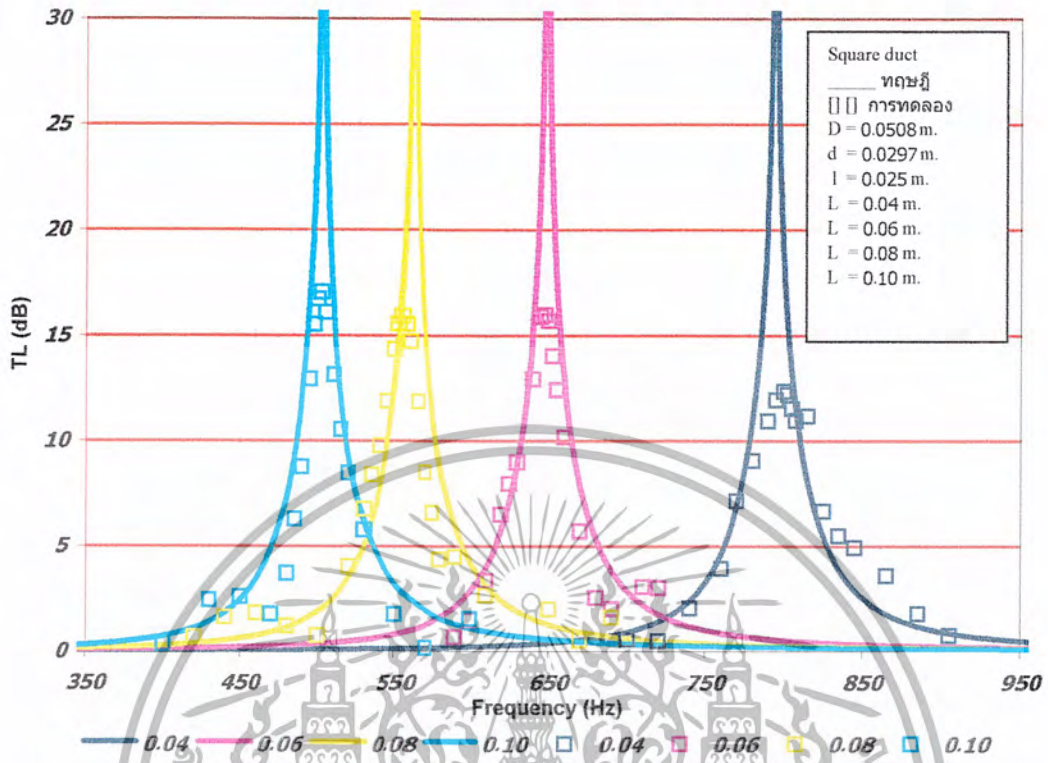


รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

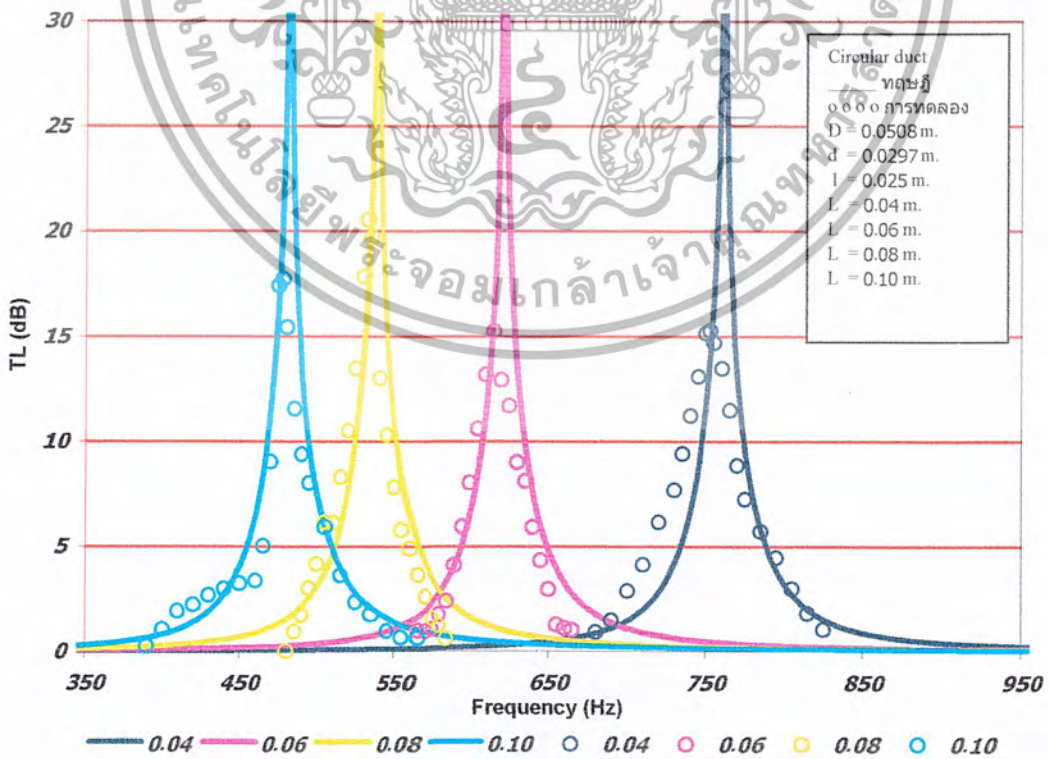


รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

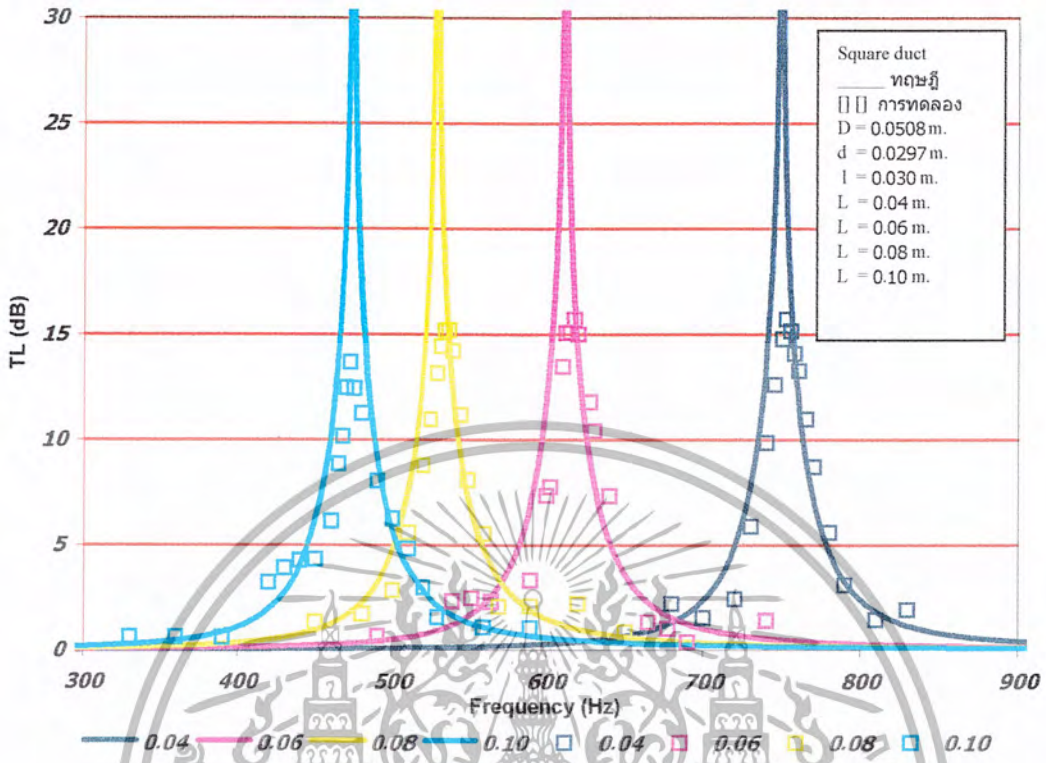


รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

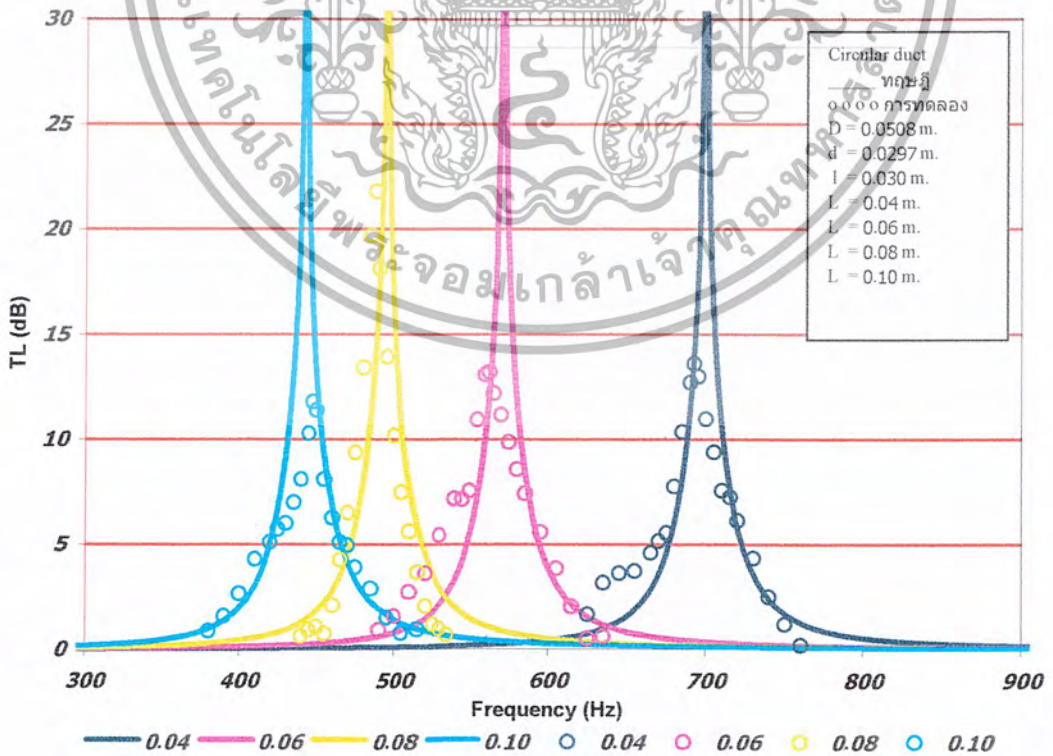


รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

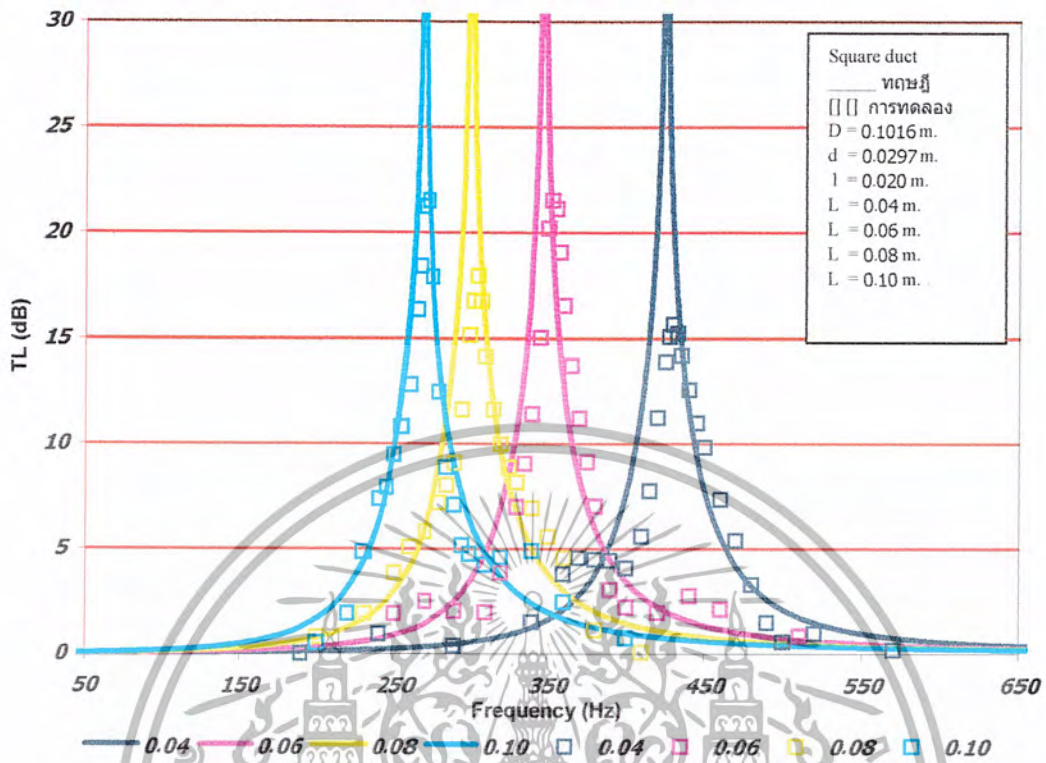


รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบสี่เหลี่ยม

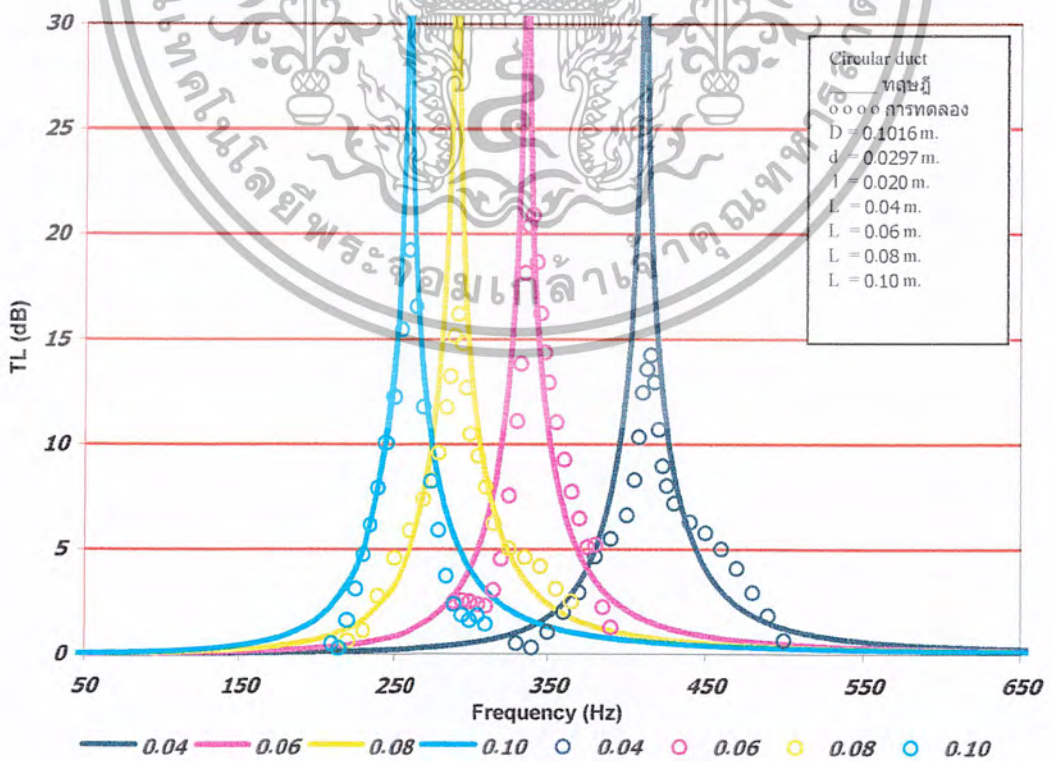


รูปที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

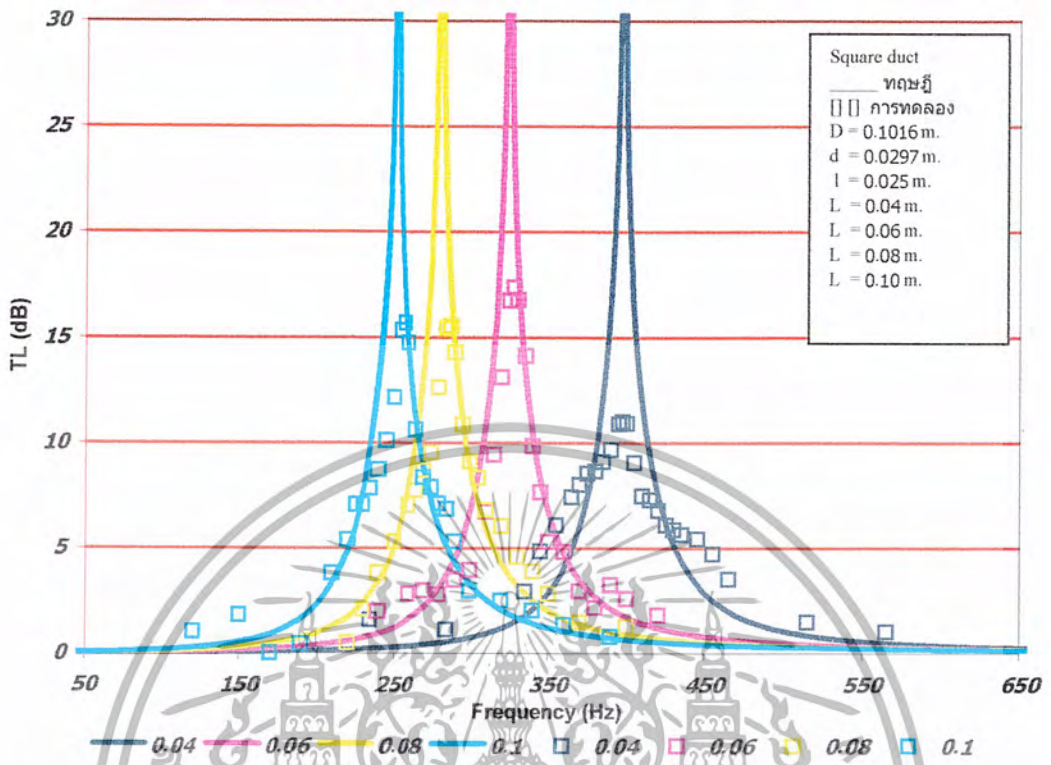


รูปที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

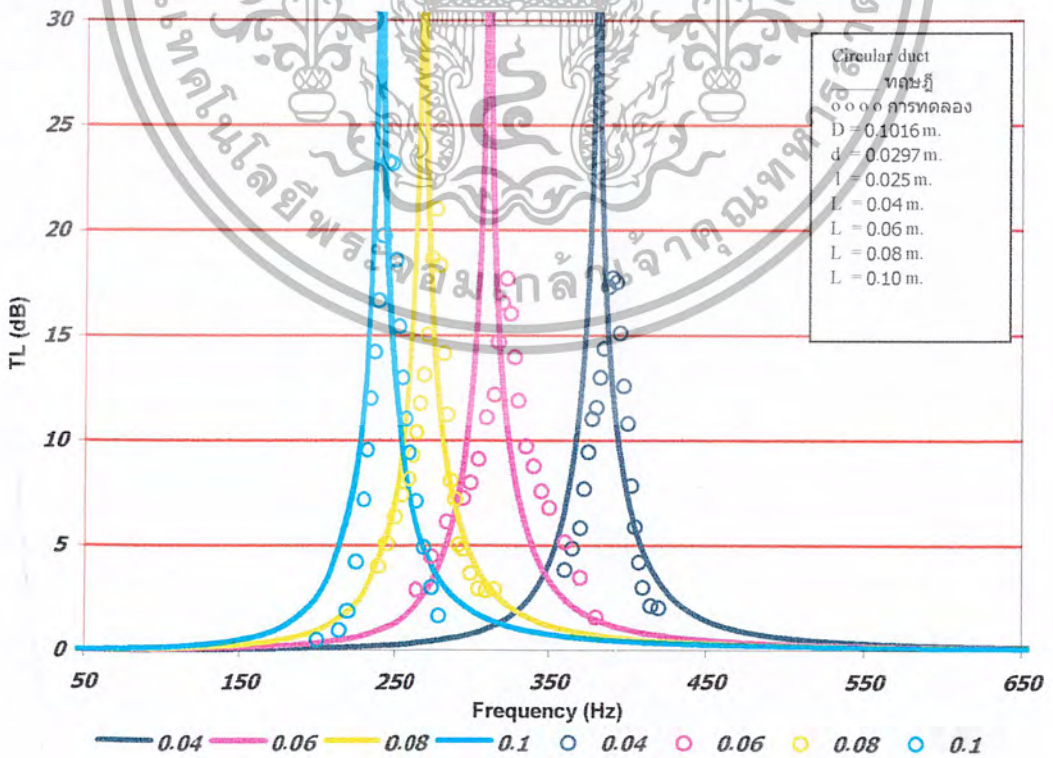


รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

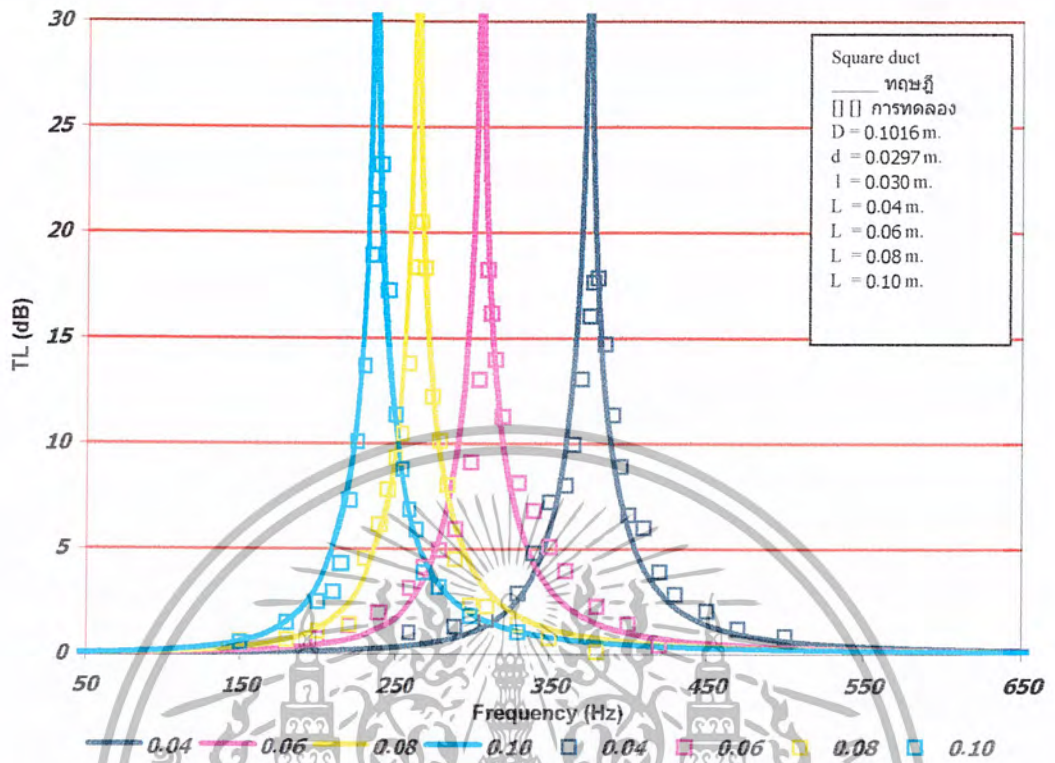


รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

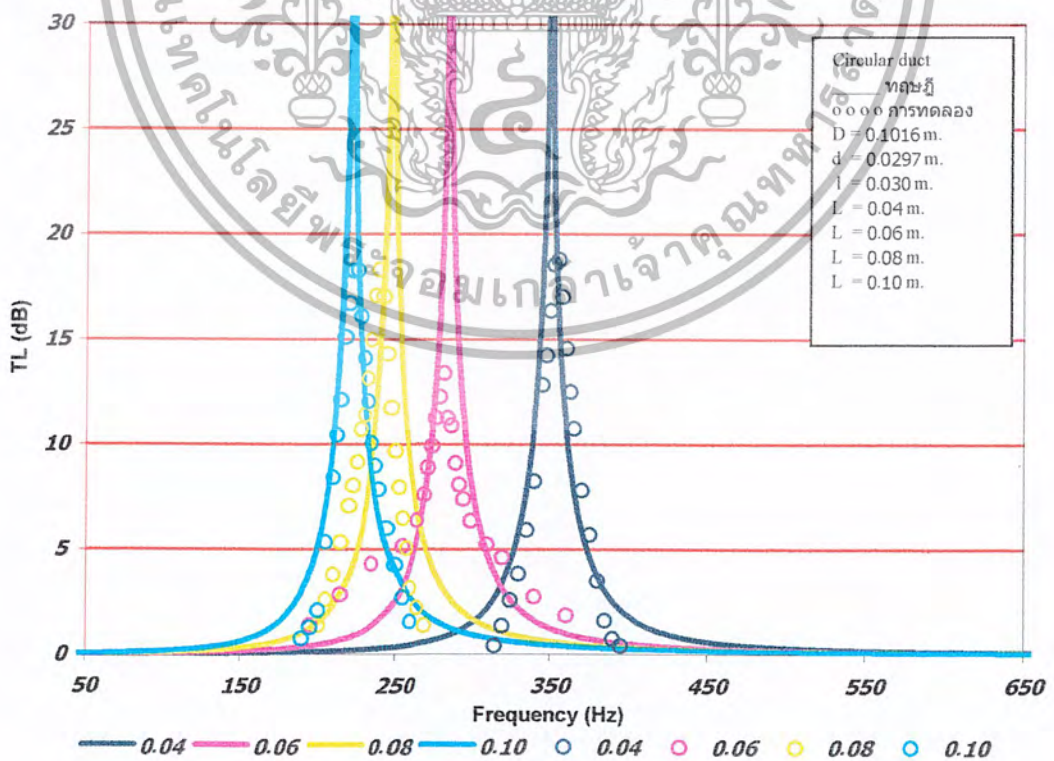


รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

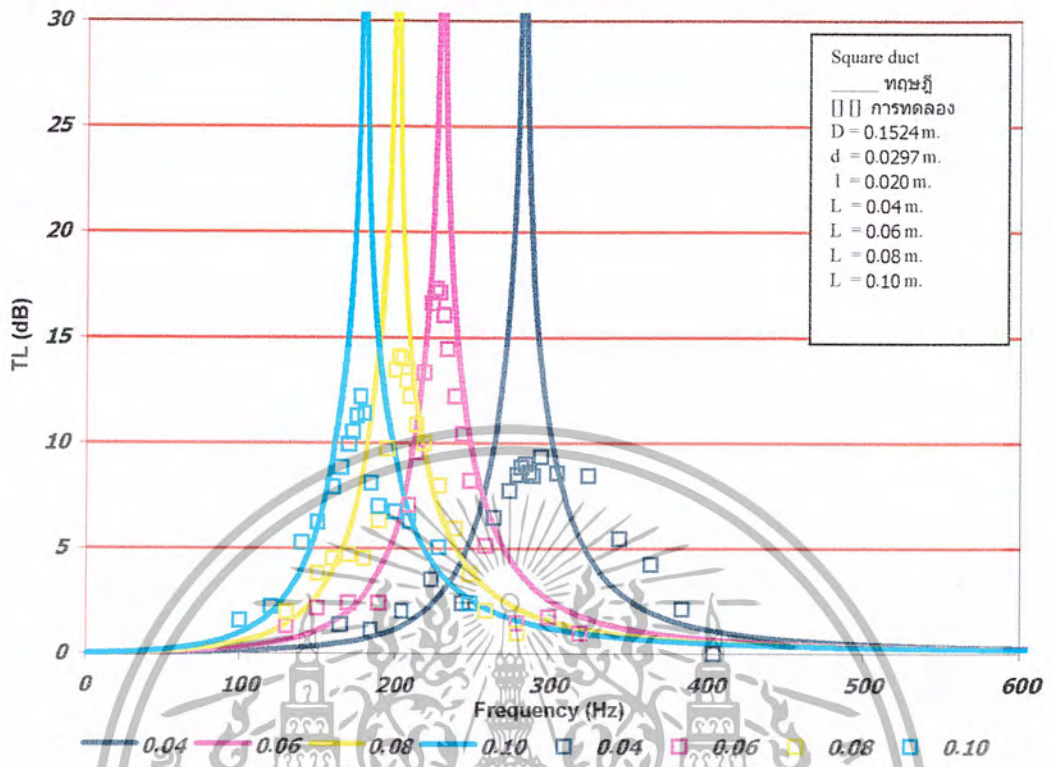


รูปที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

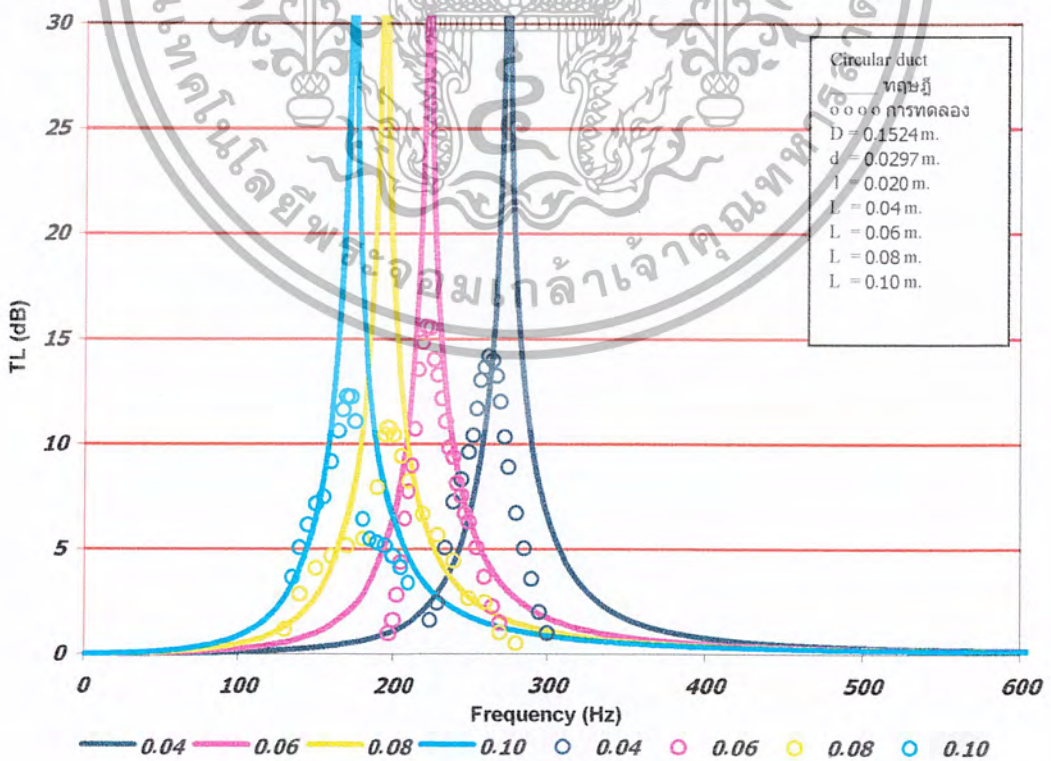


รูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

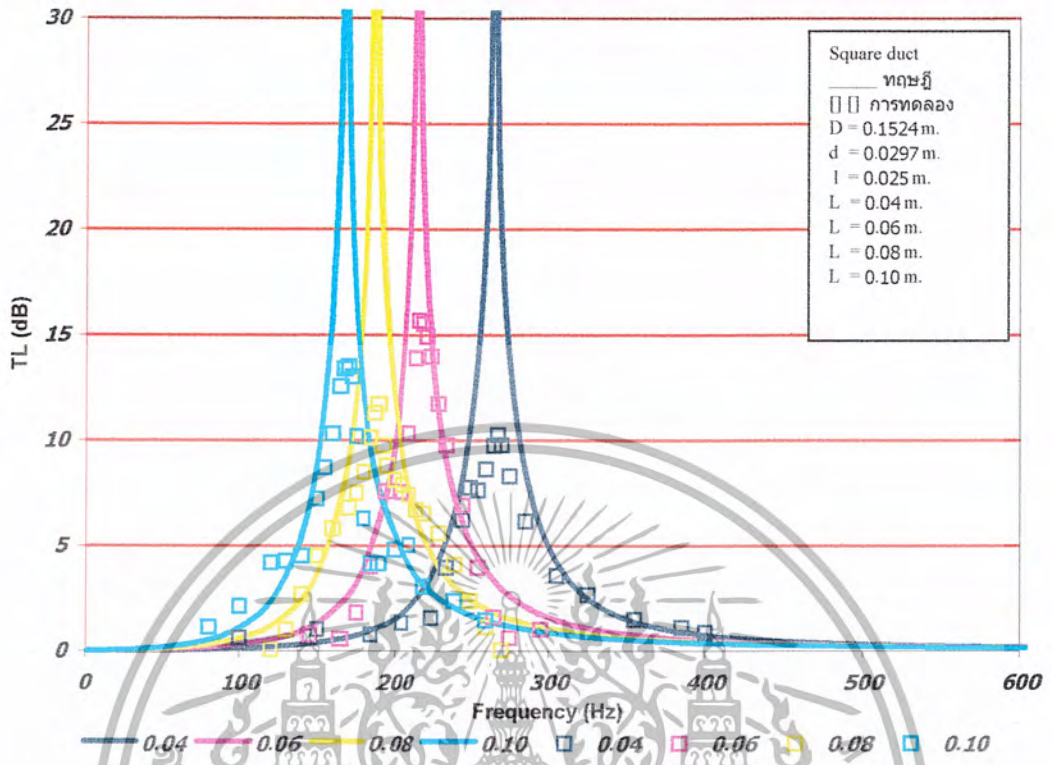


รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

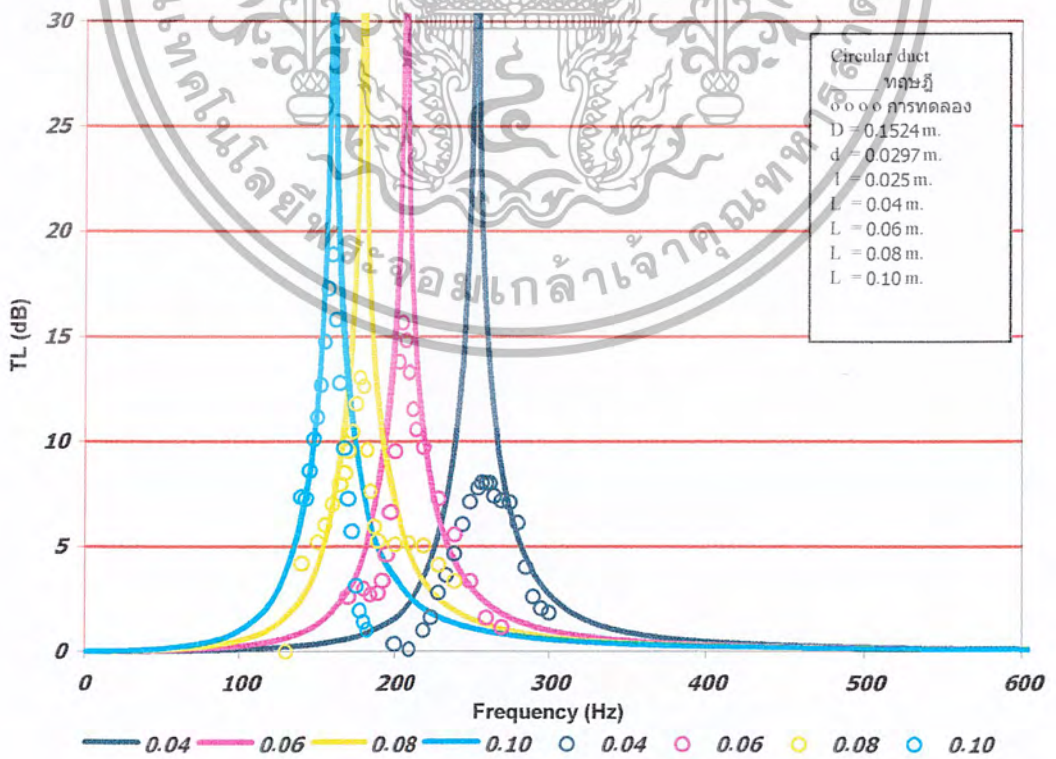


รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

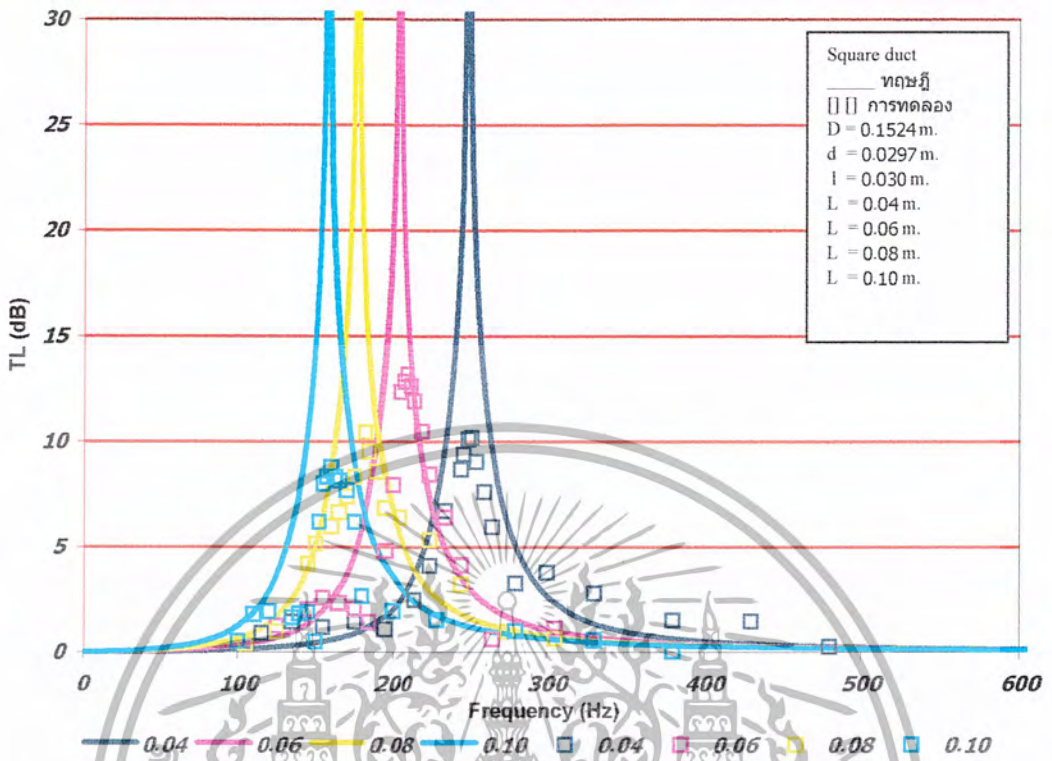


รูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

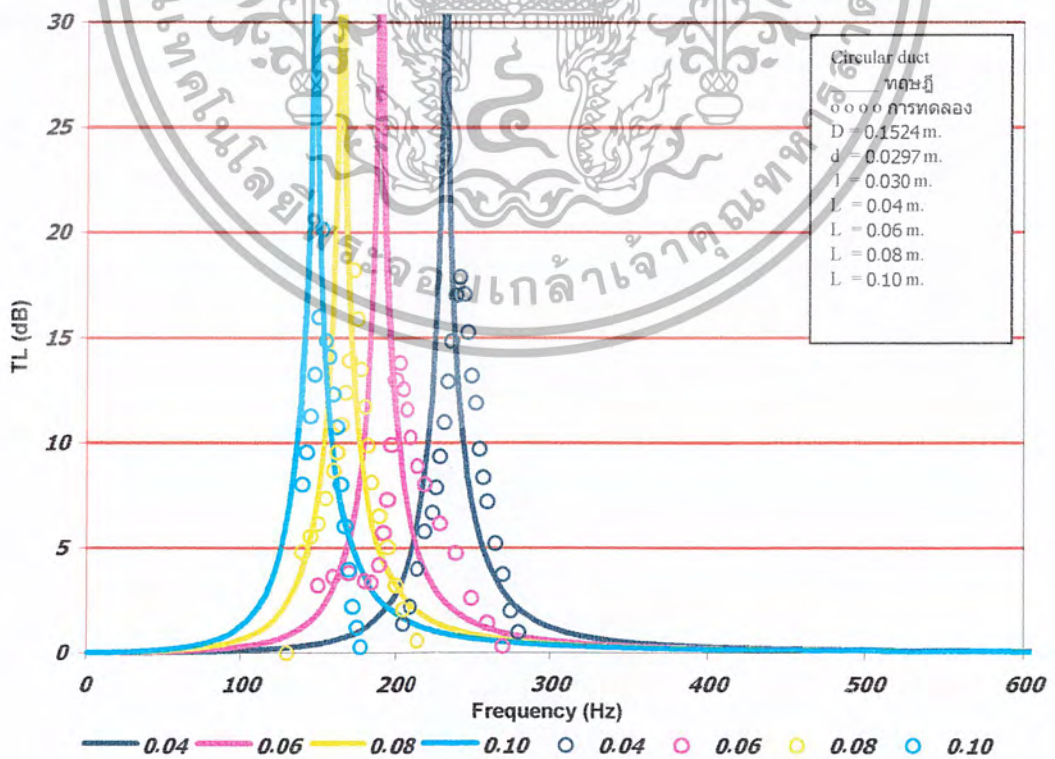


รูปที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



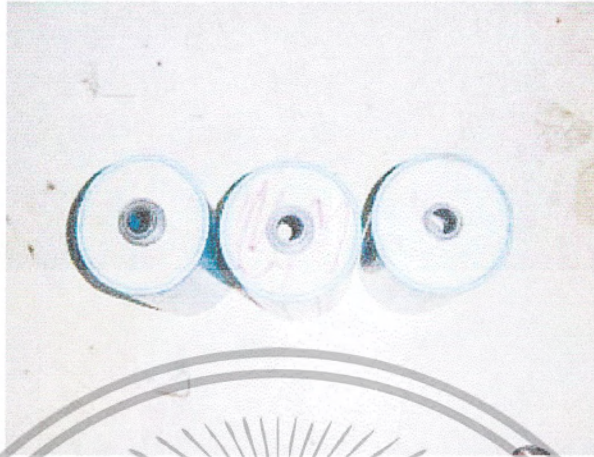
รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม



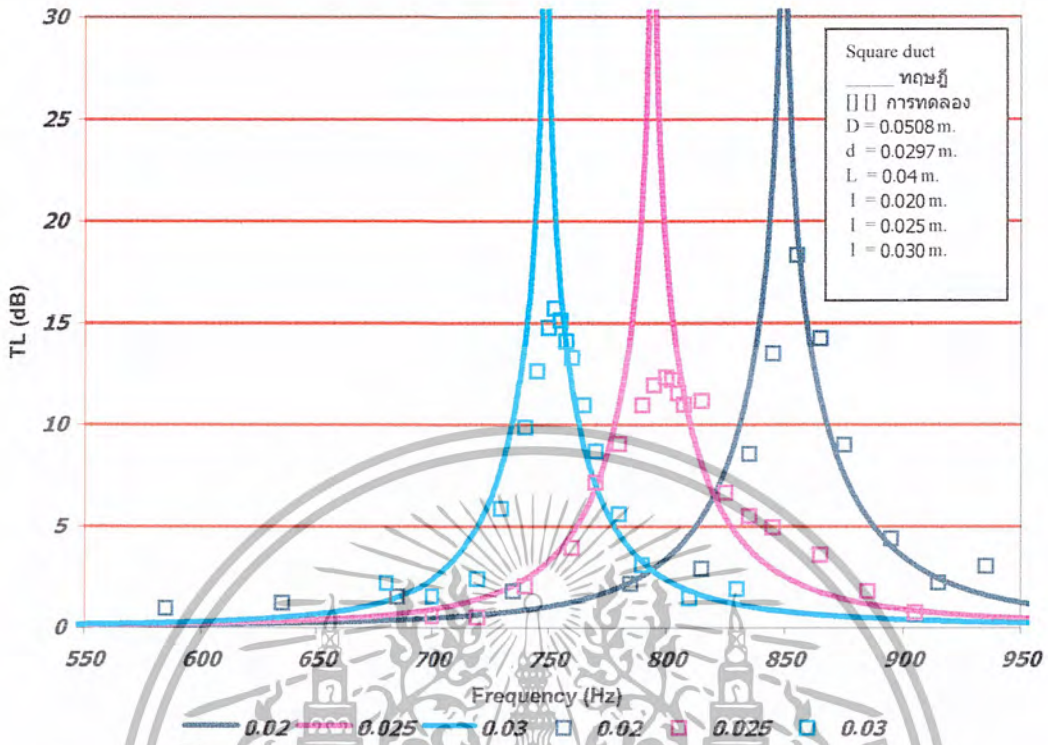
รูปที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $L$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

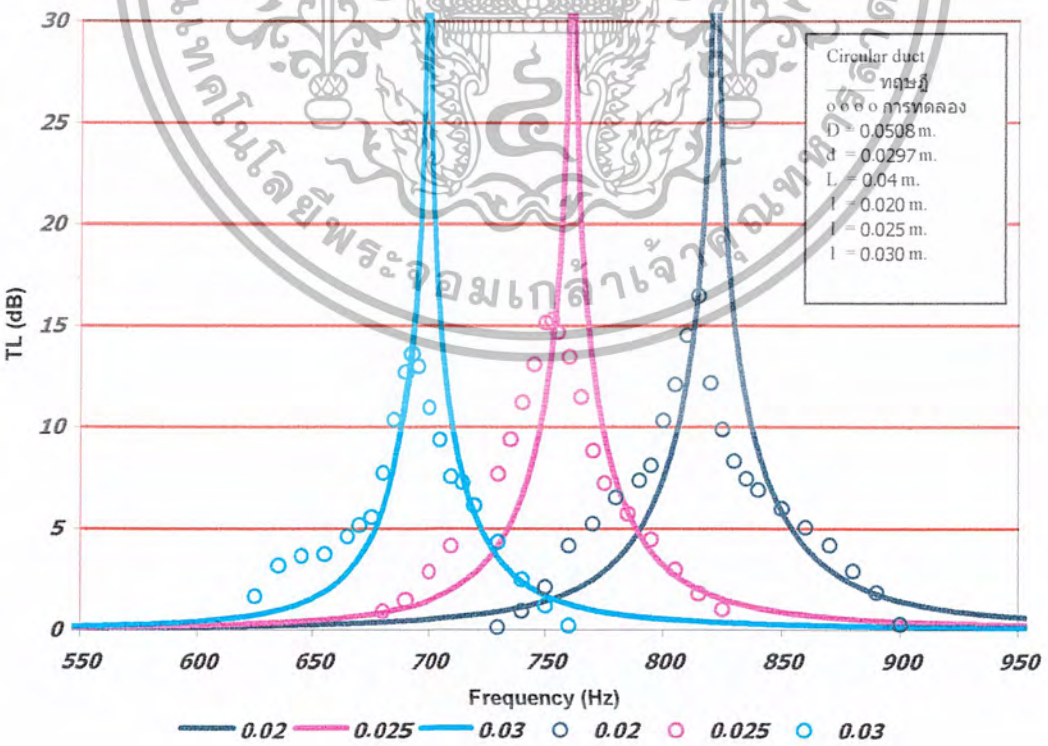
5.1.2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ความยาวของ Connector ของ Helmholtz Resonator (I) เมื่อ  
เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ Resonator (D), ความยาวของ Helmholtz Resonator (L) มีค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

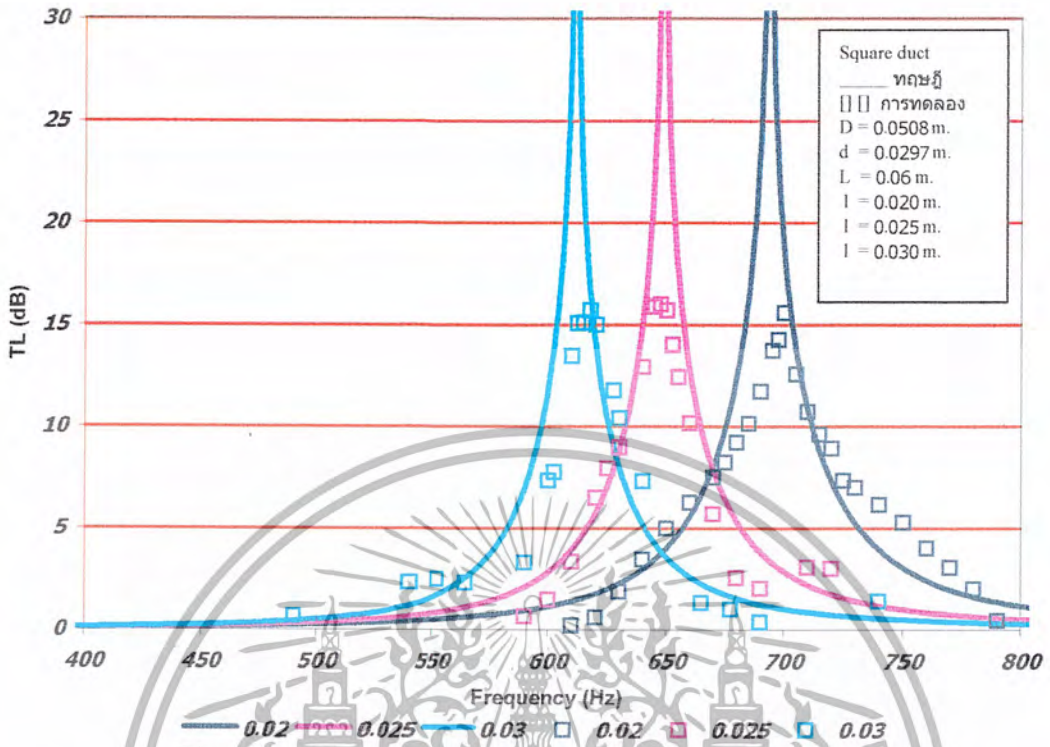


รูปที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

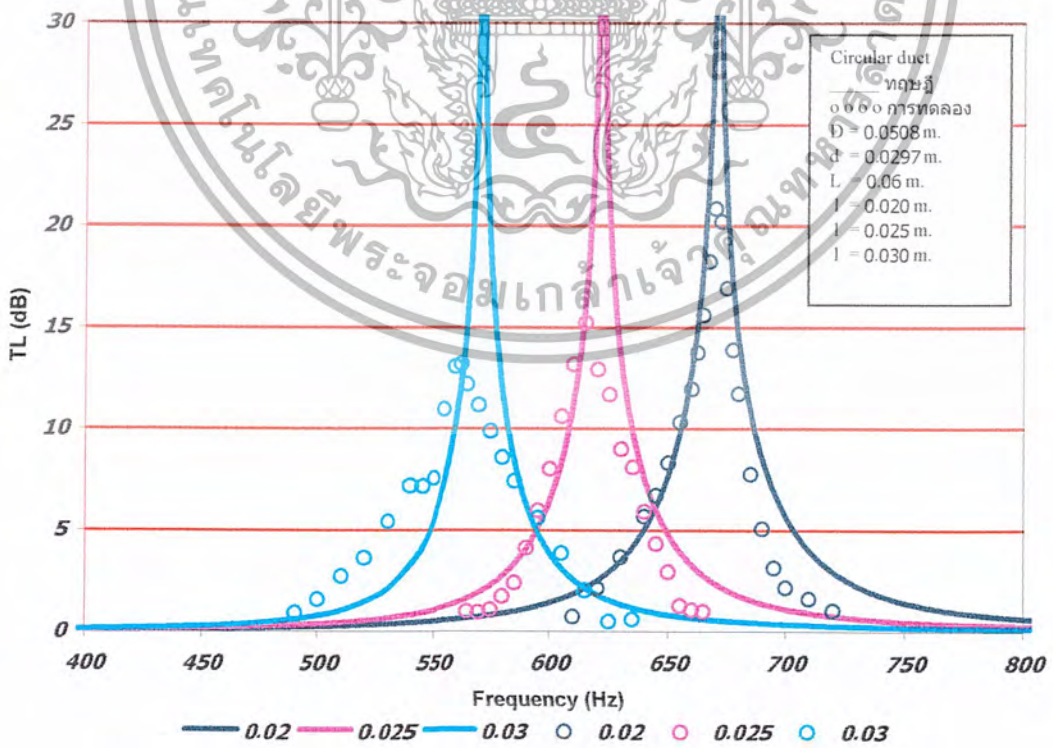


รูปที่ 5.20 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

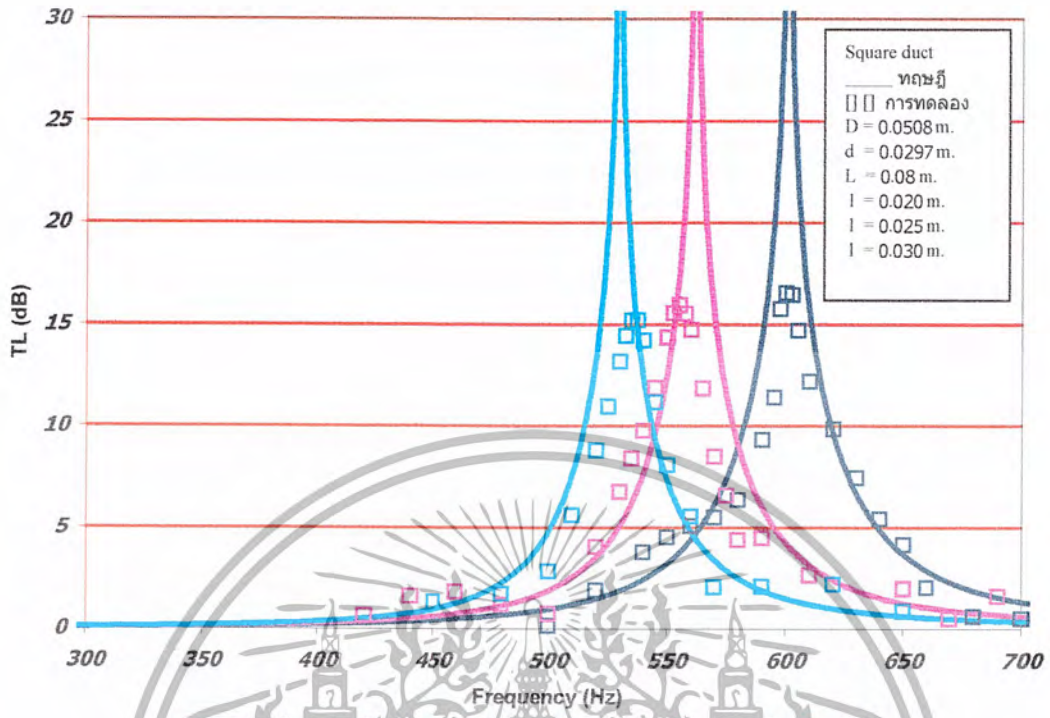


รูปที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

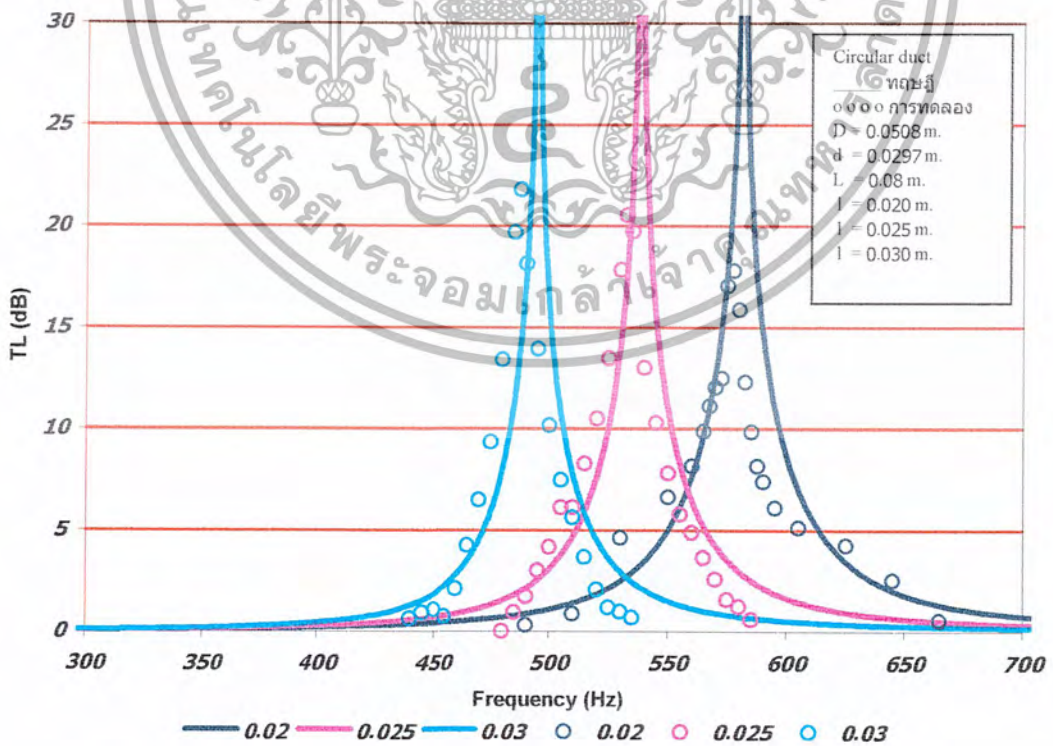


รูปที่ 5.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

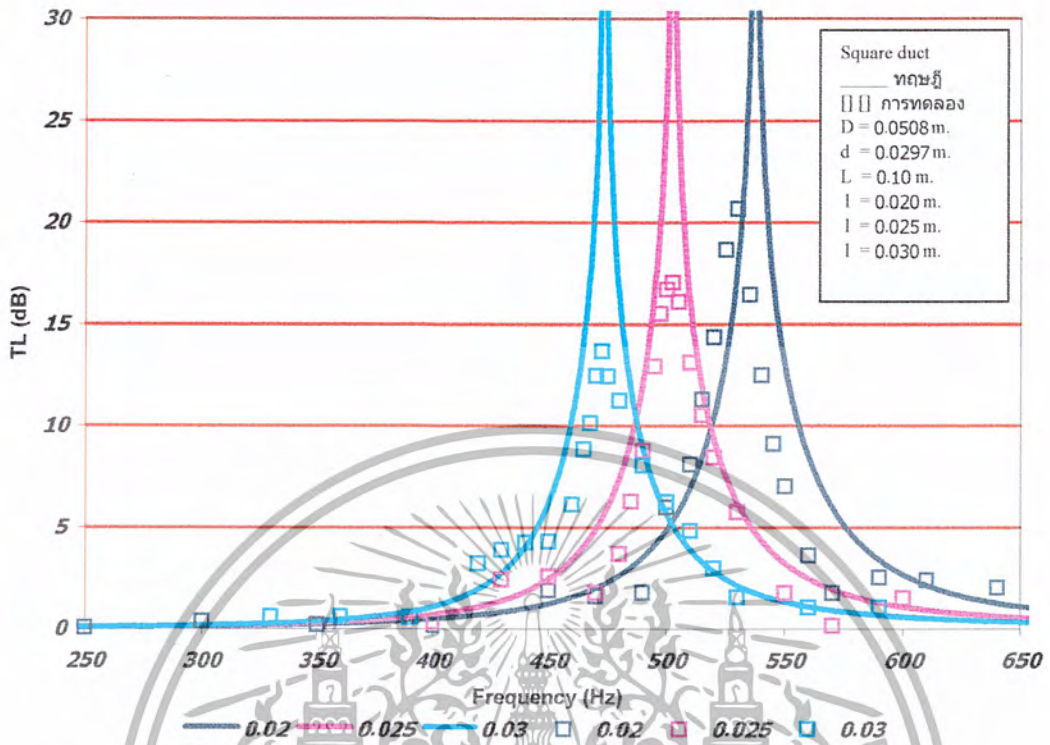


รูปที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

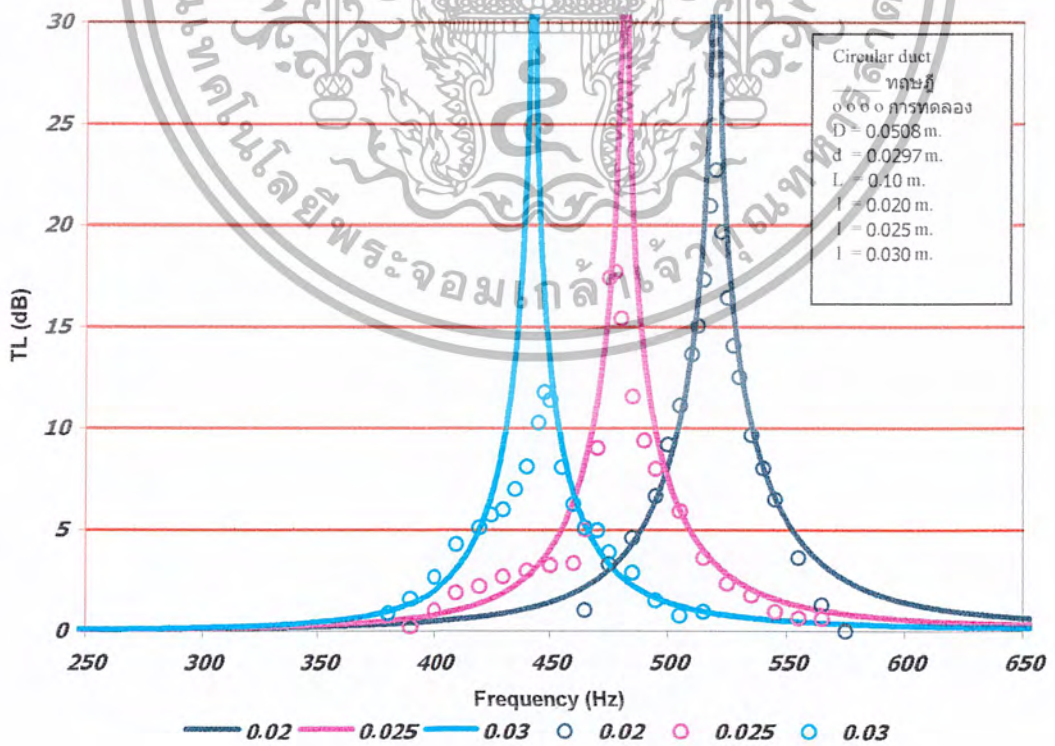


รูปที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

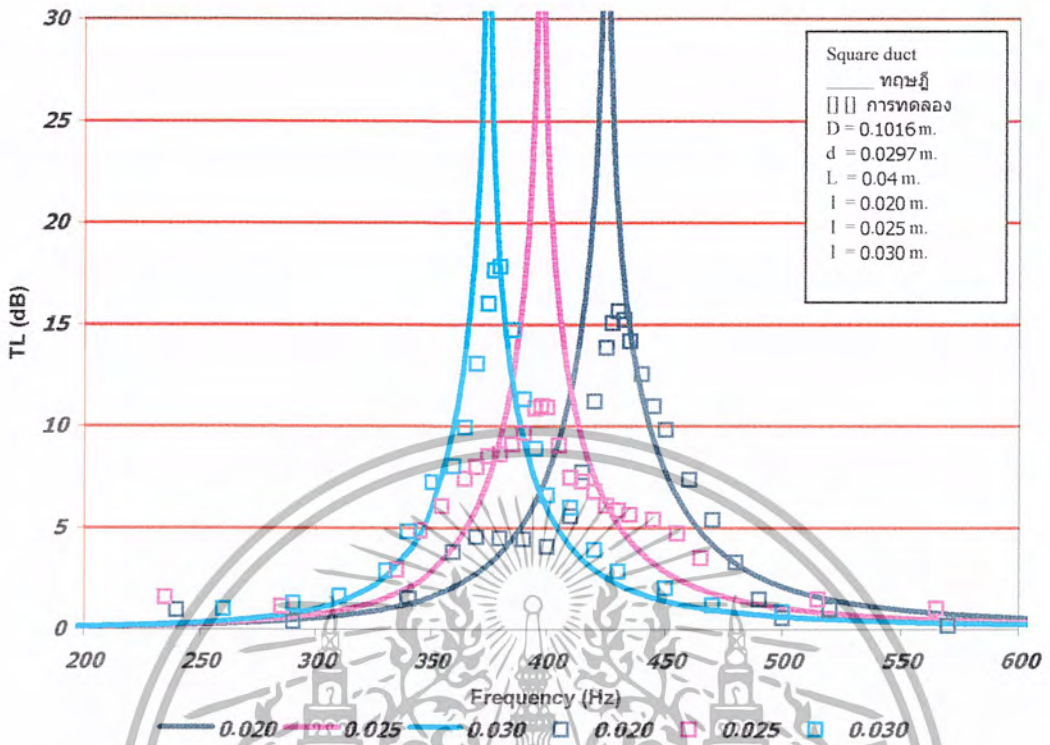


รูปที่ 5.25 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

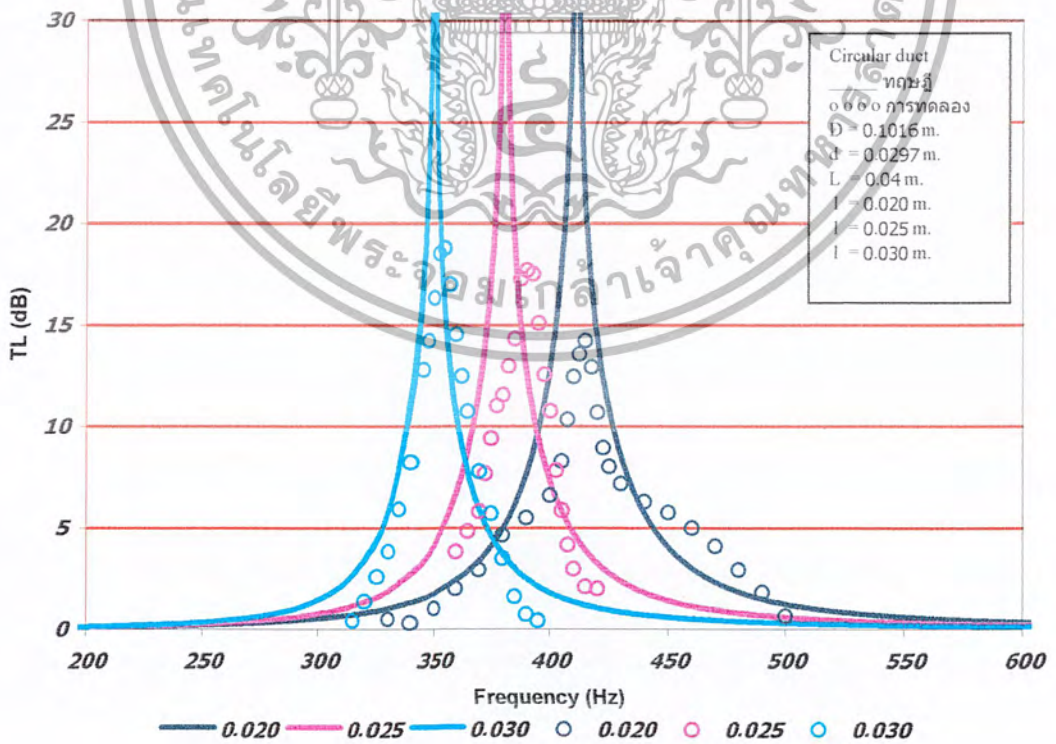


รูปที่ 5.26 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

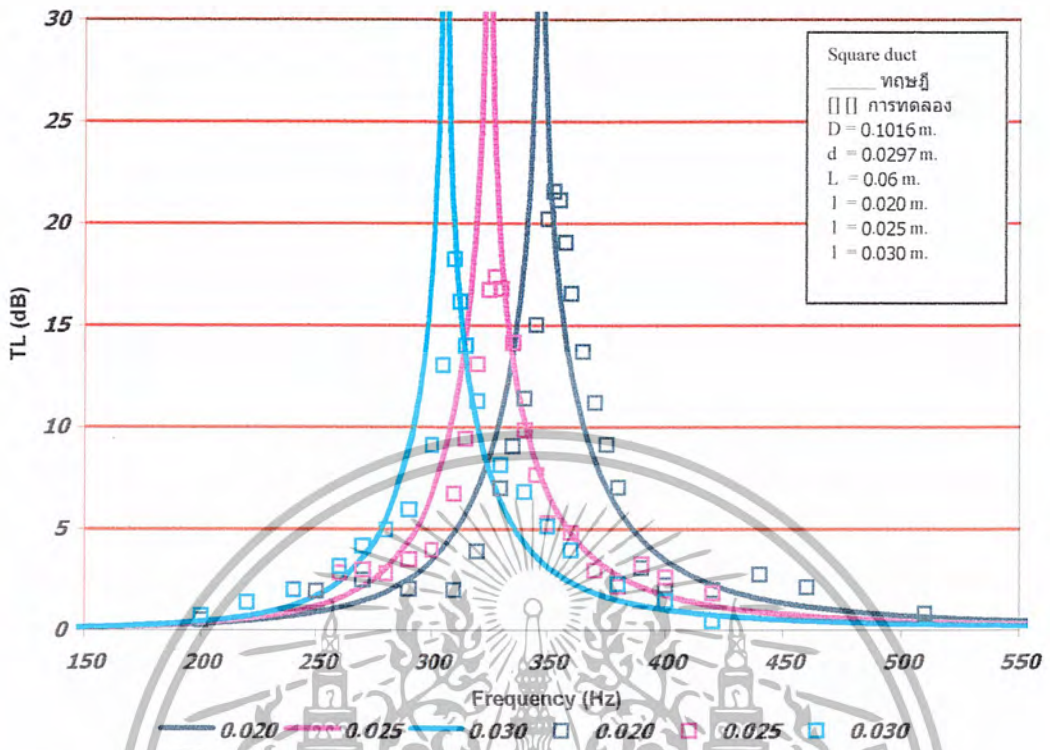


รูปที่ 5.27 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบสี่เหลี่ยม

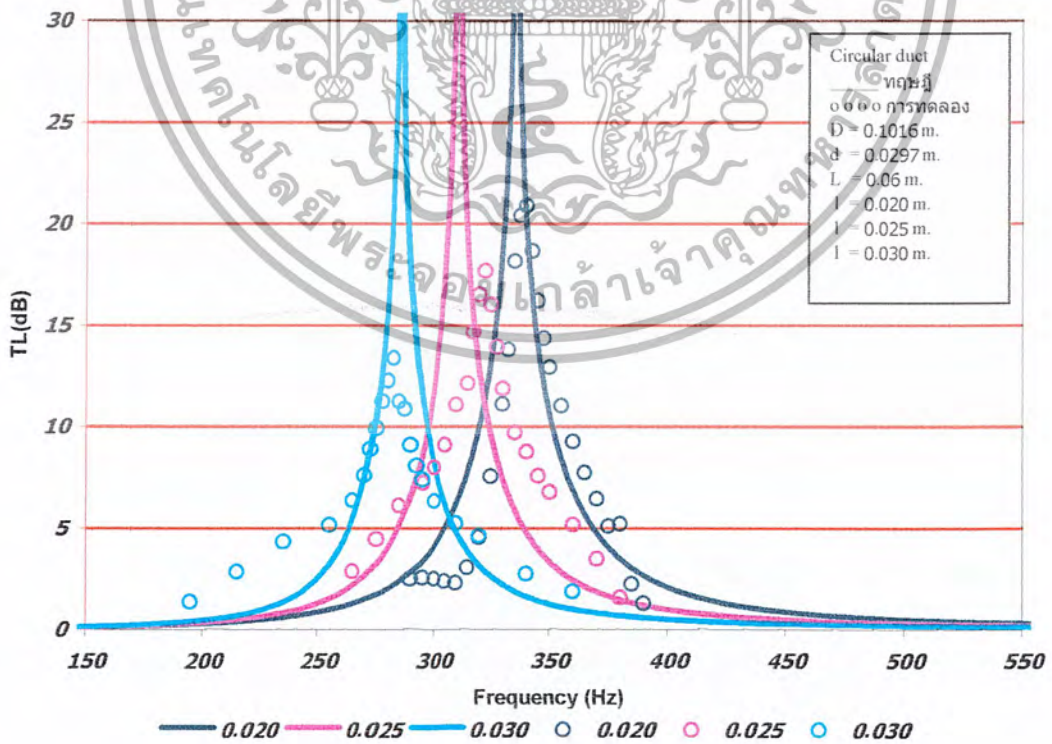


รูปที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

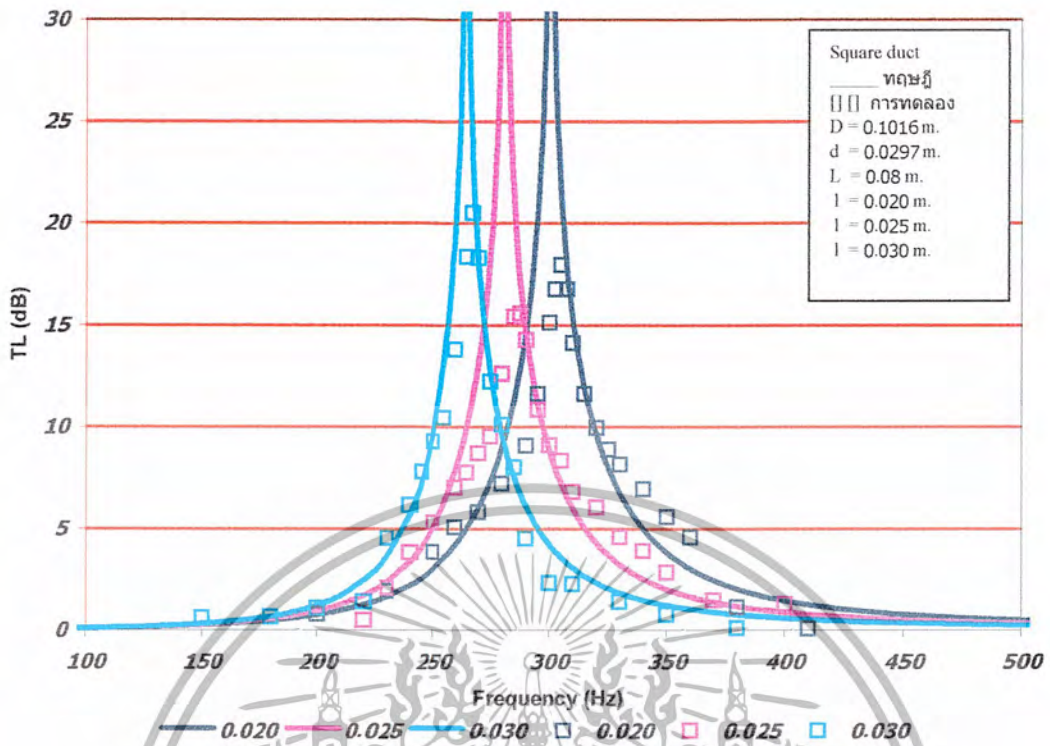


รูปที่ 5.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

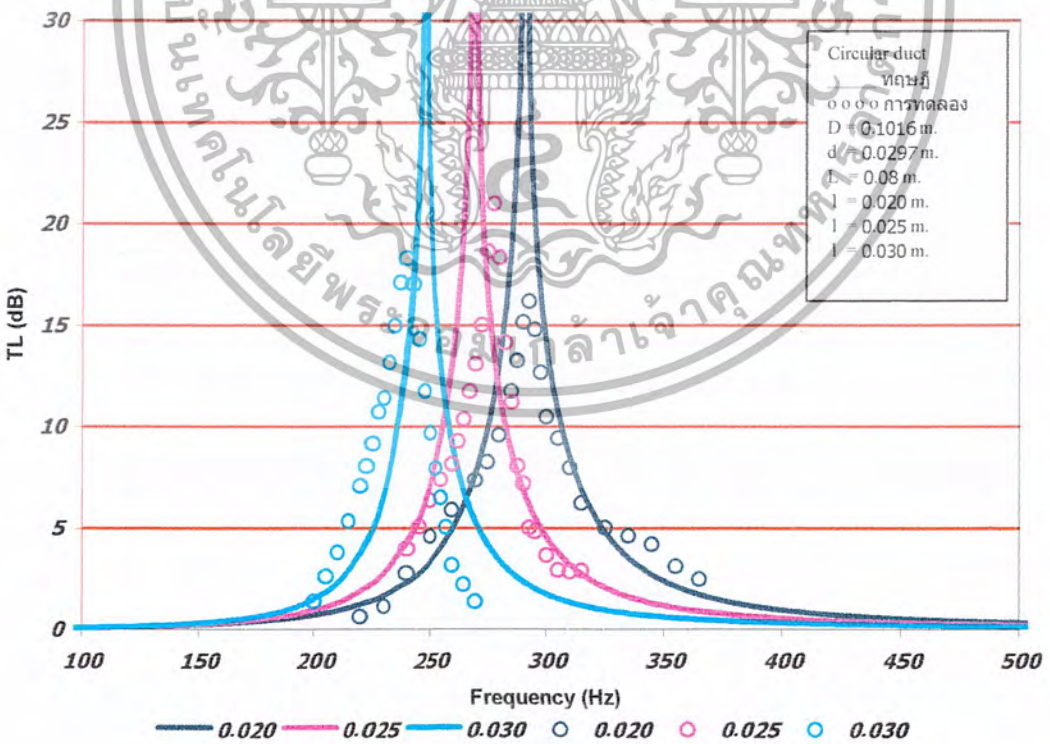


รูปที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

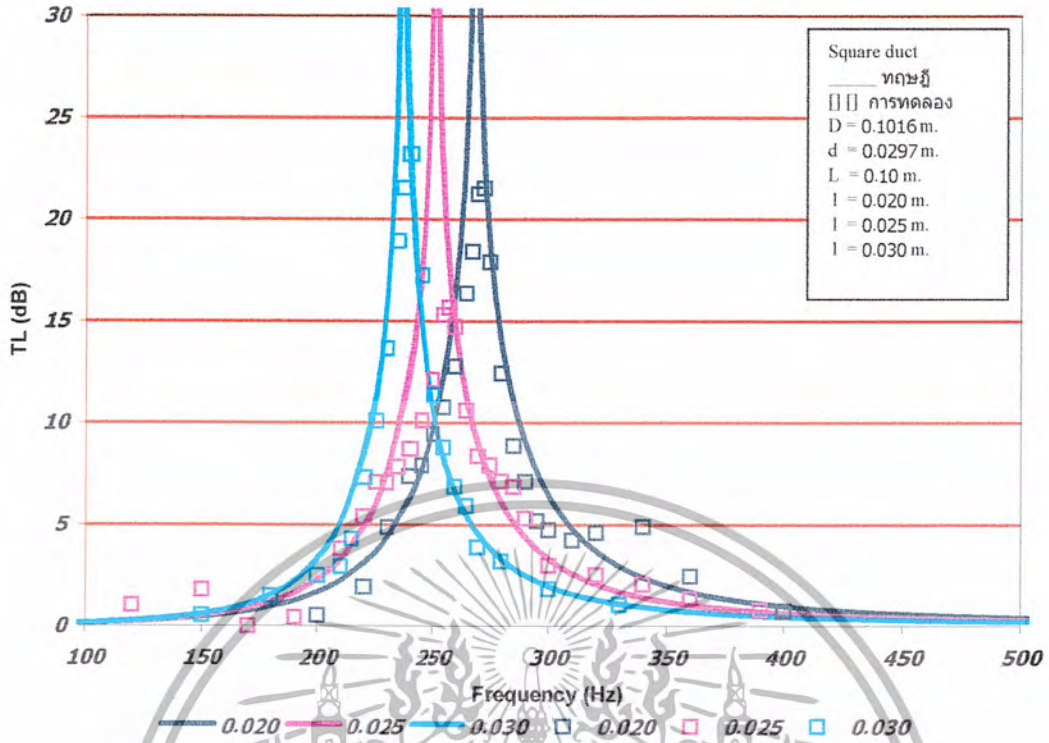


รูปที่ 5.31 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

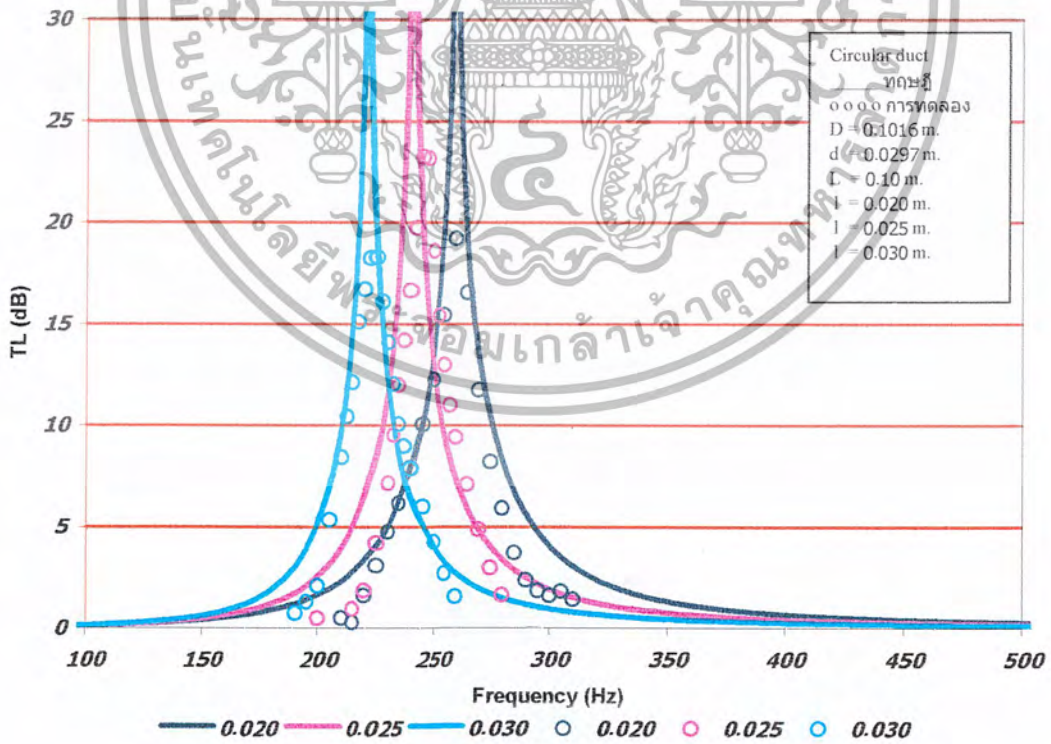


รูปที่ 5.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

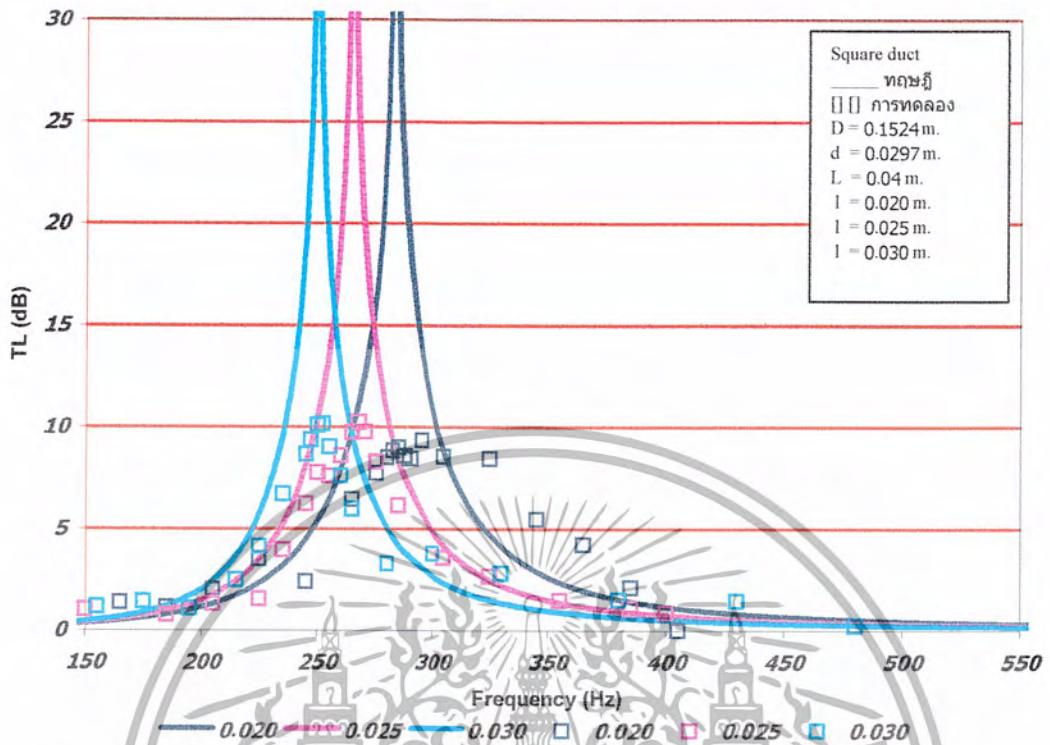


รูปที่ 5.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

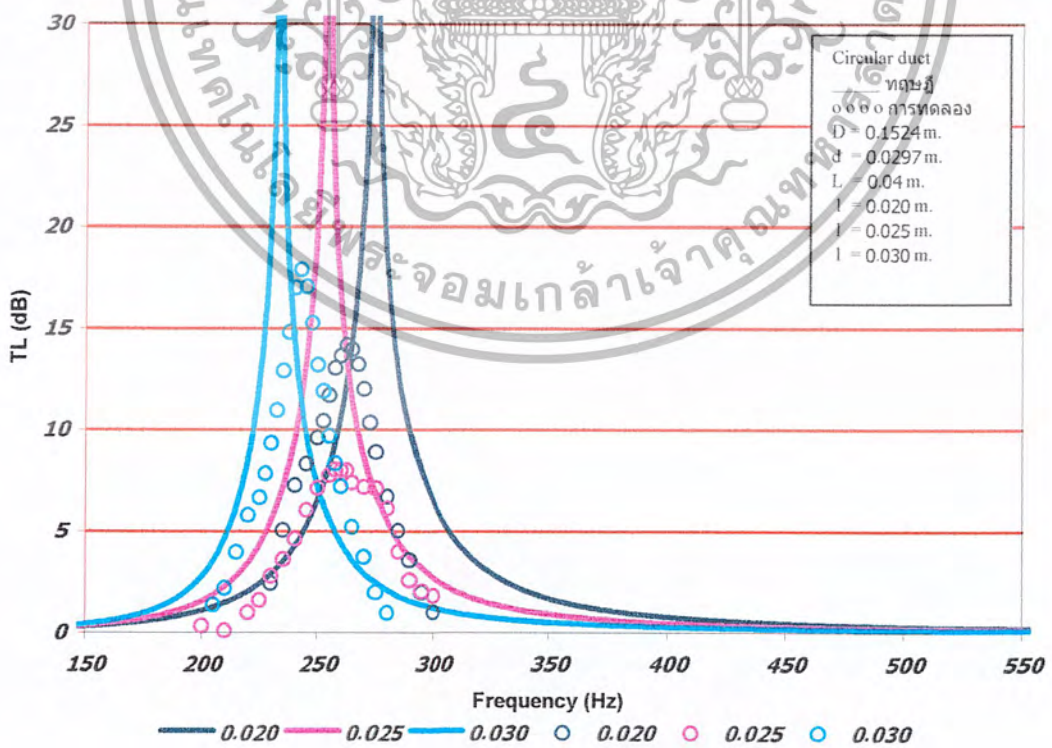


รูปที่ 5.34 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

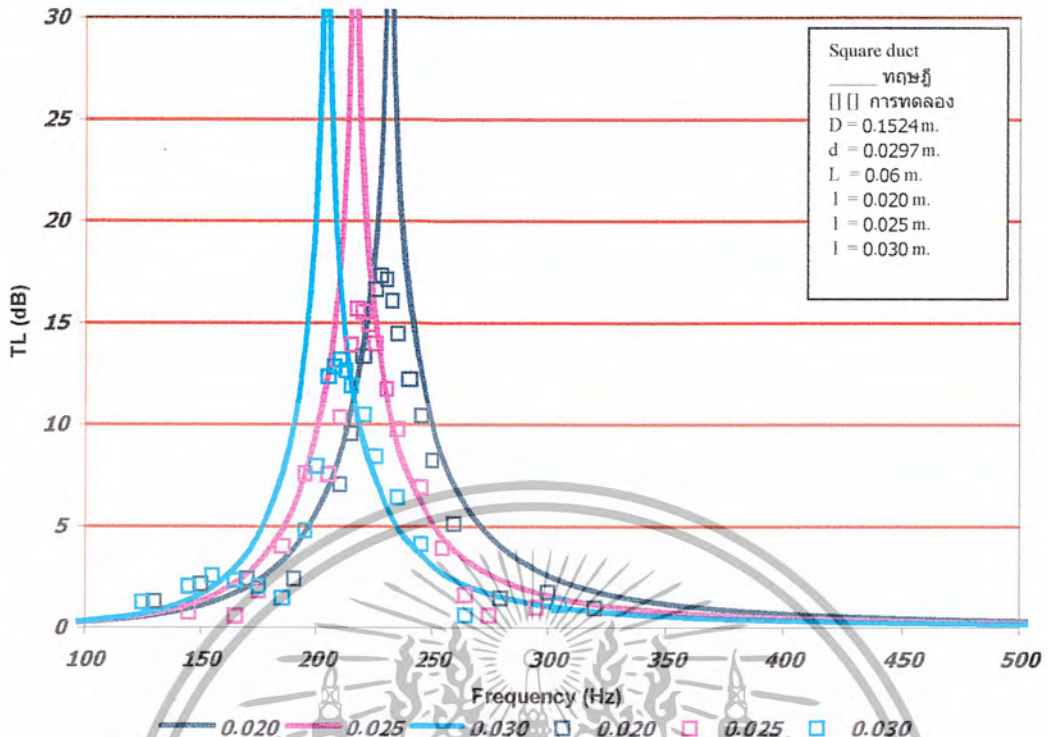


รูปที่ 5.35 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

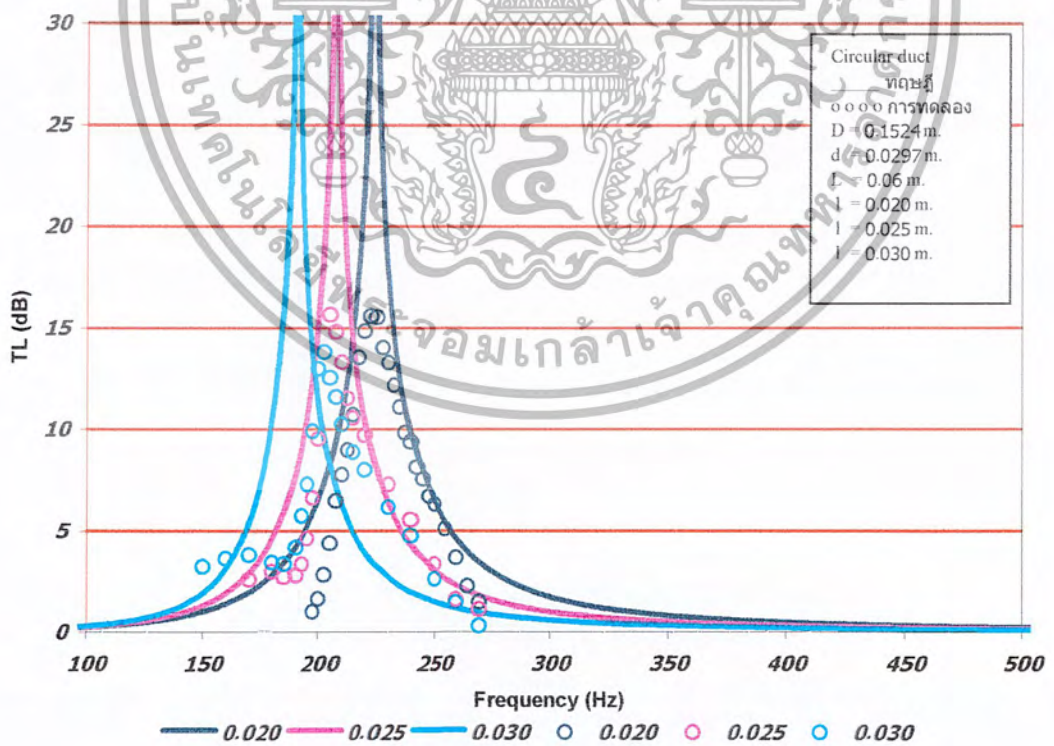


รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

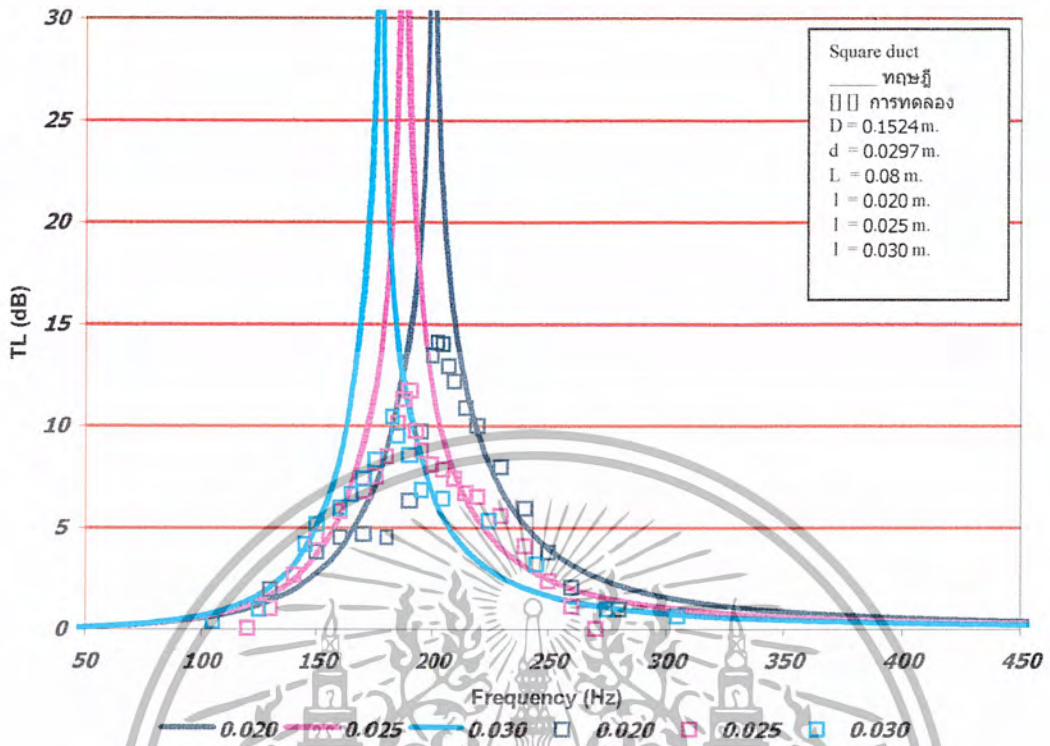


รูปที่ 5.37 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

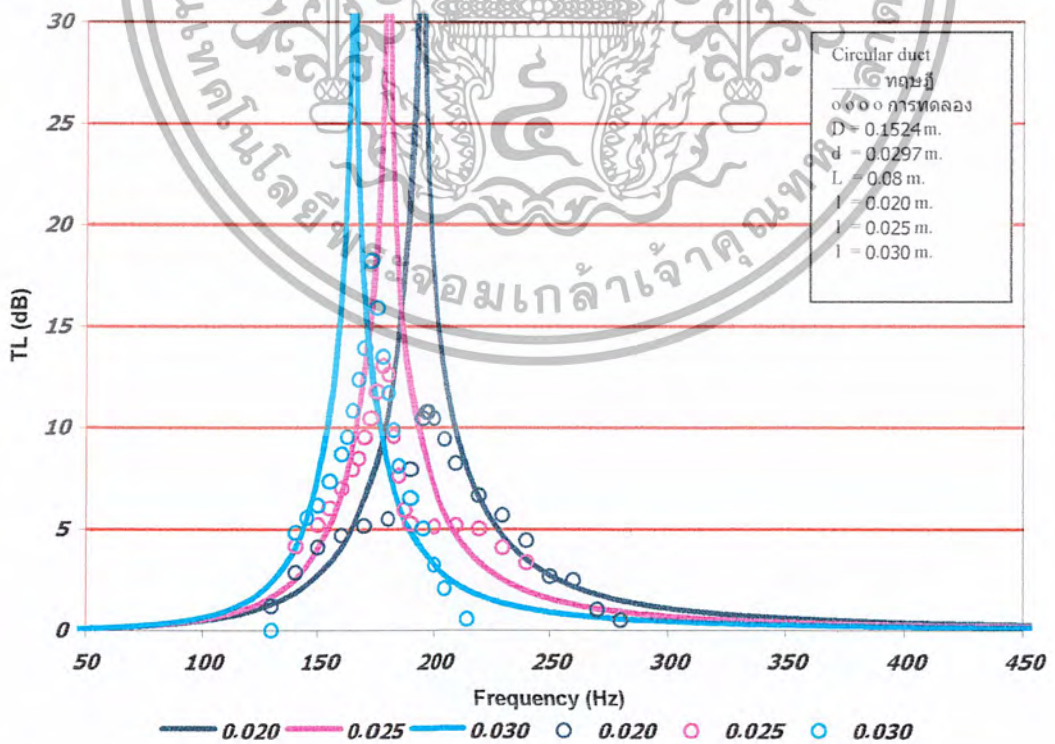


รูปที่ 5.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

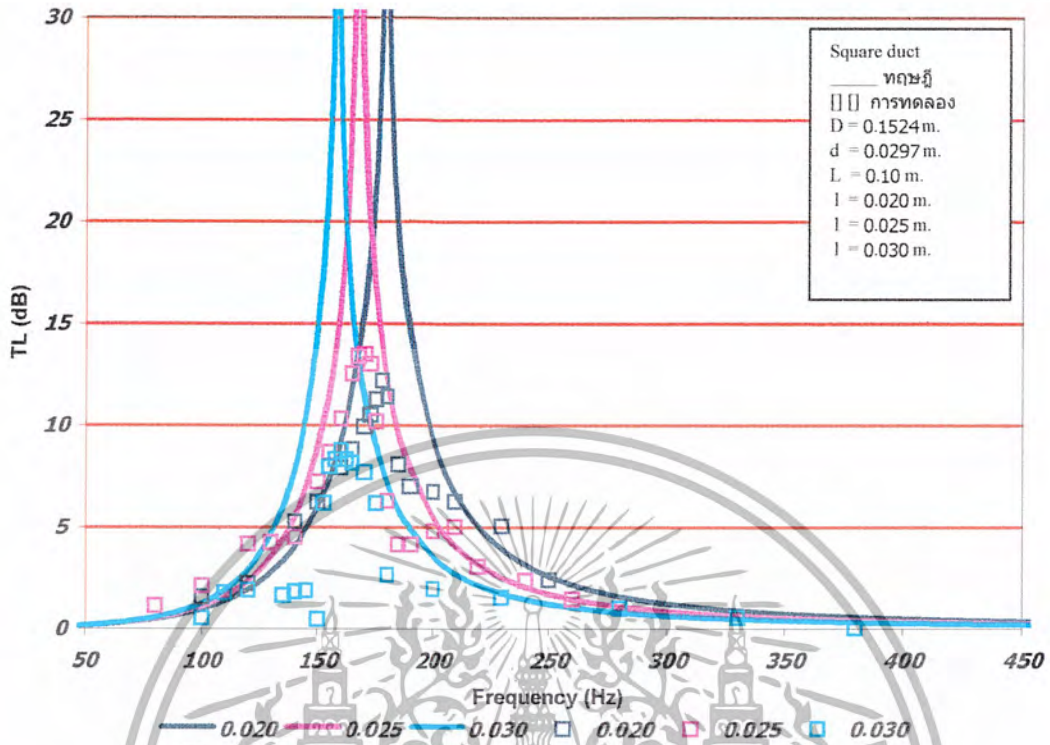


รูปที่ 5.39 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

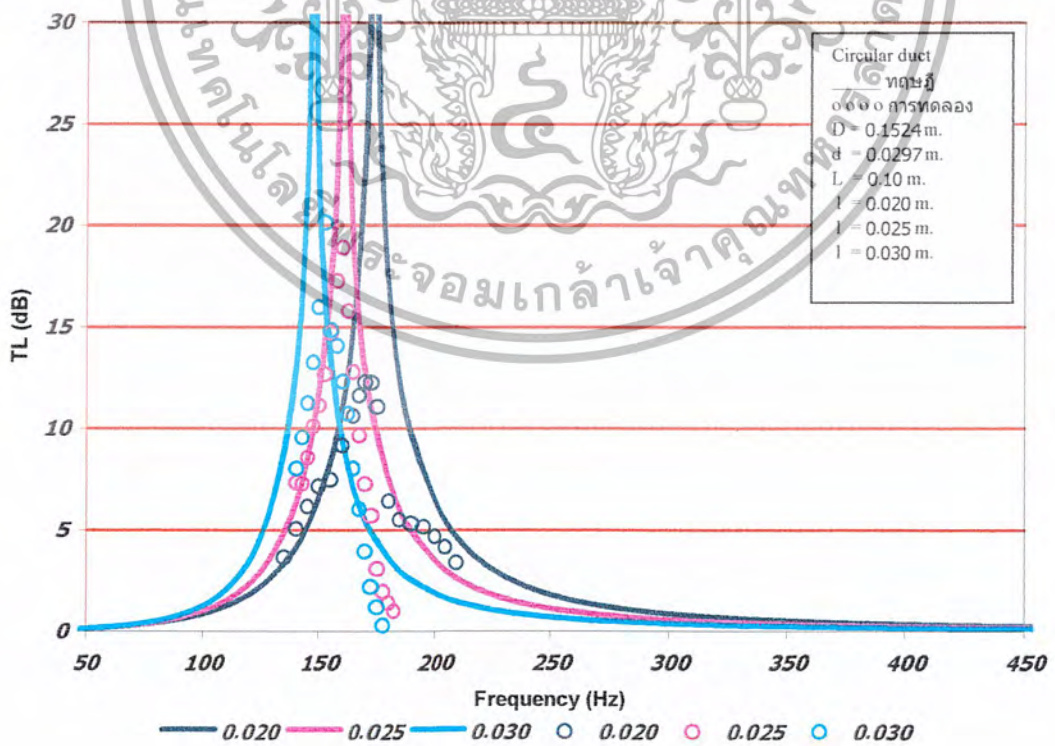


รูปที่ 5.40 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม



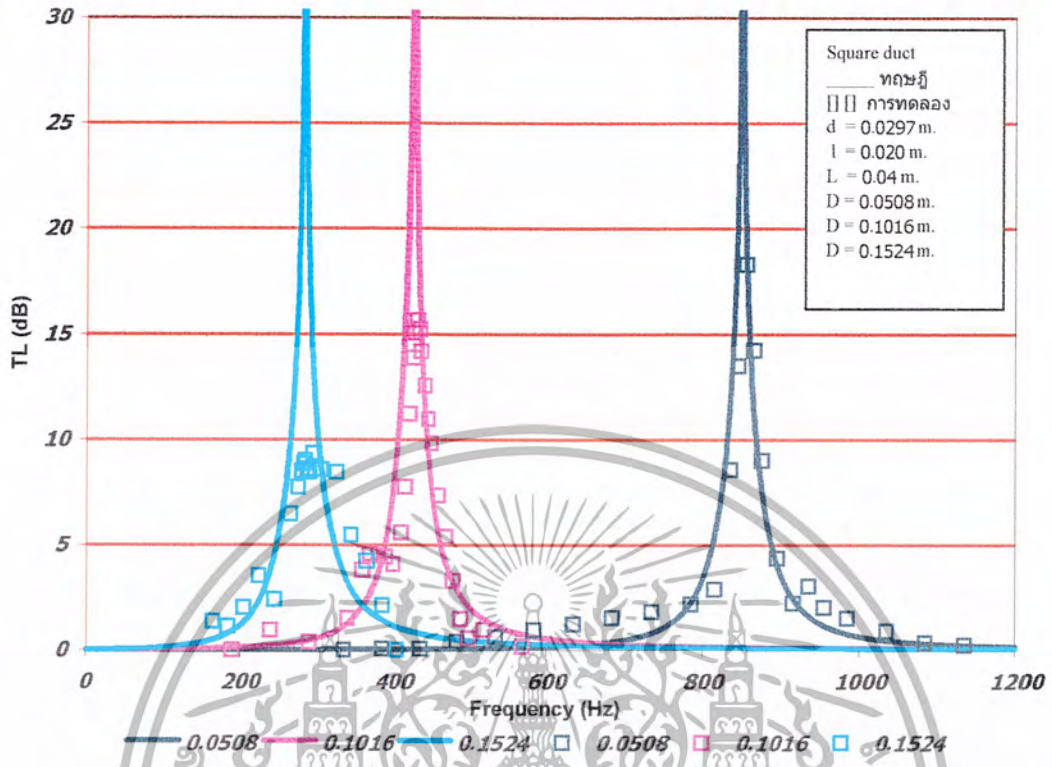
รูปที่ 5.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า / ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

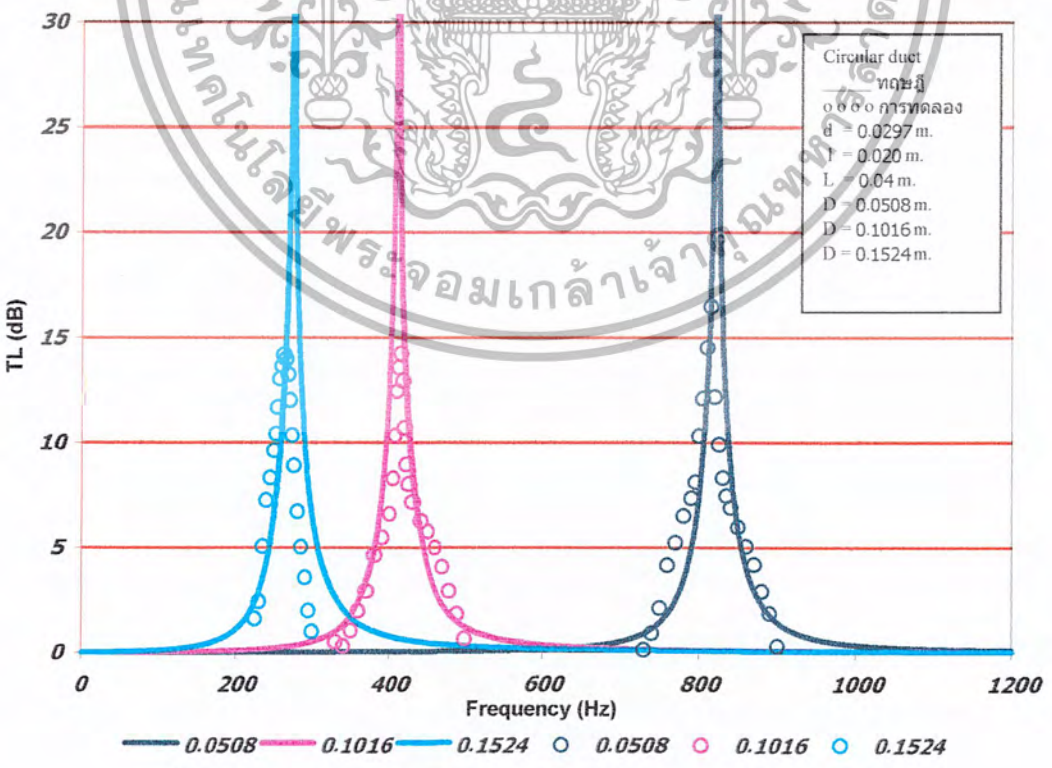
5.1.3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator (D) เมื่อความยาวของ Helmholtz Resonator (L), ความยาวของ Connector ของ Helmholtz Resonator (l) มีค่าคงที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

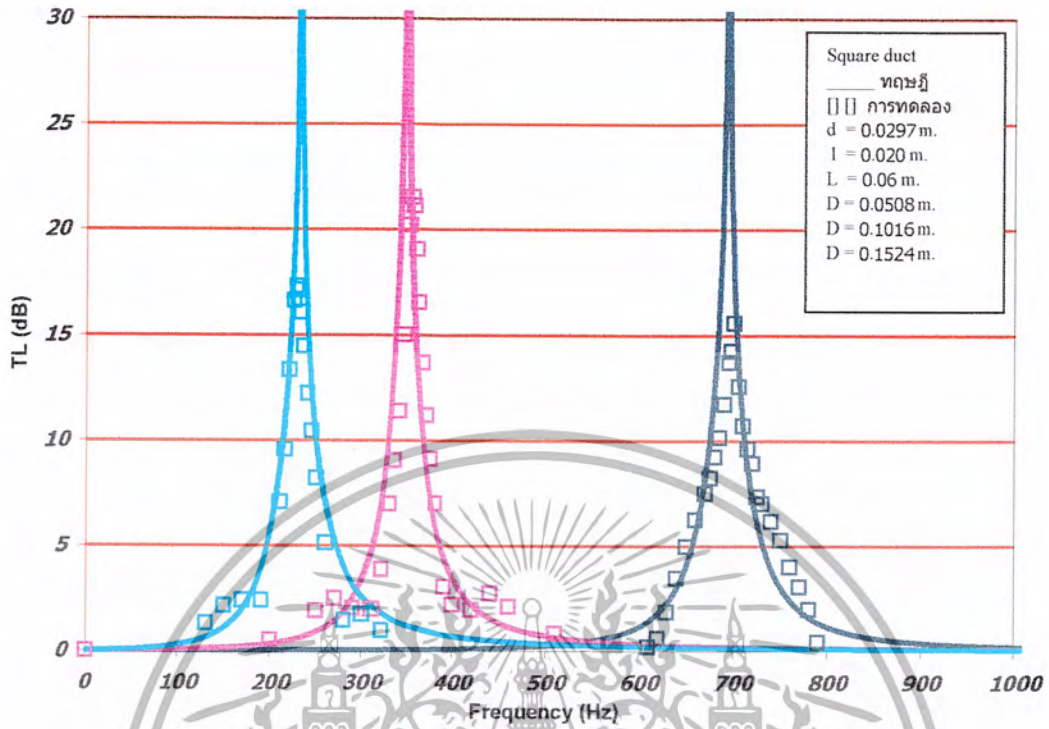


รูปที่ 5.43 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

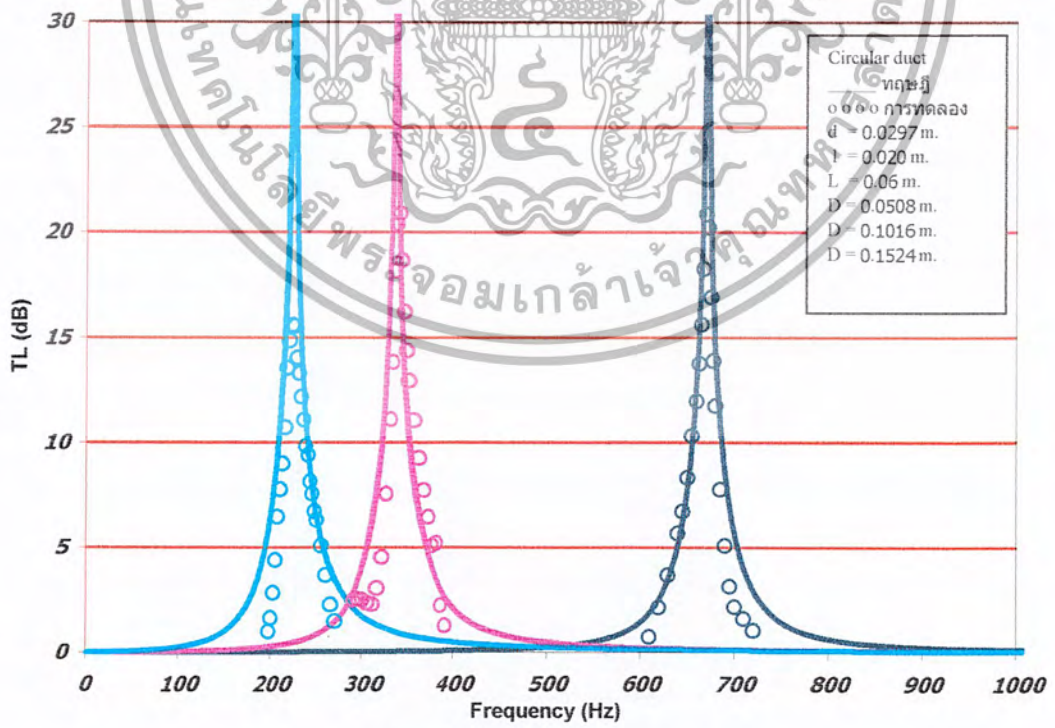


รูปที่ 5.44 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

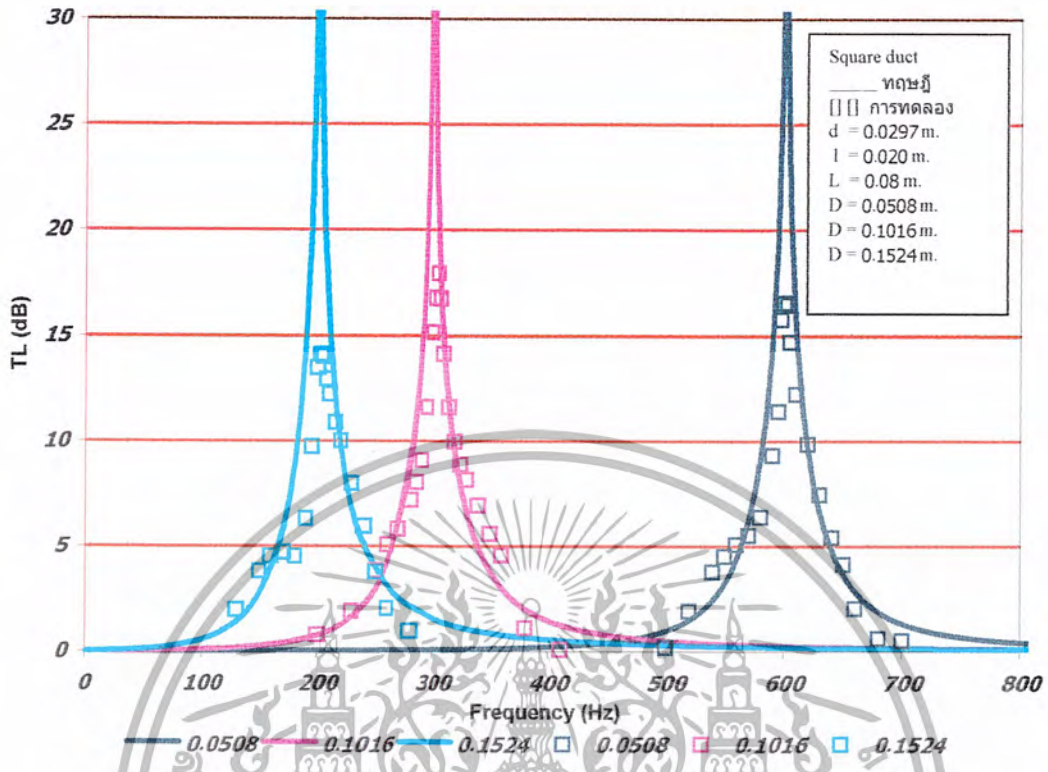


รูปที่ 5.45 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบสี่เหลี่ยม

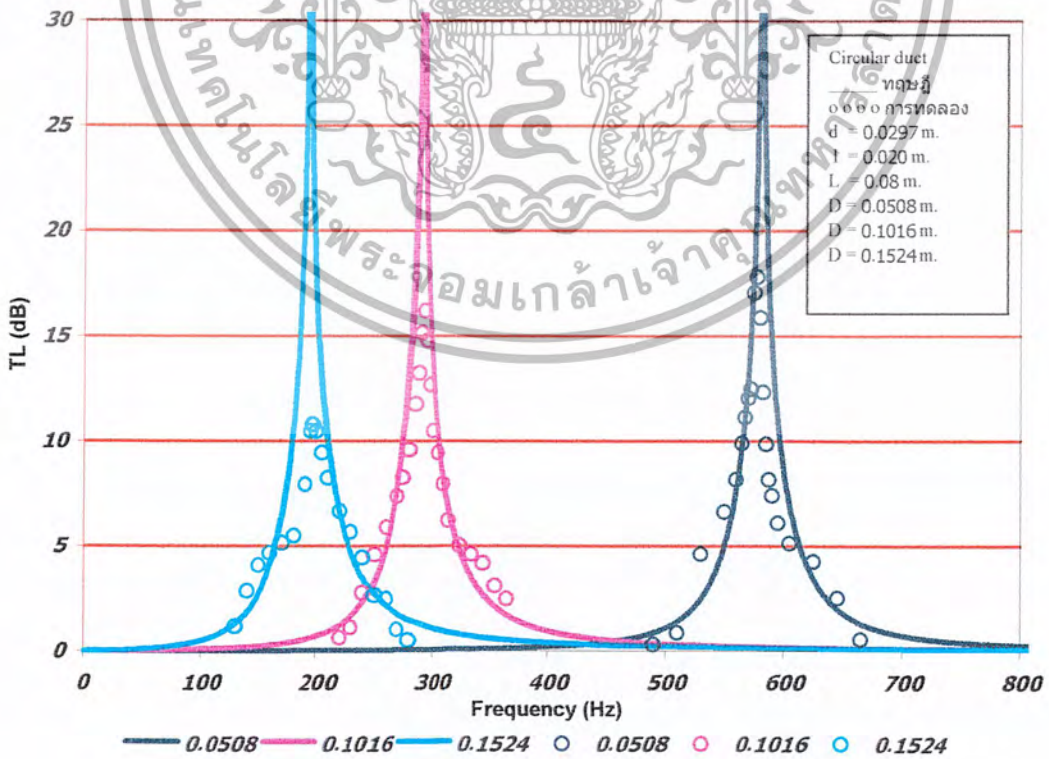


รูปที่ 5.46 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

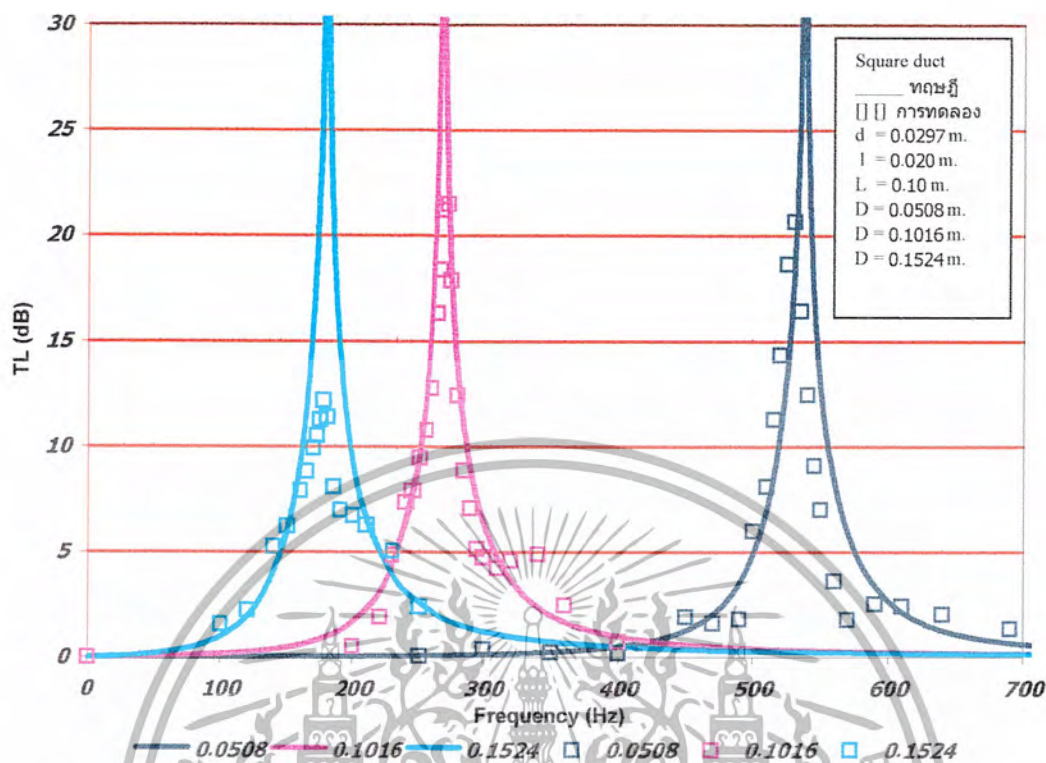


รูปที่ 5.47 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบสี่เหลี่ยม

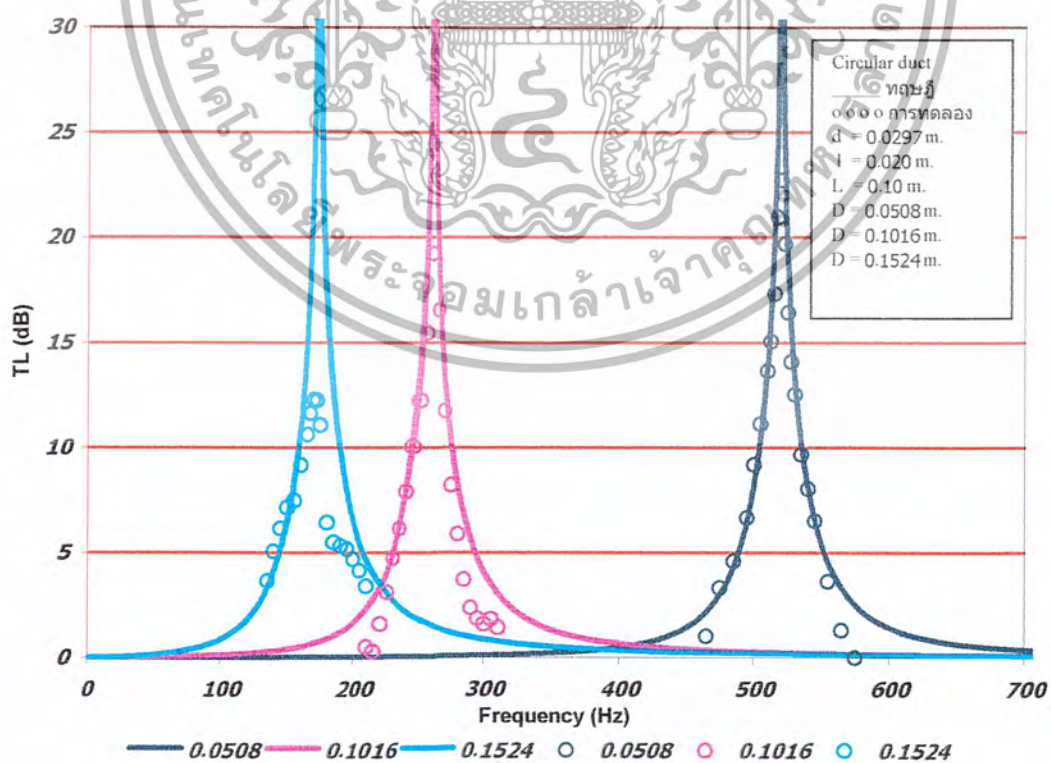


รูปที่ 5.48 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อหน้าเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

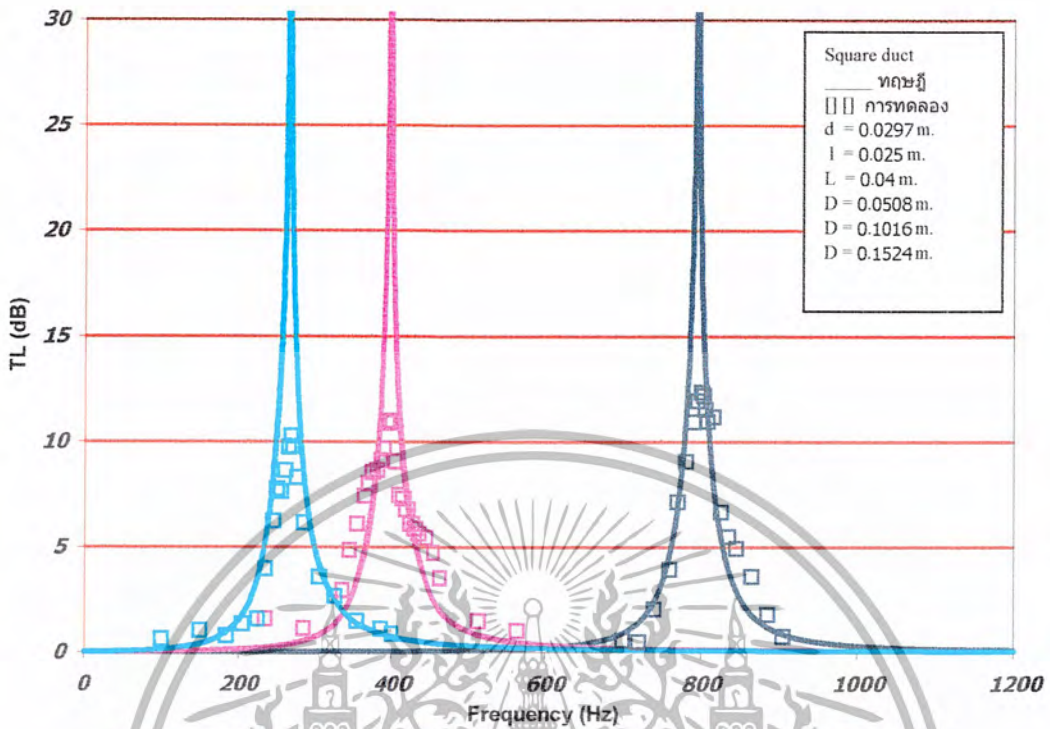


รูปที่ 5.49 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

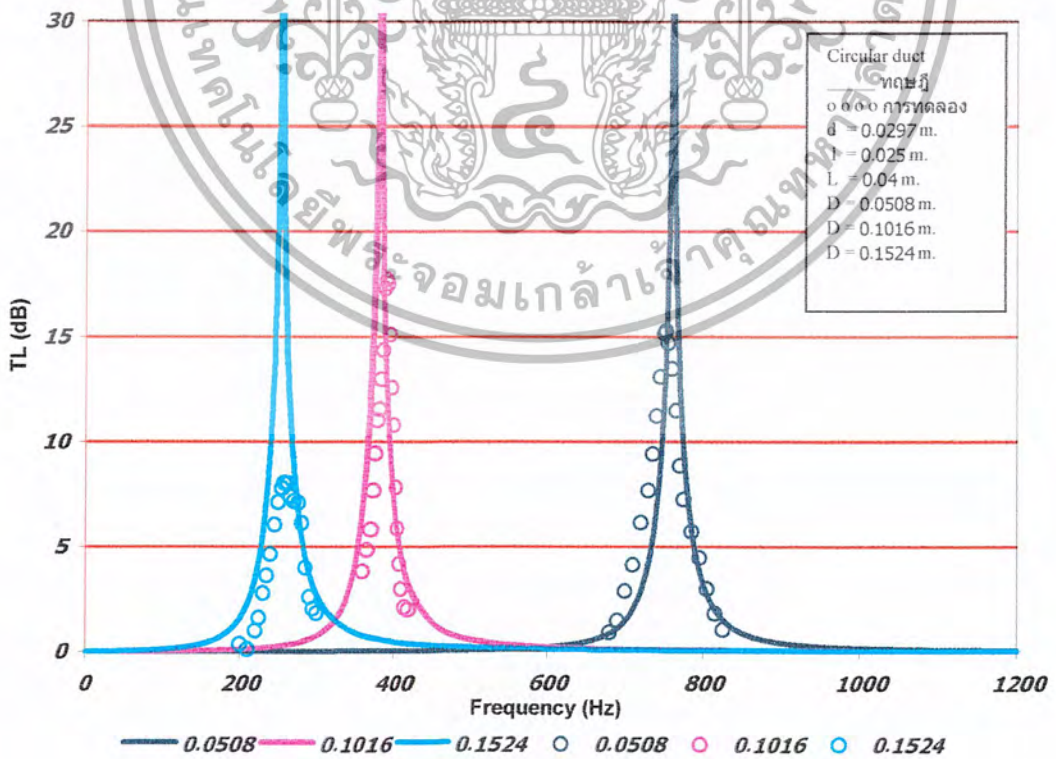


รูปที่ 5.50 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

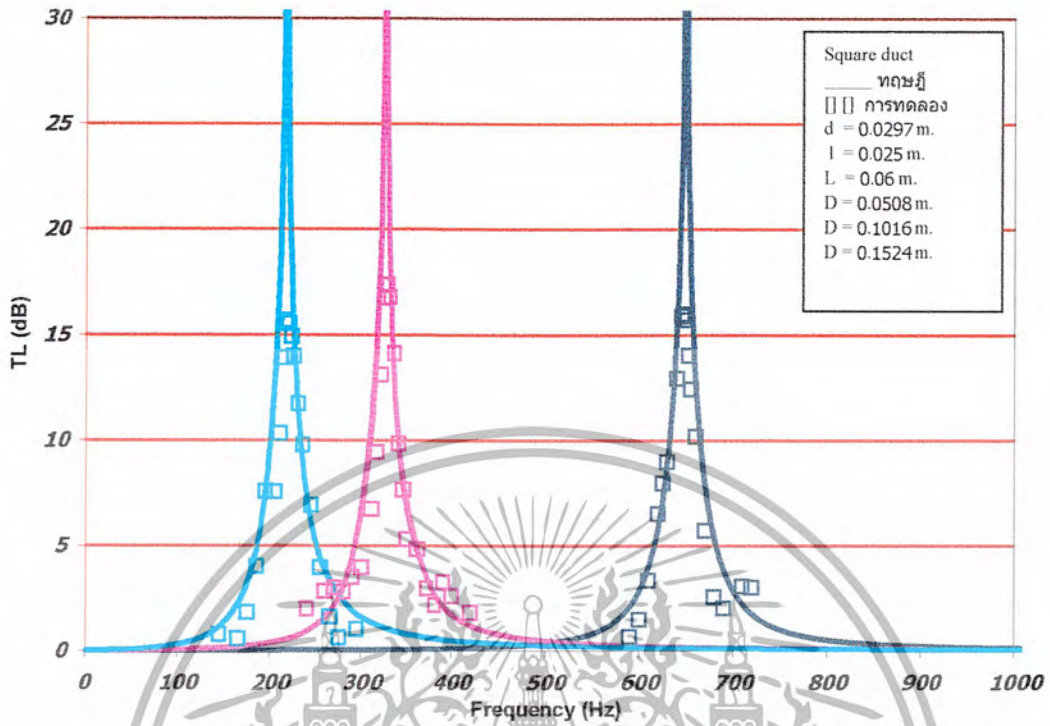


รูปที่ 5.51 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

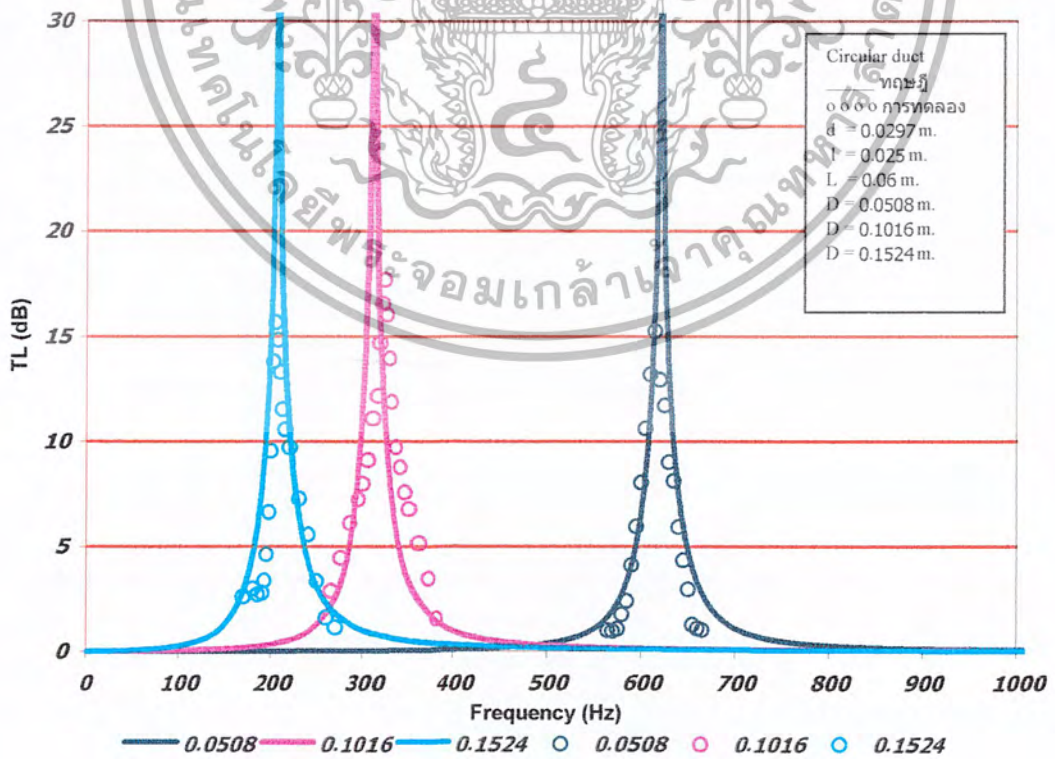


รูปที่ 5.52 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

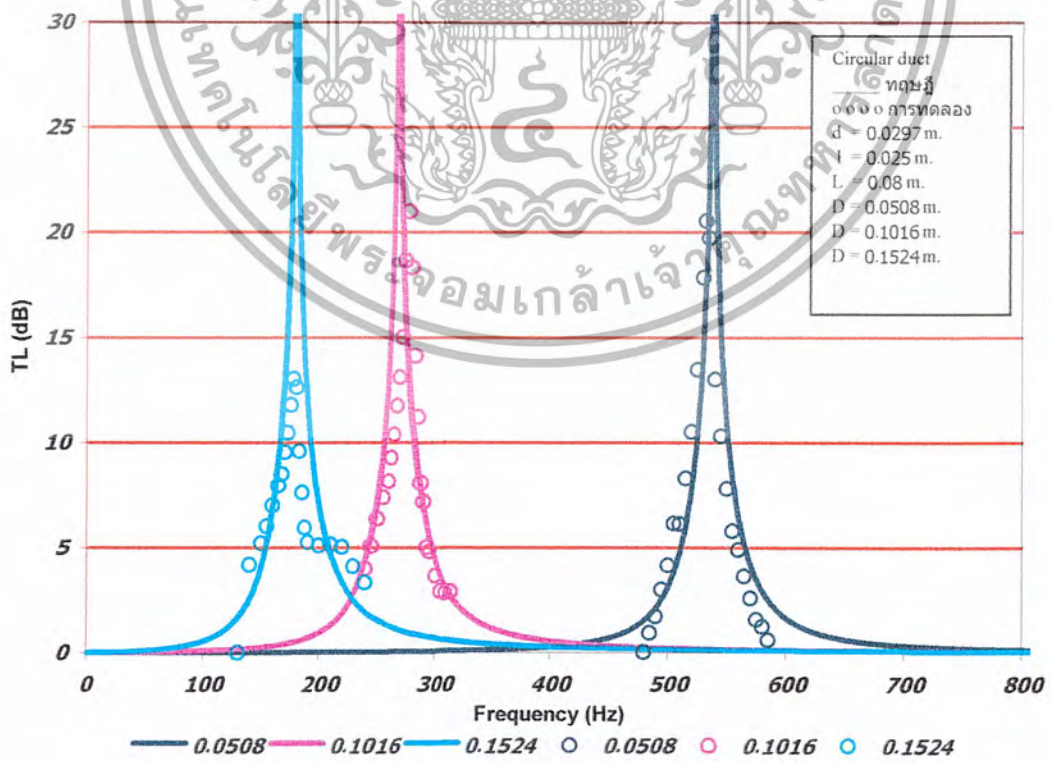
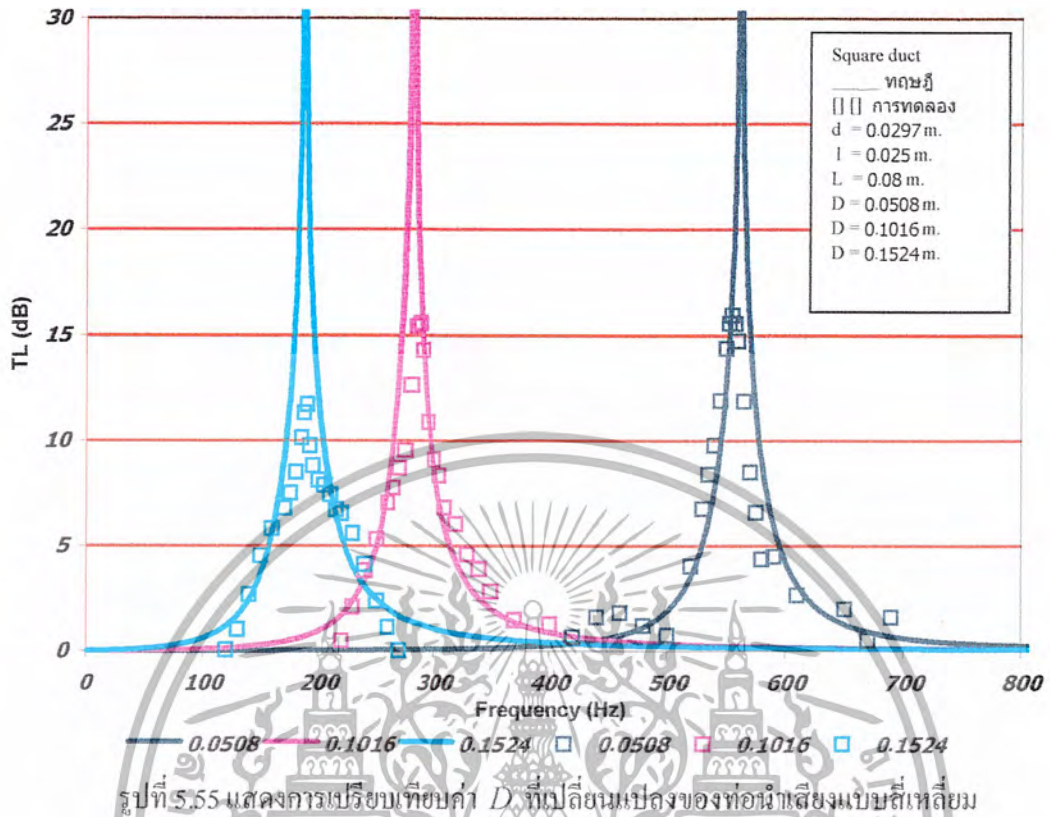


รูปที่ 5.53 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

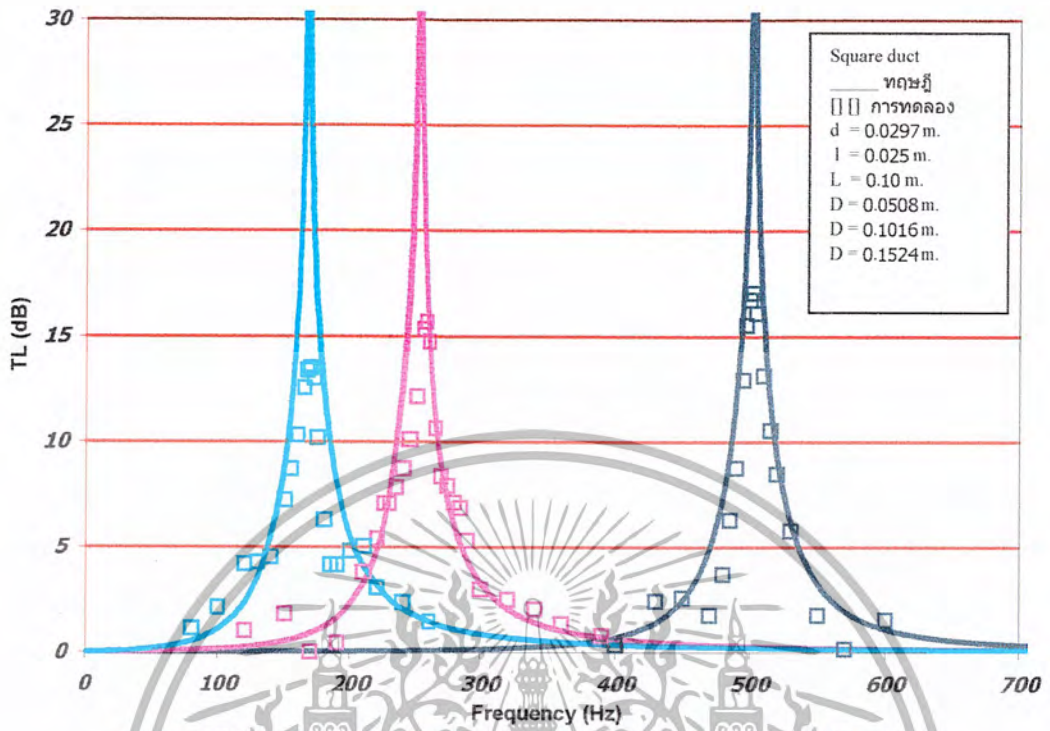


รูปที่ 5.54 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

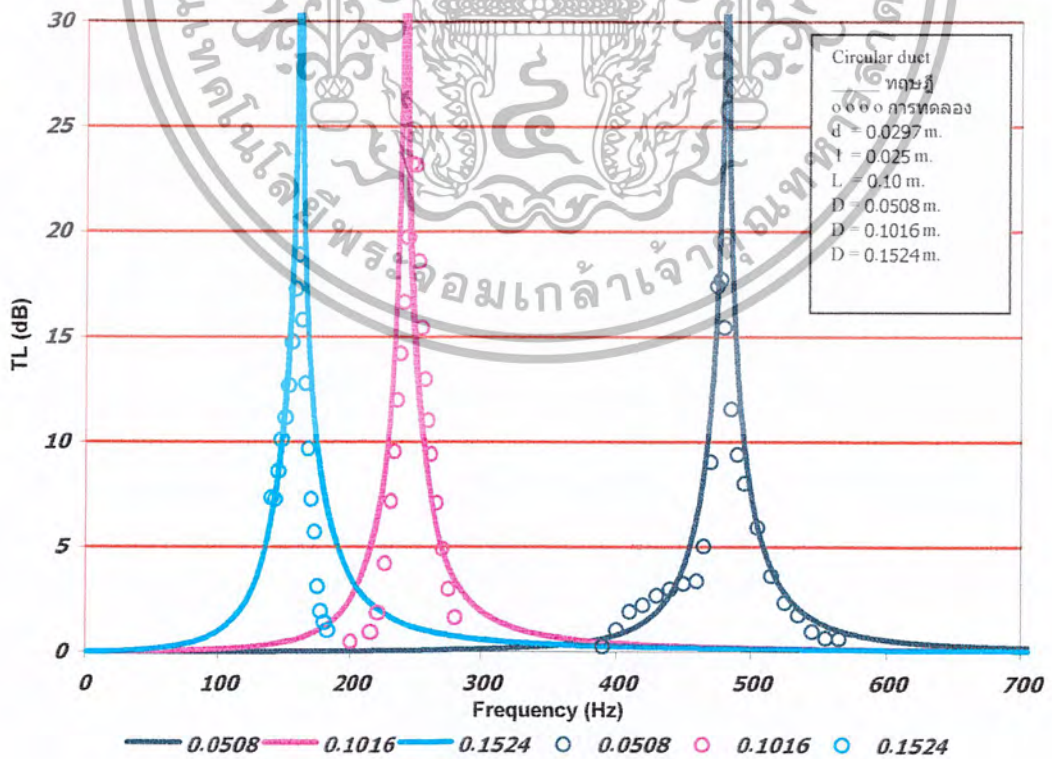
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

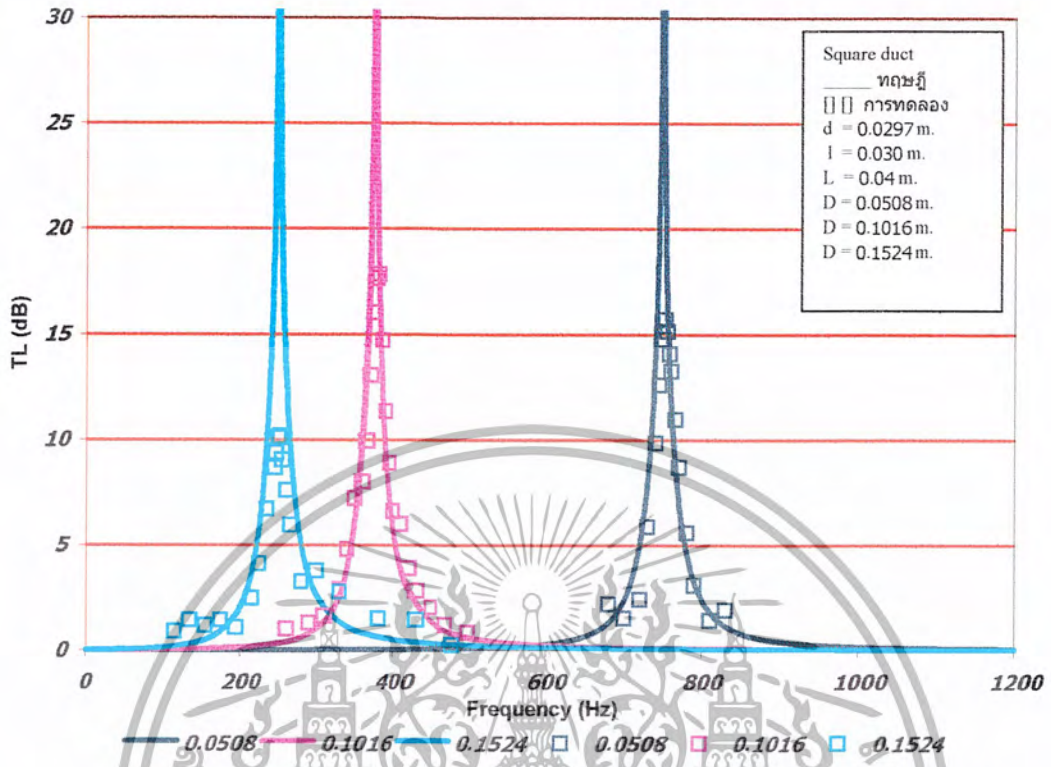


รูปที่ 5.57 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

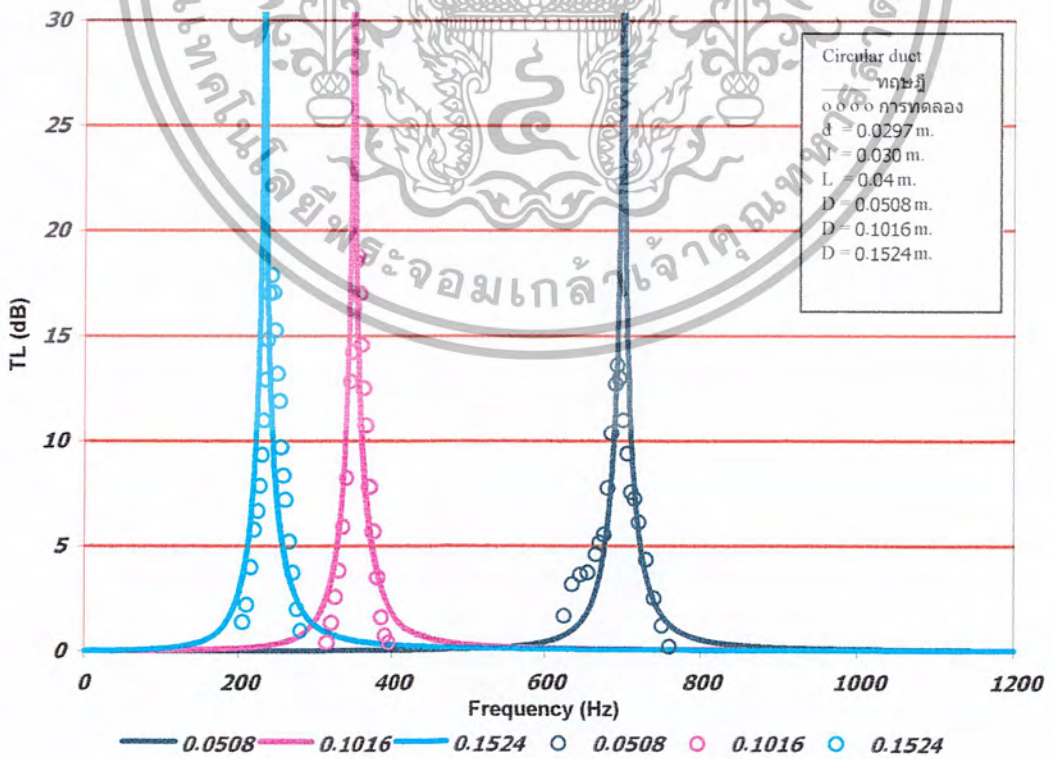


รูปที่ 5.58 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

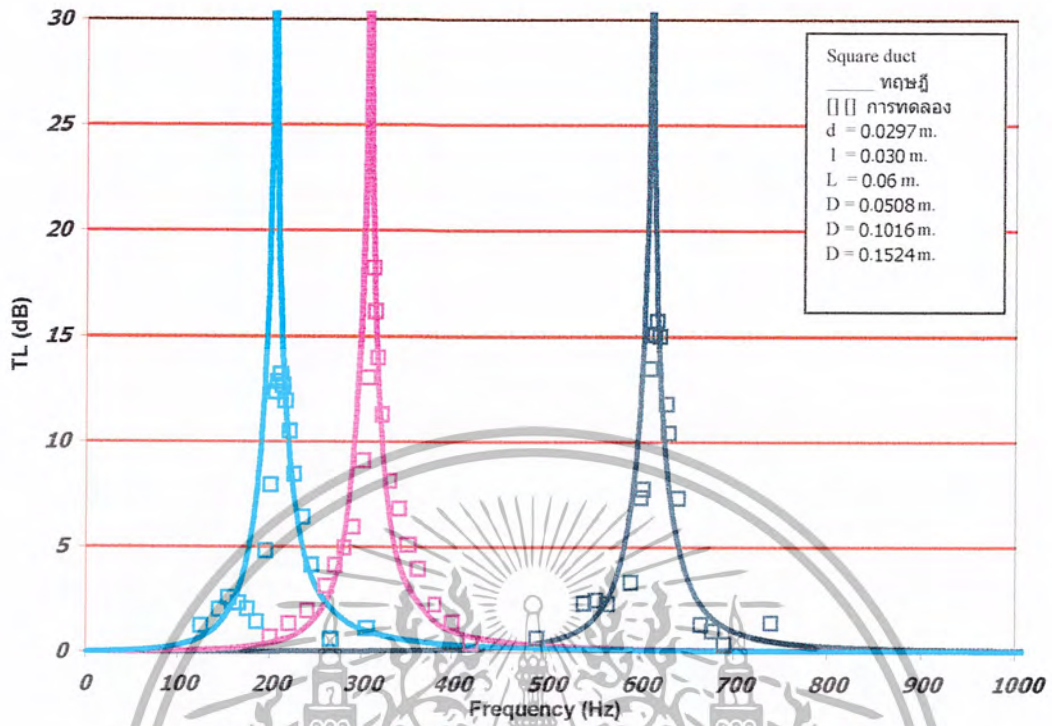


รูปที่ 5.59 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

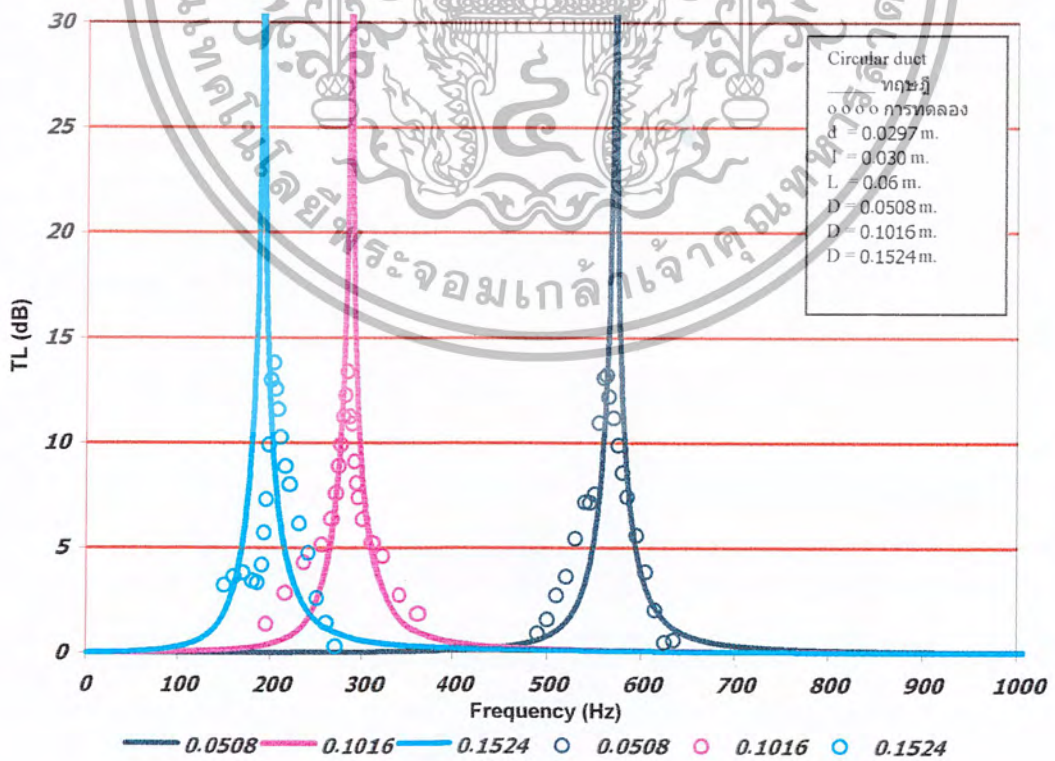


รูปที่ 5.60 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

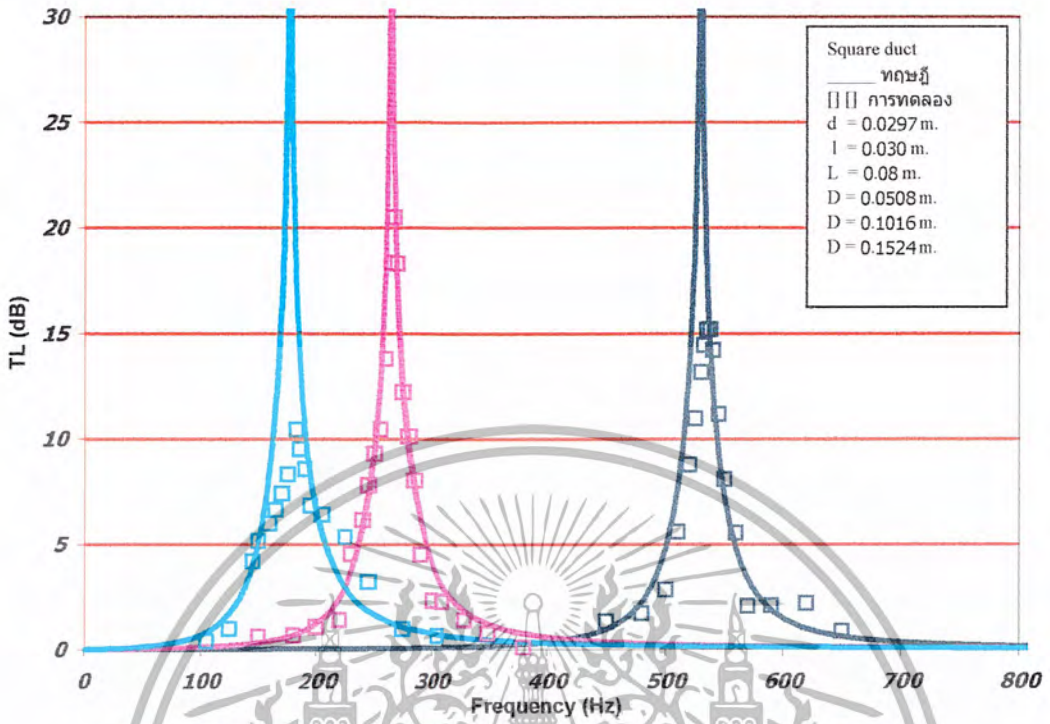


รูปที่ 5.61 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

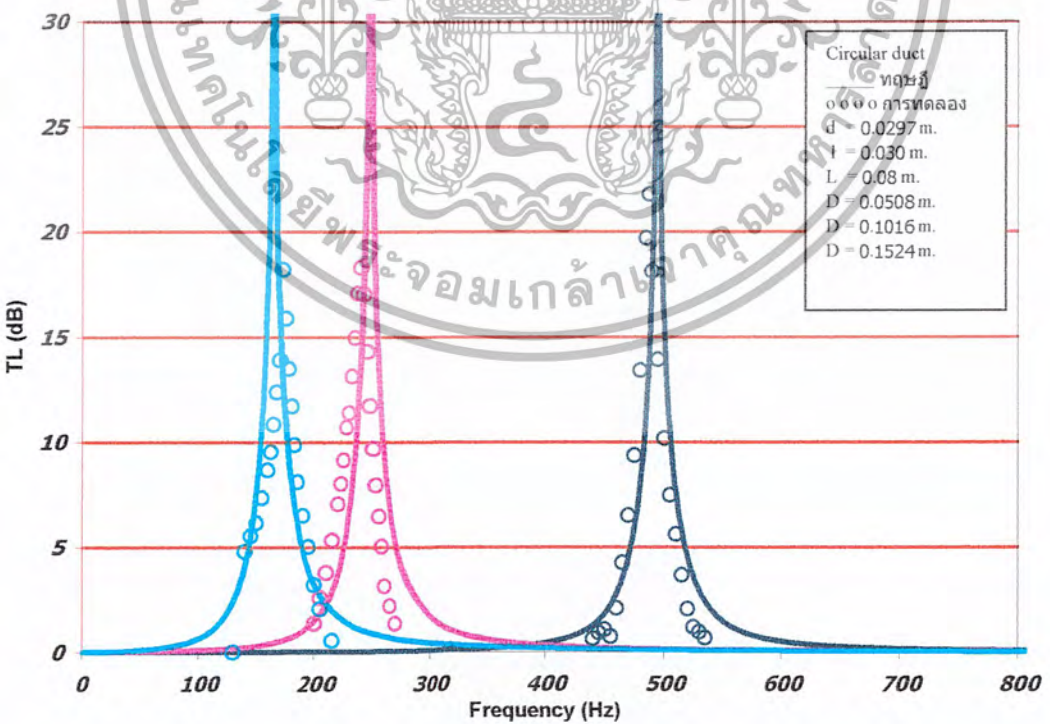


รูปที่ 5.62 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

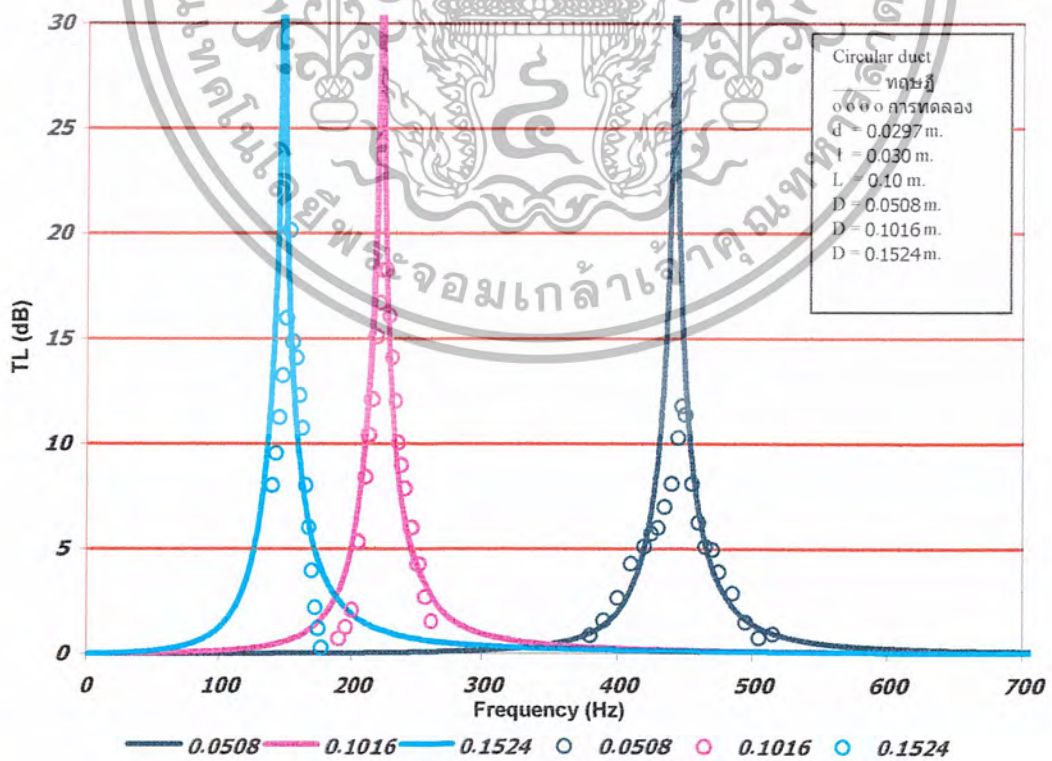
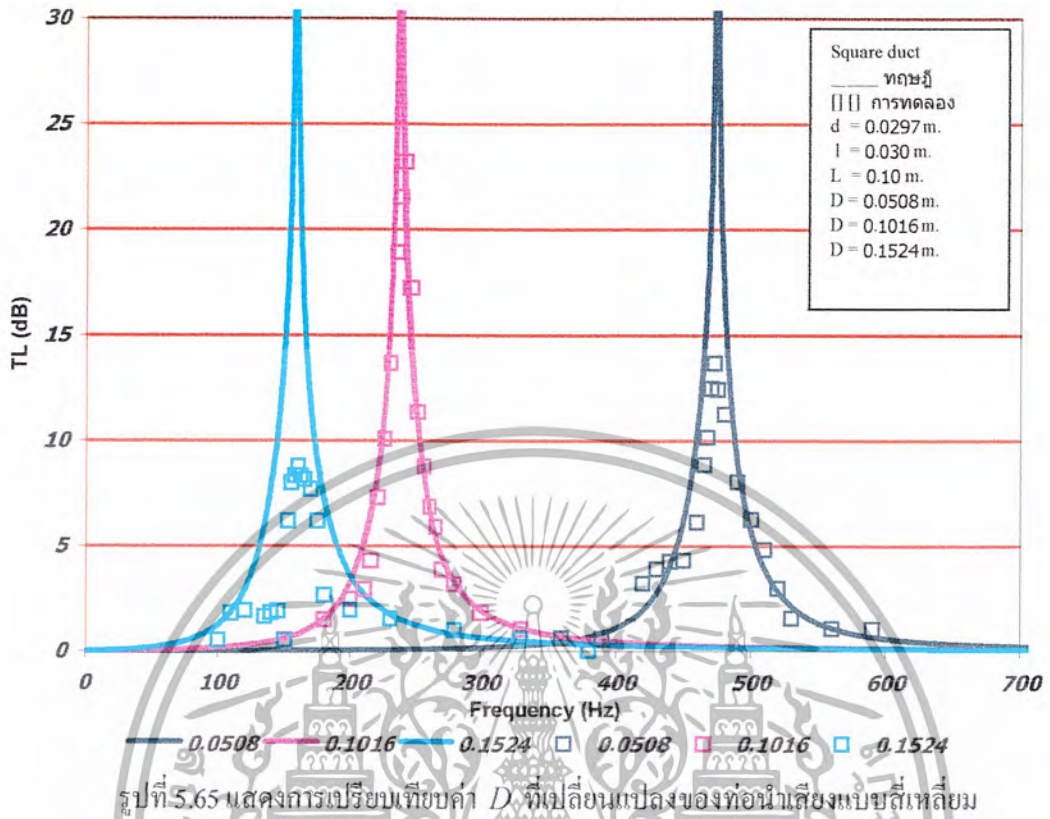


รูปที่ 5.63 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.64 แสดงการเปรียบเทียบค่า  $D$  ที่เปลี่ยนแปลงของท่อนำเสียงแบบกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทสรุป

จากการวิจัยพฤติกรรมการลดเสียงโดยใช้อุปกรณ์ลดเสียงแบบ Helmholtz Resonator เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.083 m. และใช้ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมขนาด 0.070 m.×0.070 m. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz Resonator แบบ Single-Chamber Resonator สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. พฤติกรรมการลดเสียงของ Helmholtz Resonator ในช่วงความถี่ต่างๆ กันนั้น ผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎี Transmission loss (TL)

2. ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator มีค่าน้อย จะสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่สูง ขณะที่ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Helmholtz Resonator มีค่ามากจะสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่ต่ำ

3. ถ้าขนาดความยาวของ Helmholtz Resonator มีค่าน้อยจะสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่สูง ขณะที่ถ้าขนาดความยาวของ Helmholtz Resonator มีค่ามากจะสามารถลดเสียงได้ในช่วงความถี่ต่ำ

4. Connector length ที่เชื่อมต่อระหว่าง Helmholtz Resonator กับท่อนำเสียง พบว่า Connector length ที่ยาวจะให้ช่วงความถี่ในการเก็บเสียง แคบกว่า Connector length ที่สั้น

5. ท่อนำเสียงแบบกลมจะให้ค่า Transmission loss สอดคล้องกับทฤษฎีมากกว่า ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม เพราะท่อนำเสียงแบบเหลี่ยมจะเกิดการกระจายของค่า Transmission loss ค่อนข้างไม่เป็นระเบียบ

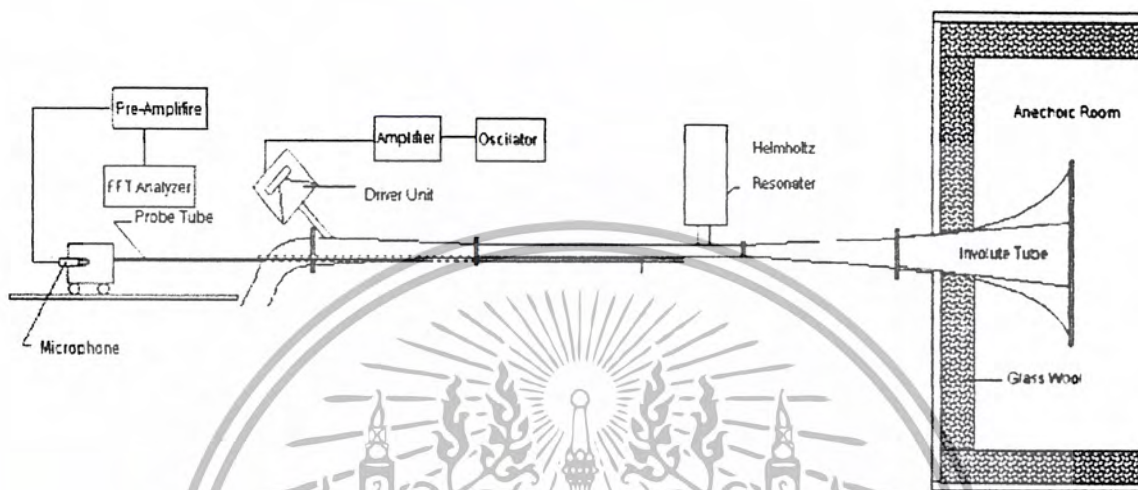
6. ท่อนำเสียงแบบกลมจะให้ค่า Peak Frequency มากกว่าท่อนำเสียงแบบเหลี่ยม แต่ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยมจะมีช่วงการเก็บเสียงที่กว้างกว่า



ภาคผนวก

การต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และ วิธีตั้งค่าต่างๆในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูป (ก) ซึ่งเป็นการแสดงการต่อท่อ และ อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ



รูป (ก) แสดงการต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การต่อท่อนำเสียง (Nominat Duct) มีลักษณะตามรูป (ข)

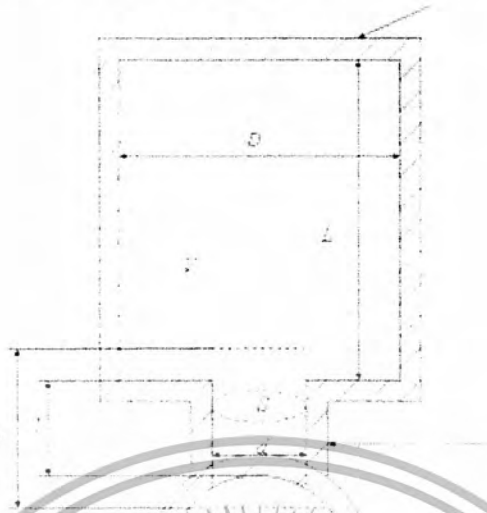
ท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม ขนาด 70mm X 70mm



รูป (ข) แสดงการต่อท่อนำเสียงแบบสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อนำเสียงแบบกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 83 mm



รูป (ข) แสดงการต่อท่อนำเสียงแบบกลม

การจัดอุปกรณ์ในส่วนของแหล่งกำเนิดเสียง

1. ต่อตัวกำเนิดความถี่ Oscillator เข้ากับ Amplifier ซึ่งเป็นตัวขยายสัญญาณความถี่
2. ต่อตัว Amplifier เข้ากับตัว Driver unit ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความถี่เป็นคลื่นเสียง เข้าไปใน Nominate duct
3. ต่อตัว Driver unit เข้ากับ Nominate duct

การจัดอุปกรณ์ในส่วนของตัวรับสัญญาณเสียง (Microphone กับ Probe tube)

1. Microphone เสียบอยู่ในฐานที่เลื่อนได้ และใช้ Fiber อุดรูที่เสียบให้สนิท เนื่องจาก Microphone มีความไวต่อเสียงภายนอก จึงมีความจำเป็นต้องปิดให้มิดชิด เพื่อกันเสียงรบกวนจากภายนอก และ กันเสียงออกจากภายในท่อ
2. ฐานที่เลื่อนได้ ต่ออยู่กับตัว Probe tube ก่อนที่จะทำการทดลอง จะต้องจัดระยะให้ตัว Probe tube ที่อยู่ใน Nominate Duct อยู่ในระยะก่อนที่จะผ่านตัว Helmholtz Resonator ให้จุดนั้นเป็นจุด Center ซึ่งเป็นจุดสำคัญในการทดลอง ทั้งในระหว่างการทดลอง และ ในช่วง เซตค่าก่อนทดลอง
3. ต่อตัว Microphone เข้ากับ EFT-Analyzer ซึ่งเป็นส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเซตเครื่อง EFT-Analyzer

เนื่องจาก EFT-Analyzer เป็นส่วนแสดงผลที่สำคัญมากในการทดลอง ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของค่าความดังเสียงในหน่วย dB จึงต้องมีการเซตค่าต่างๆ ของเครื่อง เพื่อให้ได้ผลตามต้องการ ซึ่งมีวิธีการเซตเครื่อง ดังนี้

1. DISPLAY : CH A กด SPEC
2. FREQ : กดขึ้น  $\Delta$  หรือ ลง  $\nabla$  เพื่อให้ X-axis = 1 kHz หรือ 500 Hz เพื่อความละเอียด
3. CARCH : ที่ CURSOR กด ON และ EU
4. กด NEXT MENU B>>
  - กด (7) COND →
  - กด (1) CONDIT →
  - กด (2) AUTO ON ↵
5. กด NEXT MENU B>>
  - กด (7) COND →
  - กด (4) SEARCH →
  - กด (7) S-CURSOR ↵
6. กด NEXT MENU B>>
  - กด (7) UNIT →
  - กด (3) Ch.B EU →
  - กด (6) SET Ch.B → EU/V(x.xxxxE+x) →
  - กด (7) SET ↵ ดูว่าได้ตรงตามที่อุปกรณ์ Calibrator หรือไม่ ถ้าไม่ได้ต้องเปลี่ยนค่าใหม่ถ้าตรงแล้ว กด (8) RETURN

หมายเหตุ สำหรับอุปกรณ์ชุดที่ใช้ทดลอง โดยใช้ Sound Calibrator โดยอุปกรณ์ที่ใช้คือ Microphone ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว ต้องได้ค่าออกมาเป็น 124 dB เป็นอันเสร็จสิ้นการเซตเครื่อง

## บรรณานุกรม

- [1] Don D. Davis, Jr., George L. Stevens, Jr., Dewey Moore and Greore M. Stokes, "Theretical and measured attenuation of mufflers at room temperature without flow, with comments on engine-exhaust muffler design", NACA Technical Note, 2893, 1954, pp. 1-111
- [2] Harold W. Loed, William S. Gattey, Harold A. Evenson "Noise Control for Engineers" McGraw Hill Book Company, 1996
- [3] Daid A. bies and Colin H. Hansen "Engineering Noise Control" E&FN Spon an Imprint of Chapman & Hall, 1996
- [4] M.O. Tokhi, R.R. Leitch "Active Noise Control" Published in the United States by Oxford University, 1992
- [5] Leo L. Beranek "Noise Reduction" McGraw Hill Book Company, Co., Inc, 1960
- [6] Robert W. Fox & Alan T. McDonald "Introduction to Fluid Mechanics" School of Mechanical Engineering Purdue University Fifth edition
- [7] พลกฤษณ์ บุญอึ้ง "การหาประสิทธิภาพเครื่องลดเสียงแบบ Side Branch" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
- [8] บุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล "สมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิด Helmholtz" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542

