



ปีการศึกษา 2533

NOISE REDUCTION AND NOISE CONTROL

โดย

1. นายกฤษณ์ ธาระเวช 301005
2. นายธนา พรหมเทพ 301085
3. นายธีระจิตต์ พราหมณี 301105
4. นายปกรณ์ อากาศพันธุ์ 301132

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศ.ดร. อัครเดช สิ้นสุภัก

(ผ.ศ. อัครเดช สิ้นสุภัก)

NOISE REDUCTION AND NOISE CONTROL

จีคย

1. นายกฤษณ์ ธาระเวช 301005
2. นายธนา พรหมเทพ 301085
3. นายธีระจิตต์ พราหมณี 301105
4. นายปกรณ์ อากาศพันธ์ 301132

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อัครเดช สินธุภัก

ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

สารบัญ

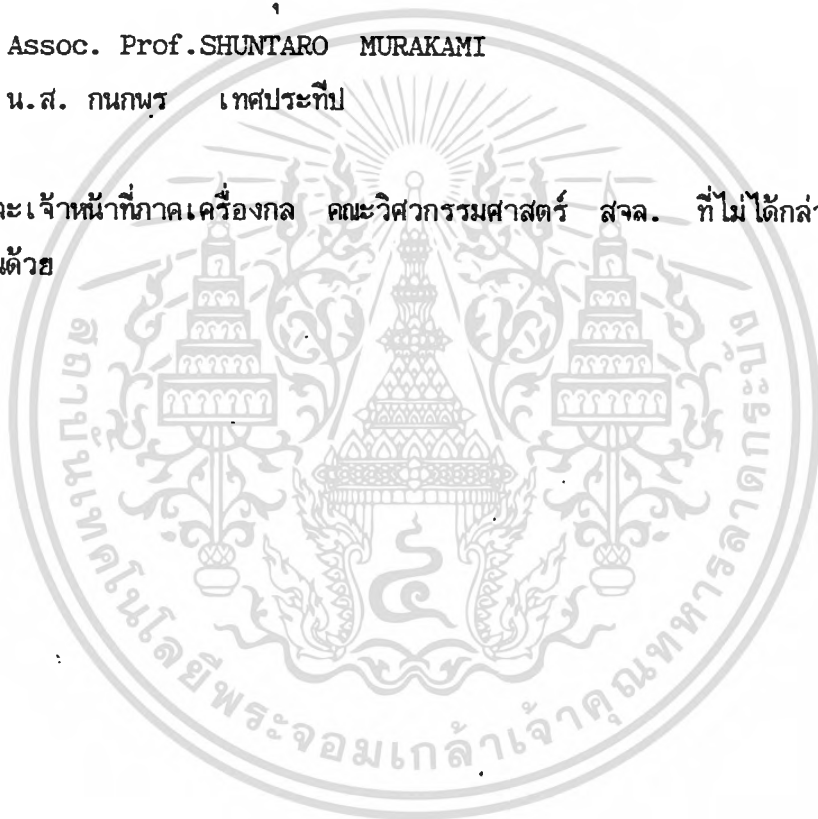
เรื่อง	หน้า
1. กิตติกรรมประกาศ	1
2. บทคัดย่อ	2
3. สัญลักษณ์	3
4. บทที่ 1 INTRODUCTION	4
5. บทที่ 2 ความคิดพื้นฐานของสมการคลื่น	7
6. บทที่ 3 EXPANSION CHAMBER MUFFLER	10
7. บทที่ 4 การทดลองและอุปกรณ์ขั้วคลื่น	16
8. บทที่ 5 วิจัยการขยายตัวของคลื่นเสียง	35
9. บทที่ 6 การประยุกต์สมการไฮโซในการออกแบบ	36
10. สรุปและวิจารณ์	38
11. REFERENCE	39

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านผู้มีอุปการะคุณ เอื้อเฟื้อ อบรม แนะนำ และสอนงานเป็นผล
ให้คณะผู้จัดทำประสบความสำเร็จในการทำโครงการนี้ด้วยดี ได้รับความรู้ และประสบ
การณ์อย่างมาก โดยมีรายนามต่อไปนี้

1. Prof.TOSHIO IIJIMA
2. Asst.Prof. Minoru MAEDA
3. ผ.ศ. อัครเดช สินธุ์ศักดิ์
4. Assoc. Prof. SHUNTARO MURAKAMI
5. น.ส. กนกพร เทศประทีป

รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาคเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ไม่ได้กล่าว
ถึง ณ. ที่นี้ทุกท่านด้วย

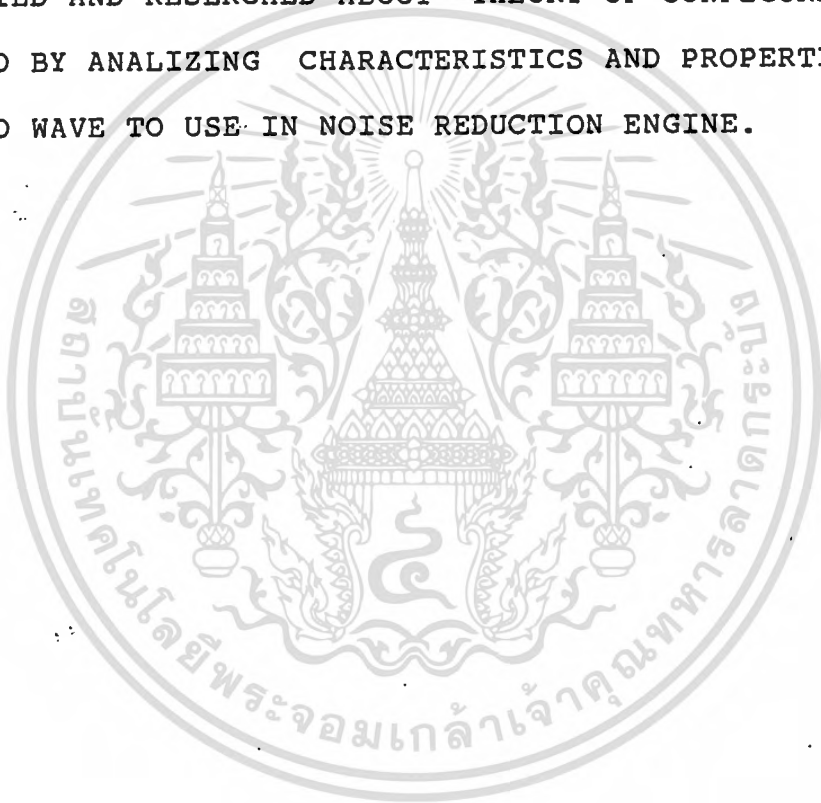


บทคัดย่อ

โครงการควบคุมและลดขนาดของเสียงนี้ ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับทฤษฎีโครงสร้างของเสียง โดยการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนและคุณสมบัติต่างๆ ของคลื่นเสียง เพื่อที่จะนำคุณสมบัติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการลดระดับความดังของเสียงที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ต่างๆ

ABSTRACT

THIS NOISE REDUCTION CONTROL PROJECT HAS BEEN STUDIED AND RESEARCHED ABOUT THEORY OF CONFIGURATION OF SOUND BY ANALYZING CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF SOUND WAVE TO USE IN NOISE REDUCTION ENGINE.



สัญลักษณ์

- A : Displacement Amplitude ของคลื่นเสียงตกกระทบ
- B : Displacement Amplitude ของคลื่นสะท้อน
- C : ความเร็วเสียง
- d : เส้นผ่านศูนย์กลางของ Expansion Chamber
- f : ความถี่
- k : ค่าคงที่ของความยาวคลื่น มีค่า $= \frac{2\pi f}{\lambda}$
- Le : ความยาวของ Expansion Chamber
- m : อัตราส่วนการขยาย
- P : ความดันเสียง
- t : เวลา
- λ : ความยาวคลื่น มีค่า $= \frac{v}{f}$
- ฐ : การขจัดในขณะใดขณะหนึ่งของอนุภาคในตัวกลางของคลื่นเสียงที่ถูกส่งผ่าน
- ฐ : ความเร็วในขณะใดขณะหนึ่งของอนุภาคในตัวกลางของคลื่นเสียงที่ถูกส่งผ่าน
- ω : ความเร็วเชิงมุม
- ATT: Attenuation

Subscripts

- i : Incident คลื่นตกกระทบ
- r : คลื่นสะท้อน

บทที่ 1 INTRODUCTION

ในทุกวันนี้เราได้รับมลภาวะจากเสียงรบกวนต่างๆ ไม่ว่าจะจากเครื่องจักรกลต่างๆ ตามโรงงานหรือจากยานพาหนะใดๆ ตามท้องถนน ซึ่งตามปกติของมนุษย์เราสามารถฟังได้ในช่วงความถี่ 20 - 20,000 Hz หรืออยู่ในระดับเสียง 0 - 120 dB แต่ระดับเสียงตั้งแต่ 80 dB ขึ้นไปจะก่อให้เกิดความรำคาญได้แล้ว จะทำให้เกิด noise pollution ดังนั้นเราจึงต้องพยายามหาอุปกรณ์ส่วนนี้จะติดตั้งเป็นท่อต่อจากแหล่งกำเนิดเสียงของรถยนต์ เพื่อที่จะลดระดับความดังของเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงเหล่านี้ ดังนั้นเพื่อที่จะทำการลดเสียงให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่เป็นได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของ muffler เราจึงออกแบบและทดสอบความสามารถในการลดเสียงของ muffler ในแต่ละแบบ โดยใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงเป็นตัวอ้างอิง คือในขั้นตอนแรกจะออกแบบ muffler ในลักษณะที่เป็นทรงกระบอก โดยอาศัยหลักการอย่างง่าย คือ ที่ว่าการเพิ่มพื้นที่ของการกระจายคลื่นเสียงในตัวกลาง จะทำให้ลดระดับความดันและความแรงของ คลื่นเสียงลงได้ ดังนั้นจากสมมุติฐานนี้การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของ muffler จะยิ่งช่วยลดความดังของเสียงลงได้เรื่อยๆ และในการทดสอบนี้เราจำเป็นต้องทดสอบในห้องที่ไร้เสียงรบกวนจากที่อื่นๆ เพื่อที่หาความสามารถที่แท้จริงของ muffler ได้ เราจึงต้องสร้างห้องเก็บเสียงขึ้นมาเป็นทิวระดับเสียง สำหรับโครงการนี้จะทำการศึกษาในหัวข้อต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของห้องเก็บเสียง
 2. เปรียบเทียบระดับเสียงที่ผ่าน muffler กับไม่ผ่าน muffler
 3. เปรียบเทียบค่า Attenuation ของ muffler แบบต่างๆกับทฤษฎี
- โดยใช้อุปกรณ์ทดลองต่างๆดังนี้
1. เครื่องมือแหล่งกำเนิดเสียงประกอบด้วย amplifier, อุปกรณ์ป้องกันความถี่และลำโพง
 2. SCOPE CF 350 ใช้สำหรับวัดค่าระดับความดังที่ความถี่ต่างๆ ของแหล่งกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารห้องเก็บเสียง (Anechoic Room) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบทางทฤษฎี และการทดลองหาวิธีที่เหมาะสมในการออกแบบ muffler ที่ทำที่ Langley Full-scale Tunnel จุดประสงค์หลักของการตรวจสอบ คือ การลดเสียงของเครื่องบิน การใช้ Acoustic Theory และเรื่องราวของ muffler ก็เพื่อต้องการจะหาลักษณะเฉพาะของ muffler ต่างๆ อย่างไรก็ตาม Acoustic Filter Theory ก็ยังมีข้อสมมุติบางประการที่จำกัดขนาดของ filter และ ความดันของเสียงซึ่งการออกแบบ Filter ของ Engine Exhaust ก็ยังใช้ข้อมูลจากทฤษฎีที่จำกัดนี้อยู่ชาวอังกฤษได้ทำการทดลองและผลการทดลองของ muffler แบบ Multiple-expansion-Multiple Resonator, Low-pass Filter และ แบบ Multiple-expansion Chamber ก็สอดคล้องกับทฤษฎี และผลการทดลองยังแสดงด้วยว่าสำหรับ Expansion Silencer ถ้าเราเพิ่มความเร็วในการไหลก็จะลดเสียงที่ความถี่ต่ำได้มากขึ้น แต่ความเร็วในการไหลจะมีผลกระทบเล็กน้อยถ้าเป็น muffler แบบ Resonator แต่ทั้งสองกรณีความเร็วในการไหลยังน้อยกว่าความเร็วจริงๆ Exhaust pipe มากมายนัก แม้ว่าที่กล่าวมาบางทฤษฎีของ Acoustic จะสามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่ทั้ง ความถูกต้องของทฤษฎีที่เกี่ยวกับขนาดของ muffler และ ความถูกต้องของทฤษฎีในการทำนายการลดเสียงของ muffler ที่ติดตั้งบนเครื่องยนต์จริงๆ ไม่สามารถพิจารณาจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วได้ มีหลักฐานว่าก่อนที่มีข้อมูลปลีกย่อยเพิ่มอีกในเรื่องความสมเหตุสมผลผลทางทฤษฎี การทดลองก็ยังเป็นที่ต้องการโดยการคุมสภาพแวดล้อมอย่างใกล้ชิด ซึ่งก็จะลดจำนวนตัวแปรที่เกี่ยวข้องลงไปแล้ววัดค่าการลดเสียงอย่างง่ายๆ จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้ก็เพื่อจะดูความแตกต่างจากทฤษฎี และดูความเหมาะสมของสมการโดยการทดลองกับ muffler ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะสรุปข้อจำกัดของสมการที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดขนาดของ muffler , ชนิดของ muffler และ ความถี่ของเสียง

สมการที่ใช้ในการนิรนุจน์การลดเสียงของ muffler มาจากทฤษฎีของ Plane-wave ซึ่งทฤษฎีนี้สมมุติให้เป็นคลื่นหนึ่งมิติ ถ้าคลื่นนี้เคลื่อนผ่านจุดต่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไปแล้ว ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ต่อไปและอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดเสียง

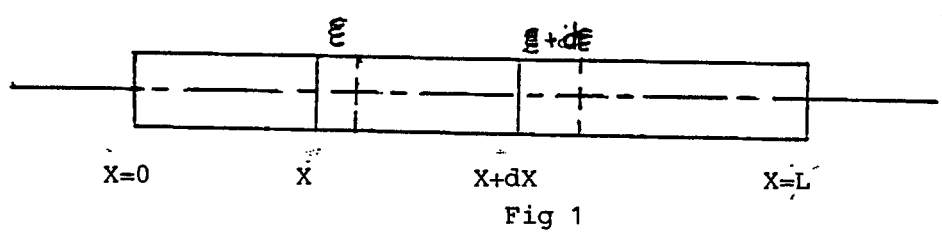
ชนิดของ muffler

Expansion-Chamber muffler ประกอบด้วย Chamber ที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่าท่อที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดหลาย chamber หรือ chamber เดียว และจะต่อ chamber กับท่อดังกล่าวแบบอนุกรม muffler ชนิดนี้ลดเสียงโดยใช้การสะท้อนกลับของคลื่นที่จุดต่อ ทำให้คลื่นที่ผ่านไปยังทางออกมีกำลังลดลง และ ทฤษฎียังแสดงด้วยว่าจะมีความถี่หนึ่งซึ่ง เรียกว่า cut - off frequency ที่ความถี่ต่ำกว่าค่านี้แล้ว muffler จะไม่มีผลในการลดเสียง

MUFFLER OF RESONATOR TYPE

A single chamber resonator จะมีเรโซแนนซ์แชนเบอร์ซึ่งต่อขนานกับท่อที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียง ในช่วงความถี่บางช่วงอิมพีแดนซ์ที่จุดต่อจะน้อยกว่าอิมพีแดนซ์ที่ทางออกมาก ทำให้เหมือนกับการลัดวงจรซึ่งจะสะท้อนคลื่นกลับไปยังแหล่งกำเนิดและคลื่นที่ทางออกจะมีกำลังลดลง

บทที่ 2 ความคิดพื้นฐานของสมการคลื่น



พิจารณาแท่งวัตถุกลมยาว L และมีพื้นที่หน้าตัด S เท่ากันตลอดทั้งแท่ง เมื่อให้แรง F มีทิศทางแนวแกนกับแท่งวัตถุ อนุภาคในแท่งวัตถุแต่ละอนุภาคจะมีการขจัด ξ แต่เราให้แท่งวัตถุมีขนาดเล็กและยาว ดังนั้นการขจัด ξ ของแต่ละอนุภาคในพื้นที่หน้าตัด S เดียวกันจะประมาณได้ว่าเท่ากันเมื่อเวลาเปลี่ยนไปค่า ξ ที่ตำแหน่งใดๆจะเปลี่ยนไปด้วย กล่าวคือการขจัดเป็นฟังก์ชันของการขจัดและเวลา หรือ

$$\xi = \xi(x, t) \text{ ----- (1)}$$

ให้ตำแหน่งปลายซ้ายสุดและปลายขวาสุดของรูปที่ 1 เมื่อเทียบกับแกนนอ้างอิงเป็น $x=0$ และ $x=L$ ตามลำดับ พิจารณาแท่งวัตถุที่มีความยาวเล็กน้อย dx อยู่ในตำแหน่งระหว่าง x กับ $x+dx$ สมมติให้แรง F ทำให้หน้าตัด S ที่ตำแหน่ง x และ $x+dx$ เคลื่อนไปเป็นระยะทาง ξ และ $\xi + d\xi$ ไปทางขวาตามลำดับ โดยทิศจากซ้ายไปขวาคือเป็นบวก

โดยการคิดระยะ dx มีขนาดเล็กมากๆ ดังนั้นที่ตำแหน่ง $x+dx$ สามารถแทนค่าของ ξ ได้โดยใช้สองเทอมแรกของการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ เขียนได้เป็น

$$\xi + d\xi = \xi + \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right) dx \text{ ----- (2)}$$

เมื่อพิจารณารูปที่ 1 จะพบว่าระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม dx คือ

$$(\xi + d\xi) - \xi = d\xi = \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right) dx \text{ ----- (3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคำนิยามของความเครียดคือ อัตราส่วนของระยะที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะเริ่มต้น (dx) คือ

$$\frac{d\epsilon}{dx} = \frac{\frac{\partial \epsilon}{\partial x}}{dx} = \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นก็ต้องมีแรงกระทำเกิดขึ้น จะเป็นฟังก์ชันของการขจัดและเวลาด้วย เพราะ ความเครียดเป็นฟังก์ชันของการขจัดเวลา เขียนแทนด้วย $f(x, t)$

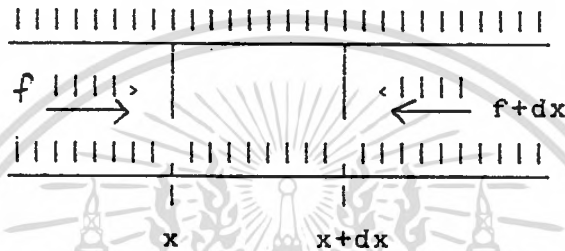


Fig 2

นิยามของความเค้นคือ อัตราส่วนของแรงกับพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความเค้น} = \frac{f}{s}$$

สำหรับวัตถุส่วนใหญ่ ถ้าความเครียดมีขนาดเล็กน้อยจะถือว่าความเค้นจะแปรผันตรงกับความเครียด หรือ

$$\frac{f}{s} = Y \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \quad \text{----- (5)}$$

โดยที่ค่า Y คือ Young's Modulus จากสมการที่ 5 เขียนใหม่เป็น

$$f = sY \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \quad \text{----- (6)}$$

แสดงถึงแรงภายในมีทิศตามแนวแกนในแท่งวัตถุที่ตำแหน่ง x และ x+dx และใช้สองเทอมแรกของการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ แสดงแรง f เป็น f

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และ (f+)dx ตามลำดับ ดังนั้นแรงสุทธิคือ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$df = \left(f + \frac{\partial f}{\partial x} dx \right) = \frac{\partial f}{\partial x} dx \text{ -----(7)}$$

จากสมการ 6 และ 7 จะได้ว่า

$$df = SY \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) dx \text{ -----(8)}$$

แท่งวัตถุ dx จะมีมวลคือ $\rho S dx$ โดยที่ ρ คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรจากกฎข้อสองของนิวตันนำมาใช้กับสมการ 8 จะได้

$$\rho S dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = SY \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx \text{ -----(9)}$$

สมมติให้ $c^2 = \frac{Y}{\rho}$ สมการที่ 9 จะกลายเป็น

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \text{ -----(10)}$$

บทที่ 3

EXPANSION CHAMBER MUFFLER

ในการนิยามสมการที่แสดงค่าของ Attenuation ของ single expansion-chamber muffler จะให้สมการอยู่ในข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1. ความดันของเสียงมีค่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความดันเฉลี่ยสมบูรณ์ในระบบ
2. ไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นที่ปลายท่อ
3. ผนังของ muffler จะต้องไม่ดูดซับพลังงานเสียง
4. ให้คลื่นความดันที่เป็นคลื่นแบบ plane wave
5. ไม่มีผลกระทบต่อความหนืด

ให้คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับที่ระยะใด ๆ (x) มีการขจัดและความเร็วเป็น รูป sin หรือ

$$P_i = A e^{i(\omega t - kx)} \quad , \quad P_r = B e^{i(\omega t + kx)} \quad \text{----- (1)}$$

$$P_{te} = C e^{i(\omega t + kx)} \quad , \quad P_{tr} = D e^{i(\omega t - kx)} \quad \text{----- (2)}$$

i, r แสดงว่าเป็นคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนตามลำดับ

A, B โดยทั่วไปเป็นจำนวนเชิงซ้อน

$k = \omega / C$ สำหรับ plane wave

ความดัน $P = \rho C^2$ (สมการที่ 5 และ $C^2 = Y / \rho$).

ดังนั้นความดันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับเขียนได้เป็น

$$P_i = -\rho^2 C \frac{\partial P_i}{\partial x} \quad , \quad P_{tr} = \rho C^2 \frac{\partial P_{tr}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial x} = -A e^{i(\omega t - kx)} \quad , \quad \frac{d(i(\omega t - kx))}{dx} = -A i \omega k e^{i(\omega t - kx)} \quad \text{--- (14)}$$

แทนค่า $k=w/c$ ในสมการ 14 และนำผลที่ได้ไปแทนในสมการ 13
จะได้

$$P_1 = iw_p C A e^{i(\omega t - kx)} \text{-----(15)}$$

โดยวิธีเดียวกันนี้จะได้

$$P_{r_1} = iw_p C A e^{i(\omega t - kx)} \text{-----(16)}$$

จาก $\frac{dw}{dt} = P$

$$dw = P dt$$

$$dw = F(t) V(t) d(t)$$

$$dw = S P_1(t) \hat{r}_1(t) dt \text{-----(17)}$$

ใน 1 คาบจะมีพลังงานซึ่งหาได้โดยอินทิเกรตสมการ 17 โดยอินทิเกรต
1 คาบคือตั้งแต่ 0 ถึง $2\pi/\omega$ หรือ

$$w = S \int_0^{2\pi/\omega} P_1 \hat{r}_1 dt \text{-----(18)}$$

การคำนวณสมการที่ 18 เป็นการคำนวณงานซึ่งเกิดขึ้นจริงๆ ดังนั้น
จึงนำเอาแต่ส่วนจริงมาคิดเท่านั้น และค่าเฉลี่ยของงานหาได้โดยเอาค่าของ
คาบไปหารสมการที่ 18 จะได้

$$w_{avg} = \frac{w}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_1 \hat{r}_1 dt \text{-----(19)}$$

เมื่ออินทิเกรตสมการ 20 แล้วจะได้

$$w_{avg} = \frac{1}{2} C w s |A|^2 \text{-----(20)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าจะหา Attenuation ระหว่างหน้าตัด 2 หน้าตัด โดยอาศัยนิยามของ Attenuation และสมการ 21 จะได้

$$\text{Attenuation} = 10 \log \left| \frac{A_1}{A_2} \right| \text{ ----- (21)}$$

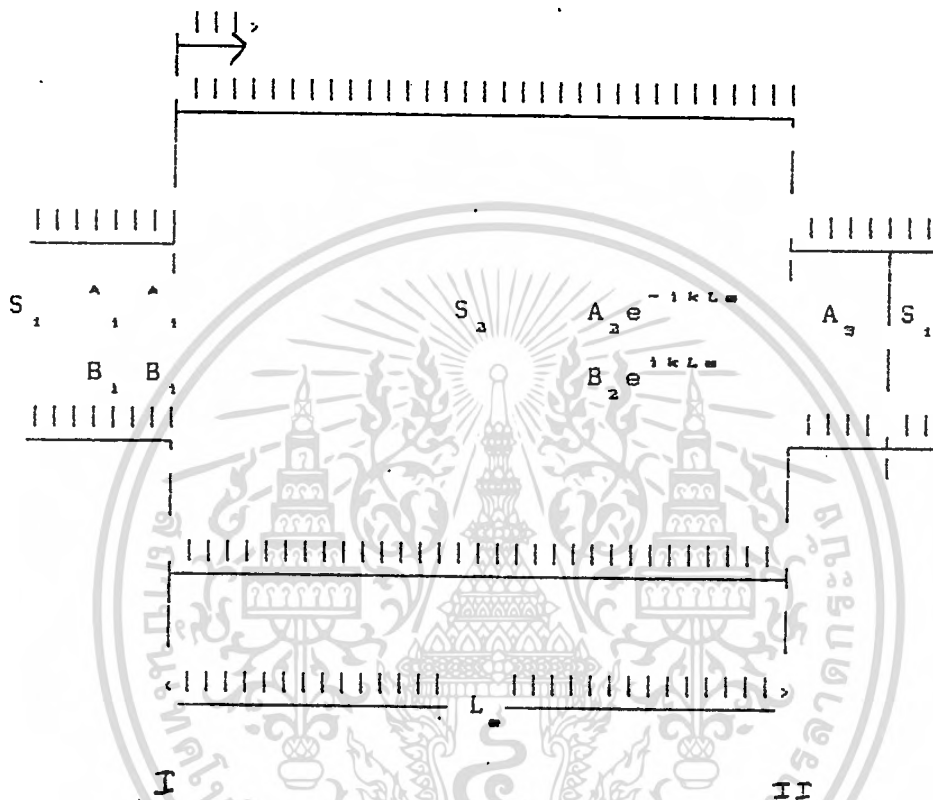


Fig 3

แทนอ้างอิงมีจุด 0 อยู่ที่จุดต่อที่ 1 ใช้สมการความต่อเนื่องของความดันและการไหลของปริมาตรที่จุดต่อที่ 1 และใช้สมการ 15, 16 จะได้สมการความต่อเนื่องของความดัน

$$P_{1,1} + P_{r,1} = P_{1,2} + P_{r,2} \text{ ----- (22)}$$

$$\begin{aligned} iw_p CA_1 e^{i(\omega t - kx)} + iw_p CB_1 e^{i(\omega t + kx)} \\ = iw_p CA_2 e^{i(\omega t - kx)} + iw_p CB_2 e^{i(\omega t - kx)} \end{aligned}$$

ที่เวลา $t=0$ และ $x=0$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2$$

ส่วนสมการความต่อเนื่องของการไหลของปริมาตร

$$S_1 (v_{1,1} - v_{r+1,1}) = S_2 (v_{1,2} - v_{r+1,2})$$

แทนค่าสมการ 11, 12 ที่ $t=0$ และ $x=0$ จะได้

$$S_1 (A_1 - B_1) = S_2 (A_2 - B_2)$$

$$A_1 - B_1 = m(A_2 - B_2) \quad (24)$$

ในทำนองเดียวกันที่จุดต่อ 2 แต่ใช้ $t=0$ และ $x=L$ จะได้สมการ

$$A_2 e^{-ikL} + B_2 e^{ikL} = A_3 \quad (25)$$

$$m(A_2 e^{-ikL} - B_2 e^{ikL}) = A_3 \quad (26)$$

(25) + (26) :

$$2A_2 e^{-ikL} = A_3 + \frac{A_3}{m}$$

$$2A_2 e^{-ikL} = A_3 \left(1 + \frac{1}{m} \right)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{m+1}{m} \right) A_3 e^{-ikL} \quad (27)$$

(25) - (26) :

$$2B_2 e^{ikL} = A_3 - \frac{A_3}{m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2B_2 e^{ikL} = A_3 \left(1 - \frac{1}{m} \right)$$

$$B_2 = \frac{1(m-1)A_3}{2m} e^{-ikL} \quad \text{-----(28)}$$

แทน (27), (28) ใน (23), (24)

$$A_1 + B_1 = \frac{(m+1)A_3}{2m} e^{ikL} + \frac{(m-1)A_3}{2m} e^{-ikL} \quad \text{-----(29)}$$

$$A_1 - B_1 = m \left[\frac{(m+1)A_3}{2m} e^{ikL} - \frac{(m-1)A_3}{2m} e^{-ikL} \right] \quad \text{-----(30)}$$

$$A_1 - B_1 = \frac{(m+1)A_3}{2} e^{ikL} - \frac{(m-1)A_3}{2} e^{-ikL} \quad \text{-----(31)}$$

(29) + (30):

$$2A_1 = A_3 \left[\frac{(m+1)}{m} e^{ikL} + \frac{(m-1)}{m} e^{-ikL} + \frac{(m+1)}{m} e^{ikL} - \frac{(m-1)}{m} e^{-ikL} \right]$$

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{1}{4} \left\{ \left[\frac{(m+1)}{m} + \frac{(m-1)}{m} \right] e^{ikL} + \left[\frac{(m-1)}{m} - \frac{(m-1)}{m} \right] e^{-ikL} \right\}$$

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{1}{4} \left\{ \left[\frac{(m+1)}{m} + \frac{(m+1)}{m} \right] e^{ikL} + \left[\frac{(m-1)}{m} - \frac{(m-1)}{m} \right] e^{-ikL} \right\}$$

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{1}{4} \left[\frac{(m+1)^2}{m} e^{ikL} - \frac{(m-1)^2}{m} e^{-ikL} \right] \quad \text{-----(31)}$$

จากสมการของออยเลอร์

$$e^{im} = \cos \theta + i \sin \theta, \quad e^{-im} = \cos \theta - i \sin \theta \quad \text{-----(32)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า (๑๑) แทน (๑๑) :

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4} \left[\frac{(m+1)^2}{m} (\cos kLe + i \sin kLe) - \frac{(m-1)^2}{m} (\cos kLe - i \sin kLe) \right]$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4} \left\{ \frac{(m+1)^2}{m} - \frac{(m-1)^2}{m} \right\} \cos kLe + i \left\{ \frac{(m+1)^2}{m} + \frac{(m-1)^2}{m} \right\} \sin kLe$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4} [4 \cos kLe + i 2(m^2+1) \sin kLe]$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \cos kLe + i \frac{(m^2+1)}{2} \sin kLe \text{----- (33)}$$

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = \cos^2 kLe + \left[\frac{(m^2+1)}{2} \right]^2 \sin^2 kLe \text{----- (34)}$$

ดังนั้นสมการ (34) เขียนเป็น

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = 1 + \frac{(m-1)^2}{4} \sin^2 kLe \text{----- (35)}$$

จากสมการ (22) จะได้ว่า

$$\text{ATTENUATION} = 10 \log [1 + \frac{(m-1)^2}{4} \sin^2 kLe] \text{----- (36)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและอุปกรณ์

วิธีสร้างห้องเก็บเสียง

โดยการใช้ไม้แปรรูปขนาด $(3/2) \times 3$ ตร.นิ้ว ทำเป็นโครงสร้างห้องและใช้ไม้อัดหนา 20 มม. ขนาด 4×8 ตร.ฟุต ทำเป็นห้องให้เป็นห้องขนาด 3×4 ตร.ม. และสูง 3 ม. ดังรูป 4 และใช้ fiber glass เป็นอุปกรณ์ดูดซับเสียง โดยบุไว้ที่ผนังห้องด้านในแต่ละด้าน รวม 6 ด้าน ให้มีความหนาตามละ 45 มม. โดยใช้ fiber glass ขนาด ต่างๆกันดังนี้

ความหนาแน่น 24 Kg/m^3	หนา 2 นิ้ว	ขนาด 4×50 ตร.ฟุต	แบบ
ความหนาแน่น 32 Kg/m^3	หนา 2 นิ้ว	ขนาด 4×8 ตร.ฟุต	แบบ
ความหนาแน่น 48 Kg/m^3	หนา 2 นิ้ว	ขนาด 4×8 ตร.ฟุต	แบบ

ดังรูป 5 (แสดงให้เห็นเพียงด้านเดียว)

หมายเหตุ : ซึ่งจากการวิเคราะห์ของทางมหาวิทยาลัยโตเกียว ของญี่ปุ่นได้ผลออกมาว่า ถ้าใช้ fiber glass ที่มีควมหนาแน่นขนาด 24 กก./ม.^3 , 32 กก./ม.^3 , 48 กก./ม.^3 จะต้องบุหนาขนาดละ 15 ซม. รวมเป็นใช้ fiber glass หนา 45 ซม. แล้วจะมีประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือเสียงจะสะท้อนกลับมาน้อยมากจนเกือบจะไม่มีเสียงสะท้อนเลยและการที่ใช้ fiber glass เป็นวัสดุดูดซับเสียงก็เพราะ fiber glasses เป็นวัสดุยืดหยุ่นได้ ดังนั้นเมื่อคลื่นเสียงเข้าไปกระทบ fiber glass การสะท้อนใน fiber glass จะลดลง ทำให้การกระจายของคลื่นเสียงลดลง ดังนั้นจึงสามารถลดระดับเสียงลงได้ ดังรูป 6 แต่ถ้าเป็นไปได้การจัดลักษณะของ fiber glass ก็จะช่วยลดเสียงได้ดีขึ้นด้วยเช่นกันถ้าให้ fiber glass เป็นดังรูปที่ 7

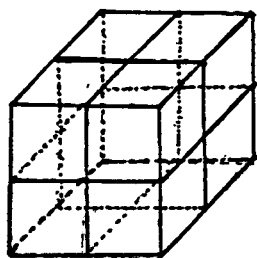


Fig. 4

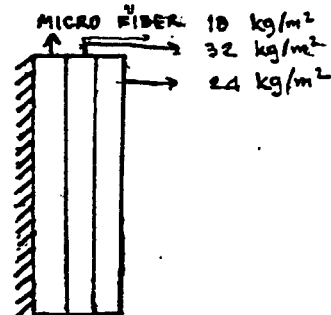


Fig. 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

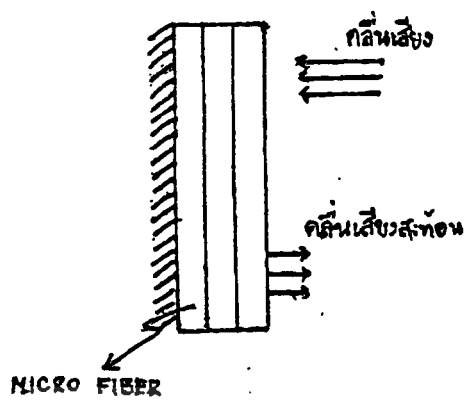


Fig 6

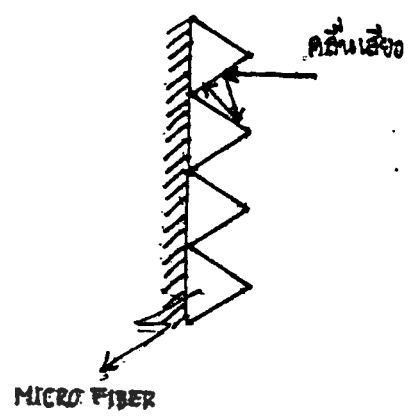


Fig 7

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่เข้ามาหา fiber glass จะสะท้อนในลักษณะเฉียงซึ่งจะไปพบ fiber glass อีกด้านหนึ่งซึ่งรองรับไว้ทำให้ช่วยดูดซับคลื่นที่สะท้อนได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ลดระดับเสียงได้ดีขึ้นด้วย แต่เนื่องจากละอองและฝุ่น fiber glass อาจเข้าตาหรือระคายเคืองทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ จึงใช้ผ้าขาวบางคลุมหีบ fiber glass ชั้นนอกไว้อีกทีและที่ด้านพื้นเนื่องจากต้องใช้ประโยชน์ตามต้องการดังที่กล่าวมา และ ทั้งผ้าขาวบางและโครงเหล็กล้วนมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเก็บเสียงของห้องแต่ก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งก็คุ้มค่ากับประโยชน์ที่ได้รับ

ท่อทางเดินของคลื่นเสียงแบบมี muffler และแบบไม่มี muffler

ท่อทางเดินของเสียงใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 4.35 เมตร สำหรับท่อที่มี muffler ลักษณะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว ยาว 24 นิ้ว และยึดติดกับท่อด้วยหน้าแปลนโดยมีซิลยางกันรั่วอยู่ด้วย ซึ่งจะให้ muffler น้อยู่บริเวณกลางท่อ ท่อทางเดินของเสียงทั้ง 2 แบบ จะถูกลอดเข้าไปในห้องเก็บเสียง เพื่อให้เสียงสามารถเดินทางผ่านท่อเหล่านี้เข้าไปในท่อดังรูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

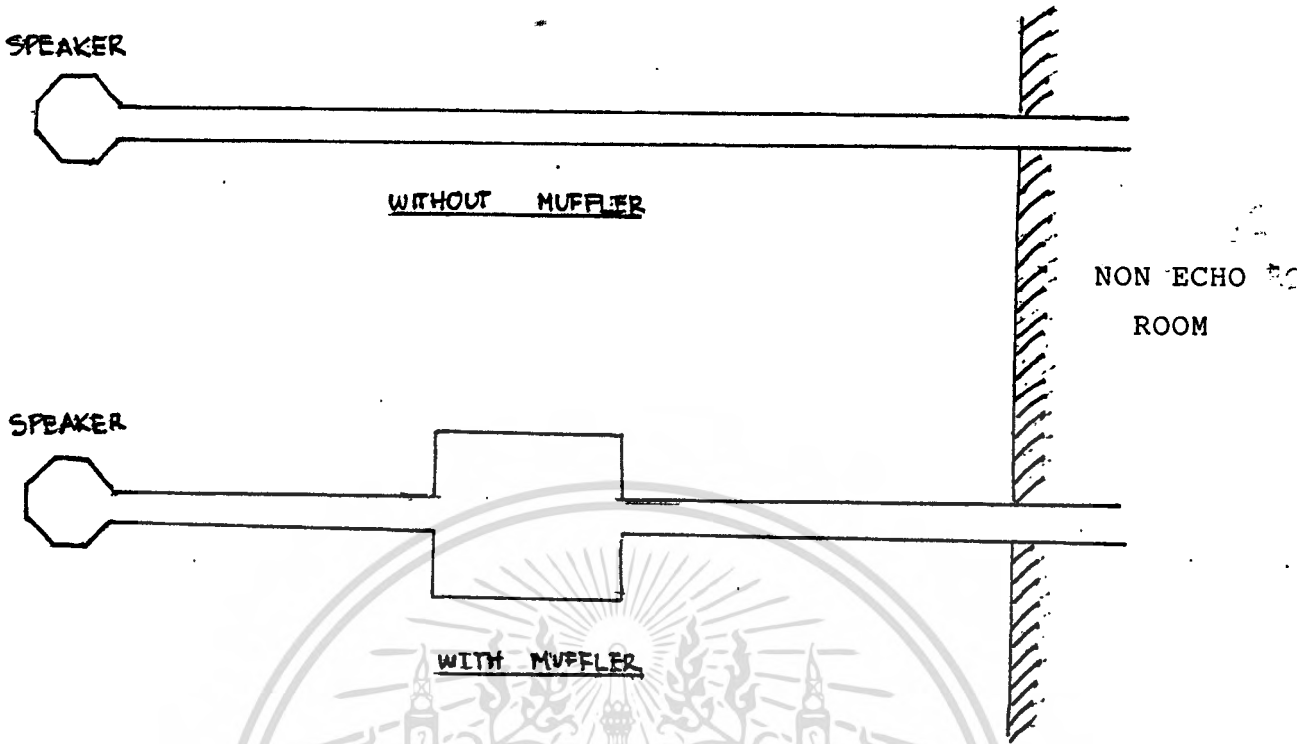


Fig 8

คุณลักษณะของห้องเก็บเสียง (Characteristic of room)

ห้องเก็บเสียงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองอย่างหนึ่ง โดยที่จะต้องเป็นห้องที่ไม่สามารถมีเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงภายนอกเข้าไปได้ ดังนั้นเราจำเป็นต้องมีการวัดหาค่าคุณลักษณะของห้องเก็บเสียงซึ่งมีทฤษฎีดังนี้

การหาคุณลักษณะห้องเก็บเสียงที่ดี

เสียงเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่เรียกว่า source ซึ่งทำให้โมเลกุลของอากาศสั่นสะเทือนไปเรื่อยๆ โดยที่จะทำให้โมเลกุลของอากาศแผ่กระจายเป็นรูปทรงกลมล้อมรอบแหล่งกำเนิดเสียงดังแสดงในรูป ๑

จากรูปที่ ๑ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ผิวของเสียงรอบแหล่งกำเนิดเสียง: S

$$S = (4/3) \pi R^2 \text{ โดยที่ } (4/3) \pi \text{ เป็นค่าคงที่}$$

ดังนั้น S แปรผันตาม R²

โดยที่เราสามารถวัดระดับความดังของเสียงได้จาก sound pressure level (SPL) โดย

$$SPL = SPL_0 - 10 \log (S/S_0) \text{ dB -----(1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 SPL = sound power level ของแหล่งกำเนิดเสียงโดยวัดเป็น dB
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_0 = พื้นที่ผิวทรงกลมที่จุดอ้างอิง

S = พื้นที่ผิวทรงกลมที่จุดใดๆ

ดังนั้นถ้าพื้นที่ผิวทรงกลมที่จุดอ้างอิง $S_0 = 4\pi(R_0)^2$

จะได้ $S = 4\pi R^2$

R_0 = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดอ้างอิง

R = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงจุดใดๆ

จาก (1) แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}
 SPL &= SPL_0 - 10 \log (4\pi R^2) / (4\pi R_0^2) \\
 &= SPL_0 - 10 \log (R/R_0)^2 \\
 SPL &= SPL_0 - 20 \log (R/R_0) \text{ dB} \text{ ----- (2)}
 \end{aligned}$$

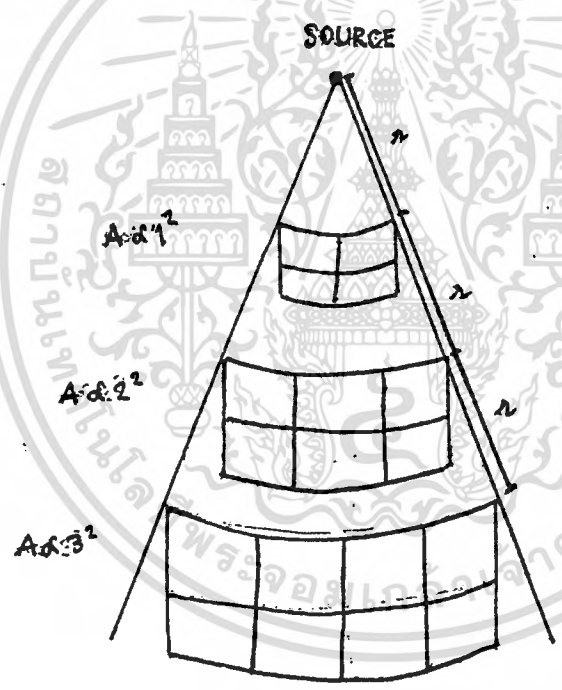


Fig 9

เมื่อพิจารณาที่ $R=2R_0$: ดังนั้น $\log (2R_0/R_0) = \log 2 = 0.301$
แทนค่าในสมการที่ 2 จะได้

$$SPL = SPL_0 - (20 * 0.301) \text{ dB}$$

$$SPL = SPL_0 - 6.02 \text{ dB}$$

$$SPL - SPL_0 = -6.02 \text{ dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงขึ้นเป็น 2 เท่าจะได้ค่าผลต่างของระดับเสียงที่ระยะทางทั้งสอง = 6.02 dB

สรุปได้ว่าคุณลักษณะของห้องเก็บเสียงที่จัดว่าสามารถเก็บเสียงได้ดีจะต้องมีระดับเสียงต่างกันประมาณ 6 dB เมื่อระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังนั้นในการหาประสิทธิภาพของห้องเก็บเสียงที่เราสร้างขึ้น จึงจำเป็นต้องหาค่าคุณลักษณะของห้องเก็บเสียงที่ติดตามวิธีการข้างต้น โดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงที่ความถี่ต่างๆกันเป็น source และมี scope CF 350 เป็นตัววัดระดับเสียงโดยเลื่อนไมโครโฟนรับเสียงให้ห่างจาก source เพิ่มขึ้นครึ่งละ 2 เท่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้ทางทฤษฎี แล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาคุณลักษณะของห้องเก็บเสียงที่เราสร้างขึ้นต่อไป

การทดลอง การหา characteristic ของห้องเก็บเสียงที่สร้างขึ้น
วัตถุประสงค์ เพื่อหาประสิทธิภาพของห้องเก็บเสียงที่สร้างขึ้นเทียบกับห้องเก็บเสียงตามทฤษฎี

วิธีการทดลอง

1. สร้างแหล่งกำเนิดเสียงโดยใช้ Amplify, เครื่องป้อนความถี่ และ ลำโพงประกอบเข้ากันเป็นชุด โดยป้อนความถี่ต่างๆกัน
2. ใช้ scope CF-350 เป็นตัววัดระดับความดังของเสียงโดยใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับเสียง
3. เลื่อนไมโครโฟนห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ละ 10 ซม., 20 ซม., 40 ซม., 80 ซม. ไปเรื่อยๆจนสุดห้อง แล้ววัดระดับความดังที่ตำแหน่งต่างๆ
4. นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างระดับความดังกับระยะทางที่เพิ่มขึ้นที่ความถี่ต่างๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ curve ทางทฤษฎี

ผลการทดลอง

ครั้งที่ 1

cm	H x	200	500	1000	2000
10		102.86	112.77	111.89	114.37
20		86.92	108.11	107.29	111.13
40		83.06	104.17	103.41	110.29
80		80.73	99.93	99.13	107.42
160		71.16	93.31	94.02	100.39

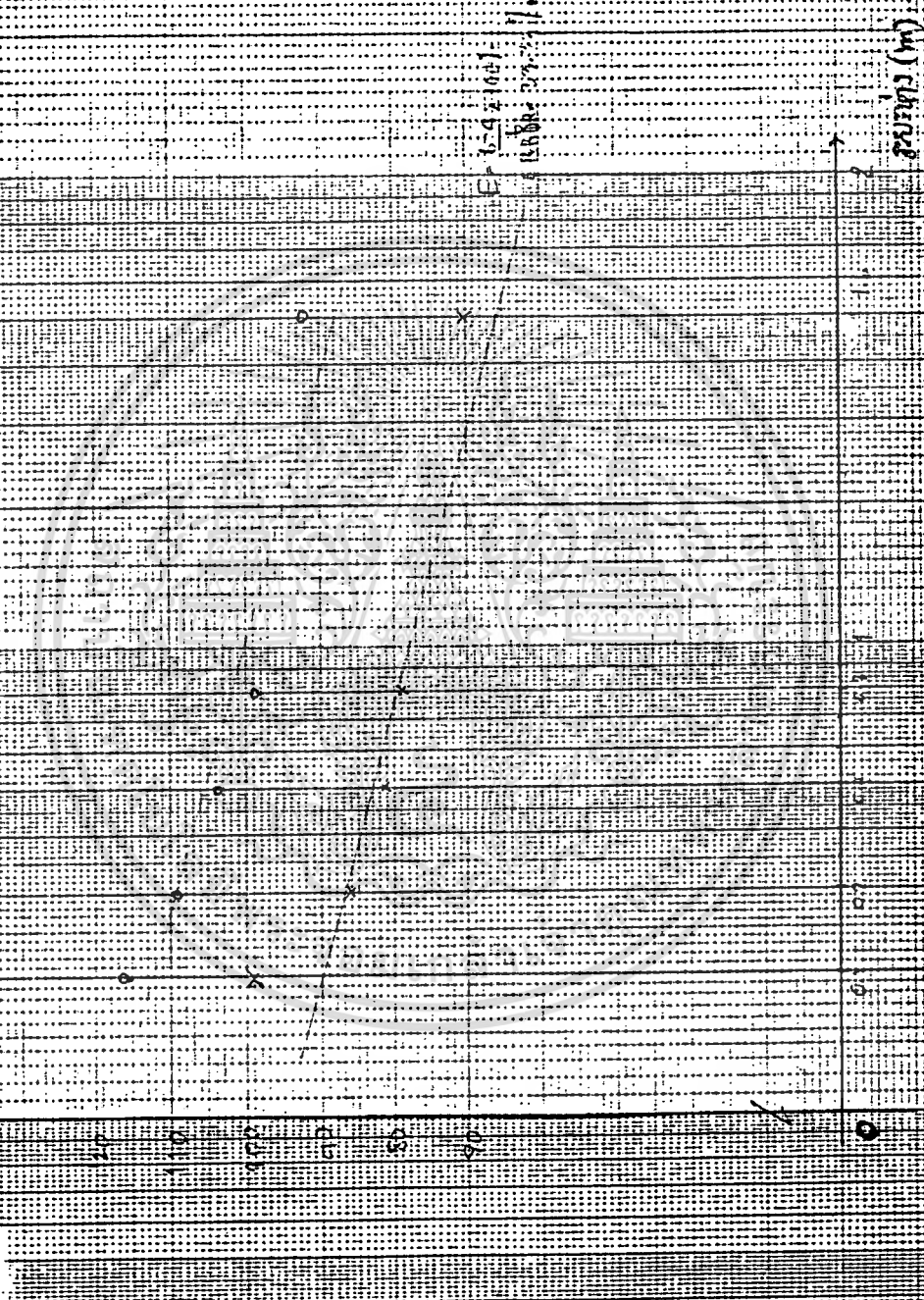
ครั้งที่ 2

cm	H x	200	500	1000	2000
10		98.50	116.36	115.68	118.31
20		86.83	109.74	107.63	114.70
40		81.72	103.04	103.18	109.17
80		79.51	97.71	99.97	105.57
100		70.88	92.86	92.27	101.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$X = 200 \text{ Hz}$
 $\sigma = 500 \text{ Hz}$

SPL
(dB)



$E = \frac{1.59 \times 1000}{1.668 \times 10^3} \approx 0.95$

(Hz) Change

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองผลที่ได้อาจจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีมากนัก เนื่องจากความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้น เช่นระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงไมโครโฟนรับเสียงที่ระยะต่างๆไม่คงที่ หรือเกิดจาก error ของ scope CF-350 หรืออาจเกิดจากเชื้อไมโครไฟเบอร์ดูดซับเสียงสะท้อนกลับได้ไม่หมด จึงทำให้ผลที่ได้ผิดพลาดไปบ้าง แต่ก็พออนุมานได้ว่าห้องเก็บเสียงที่สร้างนี้มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการทดลองต่อไป

สรุปผลการทดลอง

ห้องเก็บเสียงที่มีประสิทธิภาพดี ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ เมื่อเพิ่มระยะห่างจาก แหล่งกำเนิดเสียงขึ้นเป็น 2 เท่า จะทำให้ระดับความดังเสียงลดลงเท่ากับ 6 dB

การทดลอง การหาประสิทธิภาพการลดระดับเสียงของ muffler ที่สร้างขึ้น
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ muffler ในการลดระดับเสียง
วิธีทดลอง

1. ป้อนแหล่งกำเนิดโดยใช้ Amplifier, เครื่องปรับความถี่และลำโพง
2. ปรับความถี่ของแหล่งกำเนิดตั้งแต่ 50 จนถึง 1000 Hz
3. ปล่อยเสียงให้ผ่านตามท่อที่มี muffler และไม่มี muffler ก่อนเข้าห้องเก็บเสียง
4. วัดระดับเสียงโดยใช้ไมโครโฟน และ scope CF-350
5. หาผลต่างของระดับเสียงที่ผ่านและไม่ผ่าน muffler
6. plot กราฟของผลต่างระดับเสียงและความถี่ที่ป้อนโดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 8

1.1 muffler เส้นผ่านศูนย์กลาง = 36 cm , ความยาว = 34 cm

ความถี่ (HZ)	with muffler(db)	without muffler(db)	ATT(db)
25	89.66	82.39	0.73
50	79.45	79.82	0.23
75	81.14	82.2	1.06
100	77.87	90.36	12.49
125	77.18	80.32	3.14
150	77.87	84.6	6.73
175	78.37	92.05	13.68
200	76.66	85.38	8.72
225	76.93	93.25	16.32
250	78.54	90.07	12.53
275	77.18	89.27	12.09
300	79.60	101.57	21.07
325	78.28	92.35	14.07
350	78.99	96.06	17.07
375	79.87	98.67	19.8
400	78.36	94.84	16.31
425	77.6	103.02	25.26
450	83.90	99.50	17.5
475	82.68	99.52	16.84
500	82.53	104.82	21.69
525	101.15	101.25	0.1

550	90.87	105.72	15.55	25
575	82.46	102.20	19.54	
600	82.57	106.38	18.81	
625	83.55	108.23	24.64	
650	81.66	101.89	20.23	
675	80.88	104.94	24.06	
700	85.93	105.42	19.45	
725	80.93	102.41	21.48	
750	85.93	109.74	24.61	
775	79.87	102.92	23.05	
800	81.70	103.53	21.83	
825	85.77	109.05	23.68	
850	80.19	102.52	22.33	
875	85.58	108.80	23.22	
900	85.60	106.38	20.78	
925	83.42	104.20	20.78	
950	83.01	111.68	28.67	
975	86.67	104.20	17.53	
1000	91.08	105.52	14.44	

1.2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 cm , ยาว 34 cm

ความถี่(Hz)	with muffler(db)	without muffler(db)	ATT(db)
25	81.43	81.7	0.27
50	79.67	80.72	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

75	80.38	81.09	0.71
100	81.43	90.06	8.63
125	79.87	80.61	0.74
150	80.13	82.24	2.11
175	88.67	91.47	2.8
200	82.85	84.92	2.07
225	84.10	92.71	8.61
250	84.02	90.72	6.7
275	84.86	89.26	4.4
300	90.18	100.77	10.59
325	85.98	92.14	6.16
350	97.31	96.25	-1.06
375	92.78	99.89	7.11
400	90.02	95.17	5.15
425	101.46	102.77	1.31
450	96.86	99.51	2.65
475	98.70	99.95	1.25
500	102.77	103.35	0.58
525	100.09	100.69	0.650
550	104.82	106.47	1.65
575	100.13	101.82	1.69
600	96.91	101.38	4.8
625	105.54	107.48	1.94
650	96.68	101.27	4.59
675	101.33	104.08	2.75
725	95.40	101.95	6.55
750	99.22	109.69	10.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

775	95.33	102.16	6.84
800	98.14	103.68	5.54
825	98.86	107.18	8.32
850	95.26	101.67	6.31
875	106.43	108.61	2.28
900	99.72	104.87	5.16
925	99.77	103.99	4.22
950	104.38	110.47	6.09
975	101.83	103.01	1.18
1000	106.62	106.78	0.16

ตอนที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางคงที่

2.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm. , ความยาว 17 cm.

ความถี่(Hz)	with muffler	without muffler	ATT(db)
25	92.17	92.53	0.36
50	79.22	80.26	1.04
75	80.07	81.19	0.12
100	78.64	90.18	11.54
125	82.00	83.33	1.33
150	79.07	83.81	4.74
175	82.97	91.12	6.55
200	82.29	85.30	3.01
225	78.46	92.97	14.51
250	82.39	91.10	8.71
275	80.72	89.44	8.78

300	79.60	100.85	21.25
325	78.73	92.61	13.88
350	82.42	96.40	13.98
375	82.29	99.96	18.67
400	80.99	95.30	14.31
425	91.30	103.63	12.33
450	83.36	99.59	16.23
475	82.31	99.65	17.34
500	89.46	103.45	13.99
525	85.99	100.30	14.31
550	85.51	106.26	20.75
575	85.76	101.31	15.55
600	86.32	101.90	14.78
625	88.93	107.70	18.77
650	87.95	101.36	15.41
675	92.57	105.01	12.44
700	88.32	104.36	16.04
725	89.79	100.67	14.88
750	95.55	109.20	13.75
775	87.54	101.18	13.62
800	87.29	103.66	16.37
825	90.21	106.99	16.78
850	90.09	101.67	11.58
875	94.15	107.92	13.77
900	89.56	105.06	15.50
925	97.15	102.83	5.68
950	97.99	110.69	13.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

975	92.66	102.00	9.34
1000	105.41	104.59	0.82

2.2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm., ความยาว 68 cm.

ความถี่(Hz)	with muffler	without muffler	ATT(db)
25	80.77	82.35	1.58
50	84.61	79.22	4.39
75	84.07	82.2	2.75
100	77.18	90.39	13.18
125	79.74	80.32	0.56
150	78.33	84.60	0.58
175	81.74	92.05	10.31
200	79.94	85.38	5.60
225	78.82	93.25	14.43
250	90.92	90.07	0.85
275	89.43	89.27	0.16
300	82.08	121.54	19.49
325	76.79	92.35	15.56
350	85.23	96.06	10.83
375	78.08	99.67	21.59
400	75.55	94.87	19.32

425	80.26	103.02	22.76
450	84.51	99.50	14.99
475	84.46	99.52	15.06
500	90.55	104.22	13.56
525	96.32	101.25	4.13
550	88.34	105.72	17.38
575	84.71	102.20	17.49
600	78.37	101.38	26.01
625	88.41	108.23	19.79
650	83.79	101.89	17.29
675	75.89	104.94	22.05
700	90.60	105.42	19.82
725	88.41	102.41	11.00
750	91.57	109.74	18.17
775	99.34	102.92	3.58
800	98.30	102.53	8.81
825	93.86	109.05	19.07
850	85.01	102.52	17.52
875	90.66	108.08	18.19
900	89.96	106.38	16.42
925	87.15	104.20	17.05
950	87.64	111.68	29.91
975	94.60	104.20	9.60
1000	98.25	105.52	7.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในทางอื่นใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีภารนำไปใช้

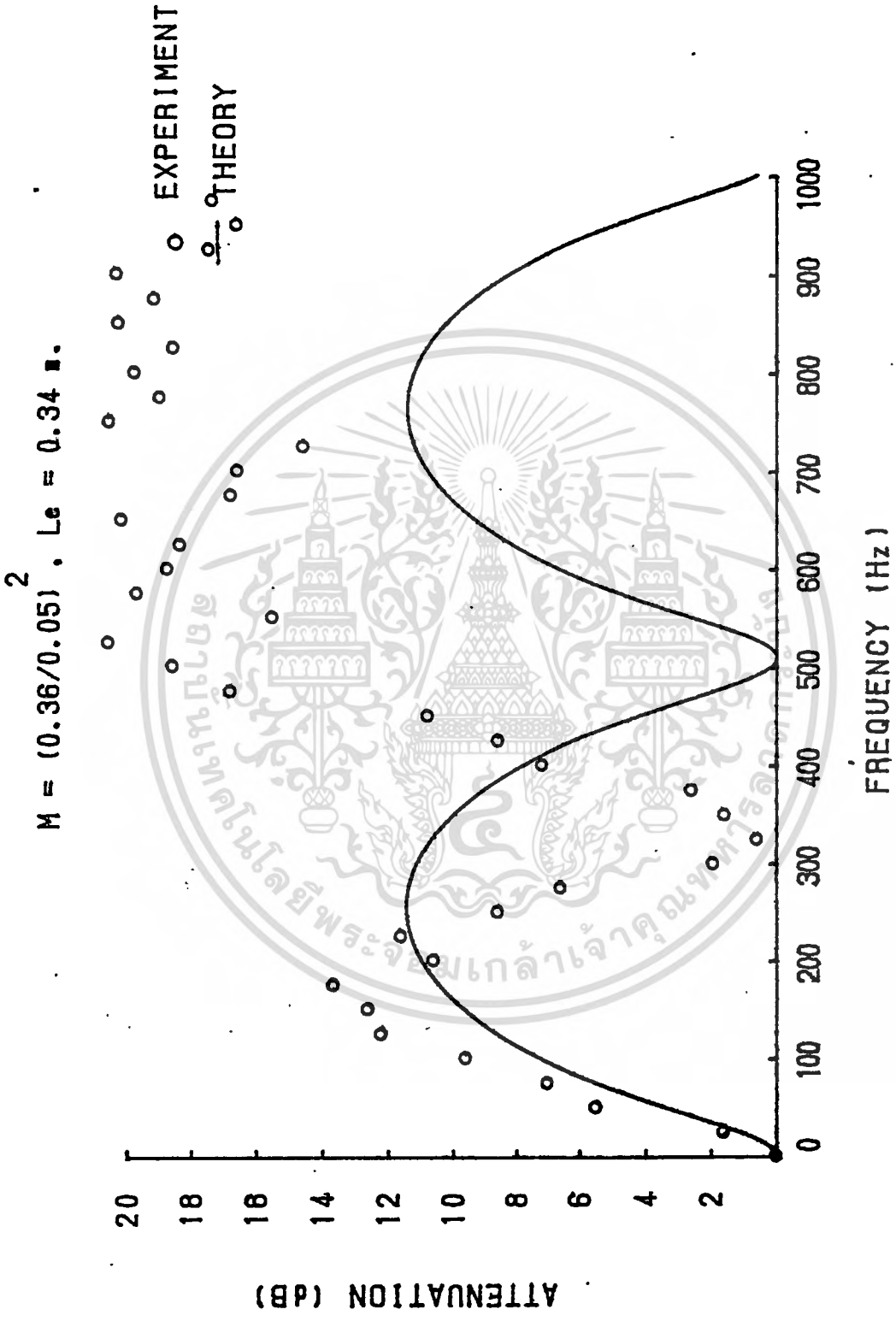


Fig. 10 ATTENUATION (dB) versus FREQUENCY (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = (0.18/0.05)^2, L_e = 0.68 \text{ m.}$$

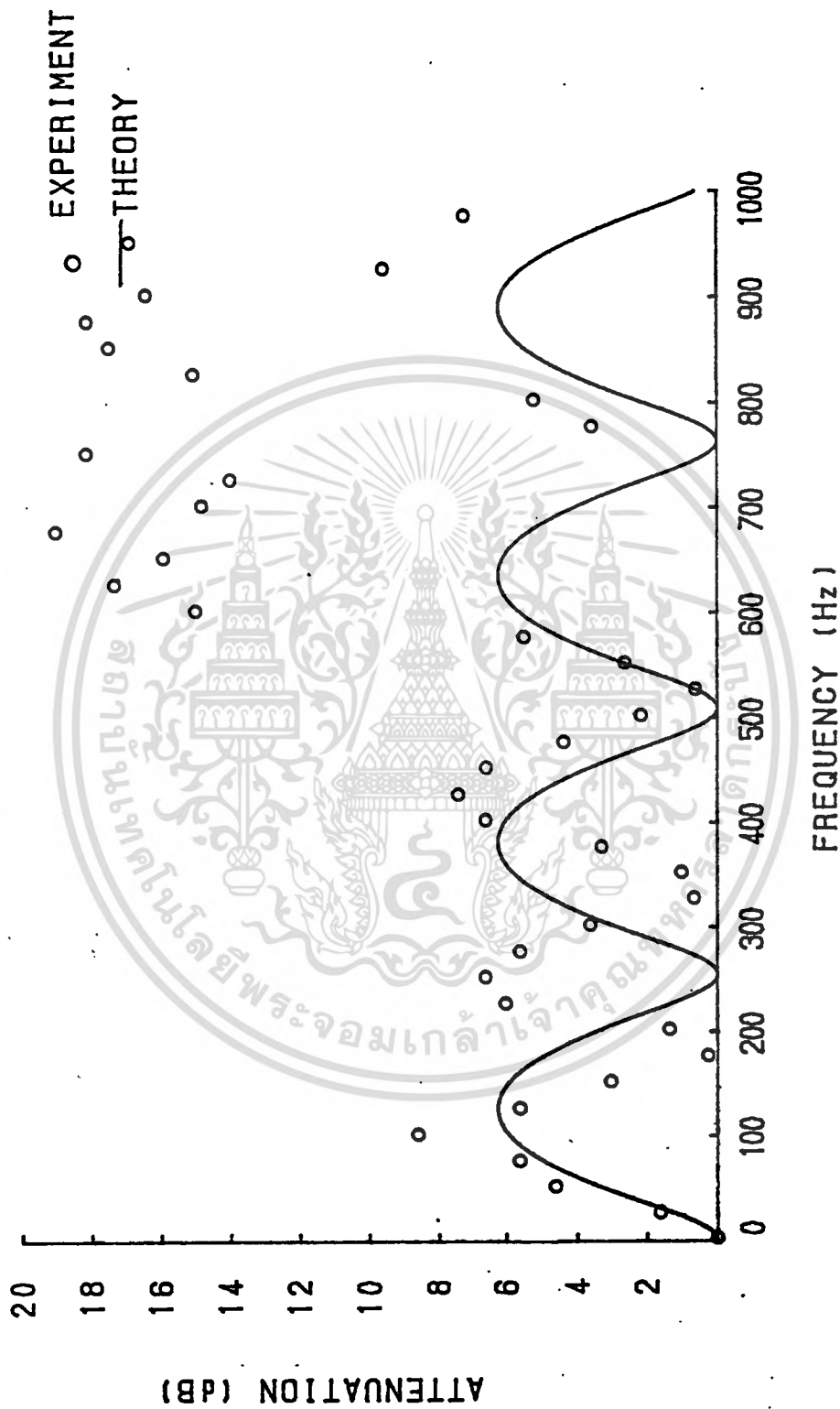


Fig. 11 ATTENUATION (dB) versus FREQUENCY (Hz)

$$M = (0.09/0.05)^2, L_e = 0.34 \text{ m.}$$

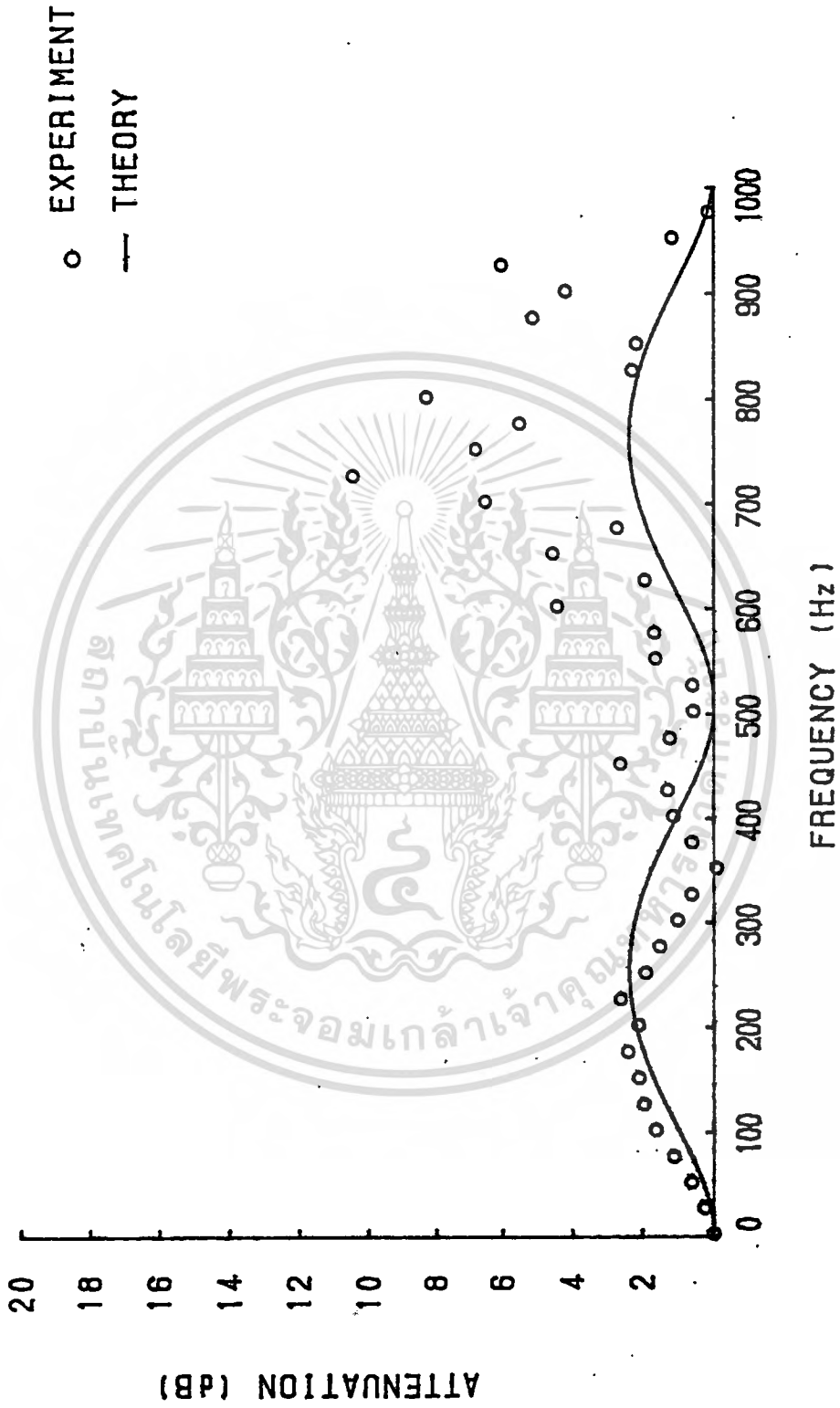


Fig. 12 ATTENUATION (dB) versus FREQUENCY (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$M = (0.18/0.05)^2, L_e = 0.17 \text{ m.}$

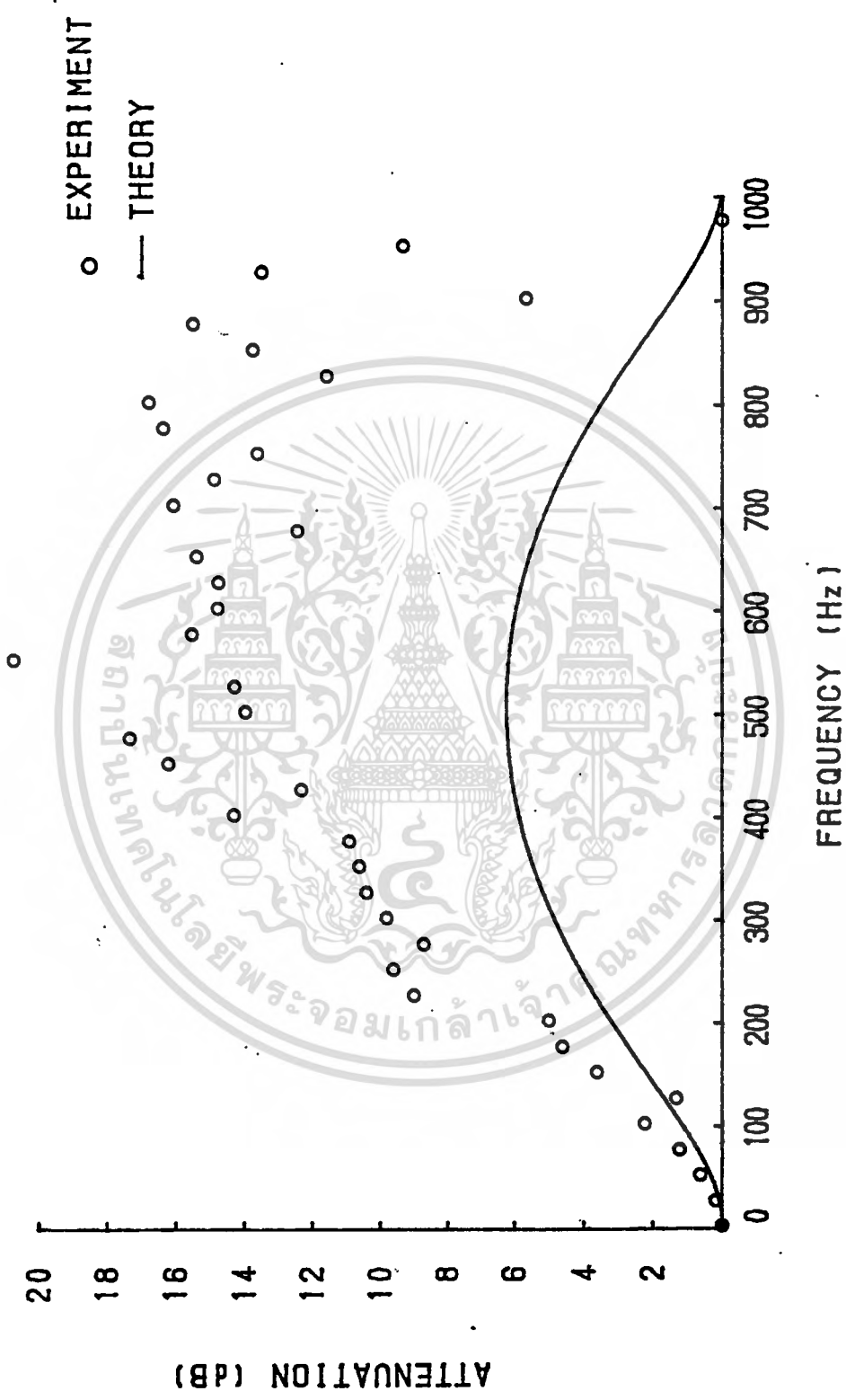


Fig. 13 ATTENUATION (dB) versus FREQUENCY (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 วิจารณ์ MUFFLER

ผลตามทฤษฎีจะบันทึกลงบนกราฟโดยแกนนตั้งเป็นสมการ 36 มีหน่วยเป็นเดซิเบล แกนนอนเป็นความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรต หรือ รอบต่อวินาที และมีค่าที่ได้จากการทดลองบันทึกไว้บนแกนอ้างอิงเดียวกันด้วย จากสมการที่ 36

$$\text{Attenuation} = 10 \log \left(1 + \frac{1}{4} (m-1)^2 \sin^2 kLe \right)$$

จะเห็นว่าค่า Attenuation จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของ muffler กับพื้นที่หน้าตัดของท่อเพิ่มขึ้น และสมการของ Attenuation จะเป็นสมการชนิดที่มีค่าบ โดยค่าของค่าบถูกกำหนดโดย kLe กล่าวคือค่าของ Le และความเร็วคลื่นเสียงใน muffler ($k = \frac{2\pi f}{c}$)

ผลของอัตราส่วนการขยาย m

ผลของการบันทึกโดยแปรเปลี่ยนค่าของ m ไปคือ 3.6, 1.8 และ 7.2 ซึ่งเห็นได้ว่าถ้าต้องการค่า Attenuation สูงก็ต้องใช้ค่า m ที่สูงด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลอง ก็จะเห็นว่าสมการที่จะใช้ในการทำนายค่า Attenuation จะมีความใกล้เคียงมาก

ผลของค่าความยาว Le

ค่าความยาวจะไม่มีผลกับ ค่า Attenuation แต่ค่าความถี่ที่จะให้ค่า Attenuation สูงสุดจะลดลงมาเมื่อค่าของ Le เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความถี่ที่ค่า Attenuation เป็น 0 ตามสมการ 36 คือ ค่า $1 + \frac{1}{4} (m-1)^2 \sin^2 kLe$

ต้องเท่ากับ ดังนั้นที่ความถี่ $\frac{nc}{4L}$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มจะให้ค่า Attenuation 2.0

บทที่ 6

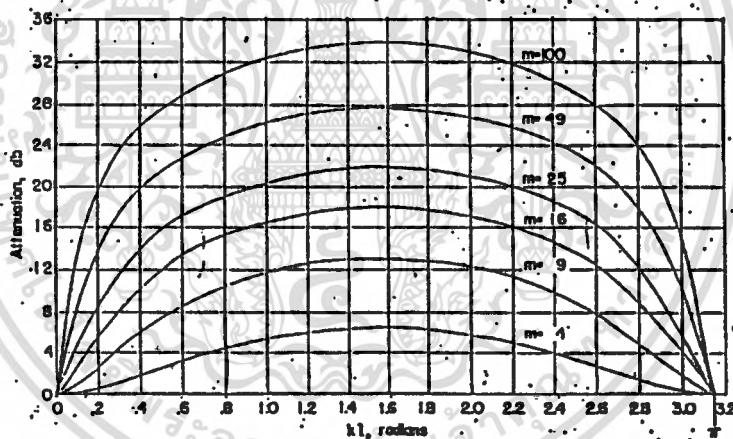
การประยุกต์สมการไปใช้ในการออกแบบ

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับโครงสร้างของเสียงและ muffler ตามที่ผ่านมานั้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบ characteristic ต่างๆของ muffler ได้ โดยสมการ 36

จากสมการ 36

$$ATT = 10 \log \frac{1 + (m+1)^2}{4} S m^2 k L e$$

ซึ่งสมการที่ 36 นี้ นำไปใช้ plot กราฟระหว่างค่า ATT และค่า kLe โดยเปลี่ยนค่าของ m ไปเรื่อยๆ จะได้กราฟต่อไปนี้



โดยการใช้กราฟนี้สามารถหาค่า characteristic ของ muffler ได้ตั้ง นี้คือถ้าต้องการลดเสียงลง 10 dB จากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีความถี่ 100Hz โดยคิดว่าจะใช้ muffler ที่มี Expansion Ratio = 9 ทำโดยการหาค่า จุดตัดจากกราฟโดยลาก ATT = 10dB ไปตัดเส้น $m=9$ จะได้ค่า $kLE=8$ จากนั้นแทนค่า $kLE = \frac{2\pi f L e}{c}$ และหาค่า

L_e ออกมาจะได้ 2.54 ft. แต่เมื่อพิจารณากราฟ ขนาดของ muffler ที่คำนวณออกมาได้ยังมีข้อจำกัดในการลดเสียงอยู่ เนื่องจาก curve จะมี ช่วงที่ต่ำกว่า 10 dB อยู่อีก ดังนั้นในการออกแบบนี้จึงพิจารณาเฉพาะช่วง curve ที่มีค่า ATT สูงกว่า 10 dB ซึ่งเมื่อลากเส้นที่ 10 dB จะตัดกราฟ

สรุปและวิจารณ์

จากการทดลองเพื่อวัดค่าผลต่างของระดับเสียง (ATT) โดยใช้ muffler ที่ไม่มีค่า Le และค่า M เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำผลที่ได้มา Plot กราฟเทียบกับค่าทฤษฎีจะเป็นความแตกต่างของข้อมูลการวัด และข้อมูลทางทฤษฎี เนื่องมาจากการผิดพลาดต่างๆ เช่น seal กันรั่วไม่แน่นหนาพอ การ set อุปกรณ์ไม่ได้มาตรฐาน และขณะทดลองมีเสียงรบกวนจากภายนอกที่ดังมาก ซึ่งอาจจะเข้าไปในห้องเก็บเสียงและรบกวนเครื่องวัดได้ ดังนั้นผลการทดลองจึงผิดพลาดบ้าง

จากการศึกษาทฤษฎีของเสียงและจากการทดลอง จะได้ว่าเมื่อเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของทางเดินเสียงจะทำให้เกิดการลดระดับดังของเสียงลงได้ เพราะเสียงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งสามารถสะท้อนกลับได้และผ่านตัวกลางต่างกัน ดังนั้นจากการศึกษาทฤษฎีของเสียงนี้เราจึงนำมาใช้ประโยชน์ในการลดระดับของเสียงในเครื่องยนต์ได้

REFERENCE

1. LAWRENCE E. KINSLER, AUSTIN R. FREY, ALAN B. COPPENS,
JAMES V. SANDERS , FUNDAMENTALS OF ACOUSTIC 3rd EDITION
JOHN WILEY & SON INC.

