



การหาประสิทธิภาพของเครื่องดับเสียงแบบ HELMHOLTZ RESONATOR
เมื่อไม่มีอากาศไหลผ่านและไม่มีอากาศไหลผ่าน
TEST OF EFFICIENCY OF HELMHOLTZ RESONATOR



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 007733

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2534

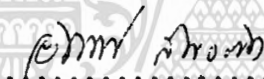
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาประสิทธิภาพของเครื่องดับเสียงแบบ Helmholtz Resonator เมื่อไม่มีอากาศไหลผ่าน และเมื่อมีอากาศไหลผ่าน

ผู้จัดทำ

1. นาย นิพนธ์ คงประเสริฐ
2. นาย เกียรติชาย บริบาลบรรณเขตต์
3. นาย ชัชวาล โอภาณุมาศ



(ผศ. อัครเดช สินธุวาน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาประสิทธิภาพของเครื่องดับเสียงแบบ Helmholtz Resonator

เมื่อไม่มีอากาศไหลผ่าน และเมื่อมีอากาศไหลผ่าน

นิพนธ์ คงประเสริฐ

เกียรติชาย บริบาลบรรณตเขตต์

ชัชวาล โอภาณุมาศ

ผศ. อัครเดช ลินสุภักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอธิบายถึงค่าการลดทอนของเสียง (Transmission Loss, TL) ของเอ็กซ์แพนชันแชมเบอร์ไซเลนเซอร์ (Expansion chamber silencers) โดยที่ปลายของท่อจะเป็นลักษณะแบบเทเปอร์ (taper section)

ท่อที่ใช้ในการทดลอง ปลายท่อจะติดตั้งโคนิคอล ทิว (Conical tube) และอินโวลูท ทิว (Involute tube) ซึ่งบุด้วยใยแก้ว (fiber glass) เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่ปลายท่อ ความแตกต่างระหว่างค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดของคลื่นธรรมชาติ (acoustic standing waves) ในแต่ละความถี่เสียงจะหาได้โดยการเลื่อน probe tube microphone ไปมาในท่อนำเสียง ซึ่งจะมีค่าน้อย ๆ ยกเว้นในช่วงความถี่ต่ำ ๆ เราจะพบว่าในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 200 Hz เราจะได้ค่า TL ของ silencers ที่มีค่าแม่นยำและถูกต้องสมการที่ใช้ใน

การอ้างอิงการหาค่า TL ของ silencers ก็คือ สมการพื้นฐานของคลื่นหนึ่งมิติ (plane wave theory) และทฤษฎีของ Conical horn

Test of Efficiency of Helmholtz Resonator

Nipon Congprasert

Kaichai Borribanbunpotkat

Chatchawal Opanumas

Asst.Prof. Akredech Sindhuphak Advisor

1991

Abstract

This thesis describes the transmission loss (TL) of the expansion chamber silencers each with a tapered section.

In the duct system used for the experiment, the nonreflected acoustic tube constructed by connecting a conical tube and an involute tube with glass wool was attached to the end of duct. The difference between the maximum and the minimum values of standing waves measured on each frequency by sliding probe tube microphone in the flow duct was very small except low frequency. It was verified that TL of silencers was able to be measured with high accuracy above 200 Hz. The TL values measured for the silencers tested agreed fairly well with the values calculated on the basis of plane wave and conical horn theory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(ก)
สารบัญรูปภาพ	(ข)
สัญลักษณ์	(ค)
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	9
บทที่ 3 การคำนวณ และการสร้าง	27
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	29
บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป	97
ภาคผนวก	99
กิตติกรรมประกาศ	104
เอกสารอ้างอิง	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงการรบกวนเสียง	4
1.2 แสดงการตกคลื่นเสียง	5
1.3 แสดงการใช้ตัวลดเสียง	6
1.4 แสดง Expansion Chamber type	6
1.5 แสดง Resonance type	7
1.6 แสดง Absorption type	7
2.1 แสดงการจัด ξ ของแต่ละชนิด	9
2.2 แสดงความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไป	10
2.3 Single Expansion Chamber	14
2.4 Single Resonator Muffler	22
4.1 รูปการทดลอง (Schematic diagram of experiment apparatus)	34
ภาคผนวกรูปที่	
1 น้ดลม (Blower) ที่ใช้ในการทดลอง	100
2 Cyclone	100
3 Pre - muffler	101
4 วาล์วขนาด 2 นิ้ว	101
5 แสดงการต่อ Cyclone เข้ากับ Pre-muffler	102
6 ท่อรูปตัว Y ที่ใช้ต่อกับ Driver Unit	102

สัญลักษณ์

- a radius of connector between exhaust pipe and branch chamber
- A displacement amplitude of an incident wave
- B displacement amplitude of a reflected wave
- C velocity of sound
- C_c conducttivity of connector between exhaust pipe and branch chamber, $ra^2/(L_c + \rho a)$
- d diameter of expansion chamber
- f force
- f_c cutoff frequency
- I sound current
- k wave-length constant.
- L_1 length of pipe between connectors of two successive branches in a multiple resonator or length of pipe between two chamber of a combination muffler
- L_2 length of resonant chamber
- L_c one-half of effective length of connector between two expansion chamber
- L_e length of expansion chamber
- m expansion ratio ; ratio of chamber cross-sectional area to exhaust-pipe cross-sectional area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- R resistive component or impedance
- S cross-sectional area
- t time
- V volume of resonant chamber
- x distance coordinate measured along pipe
- X reactive component of impedance
- Z impedance
- Z_0 acoustic resistance to transmission of a plane wave in a pipe, characteristic impedance, $\rho C/S$
- μ coefficient of viscosity of sound-conducting medium
- ρ average density of sound-conducting medium
- ξ instantaneous displacement of a particle of the medium in which a plane acoustic wave is transmitted
- ω circular frequency, $2\pi f$

Subscripts:

- b branch
- i incident wave
- re reflected wave
- tr transmitted wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางที่มีการสั่นสะเทือน เสียงจะเคลื่อนที่เป็นลูกคลื่น (wave motion) เสียงเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในอากาศ ของเหลวและของแข็ง ระดับของเสียงหรือความดัง จะมีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dB) เสียง(sound)มักหมายถึง เสียงที่คนเราชอบ ซึ่งอาจเป็นเสียงเพลง หรือเสียงดนตรี แต่เสียงรบกวน (noise) มักเป็นเสียงที่มีน้ำเสียงซ้ำ ๆ กัน เช่น เสียงนกดลมในเครื่องบินหรือเสียงเครื่องจักรหรือเสียงเครื่องยนต์ อีกนัยหนึ่งเสียงรบกวนมักหมายถึง เสียงที่เราไม่ต้องการนั่นเอง

ปัญหาเสียงรบกวนที่มีต่อมนุษย์ โดยเสียงรบกวนจะมีผลต่อร่างกายและจิตใจมนุษย์ในทางตรงและทางอ้อม ผลของมันอาจแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. ก่อให้เกิดการสูญเสียการรับฟัง (หูตึงและหูหนวก)
2. ก่อให้เกิดความเหนื่อยล้า
3. ลดประสิทธิภาพในการทำงาน
4. ก่อเกิดการสนทนา
5. ก่อให้เกิดความรำคาญ

การสูญเสียการรับฟังนี้ จะเกิดจากการที่อยู่ในบริเวณที่มีเสียงดังเป็นเวลานาน การสูญเสียการรับฟังอาจเป็นการสูญเสียเพียงชั่วคราว คือ หูอื้อ หรืออาจจะเป็นการสูญเสียอย่างถาวร คือ หูตึงหรือหูหนวก นอกจากการสูญเสียการรับฟังแล้ว เสียงรบกวนยังมีผลต่อการหมุนเวียนของโลหิต ก่อให้เกิดความเครียดและหงุดหงิด และทำให้เกิดอาการเหนื่อยล้า เมื่อสุขภาพทั้งทางร่างกายและจิตใจของผู้ที่ทำงาน ภายใต้อิทธิพลของเสียงรบกวนเสื่อมลง ประสิทธิภาพในการทำงานของ

เขาย่อมเสื่อมลงตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้เกิดการผิดพลาดในการทำงานมากขึ้น อาจเกิดอุบัติเหตุได้ง่ายขึ้นและทำให้ผลผลิตที่ผลิตออกมาอาจมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากสิ่งกล่าวเบื้องต้นแล้ว เสียงรบกวนยังก่อให้เกิดความรำคาญ และก่อเกิดการสนทนา การสนทนาภายใต้อิทธิพลของเสียงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ได้ง่ายขึ้นและทำให้ผลผลิตที่ผลิตออกมาอาจมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากสิ่งกล่าวเบื้องต้นแล้ว
 ไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็ต้องตะเบ็งเสียงเข้าหากัน

สำหรับโครงการลดเสียงรบกวน (Noise Reduction) ในท่อโดยใช้มัมเฟอร์แบบ Helmholtz Resonator เป็นแนวทางหนึ่งที่ศึกษาการลดเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ กันโดยใช้ Helmholtz Resonator แบบต่าง ๆ ซึ่งการทดสอบมัมเฟอร์ชนิดนี้ แบ่งเป็นสองกรณี คือ ในกรณีที่มีอากาศไหลผ่าน และกรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน โดยในกรณีที่มีอากาศไหลผ่านนั้น เราได้ทดสอบที่ความเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบ จะเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ลดเสียงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการประยุกต์ใช้เราจะพบในการลดเสียงที่ออกมาจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่

ประเภทของเสียงรบกวน และแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน

สามารถแยกออกตามแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนได้ดังนี้

1. เสียงรบกวนจากโรงงาน เช่น

- จากเครื่องสูบน้ำ
- จากเครื่องจักร
- จากเครื่องอัด
- จากปั๊มหรือเครื่องเป่าลม
- จากชิ้นงานต่าง ๆ ของเครื่องจักร
- จากแรงดันไอน้ำ
- จากหอดึงลมเย็น
- จากการสั่นสะเทือน และอื่น ๆ

2. เสียงรบกวนจากการจราจร เช่น

- เสียงจากรถยนต์
- เสียงจากมอเตอร์ไซด์
- เสียงจากรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เสียงจากเครื่องบินเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เสียงจากอิเล็กทรอนิกส์
 - เสียงจากเรอียนต์ และอื่น ๆ
3. เสียงรบกวนจากการก่อสร้าง เช่น
- เสียงจากรถปรับหน้าดิน
 - เสียงจากเครื่องขุด, เจาะ
 - เสียงจาก การขนย้ายวัสดุ
 - เสียงจากการเชื่อม, ตัด, การตี และอื่น ๆ
4. เสียงรบกวนจากเพื่อนบ้าน เช่น
- เสียงจากลำโพงวิทยุ
 - เสียงจากการนวดคูด
 - เสียงจากลำโพง
 - เสียงจากการเล่นดนตรี งานรื่นเริง และอื่น ๆ
5. เสียงรบกวนจากภายในบ้าน เช่น
- เสียงจากรบบระบายอากาศ
 - เสียงจากพัดลม
 - เสียงจากตู้เย็น
 - เสียงจากเครื่องจักรที่ใช้สัญญาณ และอื่น ๆ

ชนิดหลัก ๆ ของเสียงรบกวนจากเครื่องจักร

- เสียงรบกวนจากท่อไอเสียเครื่องยนต์
- เสียงจากเครื่องเป่าลม
- เสียงจากเครื่องไอน์
- เสียงจากมอเตอร์ไฟฟ้า
- เสียงจากแบร์ริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เสียงจากล้อรถไฟ และอื่น ๆ

วิธีการในการลดเสียงรบกวนนั้นกระทำได้ 2 ลักษณะดังนี้

① การลดเสียง ณ จุดกำเนิดเสียง

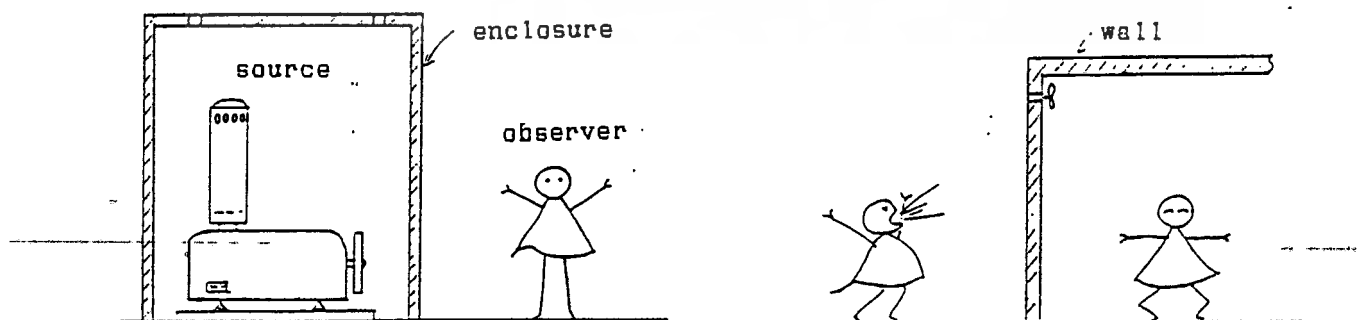
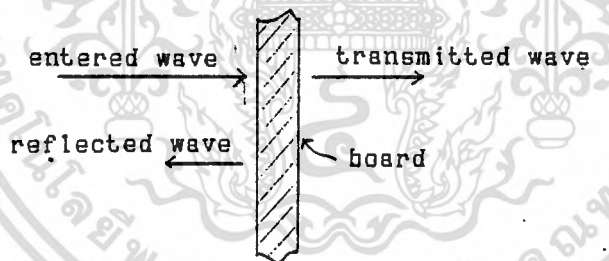
1. การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างของเครื่องจักร เพื่อให้เกิดเสียงน้อยลง คือ การปรับปรุงจากจับยึดเครื่องจักร เพื่อให้การสั่นสะเทือนลดลง

2. การเปลี่ยนแปลงบางส่วน of เครื่องจักร คือ การพยายามลดชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องจักรให้น้อยลง

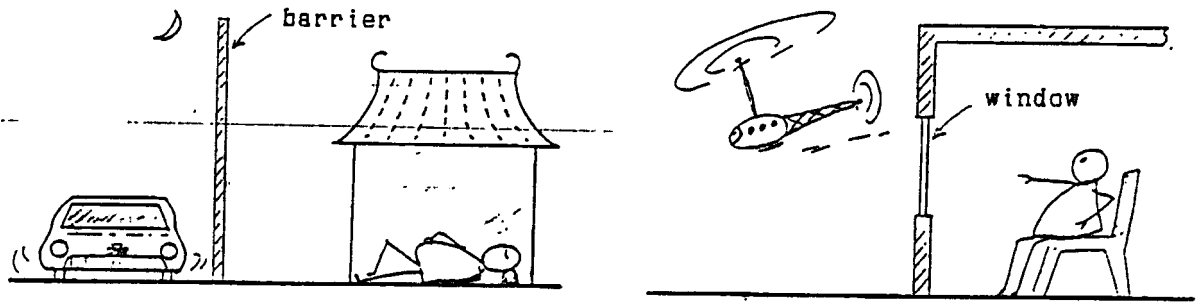
3. การใช้ดีมเปอร์ (damper) เพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรให้น้อยลง

② การลดเสียงโดยกระทำระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง และแหล่งรับเสียง

1. การรบกวนคลื่นเสียง

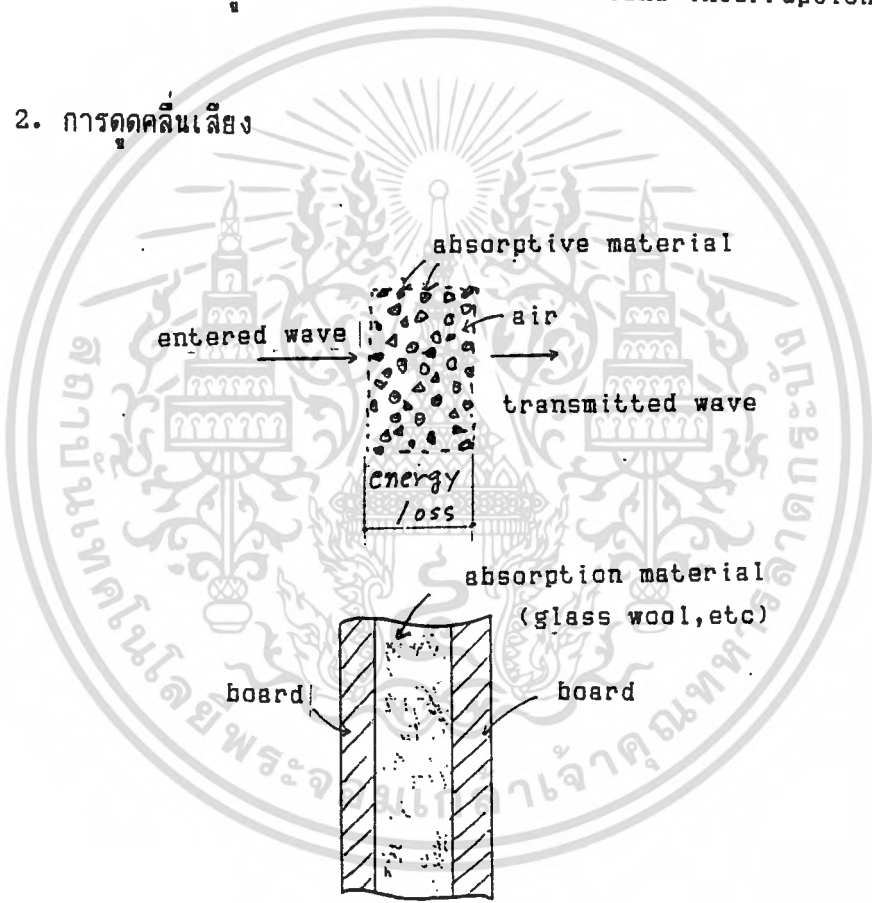


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 Some cases of sound interruption

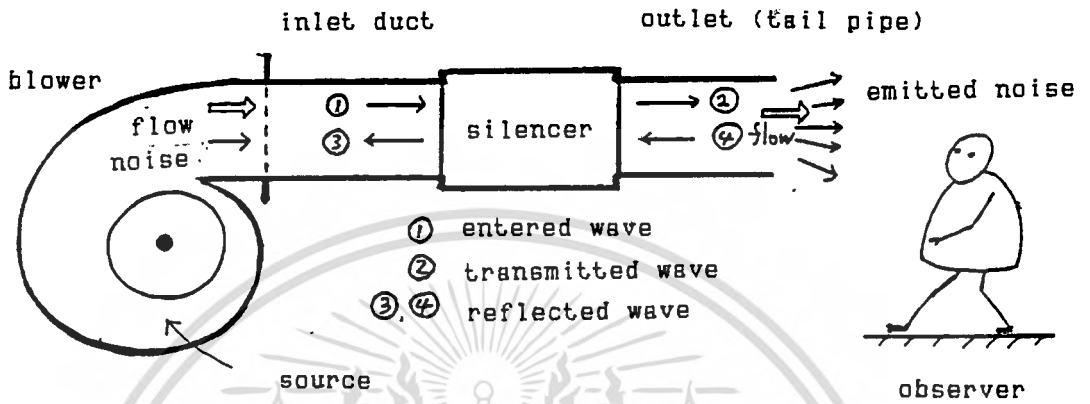
2. การดูดคลื่นเสียง



รูปที่ 1.2 Wall (or barrier) with absorptive material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การใช้ตัวลดเสียง (silencer)



รูปที่ 1.3 แสดง Flow duct with silencer

Kinds of Silencer

- Passive Silencer

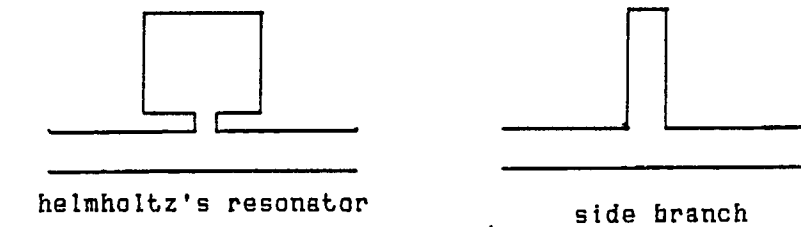
1. Expansion - Chamber type



รูปที่ 1.4 แสดง Expansion Chamber type

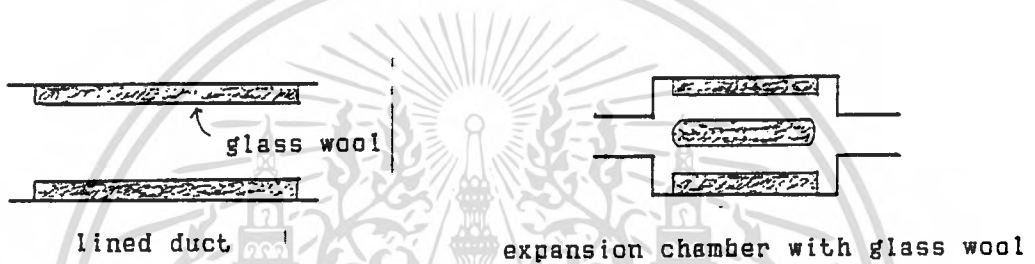
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Resonance type



รูปที่ 1.5 แสดง Resonance type

3. Absorption type



รูปที่ 1.6 แสดง Absorption type

Active Silencers

ลักษณะของตัวลดเสียงที่ติดตั้งตามจุดประสงค์

1. สำหรับการลดของเสียง

- ลด ณ จุดความถี่ที่แน่นอน
- สามารถลดเสียงรบกวนได้เป็นจำนวนมาก

2. ทางด้านแอโรไดนามิกส์

- ต้องมีการสูญเสียความดันต่ำ
- ต้องกำเนิดเสียง (เนื่องจากการไหลของของไหล) ต่ำ

3. ทางด้านเครื่องจักรกล

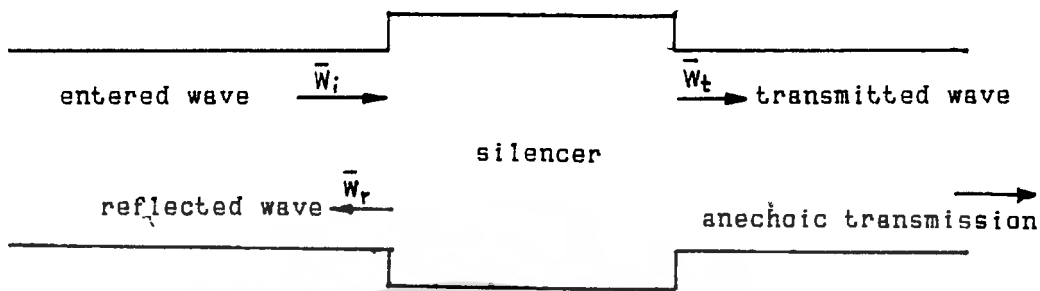
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต้องมีโครงสร้างง่าย ๆ

- ต้องมีขนาดเล็ก

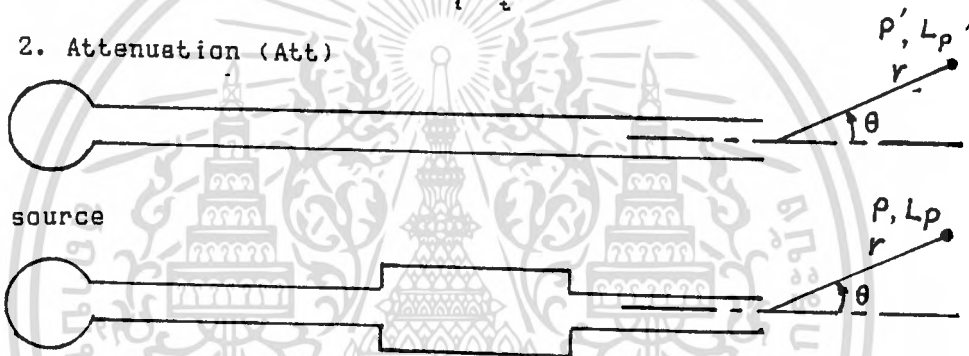
Definition of Noise-reduction Amount

1. Transmission Loss (TL)



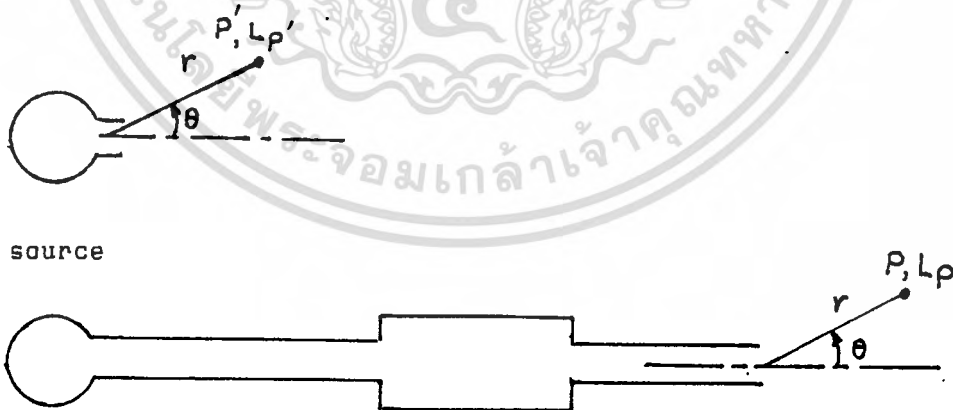
$$TL = 10 \log (\bar{W}_i / \bar{W}_t)$$

2. Attenuation (Att)



$$Att. = L_{p'} - L_p = 20 \log (p'/p)$$

3. Insertion Loss (IL)



$$IL = L_{p'} - L_p = 20 \log (p'/p)$$

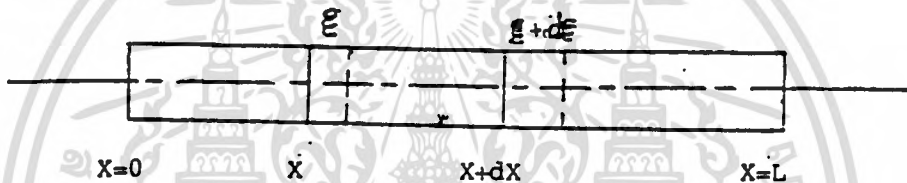
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ความคิดพื้นฐานของสมการคลื่น



รูปที่ 2.1 แสดงการขจัด ξ ของแต่ละอนุภาค

พิจารณาแท่งวัตถุกลมยาว L และมีพื้นที่หน้าตัด S เท่ากันตลอดทั้งแท่ง เมื่อให้แรง f มีทิศตามแนวแกนกับแท่งวัตถุ อนุภาคในแท่งวัตถุแต่ละอนุภาคจะมีการขจัด ξ แต่เราให้แท่งวัตถุมีขนาดเล็กและยาว ดังนั้นการขจัด ξ ของแต่ละอนุภาคในพื้นที่หน้าตัด S เดียวกันจะประมาณได้ว่าเท่ากัน เมื่อเวลาเปลี่ยนไปค่า ξ ที่ตำแหน่งใดๆ จะเปลี่ยนไปด้วย กล่าวคือการขจัดเป็นฟังก์ชันของการขจัดและเวลา หรือ

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

ให้ตำแหน่งปลายซ้ายสุดและปลายขวาสุดของรูปที่ 2.1 เมื่อเทียบกับแกนอ้างอิงเป็น

$x=0$ และ $x=L$ ตามลำดับ พิจารณาแท่งวัตถุที่มีความยาว dx อยู่ในตำแหน่งระหว่าง x กับ

$x+dx$ สมมติให้แรง f ทำให้หน้าตัด S ที่ตำแหน่ง x และ $x+dx$ เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง ξ และ $\xi + d\xi$ ไปทางขวาตามลำดับ โดยทิศจากซ้ายไปขวาคือบวก

โดยการคิดระยะ dx มีขนาดเล็กมาก ๆ ดังนั้นที่ตำแหน่ง $x+dx$ สามารถแทนค่าของ f ได้โดยใช้สองเทอมแรกของการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor Series) เขียนได้เป็น

$$f + df = f + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)dx \quad \text{-----}(2)$$

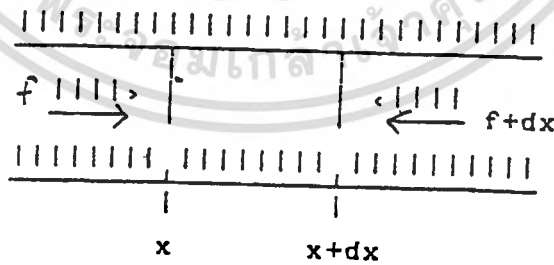
เมื่อพิจารณารูปที่ 2.1 จะพบว่าระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม dx คือ

$$(f + df) - f = df = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) dx \quad \text{-----}(3)$$

จากคำนิยามของความเครียด คือ อัตราส่วนของระยะที่เปลี่ยนแปลง ต่อระยะเริ่มต้น (dx) คือ

$$\frac{df}{dx} = \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) dx}{dx} = \frac{\partial f}{\partial x} \quad \text{-----}(4)$$

เมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นก็ต้องมีแรงกระทำเกิดขึ้น จะเป็นฟังก์ชันของการจัดและเวลา ด้วย เพราะความเครียดเป็นฟังก์ชันของการจัดและเวลา เขียนแทนด้วย $f(x,t)$



รูปที่ 2.2 ความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไป

นิยามของความเค้นคือ อัตราส่วนของแรงกับพื้นที่หน้าตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความเค้น} = f/S$$

สำหรับวัตถุส่วนใหญ่ ถ้าความเครียดมีขนาดน้อย จะถือว่าความเค้นจะแปรผันตรงกับ
ความเครียด หรือ

$$f/S = Y (\partial \xi / \partial x) \tag{5}$$

โดยที่ค่า Y คือ Young's Modulus จากสมการที่ (5) เขียนใหม่เป็น

$$f = SY (\partial \xi / \partial x) \tag{6}$$

แสดงถึงแรงภายในมีทิศตามแนวแกนในแท่งวัตถุที่ตำแหน่ง x และ x+dx และใช้
สองเทอมแรกของการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ แสดงแรง f เป็น f และ $(f + (\partial f / \partial x)) dx$
ตามลำดับ

ดังนั้นแรงสุทธิ คือ

$$df = (f + (\partial f / \partial x)) dx - f = (\partial f / \partial x) dx \tag{7}$$

จากสมการที่ (6) และ (7) จะได้ว่า

$$df = SY (\partial^2 \xi / \partial x^2) dx \tag{8}$$

แท่งวัตถุ dx จะมีมวลคือ $\rho S dx$ โดยที่ ρ คือ มวลต่อหน่วยปริมาตร จากกฎข้อสอง
ของนิวตันนำมาใช้กับสมการที่ (8) จะได้

$$\rho S dx (\partial^2 \xi / \partial t^2) = SY (\partial^2 \xi / \partial x^2) dx \tag{9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้ $c^2 = Y/\rho$ สมการที่ (9) จะกลายเป็น

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

Expansion Chamber Muffler

ในการพิสูจน์สมการที่แสดงค่าของ Attenuation ของ single expansion chamber muffler จะให้สมการอยู่ในข้อจำกัดดังต่อไปนี้

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

ให้คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับที่ระยะใด ๆ (x) มีการขจัดและความเร็วเป็นรูป \sin หรือ

$$\xi_i = Ae^{i(\omega t - kx)} , \quad \xi_r = iwAe^{i(\omega t - kx)} \text{ -----(11)}$$

$$\xi_{tr} = Be^{i(\omega t + kx)} , \quad \xi_{rt} = iwBe^{i(\omega t + kx)} \text{ -----(12)}$$

i, re แสดงว่าเป็นคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับตามลำดับ

A, B โดยทั่วไปเป็นจำนวนเชิงซ้อน

$k = \omega/C$ สำหรับ plane wave

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ดังนั้นความดันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับ เขียนได้เป็น
 ไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\xi} = -\rho C^2 (\partial \xi / \partial x) \quad , \quad p_{r_{\xi}} = \rho C^2 (\partial \xi_{r_{\xi}} / \partial x) \quad \text{-----}(13)$$

$$\partial \xi / \partial x = -Ae^{i(\omega t - kx)} \quad ,$$

$$di(\omega t - kx) / dx = -Aiwke^{i(\omega t - kx)} \quad \text{-----}(14)$$

แทนค่า $k = \omega/c$ ในสมการ (14) และนำผลที่ได้ไปแทนในสมการ (13) จะได้

$$P_{\xi} = iw\rho CAe^{i(\omega t - kx)} \quad \text{-----}(15)$$

โดยวิธีเดียวกันนี้จะได้

$$P_{r_{\xi}} = iw\rho CAe^{i(\omega t - kx)} \quad \text{-----}(16)$$

จาก

$$\begin{aligned} dW/dt &= P \\ dW &= Pdt \\ dW &= F(t)v(t)d(t) \\ dW &= SP_{\xi}(t)\xi_{\xi}(t)dt \end{aligned} \quad \text{-----}(17)$$

ในหนึ่งคาบจะมีพลังงานซึ่งหาได้โดยอินทิเกรตสมการที่ (17) โดยอินทิเกรตหนึ่งคาบ คือตั้งแต่ 0 ถึง $2\pi/\omega$ หรือ

$$W = S_0 \int_0^{2\pi/\omega} P_{\xi} \xi_{\xi} dt \quad \text{-----}(18)$$

การคำนวณสมการที่ (18) เป็นการคำนวณงานซึ่งเกิดขึ้นจริง ๆ ดังนั้นจึงนำเอาแต่ส่วนจริงมาคิดเท่านั้น และค่าเฉลี่ยของงานหาได้โดยเอาค่าของคาบไปหารสมการที่ (18) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

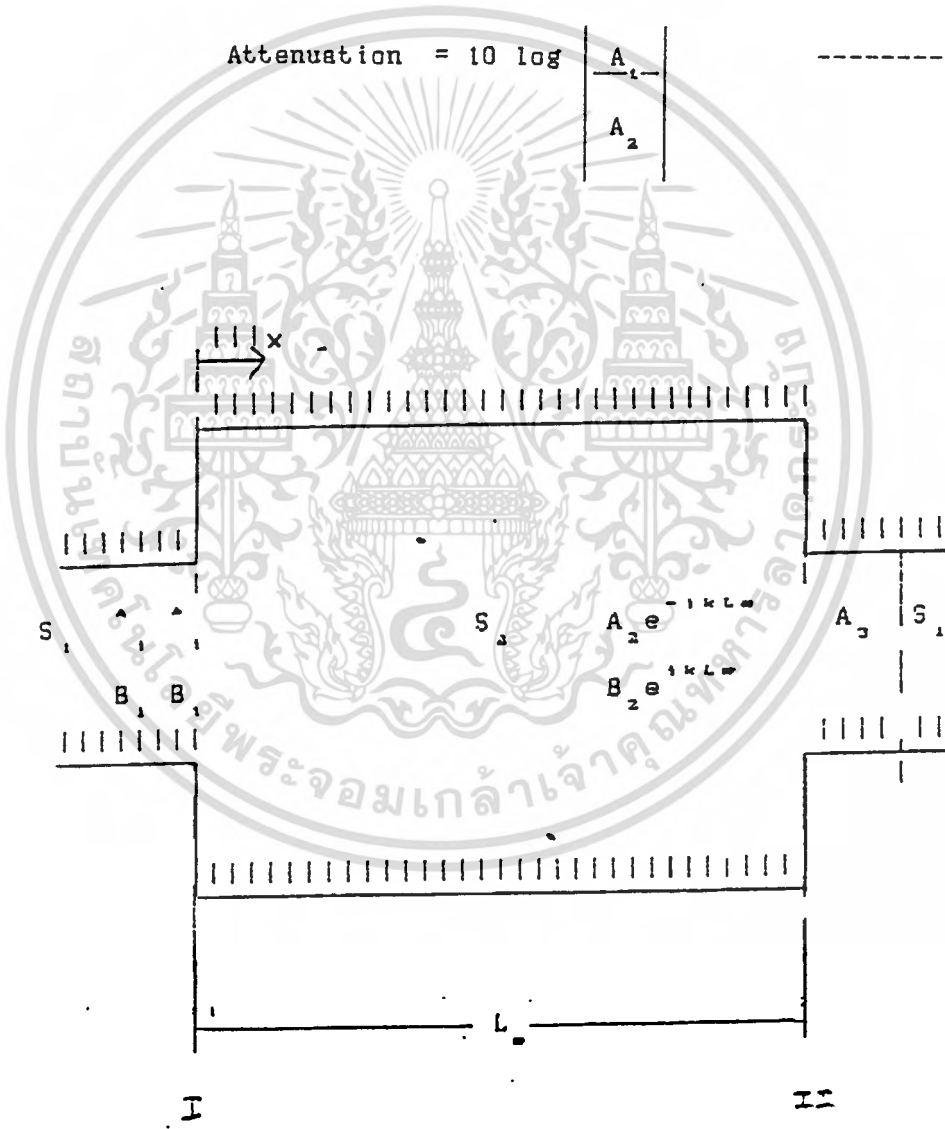
$$W_{\text{avg}} = (\omega/2\pi) S_0 \int_0^{2\pi/\omega} P_{\xi} \xi_{\xi} dt \quad \text{-----}(19)$$

เมื่ออินทิเกรตสมการ (19) แล้วจะได้

$$W_{avg} = 1/2 \rho C w^2 S |A|^2 \quad \text{-----(20)}$$

ถ้าจะหา Attenuation ระหว่างหน้าตัด 2 หน้าตัด โดยอาศัยนิยามของ Attenuation และสมการ (20) จะได้

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



รูปที่ 2.3 แสดง Single expansion chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนอ้างอิงมีจุด 0 อยู่ที่จุดต่อที่ 1 ใช้สมการความต่อเนื่องของความดันและการไหลของปริมาตรที่จุดต่อที่ 1 และใช้สมการ (15), (16) จะได้สมการความต่อเนื่องของความดัน

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

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

ที่เวลา $t = 0$ และ $x = 0$ จะได้

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 \quad \text{-----}(23)$$

ส่วนสมการความต่อเนื่องของการไหลของปริมาตร

$$S_1 (\xi_{1,1} - \xi_{r,1}) = S_2 (\xi_{1,2} - \xi_{r,2})$$

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(25)+(26)

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

$$2A_2 e^{-ikL} = A_3 (1 + 1/m)$$

$$A_2 = ((m+1)/2m) A_3 e^{ikL} \quad \text{-----}(27)$$

(25)-(26)

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

$$2B_2 e^{ikL} = A_3 (1 - 1/m)$$

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

แทน (27), (28) ใน (23), (24)

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

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

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

(29)+(30)

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

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

$$A_1/A_3 = 1/4 \{ [(m+1)^2/m] e^{ikL} + [(m-1)^2/m] e^{-ikL} \} \quad \text{----}(32)$$

จากสมการของออยเลอร์

$$e^{-im} = \cos \theta - i \sin \theta, \quad e^{im} = \cos \theta + i \sin \theta \quad \text{----}(33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ (33) แทน (32)

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

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

$$A_1/A_2 = 1/4[4 \cos kLe + i2((m^2+1)/m) \sin kLe]$$

$$A_1/A_2 = \cos kLe + (i/2)((m+(1/m))) \sin kLe \quad \text{-----(34)}$$

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = \cos^2 kLe + [(1/2)(m+(1/m))]^2 \sin^2 kLe \quad \text{-----(35)}$$

ดังนั้นสมการ (35) เป็น

$$\left| \frac{A_1}{A_2} \right|^2 = 1 + (1/4)(m-(1/m))^2 \sin^2 kLe \quad \text{-----(36)}$$

จากสมการ (21) จะได้ว่า

$$\text{ATTENUATION} = 10 \log [1 + (1/4)(m-(1/m))^2 \sin^2 kLe] \quad \text{---(37)}$$

Application to Muffler Design

Other Variables

- จากทฤษฎีของเสียง (acoustic theory) ได้ใช้ทำนายผลของมัพเฟอร์ชนิดต่าง ๆ ในช่วงความถี่ต่าง ๆ ในการออกแบบได้ศึกษาตัวแปรของขนาดของมัพเฟอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลดเสียงของท่อไอเสียการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราได้แบ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อมัพเฟอร์ ซึ่งจะมีการศึกษาอย่างละเอียดอีกในอนาคต ซึ่งมีตัวแปรเหล่านี้อยู่ 3 ตัวแปรคือ

1. Exhaust-gas temperature
2. Exhaust-gas velocity
3. Exhaust-gas sound pressure

Effect of Exhaust-gas Temperature

โดยส่วนใหญ่แล้วอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาจะเป็นอุณหภูมิห้อง ความเร็วของเสียงจะประมาณ 1400 ft/s สำหรับอุณหภูมิที่สูงกว่า เช่น ในอุณหภูมิของท่อไอเสีย ซึ่งจะมีผลให้ความเร็วของเสียงเพิ่มขึ้น เราสามารถประมาณความเร็วของอากาศ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังสมการ $c = 49 \sqrt{T}$ เมื่อ $T =$ อุณหภูมิสัมบูรณ์ ($^{\circ}R$)

ซึ่งในการออกแบบมัพเฟอร์ เราจะต้องใช้ความเร็วเสียงของก๊าซไอเสีย ในการคำนวณ เราสมมติให้อุณหภูมิและความหนาแน่นเฉลี่ยของก๊าซไอเสียมีค่าเดียวกันตลอดทั้งในมัพเฟอร์ และท่อไอเสีย นั่นหมายความว่าในทางปฏิบัติเพื่อให้ค่าถูกต้องมากขึ้น เราจะใช้ค่าของ ρ และ c ที่มีค่าถูกต้องมากขึ้นในการคำนวณหา impedance ในแต่ละส่วน

Effect of Exhaust-gas Velocity

จากข้อสรุปของทฤษฎีพบว่า ผลเนื่องมาจากความเร็วเป็นฟังก์ชันของ $\sqrt{1-M^2}$ เมื่อ $M =$ Mach number ของ ก๊าซไอเสีย ซึ่งเราจะต้องพิจารณาตามลักษณะของมัพเฟอร์นั้น ๆ

ในกรณีของ Expansion chamber นั้น ความเร็วของก๊าซไอเสีย (Exhaust-gas velocity) ใน expansion chamber จะน้อยกว่าในท่อ เมื่อความเร็วของเสียงในระบบไอเสียประมาณ 2000 ft/s นั่นคือค่าของ Mach number จะมีค่าน้อย ดังนั้นค่า M^2 จึงตัดทิ้ง ดังนั้นค่าความเร็วของไอเสียจะไม่มีผลต่อค่า attenuation ของ single expansion chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของ Multiple expansion chamber ในช่วงระหว่างรอยต่อความเร็วของก๊าซไอเสีย อาจจะมีผลต่อมัพเฟอร์

ในกรณีของ resonant chamber ของ resonant-type Muffler นั้น การไหลของก๊าซเป็นแบบ no steady exhaust-gas flow ดังนั้นการไหลของก๊าซไอเสียจะไม่มีผลต่อ single resonator

ในกรณีของ Multiple resonator เหมือนกับ Multiple expansion chamber คือค่าของ impedance ของ connecting tubes จะเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความเร็วของไอเสีย

Effect of Increased Sound Pressure

ในทางทฤษฎีของเสียง(classical acoustic theory) เราจะสมมติให้ sound pressure มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ static pressure ของตัวกลาง นั่นคือสมการที่ใช้เป็น linearization of the differential equation ซึ่งในการทดสอบเครื่องยนต์ในห้องแลปพบว่าได้เกิด nonlinear effect เกิดขึ้น นั่นคือการเกิด nonlinear effect นั้น แสดงว่าทฤษฎีที่ใช้ในการทำนายผลนั้นมีค่าผิดพลาด(error) ในการศึกษาพฤติกรรมอุปกรณ์เกี่ยวกับเสียง เช่น resonator, orifice และ tube ควรวิเคราะห์ในรูปแบบของ nonlinear sound field ก่อนที่จะศึกษาถึงผลของความดันเสียงที่สูง (high sound pressure) ซึ่งจะได้ทราบถึงขนาดและผลต่าง ๆ

Muffler-Design Procedure

จากทฤษฎีที่กล่าวมาแล้ว ขั้นตอนในการออกแบบและพัฒนามัพเฟอร์จะได้รับการทดลองมัพเฟอร์ก่อน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์และพัฒนา โดยใช้ประสบการณ์ที่ได้จากการประยุกต์และการปฏิบัติ ซึ่งจะเริ่มที่การกำหนดความต้องการ attenuation spectrum

ซึ่งเป็นการกำหนดการลดเสียงในมัพเฟอร์นั้น ๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Required Attenuation Spectrum

ขั้นแรกการในการออกแบบมัพเฟอร์คือ ต้องทราบความยาวของท่อไอเสีย (exhaust pipe), ขนาดของระดับเสียงของเครื่องยนต์ที่ต้องการทำให้เงียบ ซึ่งควรจะทำที่หลาย ๆ อัตราเร่ง และภาระของเครื่องยนต์ หรืออย่างน้อยก็เป็นที่อัตราเร่งสูงสุด และต่ำสุดของเครื่องยนต์

การควบคุมขนาดของเสียง(noise) ทำได้โดยควบคุมทอร์ก(torque) ของเครื่องยนต์ และการควบคุมความถี่ของเสียง ทำได้โดยควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์

หลังจากได้กำหนดเสียงของเครื่องยนต์แล้ว เราก็กำหนดเสียงที่ยอมให้ผ่าน ซึ่งจะประกอบด้วยค่าระดับแรงดันเสียงสูงสุด ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่ ในทางปฏิบัติจะมีเสียงรบกวนมาจากส่วนอื่น ๆ ของเครื่องยนต์

ในการที่จะลดเสียงรบกวนให้ได้มากขึ้นควรจะต้องลดเสียงรบกวนในส่วนอื่น ๆ ด้วย สำหรับค่าแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ยอมให้ จะได้ค่า attenuation ที่ต้องการในแต่ละความถี่ ซึ่งค่าที่แตกต่างนี้เรียกว่า Required attenuation spectrum

Muffler Selection

โดยการเปรียบเทียบระยะคลื่นที่ต้องการกับเขียนกราฟ และเลือกจากกราฟของแต่ละมัพเฟอร์ที่มีค่ามากกว่า attenuation ที่ต้องการตลอดช่วงความถี่

เมื่อติดตั้งมัพเฟอร์ที่เลือกแล้วบนเครื่องยนต์ แล้วทำการทดสอบ ซึ่งวิธีการเลือกมัพเฟอร์ที่เสนอมานี้จะเหมือนกับการลองผิดลองถูก (trial and error) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบให้มัพเฟอร์มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะดูใน attenuation ต่อหน่วยน้ำหนัก หรือต่อหน่วยปริมาตร

Attenuation of Resonator Mufflers

Single Resonant

ในการ derive สมการ attenuation ของ single resonator แบบ side branch เงื่อนไขที่ต้องกำหนดนอกจากข้อ (1), (2) และ (3) ในหัวข้อ Expansion Chamber Muffler แล้วสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพิ่มคือ

4. คัดเฉพาะความดันคลื่นที่กระจายในท่อทางออก (exhaust pipe) และ tail pipe

5. ผลของความหนืด (viscosity) ของของไหลไม่คิด ยกเว้นใน tube หรือ orifice ที่เกิดจากการต่อระหว่างท่อ กับ resonator

6. ความหนาของ boundary-layer บาง เมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของ tube หรือ orifice ทำให้เราต้องคิดผลของความหนืด

7. ขนาดของ resonator เล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของเสียงที่ใช้

พิจารณาผลของ impedance ใน side branch $Z = R + ix$ ซึ่งคลื่นมิติเดียวที่เคลื่อนที่เข้าไปใน tube ที่จุดซึ่ง branch ต่อกับ tube เงื่อนไขของสมการ Continuity เอาความดัน และเสียง (sound current) คือ

$$p_i + p_{r_b} = p_b = p_{t_r} \quad \text{-----(38)}$$

$$I_i - I_{r_b} = I_b = I_{t_r} \quad \text{-----(39)}$$

ซึ่ง i และ r_b อ้างถึง incident และ reflected waves ก่อนเข้า branch

b คือ branch

t_r คือ transmitted wave หลังผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง (branch)

สำหรับคลื่นมิติเดียว

$$p = Z_0 I$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยที่ Z_0 คือ characteristic impedance ของ tube

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากระแสถูกเขียนในเทอมของความดันและความต้านทาน (impedance) เราจะได้
สมการ (39) ใหม่คือ

$$(1/Z_0)(p_i - p_{r_s}) = p_{r_s} [(1/Z_b) + (1/Z_0)] \quad \text{-----(40)}$$

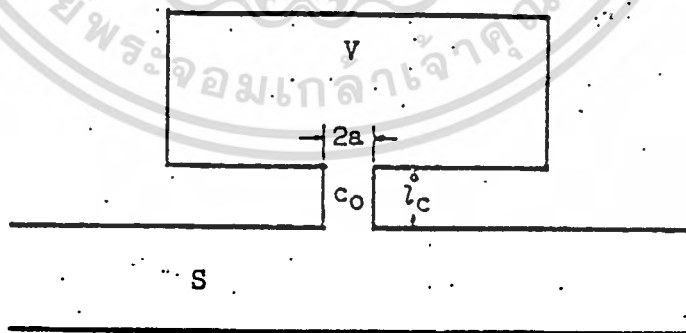
จากสมการ (38) และ (40) เราจะได้อัตราส่วนของ p_i/p_{r_s} เป็น

$$p_i/p_{r_s} = 1 + (Z_0/2Z_b) = 1 + (Z_0/2(R_b + ix_b))$$

และ attenuation เป็น

$$\begin{aligned} \text{attenuation} &= 10 \log \left| \frac{p_i}{p_{r_s}} \right|^2 \\ &= 10 \log \left[\frac{((R_b + (Z_0/2))^2 + x_b^2)}{(R_b^2 + x_b^2)} \right] \quad \text{-----(41)} \end{aligned}$$

จากรูปของ single resonator muffler ดังรูปข้างล่าง



รูปที่-2.4 แสดง Single resonator muffler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะได้ impedance ของ various components คือ

$$\text{Volume-chamber impedance} = -i\rho c^2/wv \quad \text{-----(42)}$$

$$\begin{aligned} \text{Connector impedance} = & (L_c/ra^3)\sqrt{2\rho w} \\ & + i[(w\rho/C_o) + (L_c/ra^3)\sqrt{2\rho w}] \quad \text{---(43)} \end{aligned}$$

ซึ่ง C_o คือ conductivity

L_c คือ effective length ของ connector

ในกรณี resonator side branch, volume chamber และ connector จะอยู่ในรูปอนุกรม จะได้

$$R_b = (L_c/ra^3)\sqrt{2\rho w} \quad \text{-----(44)}$$

$$x_b = (w\rho/C_o) - (\rho c^2/wv) + (L_c/ra^3)\sqrt{2\rho w} \quad \text{-----(45)}$$

เมื่อนำค่าเหล่านี้แทนลงในสมการ (41) เราจะได้ค่า attenuation ของ single resonator muffler

ในหลายกรณี เราสามารถที่จะไม่คิดผลของความหนืด โดยไม่มีการคำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น ยกเว้นที่ความถี่ resonant ถ้า $\mu = 0$ จะได้สมการ (41) เป็น

$$\text{Att.} = 10 \log [1 + (Z_o^2/4xb^2)] \quad \text{-----(46)}$$

โดยการแทนค่า x_b สมการ (46) อาจอยู่ในรูป

$$\text{Att.} = 10 \log [1 + [(\sqrt{C_o V/2S})/((f/f_r) - (f_r/f))]^2] \quad \text{---(47)}$$

เพราะว่าความหนืดไม่คำนึงถึง เราอาจทำนายว่า Att. เพิ่มขึ้นถึงอนันต์ (rise to infinity) ที่ความถี่กำหนด (resonant) $f/f_r = 1$ เท่านั้น ไม่นอญูดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า effective length ของ connector, L_c ไม่สั้นพอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นเงื่อนไขข้อ(7) จะใช้ไม่ได้ เพราะคลื่นธรรมชาติในการไหลใน connector จะต้องถูกพิจารณาถึง

สำหรับ connector ที่มีความยาว L_c พื้นที่ S_c และปริมาตร V จะได้ branch reactance (ไม่คิดความหนืด) เป็น

$$x_c = [C/S_c] \{ (\tan kL_c - (S_c/kV)) / ((S_c/kV) \tan kL_c + 1) \} \quad \text{---(48)}$$

Multiple Resonator

ถ้าเราต้องการเพิ่มค่า Att. วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ โดยเพิ่มจำนวน resonator ให้มากขึ้นในมัพเฟอร์หนึ่ง ๆ ซึ่งเราจะได้สมการสำหรับหาค่า attenuation ซึ่งประกอบด้วย parameter ที่สำคัญ 3 ตัว คือ

$$\begin{aligned} \sqrt{C_0} V / 2S & : \text{attenuation parameter} \\ \sqrt{C_0} / V & : \text{resonance parameter} \\ L_c & : \text{ระยะระหว่างรอยต่อ} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า attenuation เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน resonator ในมัพเฟอร์ซึ่งเราสามารถทราบความสัมพันธ์นี้ได้จากการทดสอบกลุ่มของ multiple resonator แบบต่าง ๆ

Effect of Number of Chamber

จากข้อมูลของการทดลองจะพบว่า ค่าของ attenuation จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ chamber ซึ่งข้อจำกัดที่ทำให้ค่าสูงสุดปลายสุดของ attenuation ที่วัดได้ในมัพเฟอร์มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง โดยทั่วไปในทางทฤษฎีเราจะไม่นิยมวัดที่ความถี่สูง ๆ -- ซึ่งสาเหตุของการสูญเสีย attenuation ที่ความถี่สูง ๆ นั้น อาจจะเกิดจากการสั่นสะเทือนของผนังมัพเฟอร์ อาจจะผ่านความถี่สูงของเสียงไปในด้านปลายท่อ การสูญเสียของเสียงในไมโครโฟนที่ใช้วัด ซึ่งสาเหตุนี้จะทำให้จำกัดการวัดค่า maximum ของ attenuation ที่ความถี่ต่ำกว่า และจะเพิ่ม

มากขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น

Effect of Diameter with Resonance Parameter Constant

ถ้า diameter ของม้วนเฟออร์ เพิ่มขึ้นทำให้ค่าของ resonance parameter คงที่จะพบว่าค่าของ attenuation parameter จะมีค่าเพิ่มขึ้น

Effect of Length

ผลของการลด length จะมีผลกระทบต่อ parameter ของม้วนเฟออร์ คือ ทำให้ค่าของ cutoff frequency , resonant frequency , width of the first attenuation band , width of the first upper pass band มีค่าเพิ่มขึ้น

Effect of Conductivity

โดยทั่ว ๆ ไปผลของการเพิ่ม conductivity จะทำนายโดยทางทฤษฎี ซึ่งจากผลการทดลองและทฤษฎี จะพบว่า cutoff frequency และ resonant frequency มีค่าเพิ่มขึ้น width of the first attenuation band กว้างขึ้น, width of the first upper pass band จะแคบลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า TL

สำหรับ Helmholtz Resonator 1 อัน

$$TL = 10 \log (1+X^2)$$

สำหรับ Helmholtz Resonator 2 อัน

$$TL = 10 \log [(\cos kL_p + \sin kL_p)^2 + (2X \sin kL_p)^2 + (2X \cos kL_p - (1-2X^2) \sin kL_p)^2]$$

สำหรับ Helmholtz Resonator 3 อัน

$$TL = 10 \log [(\cos^2 kL_p + 6X \sin kL_p \cos kL_p - (1-4X^2) \sin^2 kL_p) + (3X \cos^2 kL_p - (2-8X^2) \sin kL_p \cos kL_p - (3-4X^3) \sin^2 kL_p)^2]$$

โดยที่

$$X = (\sqrt{C_0 V/S}) / [C(f/f_p) - (f_p/f)]$$

$$f_p = (C/2\pi) (\sqrt{C_0/V})$$

$$k = 2\pi f/C$$

นำสมการเหล่านี้ไปเขียนเป็นโปรแกรม เพื่อนำไปประมวลผลข้อมูลจากการทดลองที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งเราจะได้ผลดังกราฟในบทที่ 4 (โปรแกรมที่ได้จาก Tokai University)

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

การสร้างชิ้นงาน

Muffler

- วัสดุที่ใช้ในการสร้าง

1. โลหะแผ่นหนา 2 mm.
2. ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (5 cm.)

- วิธีสร้าง

1. นำโลหะแผ่นที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาวเป็น $2rR$ โดยที่ R คือ รัศมีของพื้นที่หน้าตัดส่วนขยายของ Muffler ที่เราต้องการ ในที่นี่เราใช้ $R = 8.9$ cm

ดังนั้น ความยาวที่ต้องการคือ $2rR = 60$ cm.

ความกว้างของแผ่นโลหะมักจะให้มีความกว้างเท่ากับ ความยาวของคลื่นเสียง แต่ในที่นี้เราใช้ความกว้าง 33.7 cm.

2. ตัดโลหะแผ่นเป็นรูปวงกลม ซึ่งมีรัศมีภายนอก = 8.9 cm. และเจาะรูที่จุดศูนย์กลางโดยให้รัศมีภายในเป็น 2 นิ้ว (ประมาณ 5 cm.)

3. นำโลหะแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากข้อ (1) มาม้วนให้เป็นทรงกระบอก

4. นำโลหะแผ่นวงกลมมาเชื่อมปิดที่หน้าตัดของทรงกระบอกที่ได้ แล้วนำท่อเหล็กที่ได้เตรียมไว้มาเชื่อมต่อ ณ. รูที่หน้าตัดของทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Helmholtz Resonator

- วัสดุที่ใช้สร้างชิ้นงาน

1. ครอบป้องกันเครื่องตีทรงกระบอก จำนวน 9 อัน
2. Stud (แท่งเกลียว)
3. Epoxy (กาวเหล็ก)

- สมการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชิ้นงาน

เนื่องจากการทดลองนี้ เราต้องการหาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการลดเสียงของ Helmholtz Resonator ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของ ช่องนำเสียงเท่ากัน แต่แบ่งจำนวนรูของช่องนำเสียงไม่เท่ากันรูเดียวมีขนาด diameter = 14 mm แต่เนื่องจากไม่มีคอกสว่านจึงใช้ขนาด 14.50 mm

ดังนั้น ขนาดของช่องนำเสียงเมื่อมีรูแตกต่างกัน หา diameter ได้จาก

$$8(\pi d_8^2 / 4) = 4(\pi d_4^2 / 4) = \pi d_1^2 / 4$$

d_1 คือ diameter ชนิด 1 รู

d_4 คือ diameter ชนิด 4 รู

d_8 คือ diameter ชนิด 8 รู

- วิธีสร้างชิ้นงาน

1. กลึงแท่งเกลียวออกเพื่อให้ได้ความยาว 23 mm ซึ่งความยาวนี้คือ Length of Throat (L_c) ซึ่งต้องนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า TL (dB) จำนวน 9 แท่ง
2. นำแท่งเกลียวที่ได้ทั้งหมดไปกลึงปาดหน้าให้เรียบ
3. นำแท่งเกลียว 3 อันไปเจาะรูทะลุโดยมี diameter เป็น 14.50 mm
4. นำแท่งเกลียว 3 อันไปเจาะจำนวน 4 รูโดย diameter เป็น 7.25 mm

โดยมีมุม 90 องศา

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดสอบอุปกรณ์ที่เราได้ทำการคำนวณ และสร้างขึ้นตาม บทที่ 3 ซึ่งก็คือ ทดสอบหาคณะสมบัติท่อ (characteristic of pipe) , muffler และ resonator แบบ Helmholtz เพื่อที่จะนำผลการทดสอบไปสร้างกราฟ

วัตถุประสงค์ในการทดลอง

1. เพื่อหาคณะสมบัติของท่อ
2. เพื่อหาประสิทธิภาพของ muffler
3. เพื่อหาประสิทธิภาพของ Helmholtz Resonator

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ชุดสร้างลม และปรับความเร็วลมประกอบด้วย
 1. Blower ทำหน้าที่ให้อากาศเกิดการไหลไปในท่อ (ภาคผนวกรูปที่ 1)
 2. Transister Invertor ควบคุมการปรับความเร็วลม โดยเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์
- ชุดดูดซับเสียง
 1. Cyclone ทำหน้าที่ลดเสียงที่อาจจะเกิดจากการเป่าลมของพัดลม (Blower) และลดความดัน (ภาคผนวกรูปที่ 2)
 2. Pre - muffler ทำหน้าที่ดูดซับเสียงซึ่งอาจจะดังมากเกินไป แม้ว่าจะผ่าน Cyclone มาแล้ว โดยใช้ใยแก้วภายใน muffler ดูดคลื่นเสียงสะท้อน (ภาคผนวกรูปที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปสำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถทำได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดสร้างและรับเสียง

1. Loud speaker รับสัญญาณจากอุปกรณ์ปั่นความถี่ (Function Generator) ซึ่งต่ออยู่กับอุปกรณ์กำเนิดเสียง (Ampifier)
2. Microphone ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับเสียงจากท่อทองเหลือง
3. Scope CF 350 เพื่ออ่านค่าระดับความดังของเสียง

- ชุดทดสอบเสียง

1. ท่อขนาด 2 นิ้ว สำหรับทดสอบหาคุณสมบัติของท่อ
2. Muffler ขนาด diameter 17.8 cm ยาว 33.7 cm
3. Helmholtz Resonator 3 ชนิด คือ
 - 3.1 1 รู diameter 14 mm 3 อัน
 - 3.2 4 รู diameter ของแต่ละรูเท่ากับ 7 mm 3 อัน
 - 3.3 8 รู diameter ของแต่ละรูเท่ากับ 4.5 mm 3 อัน

- ชุดวัดความเร็วลมที่ไหลในท่อประกอบด้วย

1. manometer ทำหน้าที่อ่านค่าความเร็วลม โดยการใส่ค่า Head (Δh) ไปเทียบกับกราฟ (ได้จาก Bernoulli equation) จะได้ความเร็วลม
2. pitot tube ทำหน้าที่รับลมที่เคลื่อนที่ในท่อ โดยจะมี 2 แท่ง คือ
 - 2.1 pitot static tube
 - 2.2 pitot dynamic tube

- ชุดควบคุมปริมาณลม ประกอบด้วย

1. วาล์ว ขนาด 4 นิ้ว และ 2 นิ้ว (ภาคผนวกรูปที่ 4)

รูปแบบการทดสอบ

เราจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. กรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน จะทำการทดสอบคุณสมบัติของท่อ (Characteristic of pipe), Muffler และ Helmholtz Resonator นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2. กรณีมีอากาศไหลผ่าน เราจะทำการทดสอบเฉพาะ Helmholtz Resonator

วิธีการทดสอบ

อันดับแรกก่อนการทดสอบจะต้องติดตั้ง line ท่อนำเสียง ชุดรับและสร้างเสียงชุดปรับ ความเร็วมอเตอร์ ชุดวัดความเร็วลม ชุดดูดซับเสียง ให้เรียบร้อย ดังนี้

- ติดตั้ง line ของท่อนำเสียงซึ่งประกอบด้วย Blower ซึ่งถูกควบคุมความเร็ว โดย Transister Invertor ต่ออยู่กับ Cyclone ซึ่งตั้งอยู่ในแนวตั้ง ถัดมาก็ติดตั้ง Pre-muffler ตัวที่ 1 หลังจากนั้นก็ติดตั้งวาล์วขนาด 4 นิ้ว

- หลังจากติดตั้งวาล์วขนาด 4 นิ้ว เสร็จแล้วก็ทำการลดขนาดของท่อโดยการใช้อัดขนาด 4 นิ้ว ลดเป็น 2 นิ้ว หลังจากนั้นท่อก็จะเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ตลอด

- ติดตั้งวาล์วขนาด 2 นิ้ว ถัดมาก็ติดตั้ง Pre-muffler ตัวที่ 2 หลังจากนั้นก็จะเป็นการติดตั้งท่อขนาด 2 นิ้ว ซึ่งปลายท่อจะติดตั้ง Involute tube ไว้ ส่วนที่เป็น Involute tube นี้จะอยู่ในห้องเก็บเสียง เราจะต่อถัดมาจาก Conical tube ดังรูป 4.1

- ติดตั้งอุปกรณ์รับเสียง (Microphone) ซึ่งติดอยู่กับ Pre-amplifier และ scope CF 350 FFT Analyzer ส่วน microphone จะติดตั้งอยู่กับรูดเซ็น ซึ่งมี Probe tube (เราใช้ท่อทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 mm.) ติดอยู่ด้วย โดยที่ Probe tube จะเป็นตัวรับสัญญาณของเสียงที่ตำแหน่ง out และ in ของ Test Silencer และติดตั้ง Driver unit เป็นตัวส่งความถี่เสียงเข้าไปในท่อ ซึ่งก็ต่ออยู่กับ Amplifier และ Function Generator โดย Function Gen. จะเป็นตัวสร้างความถี่ และ จะถูกขยายโดย Amplifier อีกทีหนึ่ง

- ซึ่งเมื่อติดตั้งเสร็จจะเป็นดังรูปที่ 4.1

จากนั้นจะเป็นการทดสอบคุณสมบัติของท่อ และ muffler ซึ่งเป็นกรณีไม่มีอากาศไหล ผ่านดังนี้

- ติดตั้งท่อขนาด 2 นิ้ว ลงไปที่ตำแหน่งของ test silencer ในรูปที่ 4.1 ทำการทดสอบโดยป้อนความถี่ที่ค่าหนึ่งแล้วทำการเลื่อนรูด ทึล 5 หรือ 10 mm แล้วบันทึกค่า ระดับความดังของเสียงที่ตำแหน่งนั้น ๆ เมื่อได้ค่าแล้ว จึงเปลี่ยนความถี่เป็นความถี่อื่น ๆ แล้วทำการทดสอบเช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ติดตั้ง Muffler เข้าไปยังท่อนำเสียง ป้อนความถี่ 100 Hz เข้าไปยังท่อนำเสียง เลื่อนตำแหน่งรถ เพื่อหาจุดที่มีระดับความดังเสียงมากที่สุดก่อนผ่าน Muffler แล้วบันทึกค่าของ ระดับความดังเสียงที่มากที่สุดนั้นไว้ หาค่าสูงสุดของระดับความดังเสียงด้วยวิธีเดียวกัน แต่อยู่ใน ช่วงที่คลื่นเสียงผ่าน Muffler ออกมาแล้ว บันทึกค่าไว้ (หาค่า In, Out) เมื่อหาครบแล้ว เปลี่ยนความถี่เพิ่มขึ้นจนถึง 2000 Hz

- นำ Muffler ออกแล้วติดตั้ง Helmholtz resonator เข้าไปยังท่อนำเสียงแทน ทำในลักษณะเดียวกันกับการหาคุณสมบัติของ muffler โดยเริ่มจาก Helmholtz resonator 1 รู 1 อัน และเพิ่มจนครบ 3 อัน เปลี่ยน Helmholtz resonator เป็น 4 รู 1 อัน เพิ่มจน ครบ 3 อัน เปลี่ยนเป็น 8 รู 1 อัน เพิ่มจนครบ 3 อัน โดยทำการเปลี่ยนความถี่ตั้งแต่ 160 Hz จนถึง 700 Hz

- นำ muffler ออก แล้วติดตั้ง Helmholtz Resonator

การทดสอบ HELMHOLTZ RESONATOR

การทดสอบ Helmholtz resonator เราจะทำการทดสอบ 2 กรณี คือ กรณีไม่มี อากาศไหลผ่าน และกรณีที่มีอากาศไหลผ่าน สำหรับ Helmholtz Resonator ที่ใช้ในการ ทดสอบนั้น แบ่งเป็น 9 แบบคือ

1. helmholtz resonator ที่มีจำนวนรู (N_h , number of hole) 1 รู และใช้จำนวน (N) 1 อัน

2. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 1$, $N = 2$

3. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 1$, $N = 3$

4. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 4$, $N = 1$

5. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 4$, $N = 2$

6. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 4$, $N = 3$

7. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 8$, $N = 1$

8. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 8$, $N = 2$

9. helmholtz resonator ที่มี $N_h = 8$, $N = 3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมการขนส่งทางบก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น กรุณาอย่าให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใด ๆ ให้แก่ผู้อื่น โดยเด็ดขาด
โปรดแจ้งให้ทราบถึงเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

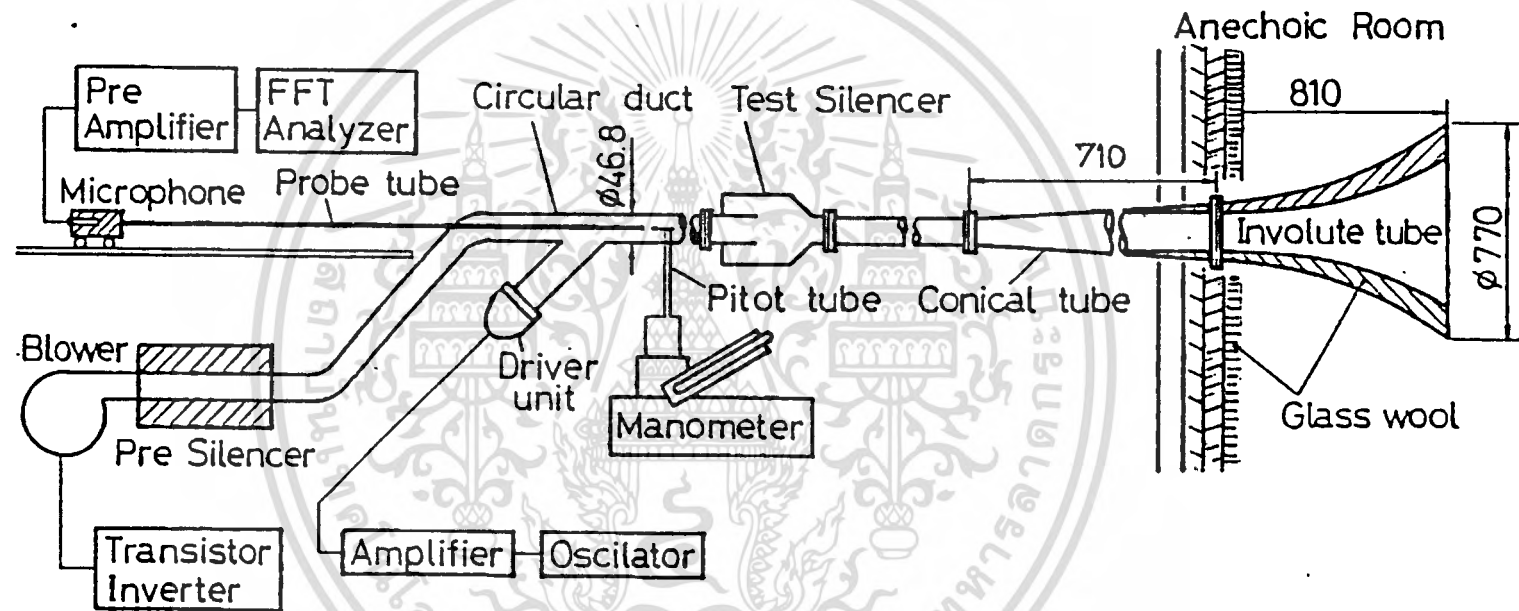
วิธีการทดสอบ

- กรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน

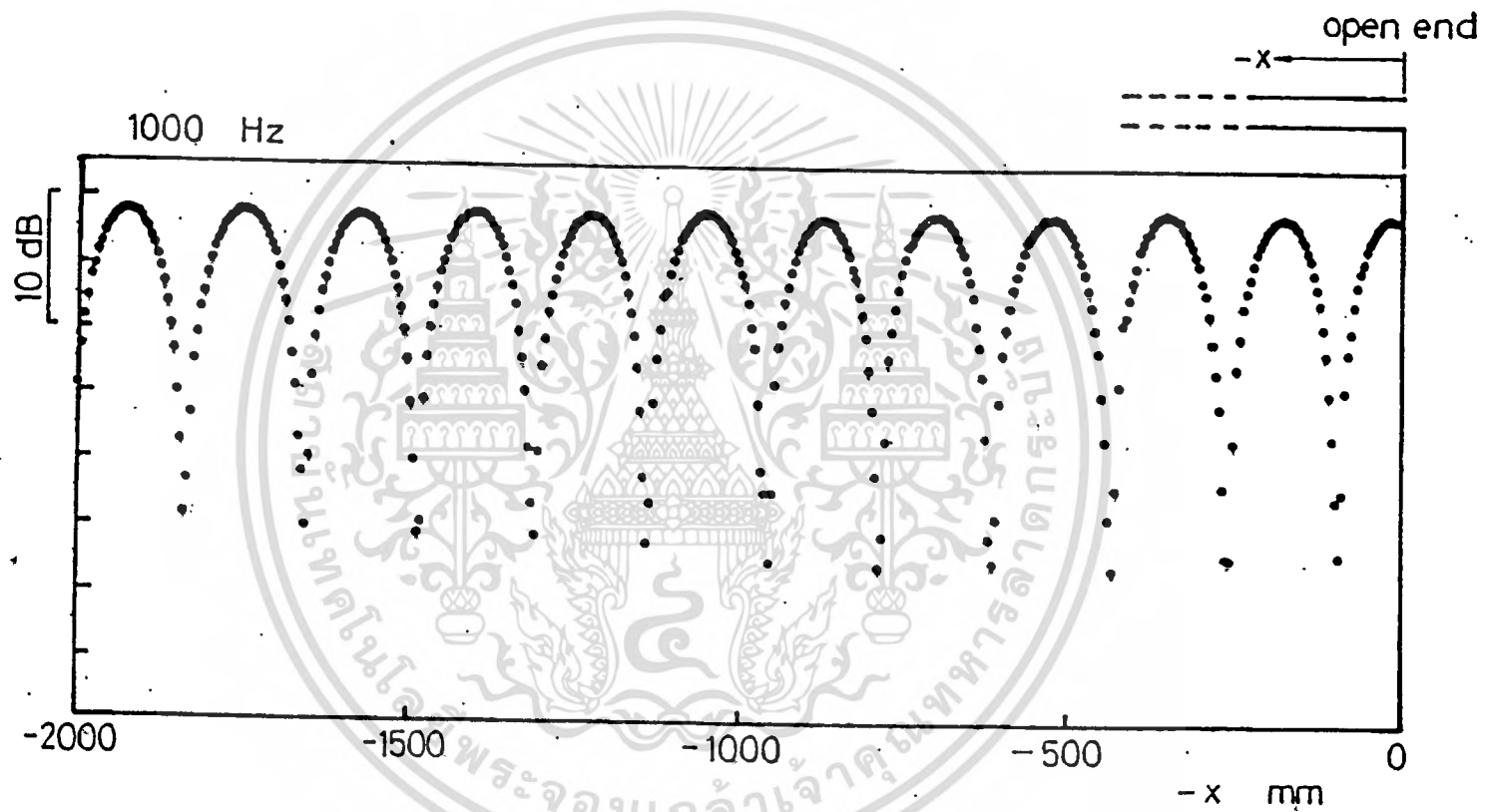
1. ติดตั้ง helmholtz resonator ลงบนท่อสำหรับการทดสอบ
2. ปรับเครื่องกำเนิดความถี่ โดยเริ่มที่ ความถี่ 160 Hz
3. เลื่อนรถเพื่อหาจุดที่มีระดับความเข้มเสียงสูงสุด โดยหา 2 จุด คือจุดก่อนเข้า Helmholtz และจุดหลังจากออก Helmholtz โดยอ่านค่าจาก scope CF 350 แล้วบันทึกผลไว้
4. เปลี่ยนความถี่ของคลื่นเสียงเป็น 170, 180, 190, 200, 210, 220, 240, 260, 280, 300, 320, 340, 360, 380, 400, 420, 440, 460, 500, 550, 600, 700 Hz ตามลำดับ แล้วทำตามข้อ 2
5. เปลี่ยนแบบของ Helmholtz resonator เป็นแบบที่ 1,2,...,9 ตามลำดับ แล้วทำตามข้อ 1 ถึง 4

- กรณีที่มีอากาศไหลผ่าน

1. ปรับความเร็วรอบของ Blower เพื่อให้ได้ความเร็วของอากาศในท่อตามที่ต้องการโดยปรับความเร็วรอบที่ transistor inverter และดูระดับความเร็วของอากาศที่ anemometer
2. เมื่อได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการ แล้วปฏิบัติตาม ข้อ 1-5 ของกรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน
3. เปลี่ยนความเร็วลมของอากาศ แล้ว ปฏิบัติตาม ข้อ 2

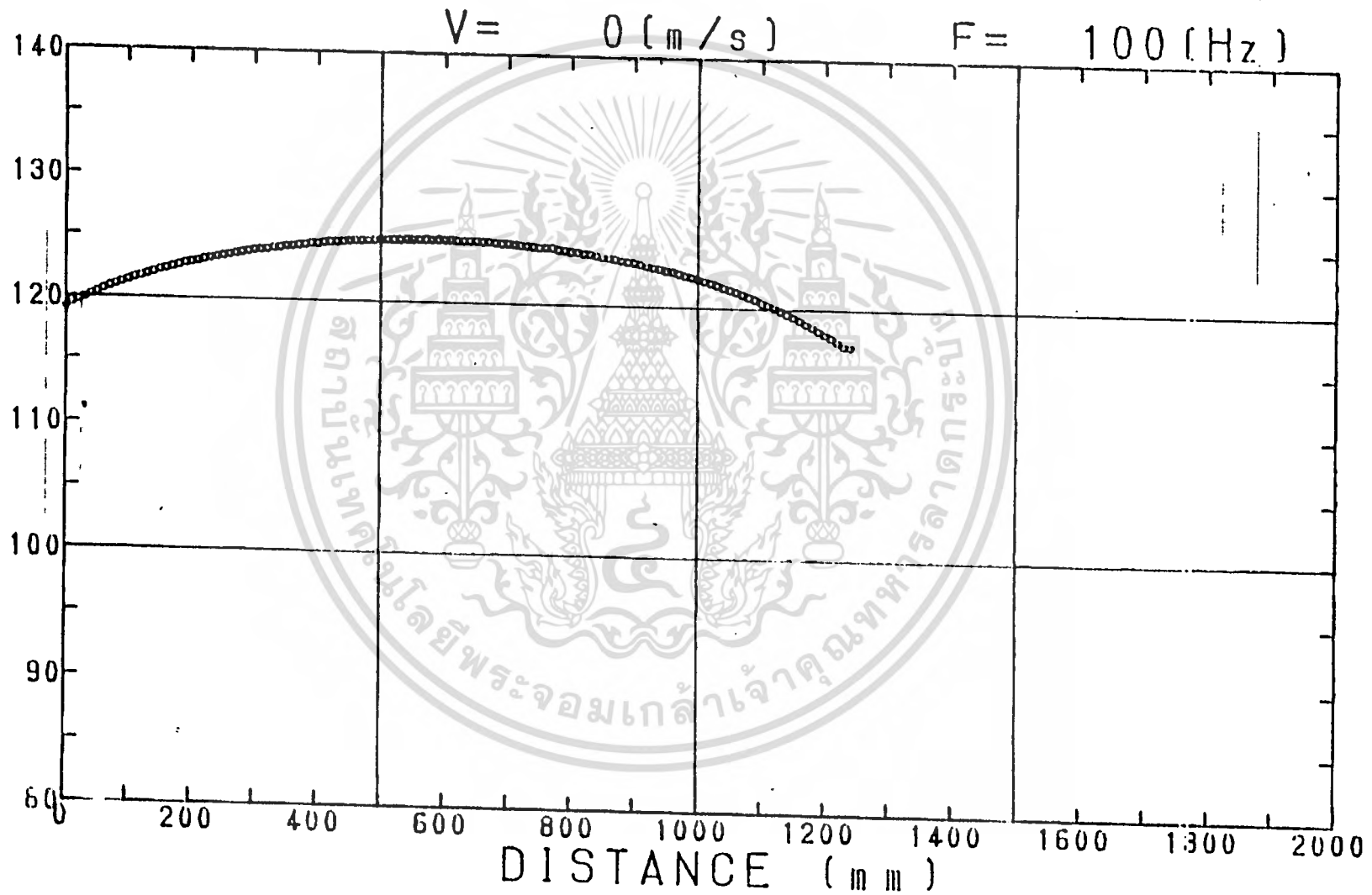


รูปที่ 4.1 รูปการทดลอง (Schematic diagram of experimental apparatus)

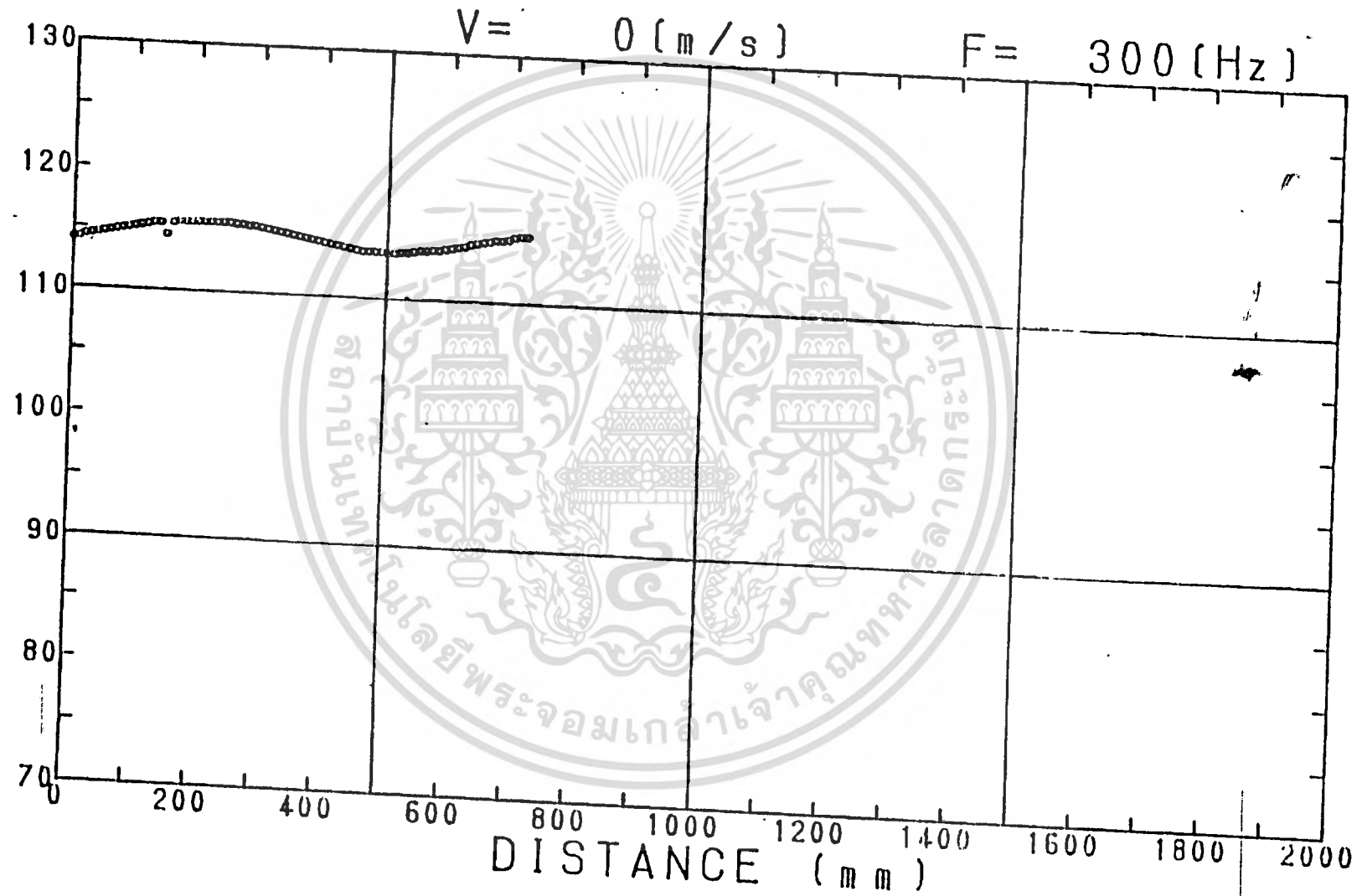


Standing wave in circular duct

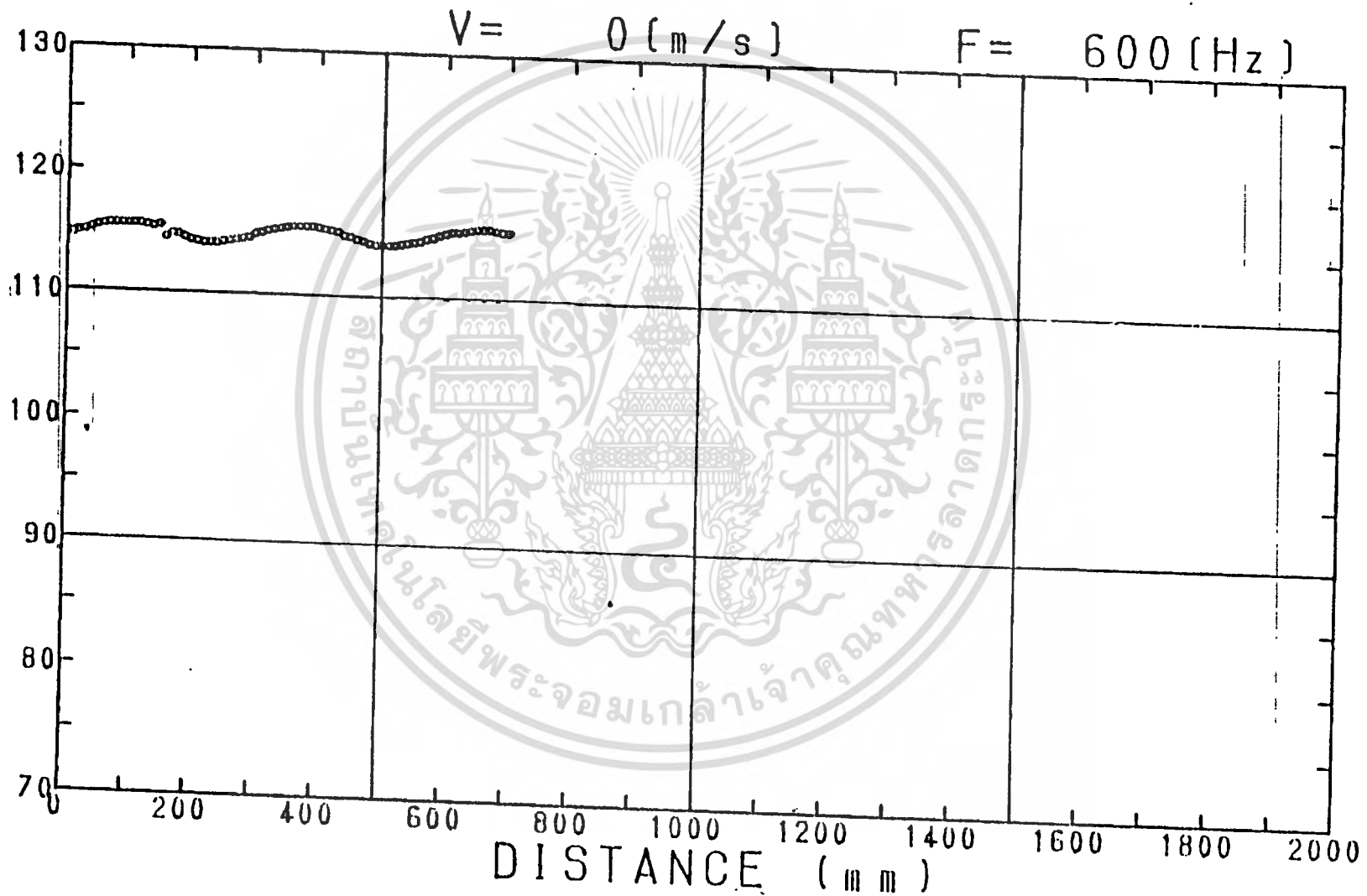
Sound pressure distribution in circular duct and conical tube without flow. (100 Hz)



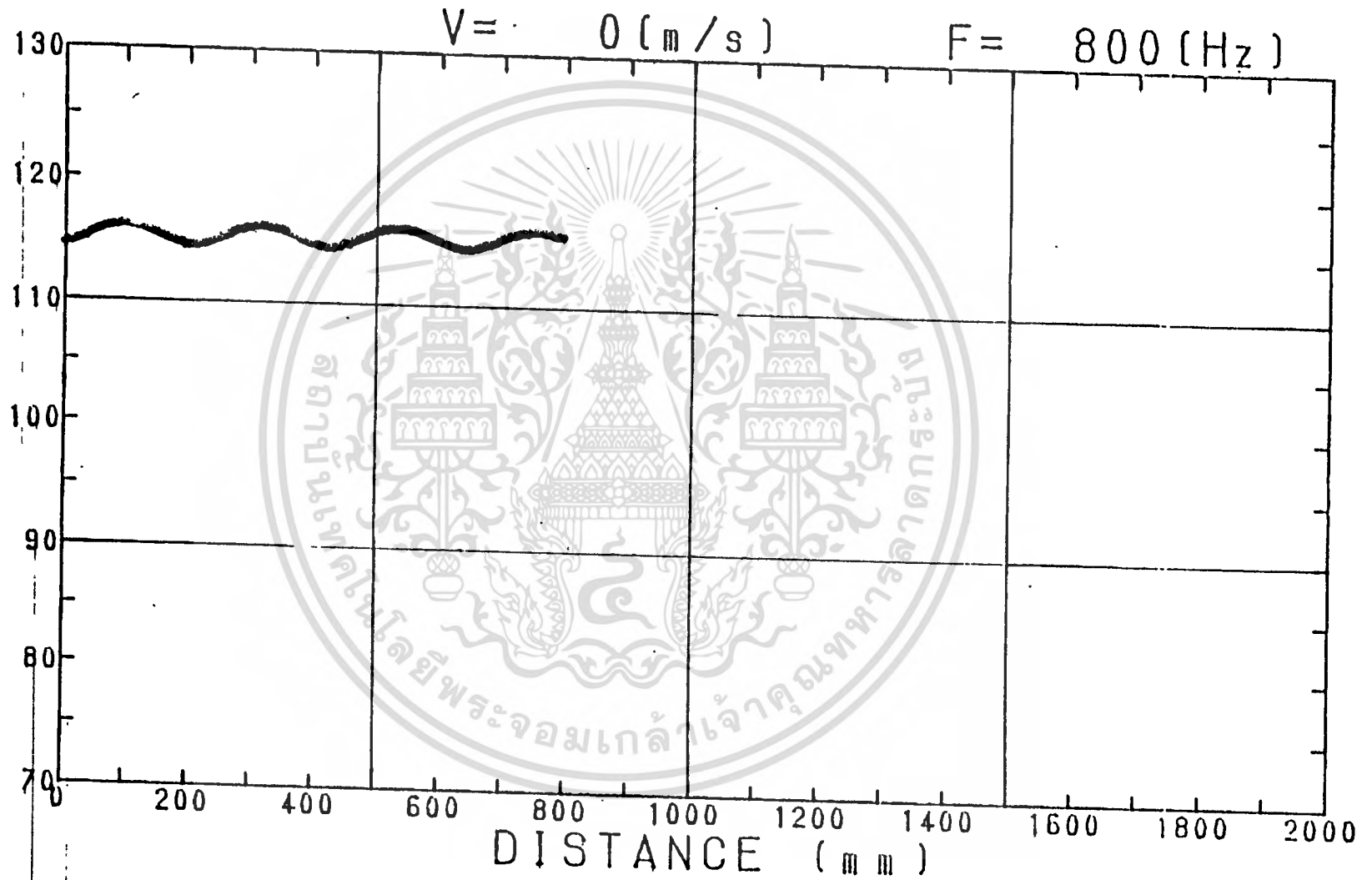
Sound pressure distribution in circular duct and conical tube without flow. (300 Hz)



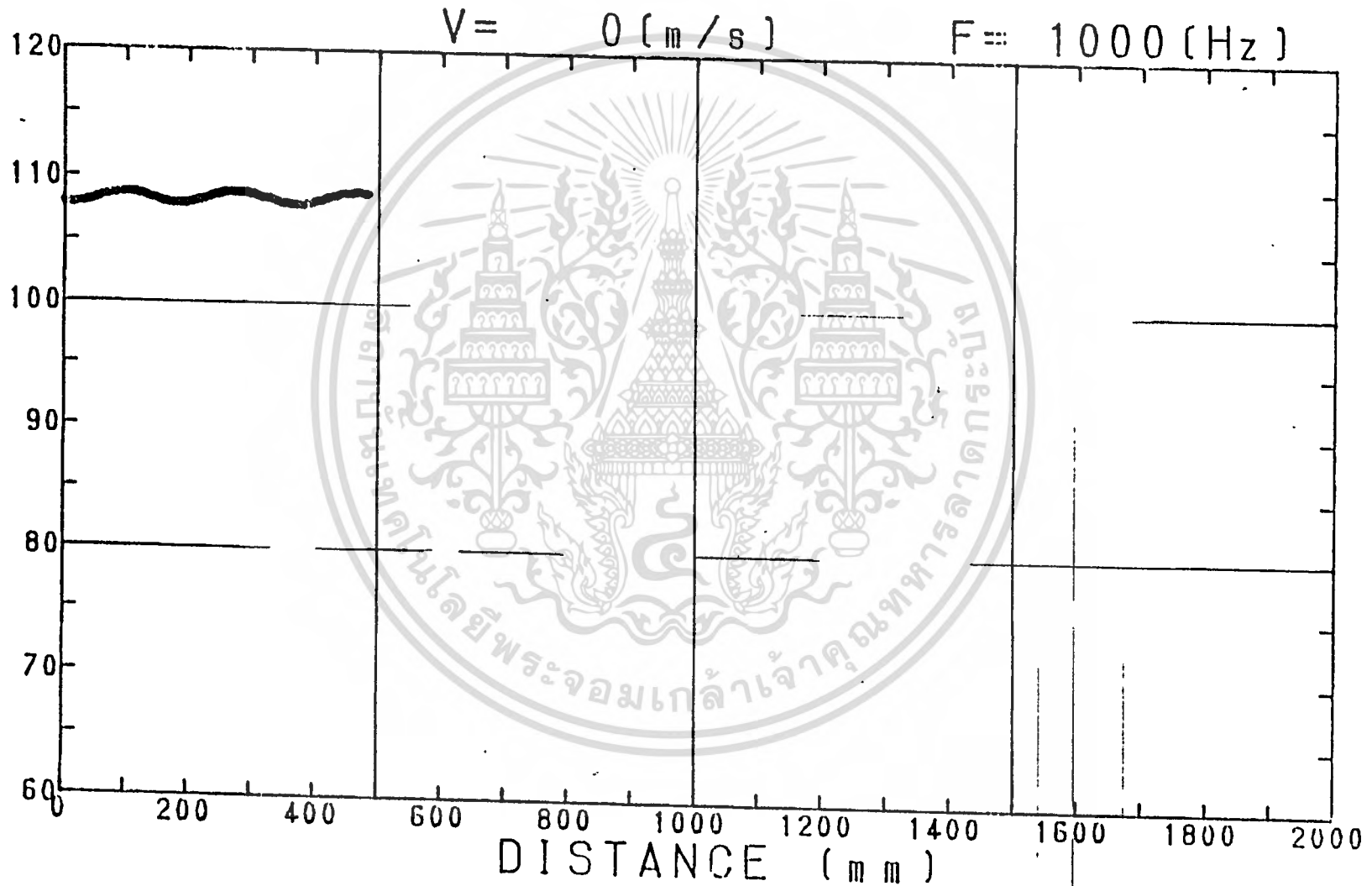
Sound pressure distribution in circular duct and conical tube without flow. (600 Hz)



Sound pressure distribution in circular duct and conical tube without flow. (800 Hz)



Sound pressure distribution in circular duct and conical tube without flow. (1000 Hz)



DATE=21/10/91

data no= 1

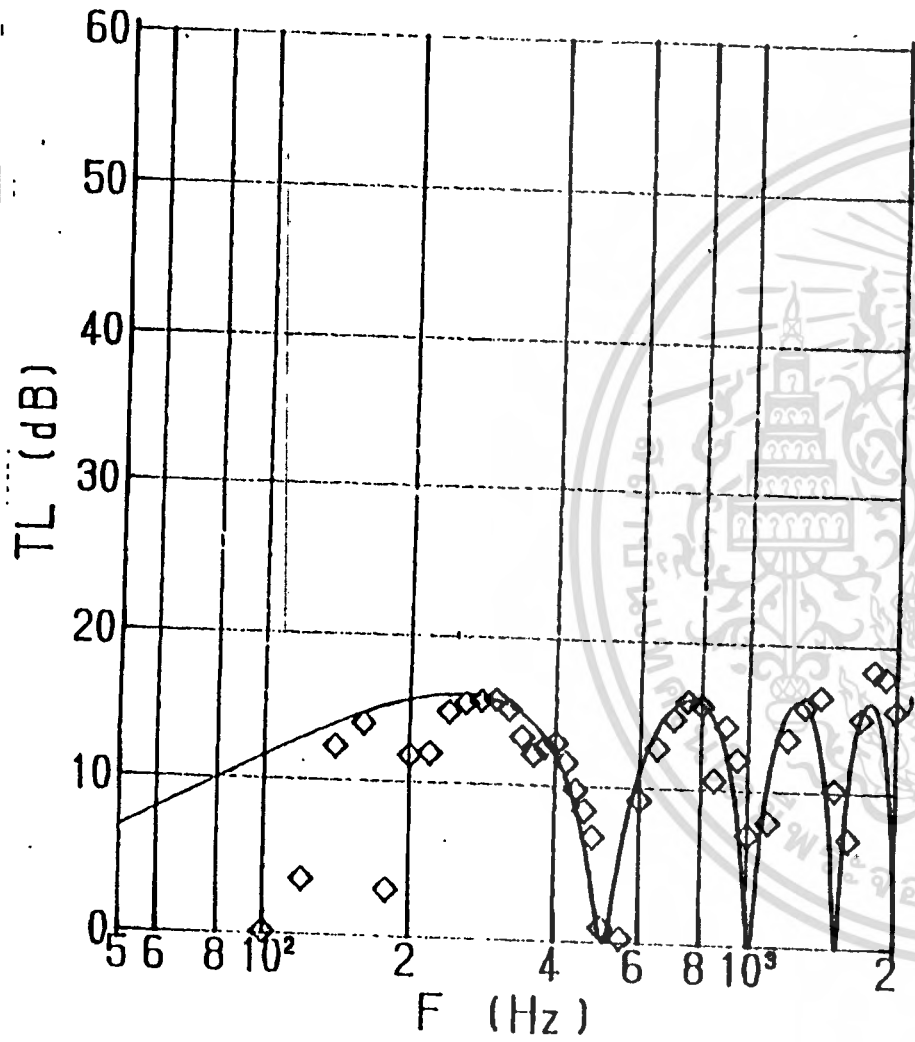
M= 12.7 L= .337 L1= 0 L2= 0 V= 0

DATA OF TRANSMISSION LOSS

FREQ.	VALUE	IN(dB)	OUT(dB)	DIFFERENS	CORRECT
50	0	.0	0	0	0
60	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0
100	.0999966	132.29	126.2	6.09	5.99
110	.452408	133.82	133.04	.780014	.327606
120	3.90099	133.7	123.8	9.89999	5.999
130	10.2638	131.3	116.44	14.86	4.5962
140	12.4485	126.91	109.5	17.41	4.9615
150	13.823	124.83	105.86	18.97	5.147
160	14.678	127.34	107.42	19.92	5.242
170	15.3105	133.04	112.45	20.59	5.2795
180	14.769	136.78	116.76	20.02	5.251
190	12.0065	138.75	121.86	16.89	4.8835
200	12.0065	133.15	116.26	16.89	4.8835
210	11.624	131.55	115.11	16.44	4.816
220	12.3465	128.38	111.09	17.29	4.9435
230	14.255	127.04	107.59	19.45	5.195
240	15.997	129.64	108.31	21.33	5.333
250	16.6855	134.59	112.5	22.09	5.4045
260	15.709	138.21	117.2	21.01	5.301
270	13.544	138.77	120.11	18.66	5.116
280	15.662	134.27	113.31	20.96	5.298
290	15.961	132.75	111.46	21.29	5.329
300	15.6905	130.37	109.38	20.99	5.2995
320	15.862	131.2	110.02	21.18	5.318
340	12.4655	138.56	121.13	17.43	4.9645
360	11.4625	134.4	118.15	16.25	4.7875
380	12.27	130.14	112.94	17.2	4.93
400	13.364	129.12	110.66	18.46	5.096
420	12.27	136.56	119.36	17.2	4.93
440	9.14199	131.54	118.05	13.49	4.348
460	8.254	128.28	115.9	12.38	4.126
480	7.15461	127.8	116.77	11.03	3.8754
500	.120008	132.21	126.1	6.11001	5.99
550	-.0200062	126.88	120.91	5.96999	5.99
600	9.11801	132.3	118.84	13.46	4.342
650	13.481	125.26	106.67	18.59	5.109
700	14.291	124.75	105.26	19.49	5.199
750	15.943	127.3	106.03	21.27	5.327
800	15.88	122	100.8	21.2	5.32
850	14.147	120.06	100.73	19.33	5.183
900	14.174	122.22	102.86	19.36	5.186
950	12.763	119.3	101.52	17.78	5.017
1000	6.762	116.6	106.06	10.54	3.778
1100	7.4908	115.31	103.87	11.44	3.9492
1200	16.828	119.7	97.46	22.24	5.412
1300	15.13	124.04	103.64	20.4	5.27
1400	15.206	117.22	96.74	20.48	5.274
1500	10.9368	114.98	99.34	15.64	4.7032
1600	8.662	114.05	101.16	12.89	4.228
1700	105.694	114.63	47.7	109.93	4.236
1800	17.55	111.2	88.2	23	5.45
1900	19.341	109.14	84.24	24.9	5.559
2000	18.396	111.94	88	23.94	5.544

END! END!

เอกสารที่ออกสารที่ 105.694 รับการให้บริการใน 47.7 ปี การศึกษา 47.7 ปี ไม่นอญาน ใช้ประโยชน์ 4.236
 ไม่ว่า 1900 ใดๆ ทั้งสิ้น 19.341 มิให้ตัดแบ 109.14 และต้อง 84.24 ถึงเจ้าขอ 24.9 เอกสารทุกครั้งที่มี 5.559 ใช้



$M = 12.7000$
 $M1 = 1.0000$
 $M2 = 1.0000$
 $L = 0.3370$
 $L1 = 0.0000$
 $L2 = 0.0000$
 $L3 = 0.0000$
 $L4 = 0.0000$

◇ Measured
 — Theoretical



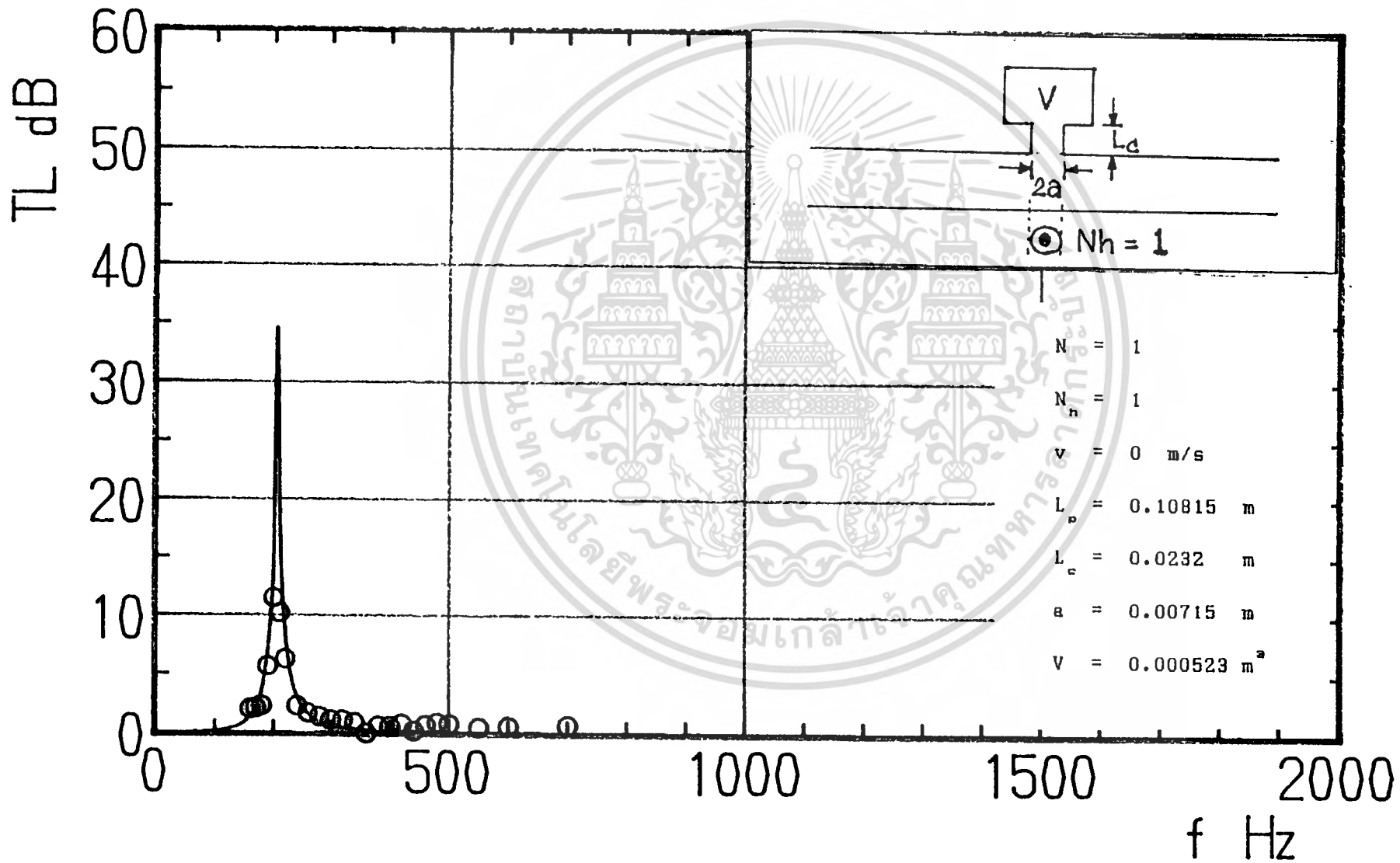
Helmholtz Resonator 1 ร 1 อัน

V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.012	116.3	112.03	4.27	2.258
170	2.096	133.7	129.29	4.41	2.314
180	2.324	125.14	120.35	4.79	2.466
190	5.6648	124.37	114.83	9.54	3.8752
200	11.499	126.55	109.94	16.61	5.111
210	10.253	121.3	106.12	15.18	4.927
220	6.286	120.48	110.06	10.42	4.134
240	2.282	121.87	117.15	4.72	2.438
260	1.73	126.3	122.5	3.8	2.07
280	1.376	122.53	119.32	3.21	1.834
300	1.12	122.48	119.68	2.8	1.68
320	1.1395	124.05	121.22	2.83	1.6905
340	.929998	126	124.3	1.7	.769998
360	.0290018	121.25	121.2	.0500031	.0210013
380	.624998	122.1	121.01	1.09	.464998
400	.6	120.86	118.86	2	1.4
420	.779997	122.45	121.05	1.39999	.619997
440	.255197	118.24	117.8	.439995	.184798
460	.685	119.45	118.24	1.21	.525
480	.92	118.08	116.4	1.68	.76
500	.799997	119.99	118.55	1.43999	.639997
550	.533599	117.75	116.83	.919998	.386399
600	.65	117.04	115.9	1.14	.49
700	.730002	113.61	112.31	1.3	.570002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

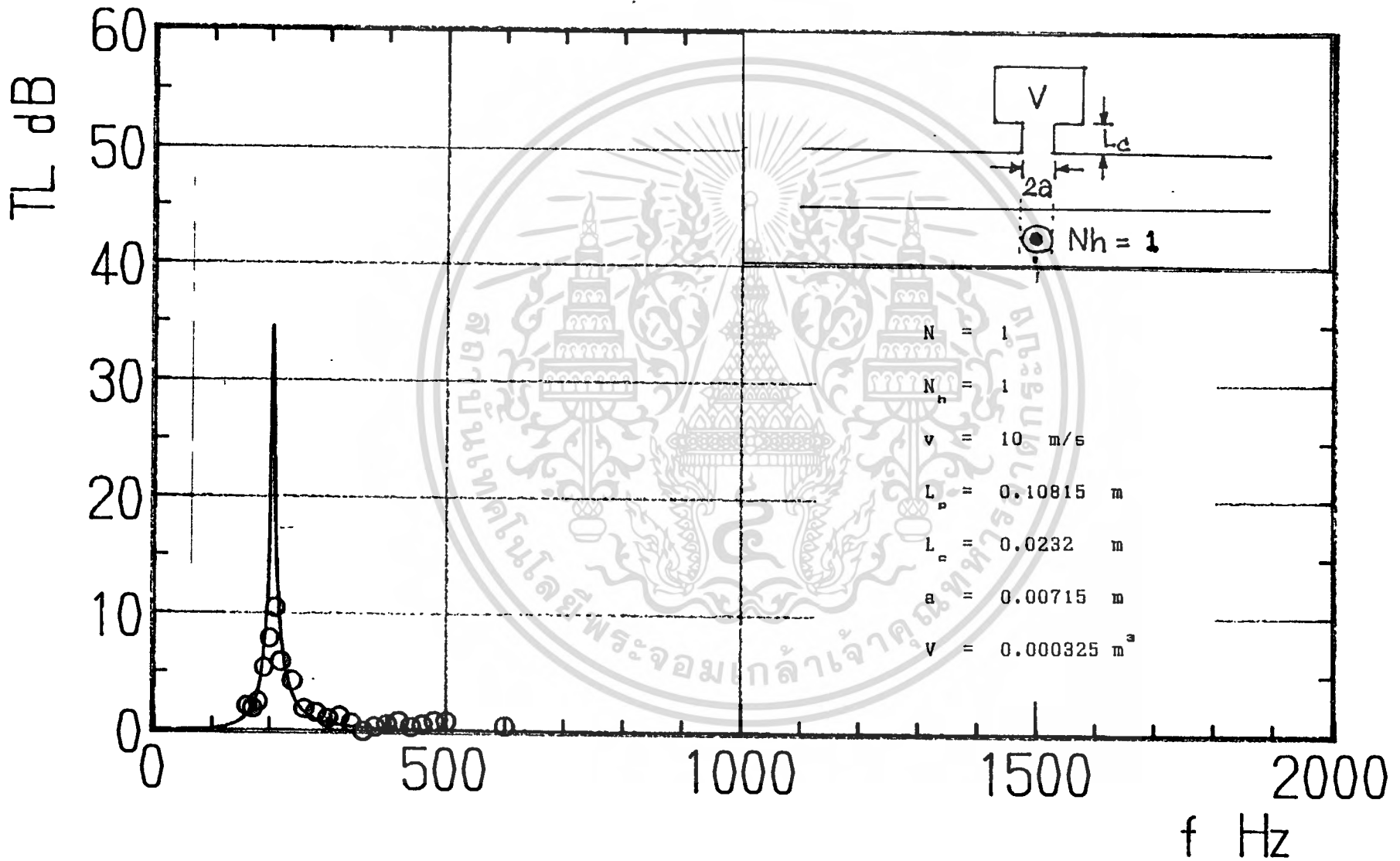


V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.09	122.7	118.3	4.39999	2.31
170	1.99399	136.34	132.1	4.23999	2.246
180	2.4646	129.72	124.7	5.02	2.5554
190	5.4168	127.38	118.24	9.14	3.7232
200	7.8986	131.62	119.2	12.42	4.5214
210	10.4995	122.49	107.02	15.47	4.9705
220	5.982	134.5	124.46	10.04	4.058
240	4.3392	132.12	124.51	7.60999	3.2708
260	1.928	123.82	119.69	4.13	2.202
280	1.646	133.31	129.65	3.66	2.014
300	1.1395	130.7	127.87	2.82999	1.6905
320	1.334	132.54	129.4	3.14	1.806
340	.7625	132.6	130.35	2.25	1.4875
360	-.466401	130.16	130.24	-.0800018	.386399
380	.452399	132.77	131.99	.779999	.327599
400	.6	132.27	130.27	2	1.4
420	.994997	128.2	126.37	1.82999	.834997
440	.429194	131.54	130.8	.73999	.310796
460	.614996	130.56	129.49	1.06999	.454996
480	.969999	122.78	121	1.78	.809999
500	.924994	129.76	128.07	1.68999	.764994
600	.522001	126.4	125.5	.900002	.378001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



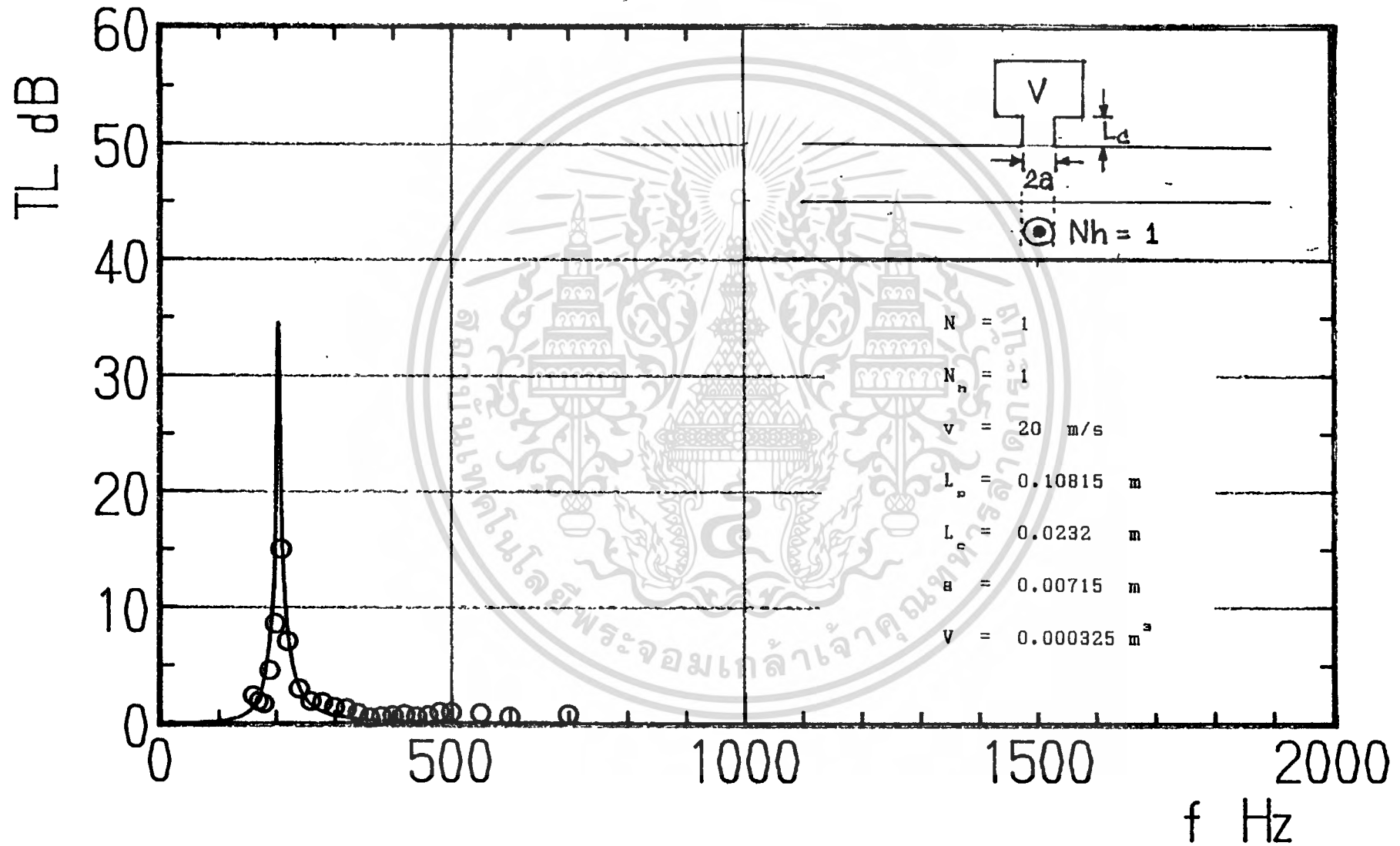
Helmholtz Resonator 1 ร 1 อัน

V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.45	120	115	5	2.55
170	1.97	134.4	130.2	4.2	2.23
180	1.7	129.45	125.7	3.75	2.05
190	4.6128	126.29	119.3	7.99	3.3772
200	8.641	131.7	118.4	13.3	4.659
210	15.0465	120.47	100	20.47	5.4235
220	7.14999	133.4	121.9	11.5	4.35
240	3.034	130.4	124.6	5.8	2.766
260	1.97	118.7	114.5	4.2	2.23
280	1.85	134.2	130.2	4	2.15
300	1.41799	129.9	126.62	3.27999	1.862
320	1.352	127.92	124.75	3.17	1.818
340	.963998	132.02	129.46	2.56	1.596
360	.464002	130	129.2	.800003	.336001
380	.664999	131.27	130.1	1.17	.504999
400	.781999	131.63	129.35	2.28	1.498
420	.808005	130.52	128.2	2.32001	1.512
440	.630003	130.3	129.2	1.10001	.470003
460	.730002	130.2	128.9	1.3	.570002
480	1.05	120.96	119.02	1.94	.890001
500	1.025	128.71	126.82	1.89001	.865004
550	.965002	127.8	126.03	1.77	.805002
600	.615	124.97	123.9	1.07	.455
700	.879999	122	120.4	1.6	.719999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

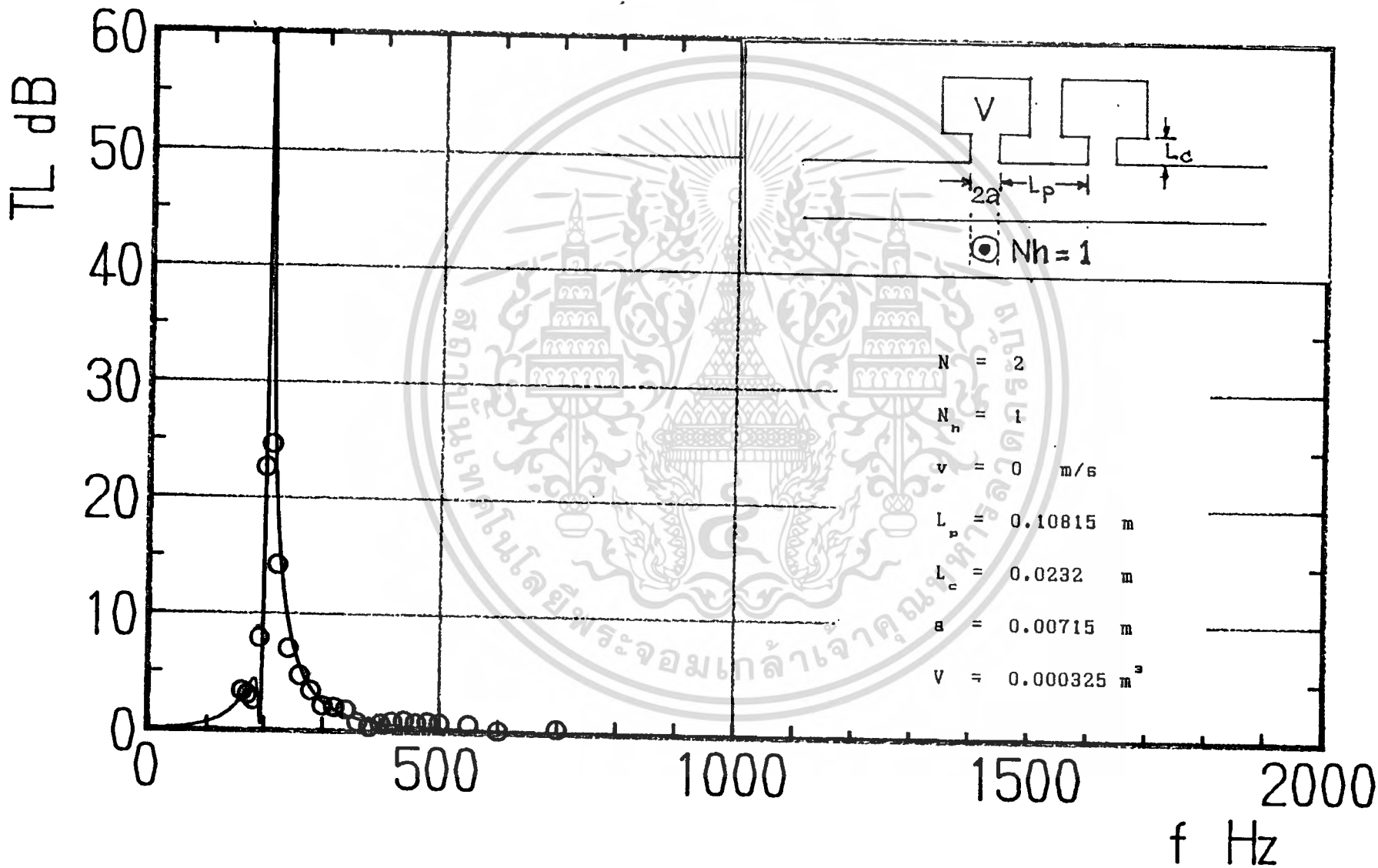


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.288	116.65	110.5	6.15	2.862
170	3.0632	132.3	126.46	5.84	2.7768
180	2.4719	124.62	119.59	5.03001	2.5581
190	7.965	124.65	112.15	12.5	4.535
200	22.6956	126.28	97.8	28.48	5.7844
210	24.568	126.4	96	30.4	5.832
220	14.24	120.67	101.07	19.6	5.36
240	7.014	122.58	111.25	11.33	4.316
260	4.7123	130.06	121.93	8.13	3.4177
280	3.3888	122.64	116.35	6.29	2.9012
300	2.126	122.72	118.26	4.46	2.334
320	2.09	125.37	120.97	4.4	2.31
340	1.79	127.94	124.04	3.9	2.11
360	.671495	121.84	119.73	2.10999	1.4385
380	.295801	121.72	121.21	.510002	.214201
400	.619499	121.43	119.4	2.03	1.4105
420	.8535	123.29	120.9	2.39	1.5365
440	.995001	118.48	116.65	1.83	.835001
460	.745001	119.51	118.18	1.33	.585001
480	.870001	118.53	116.95	1.58	.710001
500	.76	119.93	118.57	1.36	.6
550	.600001	118.13	117.09	1.04	.44
600	.150797	115.84	115.58	.259995	.109198
700	.319002	113.16	112.61	.550003	.231001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



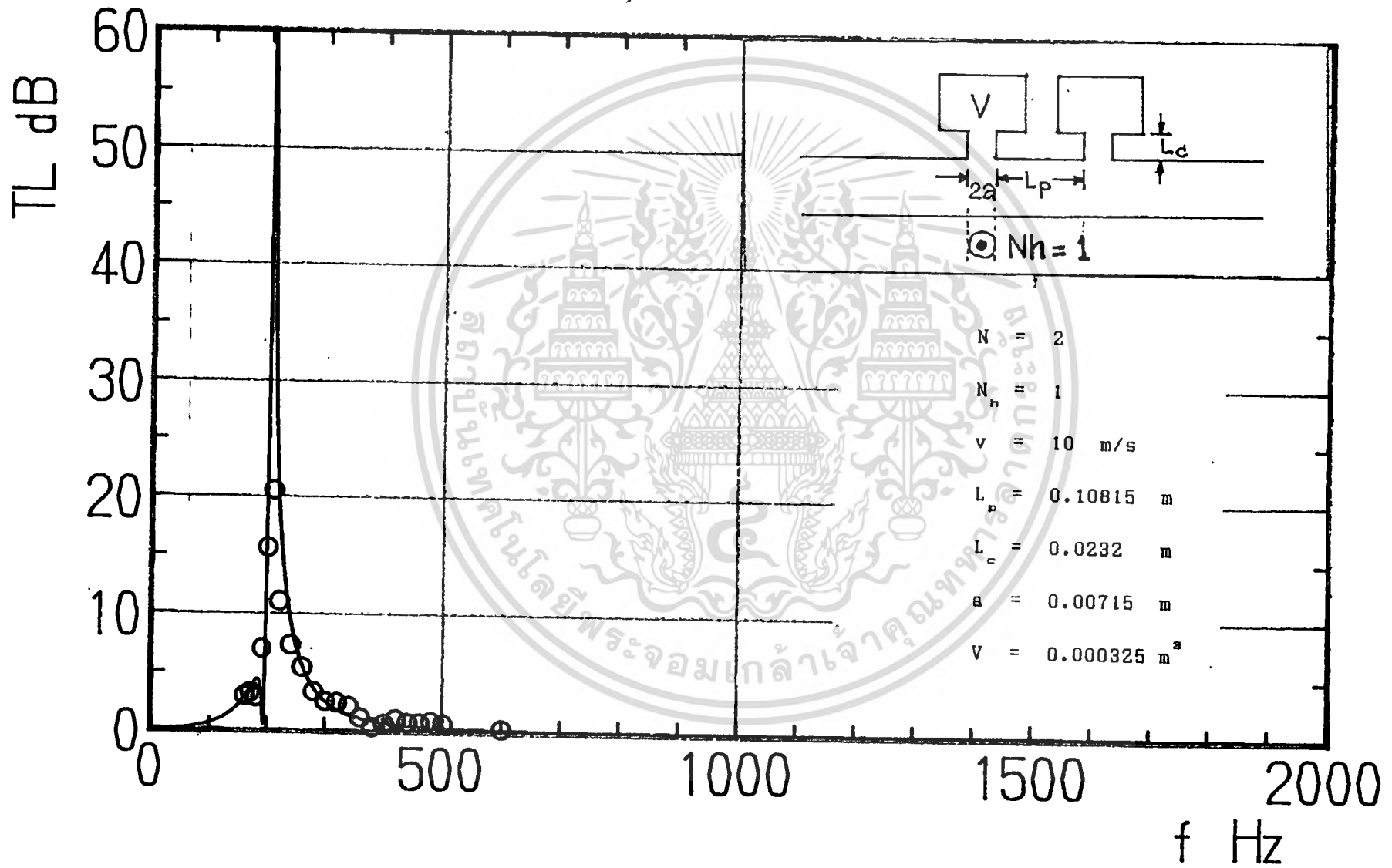
Helmholtz Resonator 1 ร 2 อัน

V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.9245	122.95	117.3	5.64999	2.7255
170	3.252	135.5	129.5	6.10001	2.848
180	2.8296	129.42	123.9	5.52	2.6904
190	6.99	127.78	116.48	11.3	4.31
200	15.577	131.49	110.46	21.03	5.453
210	20.494	122.6	96.4	26.2	5.706
220	11.04	135.69	119.59	16.1	5.06
240	7.286	130.77	119.1	11.67	4.384
260	5.423	124.5	115.35	9.15	3.727
280	3.288	133.12	126.97	6.14999	2.862
300	2.52299	132.43	127.33	5.09999	2.577
320	2.366	133.17	123.31	4.86	2.494
340	2.072	132.9	128.53	4.36999	2.293
360	1.055	133.29	130.59	2.7	1.645
380	.330595	131.54	130.97	.569992	.239397
400	.613003	132.19	130.17	2.02	1.407
420	1.0225	129.22	126.57	2.65	1.6275
440	.684493	132.12	129.99	2.12999	1.4455
460	.739996	130.51	129.19	1.31999	.579996
480	.76	123.03	121.67	1.36	.6
500	.612998	129.56	127.54	2.02	1.407
600	.191401	126	125.67	.330002	.138601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



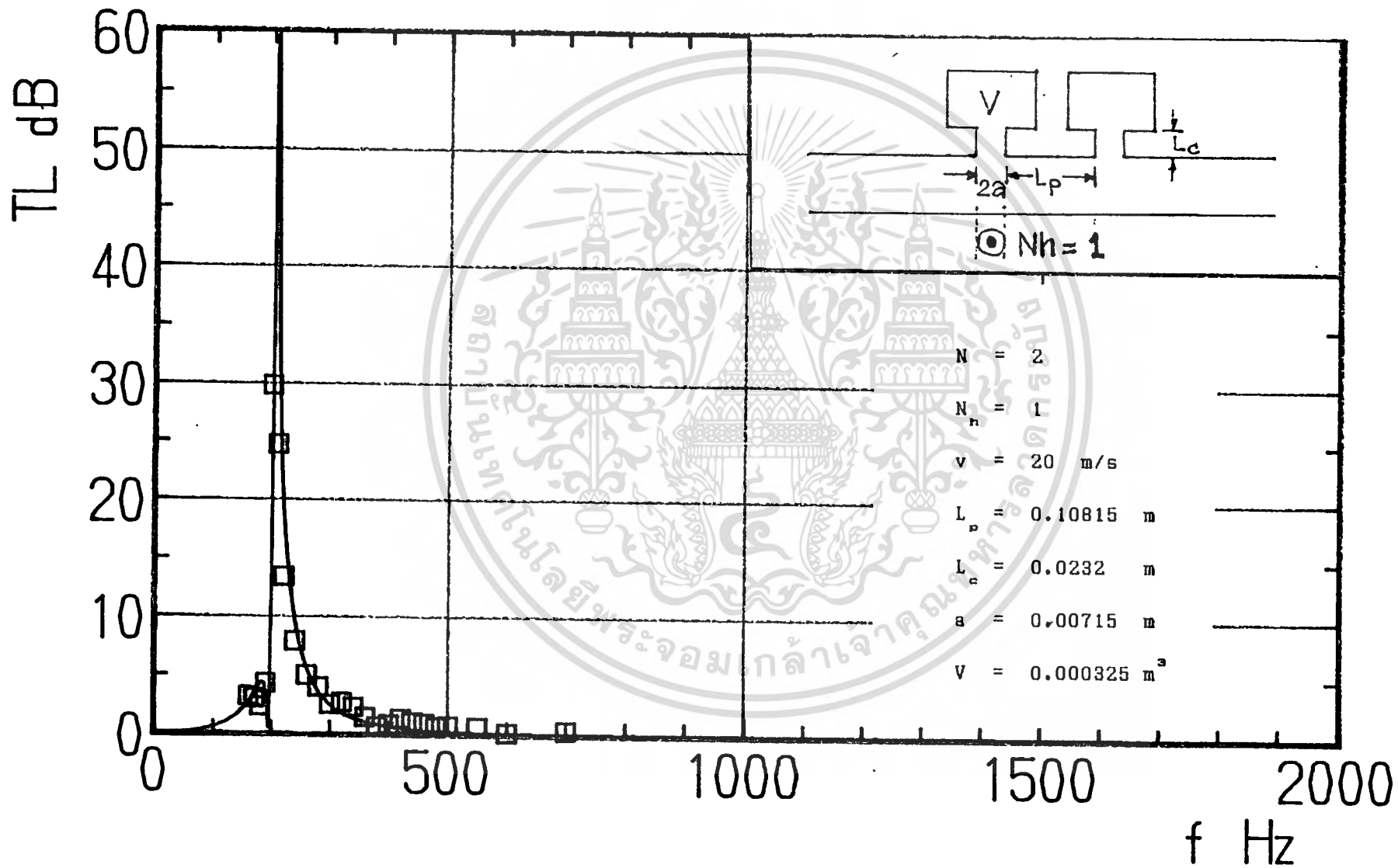
Helmholtz Resonator 1 ร 2 อัน

v = 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.18	120	114	6	2.82
170	3.034	134.7	128.9	5.8	2.766
180	2.33	128.8	124	4.8	2.47
190	4.332	126.3	118.7	7.50001	3.258
200	29.864	130.8	95	35.8	5.936
210	24.665	120.5	90	30.5	5.835
220	13.415	134.2	115.5	18.7	5.285
240	7.882	130.9	118.5	12.4	4.518
260	4.9963	120	111.47	8.53	3.5337
280	4.08	134.75	127.5	7.25	3.17
300	2.53761	131.07	125.95	5.12001	2.5824
320	2.742	128.4	123	5.39999	2.658
340	2.294	132.34	127.6	4.74	2.446
360	1.37	132.5	129.3	3.2	1.33
380	.594999	130.4	129.37	1.03	.434999
400	.801498	131.45	129.14	2.31	1.5085
420	1.358	131.4	128.22	3.17999	1.822
440	1.016	131.1	128.46	2.64	1.624
460	.950003	130.38	128.64	1.74001	.790003
480	.625001	121.56	119.52	2.04	1.414
500	.710504	128.69	126.52	2.17001	1.4595
550	.58	127.1	126.1	1	.42
600	.116003	124.4	124.2	.200005	.0840019
700	.318997	121.35	120.8	.549995	.230998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



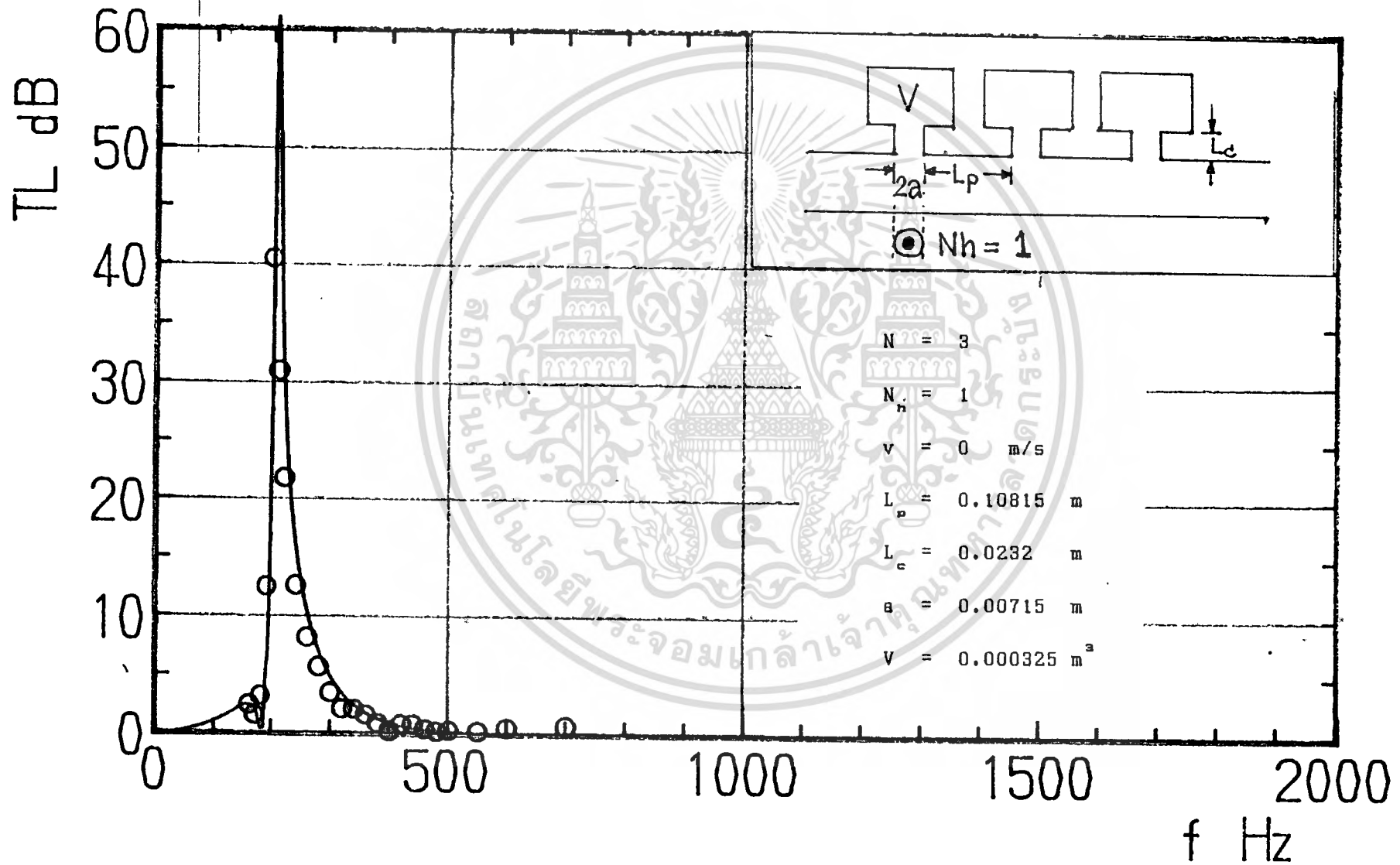
Helmholtz Resonator 1 ร 3 อัน

V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.432	117.65	112.68	4.97	2.538
170	1.502	128.32	124.9	3.42001	1.918
180	3.252	124.7	118.6	6.1	2.848
190	12.489	124.55	106.84	17.71	5.221
200	40.54	126.23	79.7	46.53	5.99
210	31.06	121.4	84.4	37	5.94
220	21.846	120.7	93.1	27.6	5.754
240	12.588	122.6	104.78	17.82	5.232
260	8.2472	131.8	118.96	12.84	4.5928
280	5.764	122.58	112.88	9.7	3.936
300	3.468	123.2	116.8	6.39999	2.932
320	2.186	126.33	121.77	4.56001	2.374
340	2.108	127.5	123.07	4.43	2.322
360	1.568	121.9	118.37	3.53	1.962
380	.944998	122.89	121.16	1.73	.784998
400	.2088	120.28	119.92	.360001	.1512
420	.875002	121.94	120.35	1.59	.715002
440	.799997	118.31	116.87	1.43999	.639997
460	.458201	119.72	118.93	.790001	.3318
480	.2494	117.4	116.97	.43	.1806
500	.342202	118.72	118.13	.590004	.247802
550	.243603	117.55	117.13	.420006	.176402
600	.533603	116.76	115.84	.920006	.386402
700	.680002	113.58	112.38	1.2	.520002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

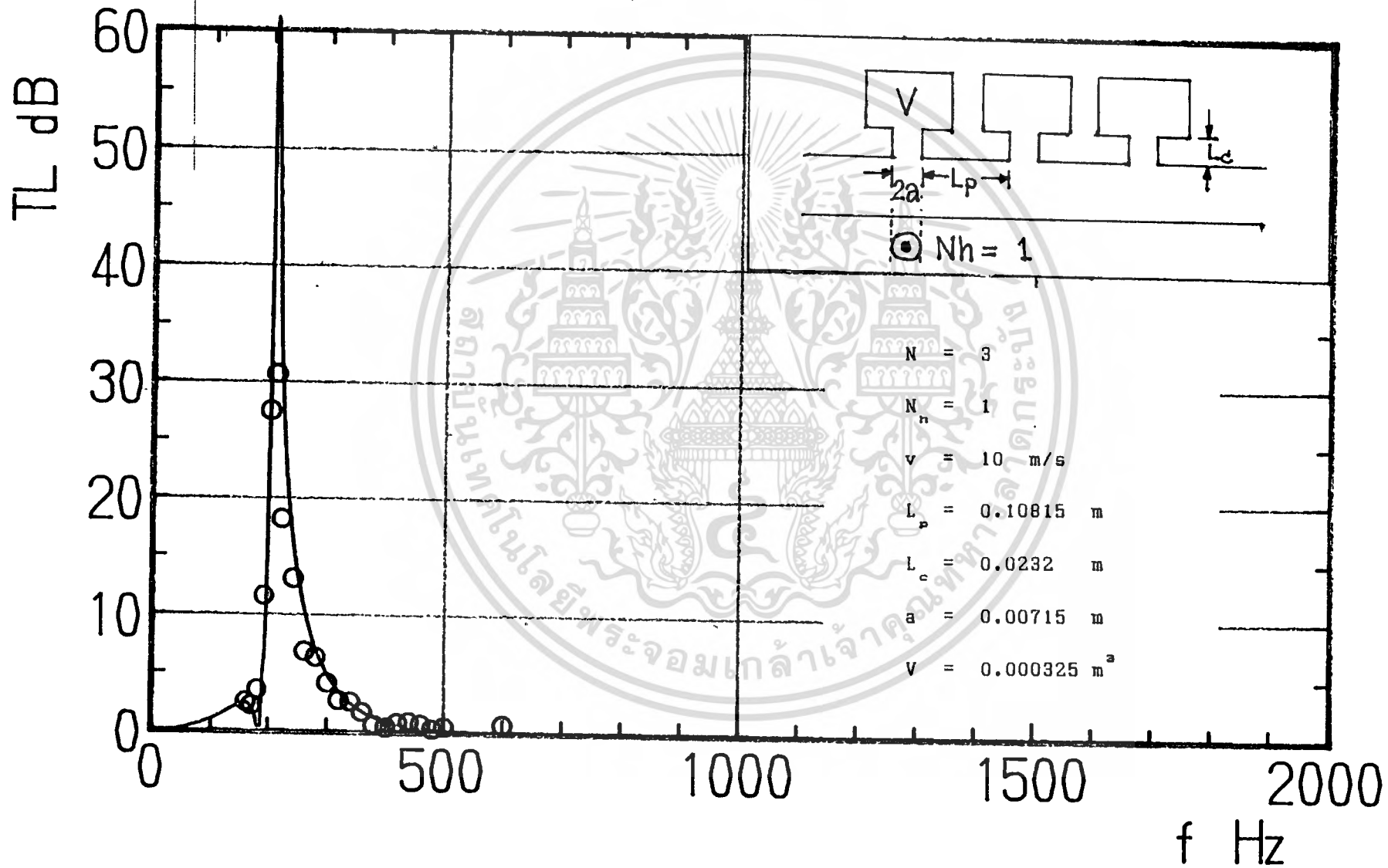


V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.45	123.8	118.8	5	2.55
170	2.186	132.5	127.94	4.56	2.374
180	3.5544	129.22	122.7	6.52	2.9656
190	11.625	127.45	110.7	15.75	5.125
200	27.4922	131.4	98.01	33.39	5.8978
210	30.72	122.71	86.05	36.66	5.94
220	18.2	135.85	112.05	23.8	5.6
240	13.13	130.97	112.57	18.4	5.27
260	6.974	121.84	110.56	11.28	4.306
280	6.454	133.69	123.06	10.63	4.176
300	4.188	133.9	126.5	7.39999	3.212
320	2.7055	132.57	127.22	5.35001	2.6445
340	2.5668	133.09	127.93	5.16	2.5932
360	1.682	134.28	130.56	3.72	2.038
380	.6	131.4	129.4	2	1.4
400	.435	131.62	130.87	.75	.315
420	.869997	128.48	126.9	1.57999	.709997
440	.964994	131.76	129.99	1.76999	.804995
460	.699995	130.43	129.19	1.23999	.539995
480	.377001	122.14	121.49	.650002	.273001
500	.568402	128.91	127.93	.980003	.411601
600	.734999	126.54	125.23	1.31999	.574999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

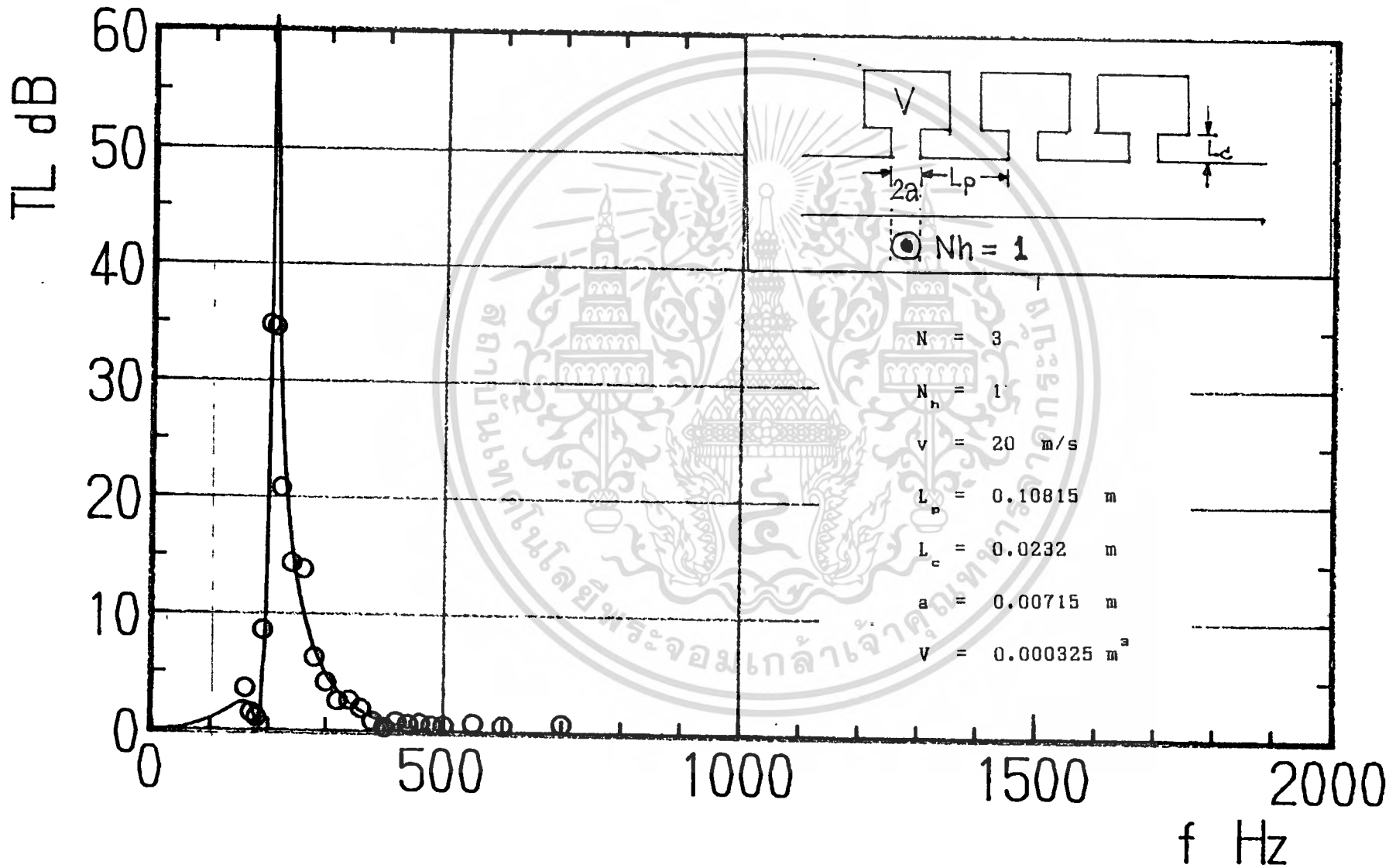


V = 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.648	120.45	113.8	6.64999	3.002
170	1.49	130.9	127.5	3.39999	1.91
180	1.12	128.4	125.6	2.8	1.68
190	8.641	126.3	113	13.3	4.659
200	34.812	130.8	90	40.8	5.988
210	34.5942	120.58	80	40.58	5.9858
220	20.8044	134.02	107.5	26.52	5.7156
240	14.42	131	111.2	19.8	5.38
260	13.97	120.5	101.2	19.3	5.33
280	6.31	134.3	124.35	10.45	4.14
300	4.224	132.35	124.9	7.45	3.226
320	2.5887	127.2	122.01	5.18999	2.5013
340	2.7201	132.5	127.13	5.37	2.6499
360	2.096	133.86	129.45	4.41	2.314
380	.951001	130.25	127.71	2.54	1.589
400	.463993	130.65	129.85	.799988	.335995
420	.904997	130.51	128.86	1.64999	.744997
440	.7625	130.5	128.25	2.25	1.4875
460	.880003	130.3	128.7	1.60001	.720003
480	.58	120.7	119.7	1	.42
500	.609999	127.64	126.58	1.06	.449999
550	.834997	126.63	125.12	1.50999	.674997
600	.644999	125.11	123.87	1.13	.484999
700	.879999	122	120.4	1.6	.719999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

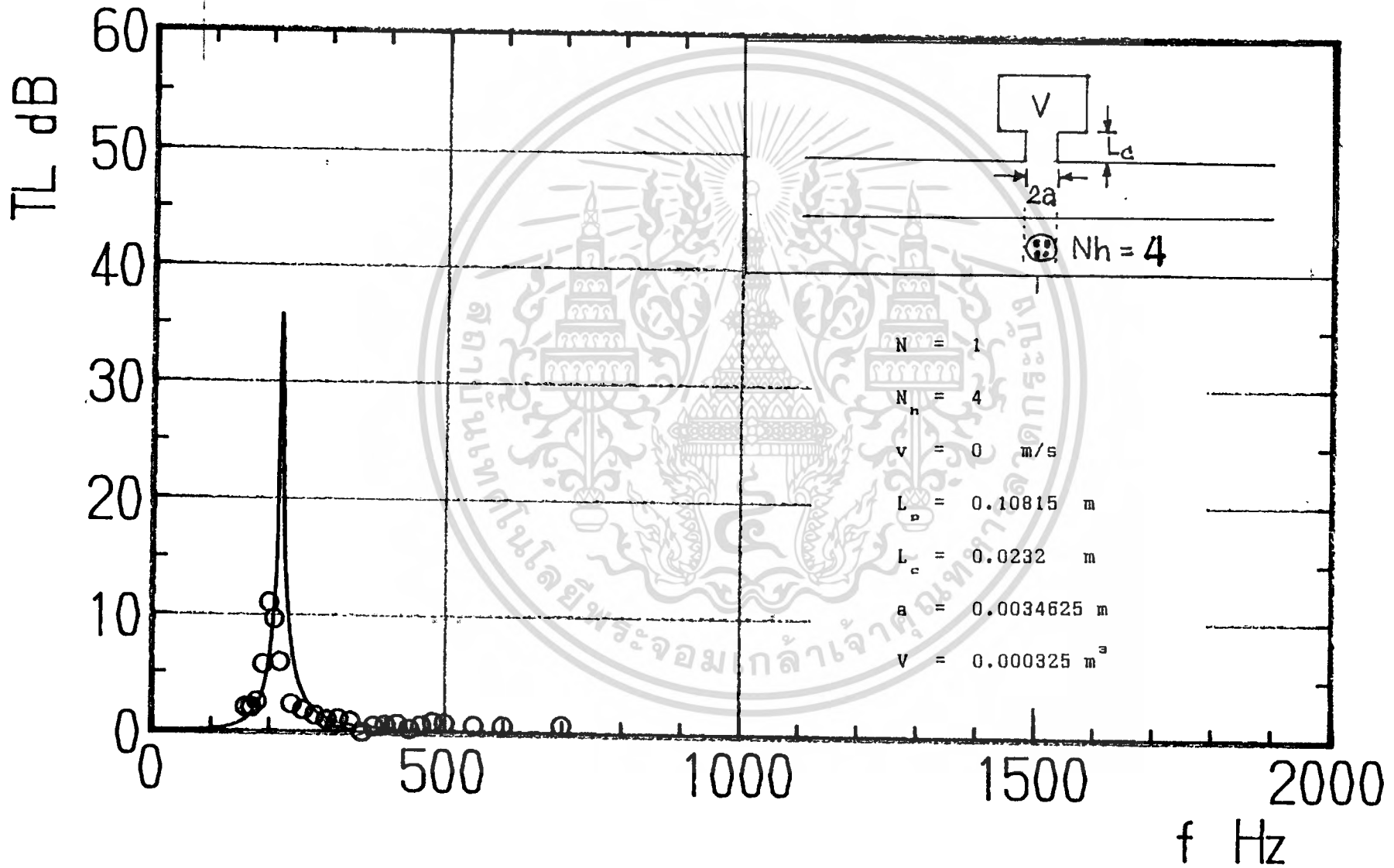


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.06	116.35	112	4.35	2.29
170	2.03	133.61	129.31	4.3	2.27
180	2.4719	125.21	120.18	5.03	2.5581
190	5.6896	124.38	114.8	9.57999	3.8904
200	11.04	126.38	110.28	16.1	5.06
210	9.6325	121.25	106.8	14.45	4.8175
220	5.9314	120.32	110.35	9.97	4.0386
240	2.318	121.7	116.92	4.78	2.462
260	1.772	126.19	122.32	3.87	2.098
280	1.418	122.58	119.3	3.28	1.862
300	1.0745	122.48	119.75	2.73	1.6555
320	1.1395	123.98	121.15	2.83	1.6905
340	.914999	125.92	124.25	1.67	.754999
360	-.634602	121.24	121.61	-.370003	.264599
380	.551003	122.01	121.06	.950005	.399002
400	.606501	120.85	118.84	2.01	1.4035
420	.789999	122.43	121.01	1.42	.629999
440	.3538	118.23	117.62	.610001	.2562
460	.660002	119.47	118.31	1.16	.500002
480	.940001	118.1	116.38	1.72	.780001
500	.790003	120.05	118.63	1.42001	.630003
550	.600001	117.83	116.79	1.04	.44
600	.67	117.13	115.95	1.18	.51
700	.720003	113.62	112.34	1.28001	.560003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



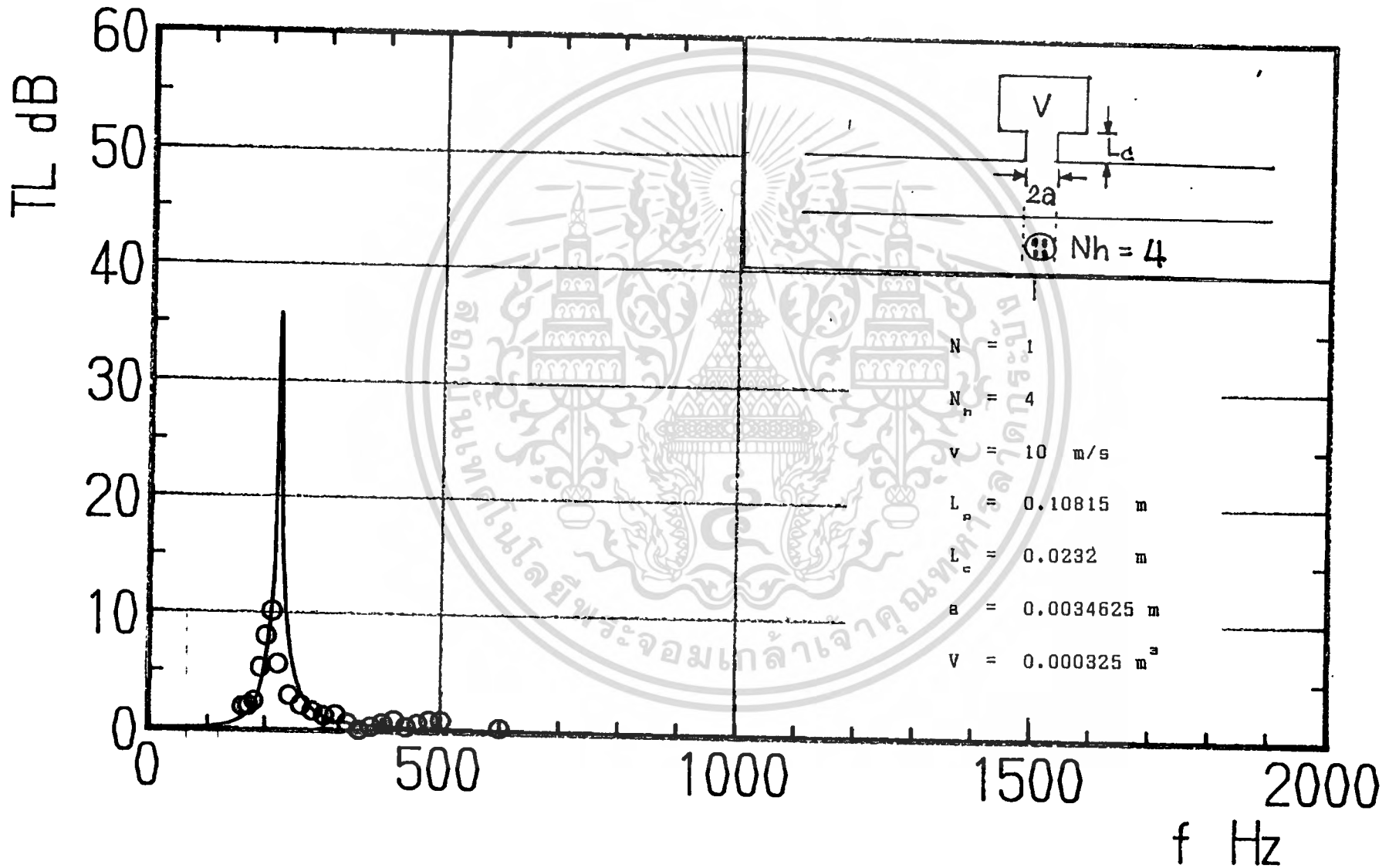
Helmholtz Resonator 4 รุ 1 อื่น

V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	1.91	122.7	118.6	4.1	2.19
170	2.084	136.36	131.97	4.39	2.306
180	2.45	129.7	124.7	5	2.55
190	5.3362	127.37	118.36	9.01	3.6738
200	8.0397	131.7	119.11	12.59	4.5503
210	10.1	122.42	107.42	15	4.9
220	5.6462	134.76	125.25	9.50999	3.8638
240	2.9099	130.5	124.87	5.63	2.7201
260	2.198	123.08	118.5	4.58	2.382
280	1.67599	133.76	130.05	3.70999	2.034
300	1.18501	130.94	128.04	2.90001	1.715
320	1.304	132.59	129.5	3.09	1.786
340	.652001	132.48	130.4	2.08	1.428
360	.0115936	130.37	130.35	.019989	8.39539E-03
380	.3712	132.67	132.03	.639999	.2688
400	.638998	132.42	130.36	2.06	1.421
420	.940001	128.25	126.53	1.72	.780001
440	.3538	131.63	131.02	.610001	.2562
460	.640005	130.71	129.59	1.12001	.480005
480	.929998	122.64	120.94	1.7	.769998
500	.9	129.93	128.29	1.64	.74
600	.359597	126.02	125.4	.619995	.260398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

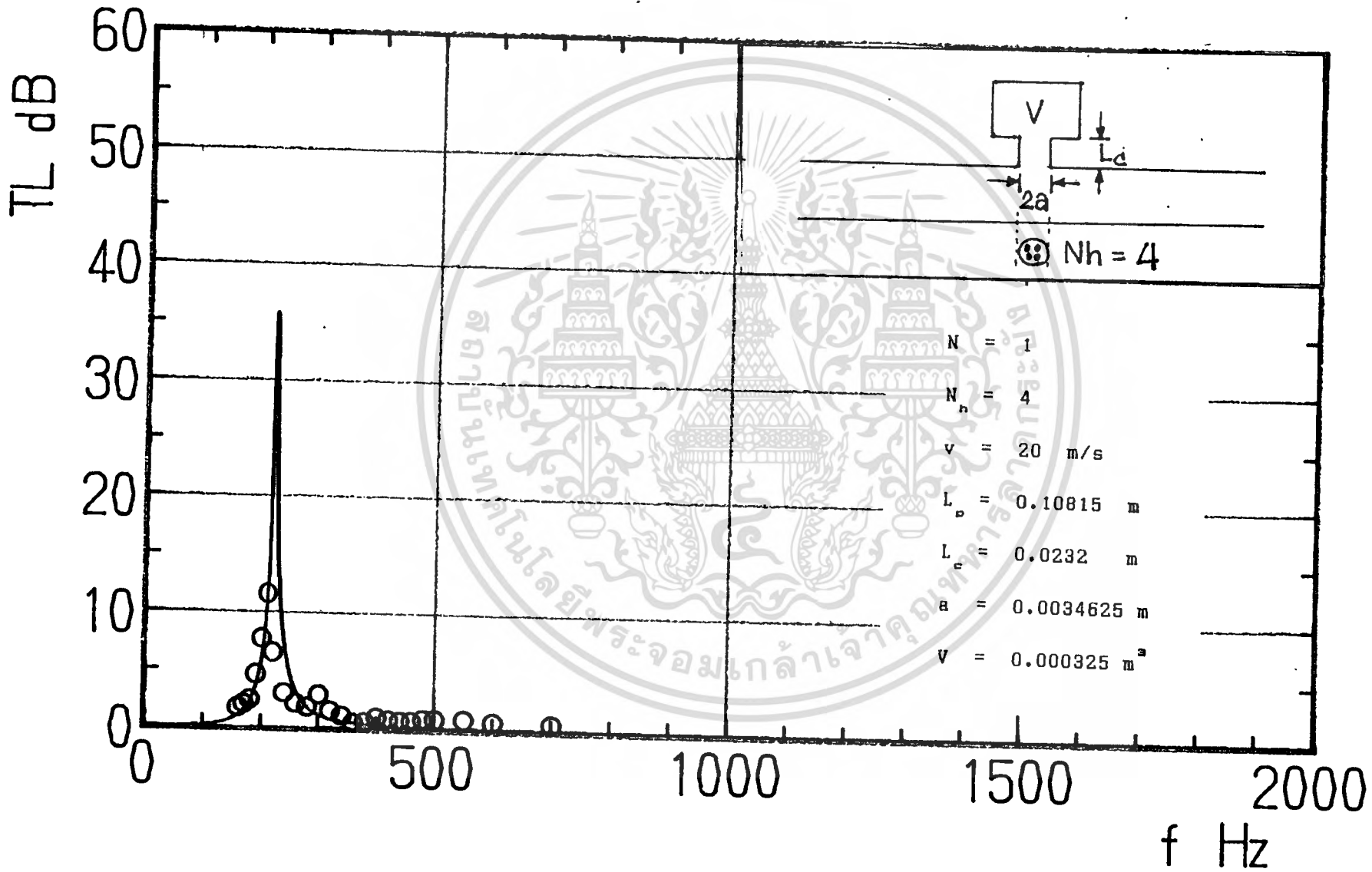


V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	1.73	122.5	118.7	3.8	2.07
170	2.048	135.7	131.37	4.33	2.282
180	2.45	130.8	125.8	5	2.55
190	4.62	127.3	119.3	8	3.38
200	7.7326	132.17	119.95	12.22	4.4874
210	11.553	121.17	104.5	16.67	5.117
220	6.55	133.5	122.75	10.75	4.2
240	3.0121	130.24	124.47	5.77	2.7579
260	2.174	118.92	114.38	4.54	2.366
280	1.85	134.2	130.2	4	2.15
300	2.9537	129.95	124.26	5.68999	2.7363
320	1.598	127.7	124.12	3.57999	1.982
340	1.12	132.2	129.4	2.8	1.68
360	.4988	130.1	129.24	.860001	.3612
380	.590002	131.2	130.18	1.02	.430002
400	1.02899	131.93	129.27	2.65999	1.631
420	.795002	130.5	128.2	2.3	1.505
440	.679998	130.4	129.2	1.2	.519998
460	.76	130.28	128.92	1.36	.6
480	.980001	120.9	119.1	1.8	.820002
500	.677997	128.92	126.8	2.12	1.442
550	.914999	127.79	126.12	1.67	.754999
600	.709997	125.2	123.94	1.25999	.549997
700	.58	121.37	120.37	1	.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

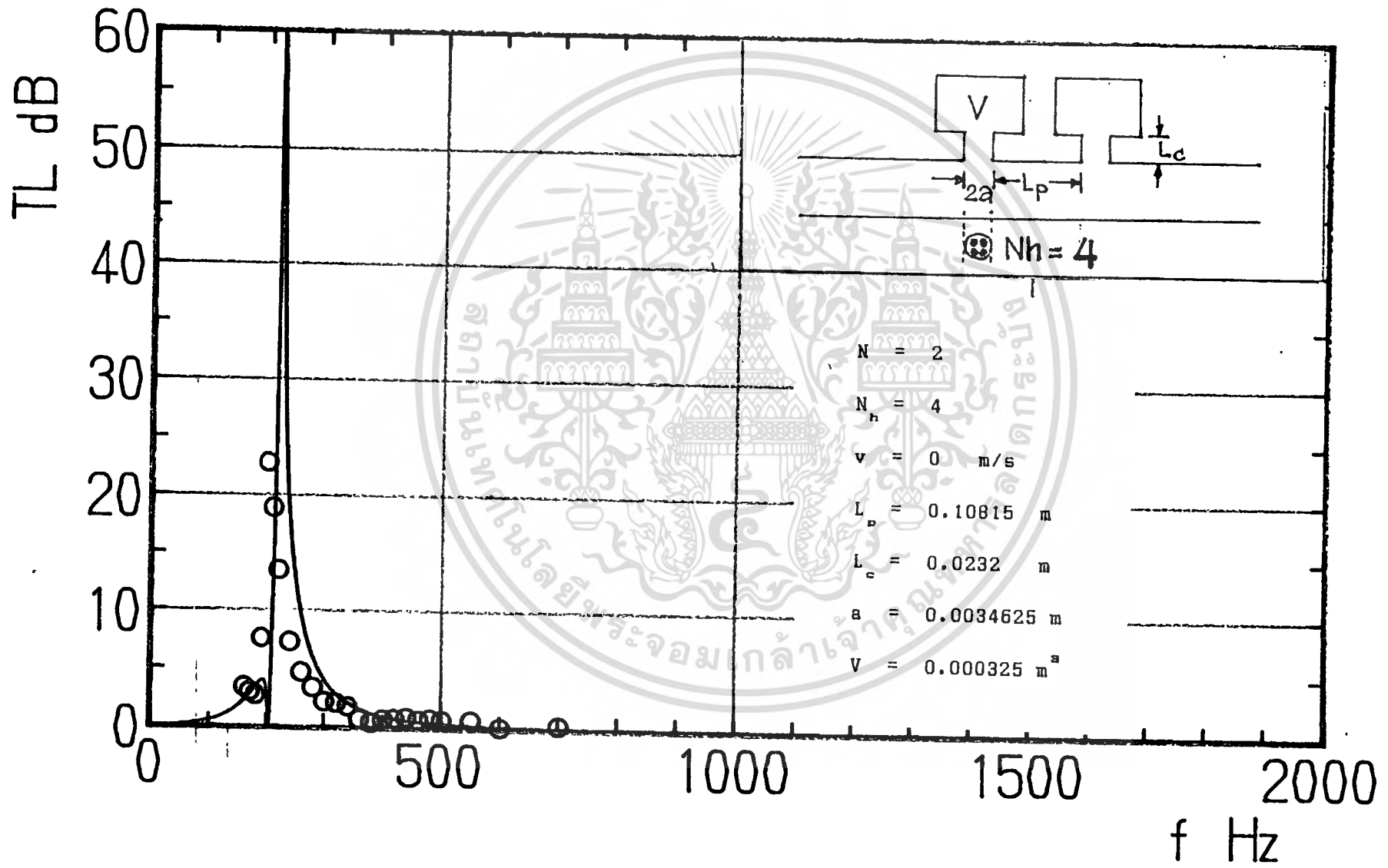


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.4392	116.82	110.46	6.36	2.9208
170	3.0413	132.32	126.51	5.81001	2.7687
180	2.6836	124.64	119.32	5.32	2.6364
190	7.6496	124.62	112.5	12.12	4.4704
200	22.8217	126.09	97.48	28.61	5.7883
210	18.9916	121.42	96.78	24.64	5.6484
220	13.5195	120.62	101.81	18.81	5.2905
240	7.318	122.5	110.79	11.71	4.392
260	4.76911	129.91	121.7	8.21001	3.4409
280	3.468	122.6	116.2	6.4	2.932
300	2.168	122.7	118.17	4.53	2.362
320	2.12	125.3	120.85	4.45	2.33
340	1.826	127.9	123.94	3.96	2.134
360	.703997	121.82	119.66	2.16	1.456
380	.452399	121.82	121.04	.779999	.327599
400	.664999	121.4	119.3	2.1	1.435
420	.866497	123.27	120.86	2.41	1.5435
440	.964998	118.49	116.72	1.77	.804998
460	.769999	119.45	118.07	1.38	.609999
480	.83	118.54	117.04	1.5	.67
500	.74	119.92	118.6	1.32	.58
550	.705	118.2	116.95	1.25	.545
600	.162404	115.8	115.52	.280006	.117603
700	.278402	113.08	112.6	.480003	.201601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

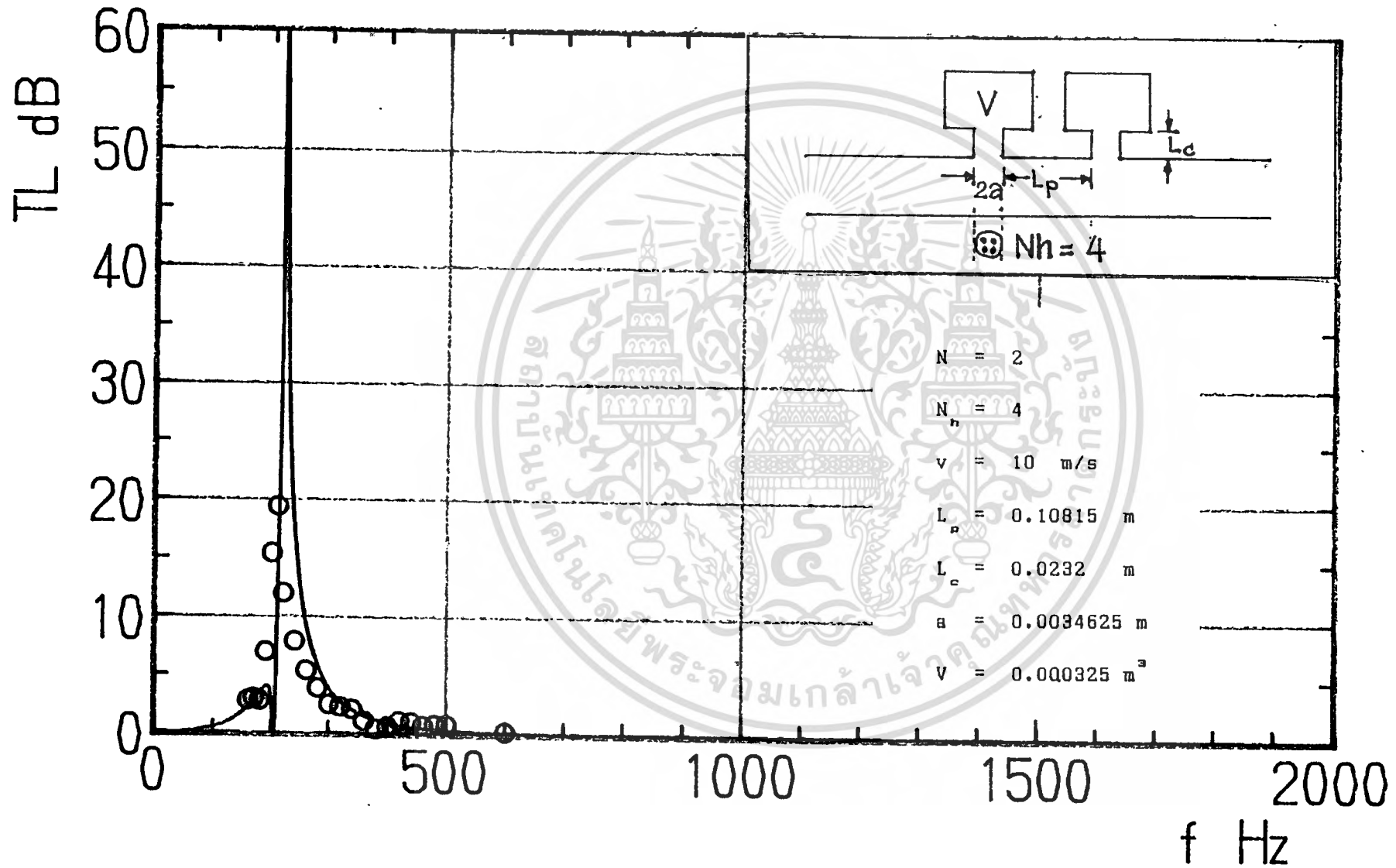


V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.815	123	117.5	5.5	2.685
170	3.07049	135.4	129.55	5.84999	2.7795
180	2.8588	129.46	123.9	5.56001	2.7012
190	6.998	127.76	116.45	11.31	4.312
200	15.436	131.56	110.68	20.88	5.444
210	19.4367	122.5	97.39	25.11	5.6733
220	12.075	136	118.75	17.25	5.175
240	7.98991	131.05	118.52	12.53	4.5401
260	5.423	123.76	114.61	9.15	3.727
280	3.972	134.1	127	7.10001	3.128
300	2.5376	132.35	127.23	5.12	2.5824
320	2.366	133.12	128.26	4.86	2.494
340	2.168	132.99	128.46	4.53	2.362
360	1.146	133.3	130.46	2.84	1.694
380	.458196	131.7	130.91	.789993	.331797
400	.626006	132.19	130.15	2.04001	1.414
420	1.1005	129.28	126.51	2.77	1.6695
440	1.04	132.2	130.28	1.92	.879999
460	.709997	130.53	129.27	1.25999	.549997
480	.83	123.1	121.6	1.5	.67
500	.849997	129.64	128.1	1.53999	.689997
600	.214602	125.94	125.57	.370003	.155401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

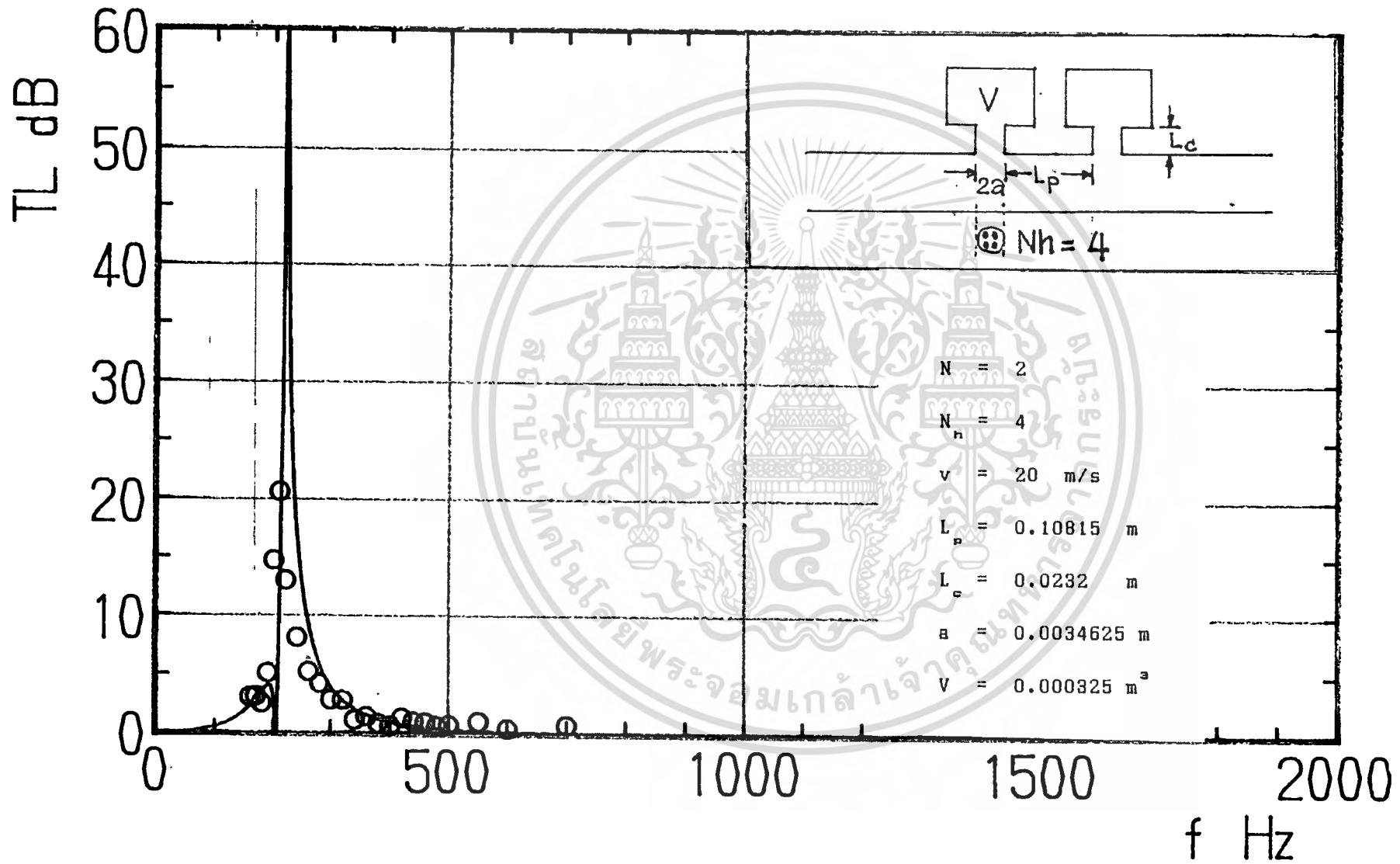


V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.0121	122.27	116.5	5.77	2.7579
170	3.0924	135.42	129.54	5.88	2.7876
180	2.52299	129.9	124.8	5.09999	2.577
190	5.1028	127.54	118.86	8.68	3.5772
200	14.771	131.98	111.8	20.18	5.409
210	20.591	121.3	95	26.3	5.709
220	13.035	134.7	116.4	18.3	5.265
240	8.131	130.72	118.02	12.7	4.569
260	5.2448	120.2	111.32	8.88	3.6352
280	4.188	134.8	127.4	7.4	3.212
300	2.7858	131.07	125.61	5.46001	2.6742
320	2.815	128.5	123	5.5	2.685
340	1.12	132.2	129.4	2.8	1.68
360	1.484	132.5	129.11	3.39	1.906
380	.755003	130.5	129.15	1.35001	.595003
400	.619499	131.05	129.02	2.03	1.4105
420	1.29799	131.29	128.21	3.07999	1.78199
440	1.081	131.14	128.4	2.74001	1.659
460	.964994	130.34	128.57	1.76999	.804995
480	.658498	121.59	119.5	2.09	1.4315
500	.736499	128.72	126.51	2.21	1.4735
550	1.03	127.92	126.02	1.9	.870001
600	.440801	124.76	124	.760002	.319201
700	.594999	121.53	120.5	1.03	.434999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

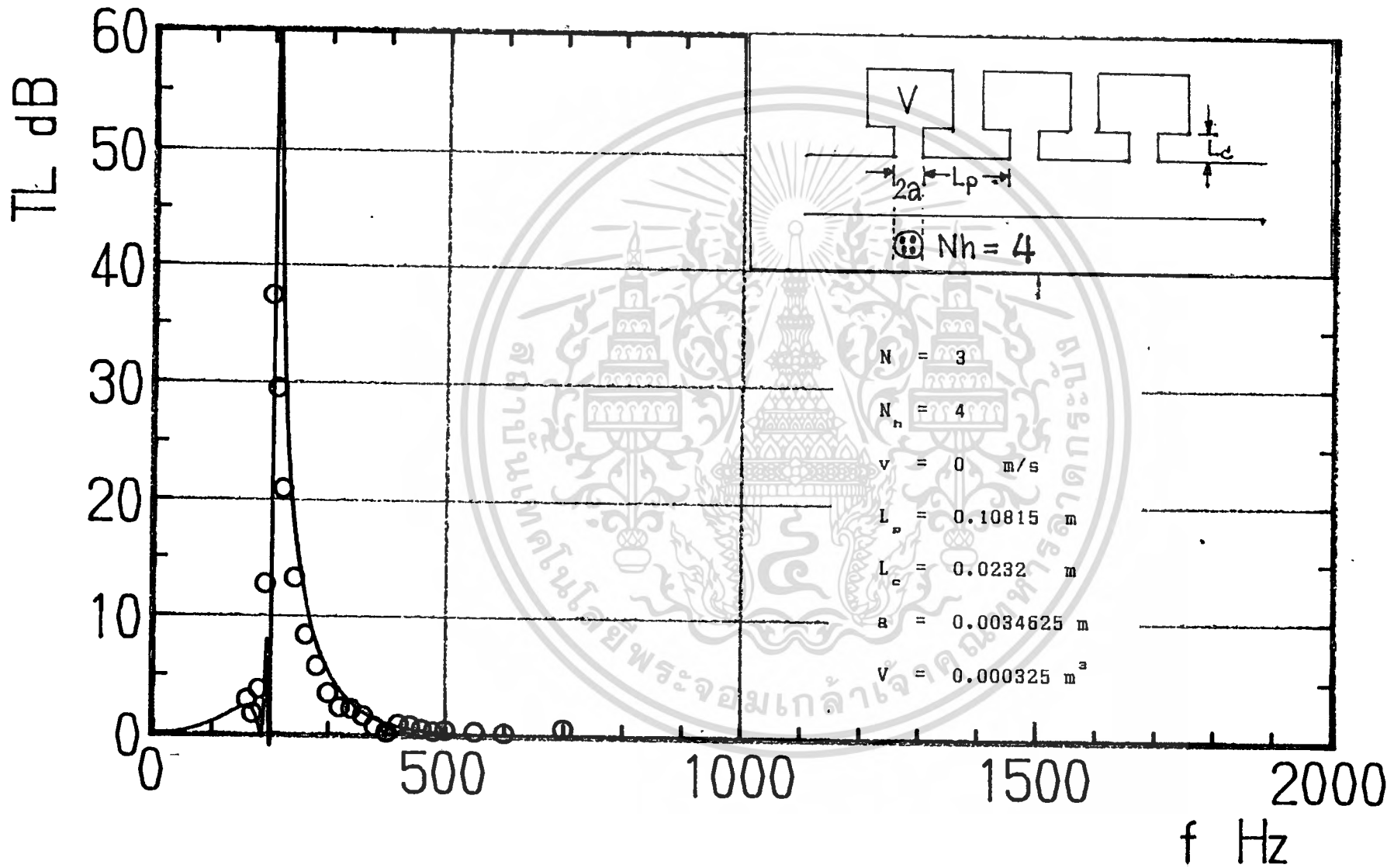


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.8807	117.63	112.04	5.59	2.7093
170	1.694	128.46	124.72	3.74001	2.046
180	3.7992	124.74	117.88	6.86	3.0608
190	12.705	124.49	106.54	17.95	5.245
200	37.37	126.06	82.7	43.36	5.99
210	29.521	121.45	86	35.45	5.929
220	20.9208	120.64	94	26.64	5.7192
240	13.1775	122.61	104.16	18.45	5.2725
260	8.38001	131.6	118.6	13	4.62
280	5.8074	122.53	112.76	9.77	3.9626
300	3.5544	123.15	116.63	6.52	2.9656
320	2.288	126.23	121.5	4.73	2.442
340	2.246	127.5	122.84	4.66	2.414
360	1.646	121.89	118.23	3.66	2.014
380	.710001	122.8	121.54	1.26	.550001
400	.1856	120.2	119.88	.32	.1344
420	.905001	121.93	120.28	1.65	.745001
440	.85	118.24	116.7	1.54	.69
460	.510403	119.65	118.77	.880005	.369602
480	.347999	117.42	116.82	.599998	.251999
500	.382798	118.78	118.12	.659996	.277198
550	.3306	117.55	116.98	.57	.2394
600	.624998	116.85	115.76	1.09	.464998
700	.685	113.64	112.43	1.21	.525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

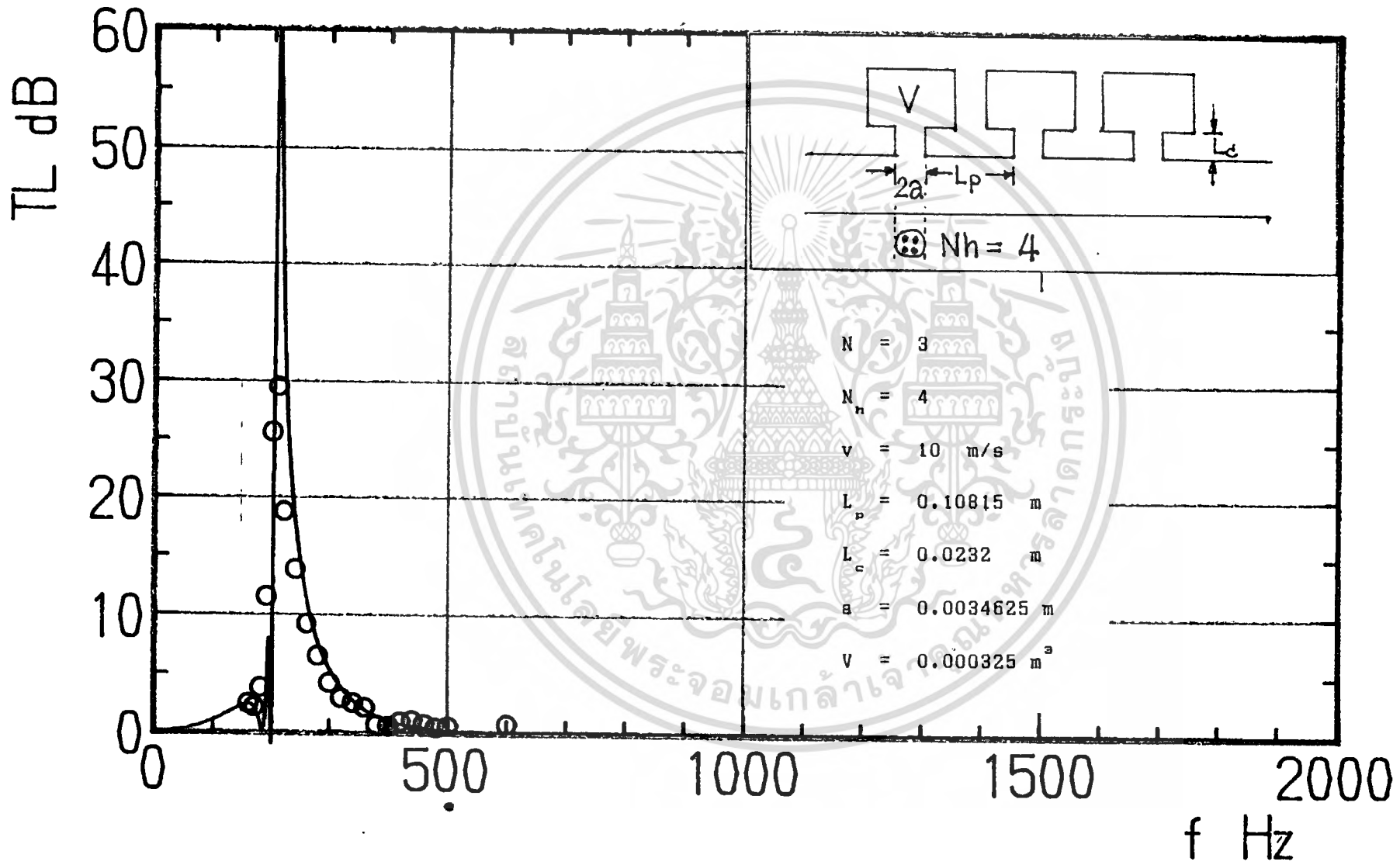


V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
150	2.39	123.7	118.8	4.89999	2.51
170	2.054	132.04	127.7	4.34	2.286
180	3.828	129.3	122.4	6.9	3.072
190	11.517	127.43	110.85	16.63	5.113
200	25.591	131.47	100.02	31.45	5.859
210	29.4524	122.4	87.02	35.38	5.9276
220	18.7096	136.12	111.78	24.34	5.6304
240	13.808	131.12	112	19.12	5.312
250	9.2239	123.94	109.97	13.97	4.7461
280	6.494	134.16	123.48	10.68	4.186
300	4.22399	133.68	126.23	7.44999	3.226
320	2.9026	132.72	127.1	5.52	2.7174
340	2.5668	132.95	127.79	5.16	2.5932
360	2.09001	134.6	130.2	4.40001	2.31
380	.664994	131.4	129.3	2.09999	1.435
400	.504597	131.62	130.75	.869995	.365398
420	.909998	128.54	126.88	1.66	.749998
440	1.01501	131.32	129.95	1.87001	.855005
460	.739996	130.42	129.1	1.31999	.579996
480	.394396	122.09	121.41	.679993	.285597
500	.493004	128.8	127.95	.850006	.357003
500	.705	126.45	125.2	1.25	.545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



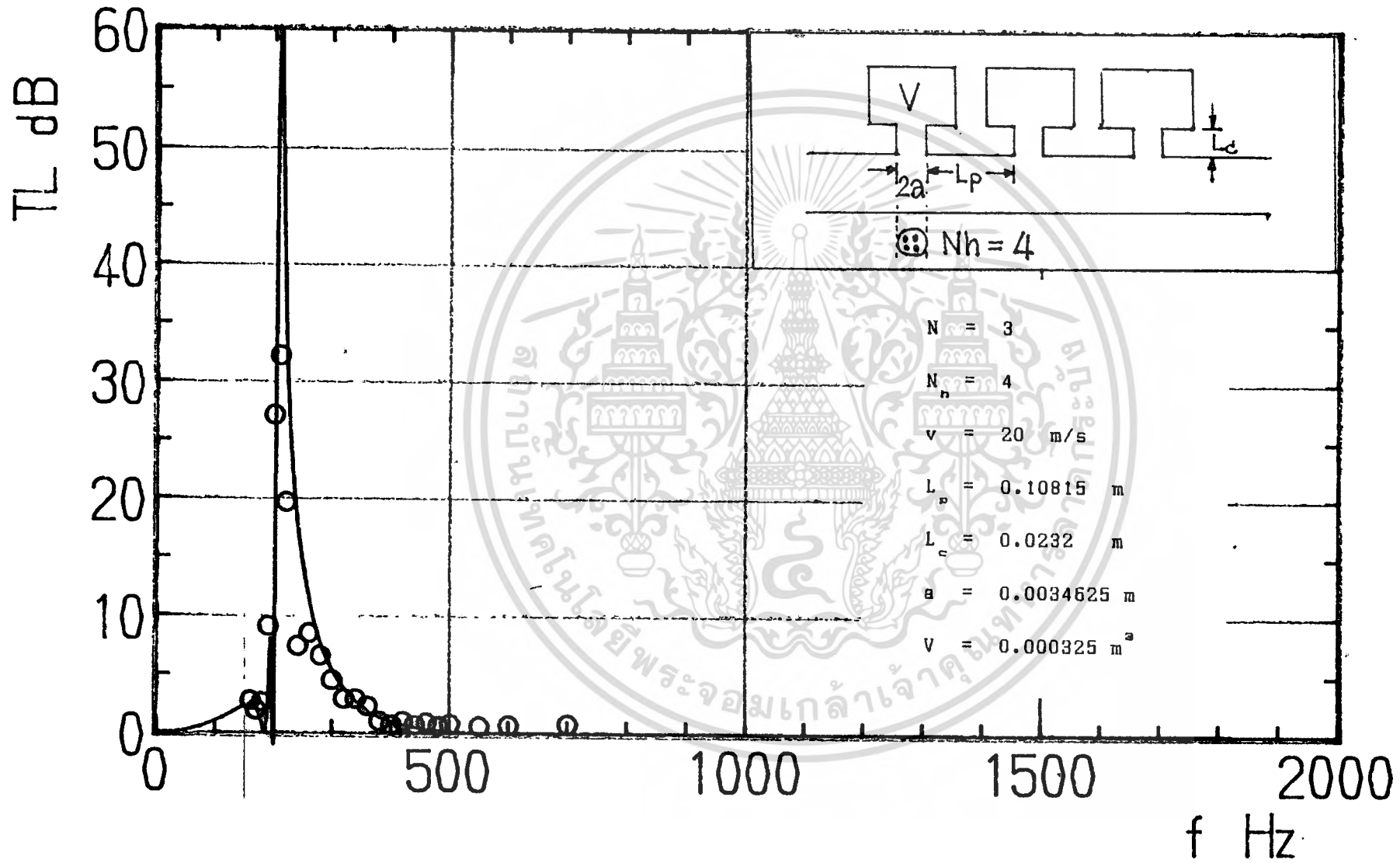
Helmholtz Resonator 4 ร 3 อัน

V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.742	122.9	117.5	5.4	2.658
170	1.97	131.7	127.5	4.2	2.23
180	2.596	129.6	124.4	5.2	2.604
190	9.1195	127.35	113.5	13.85	4.7305
200	27.0806	131.97	99	32.97	5.8894
210	32.1885	121.15	83	38.15	5.9615
220	19.5725	134.58	109.33	25.25	5.6775
240	7.414	130.8	118.97	11.83	4.416
260	8.5801	120.57	107.34	13.23	4.6499
280	6.574	134.88	124.1	10.78	4.206
300	4.5336	132.23	124.35	7.88	3.3464
320	2.9902	127.74	122	5.74	2.7498
340	2.9026	132.42	126.8	5.61999	2.7174
360	2.32999	133.9	129.1	4.79999	2.47
380	1.068	130.37	127.65	2.71999	1.652
400	.695005	130.77	129.54	1.23001	.535006
420	1.05	130.5	128.56	1.94	.890001
440	.664994	130.4	128.3	2.09999	1.435
460	.980001	130.2	128.4	1.8	.820002
480	.58	120.7	119.7	1	.42
500	.779997	127.7	126.3	1.39999	.619997
550	.58	126.8	125.8	1	.42
600	.729998	125.2	123.9	1.3	.569998
700	.83	122	120.5	1.5	.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



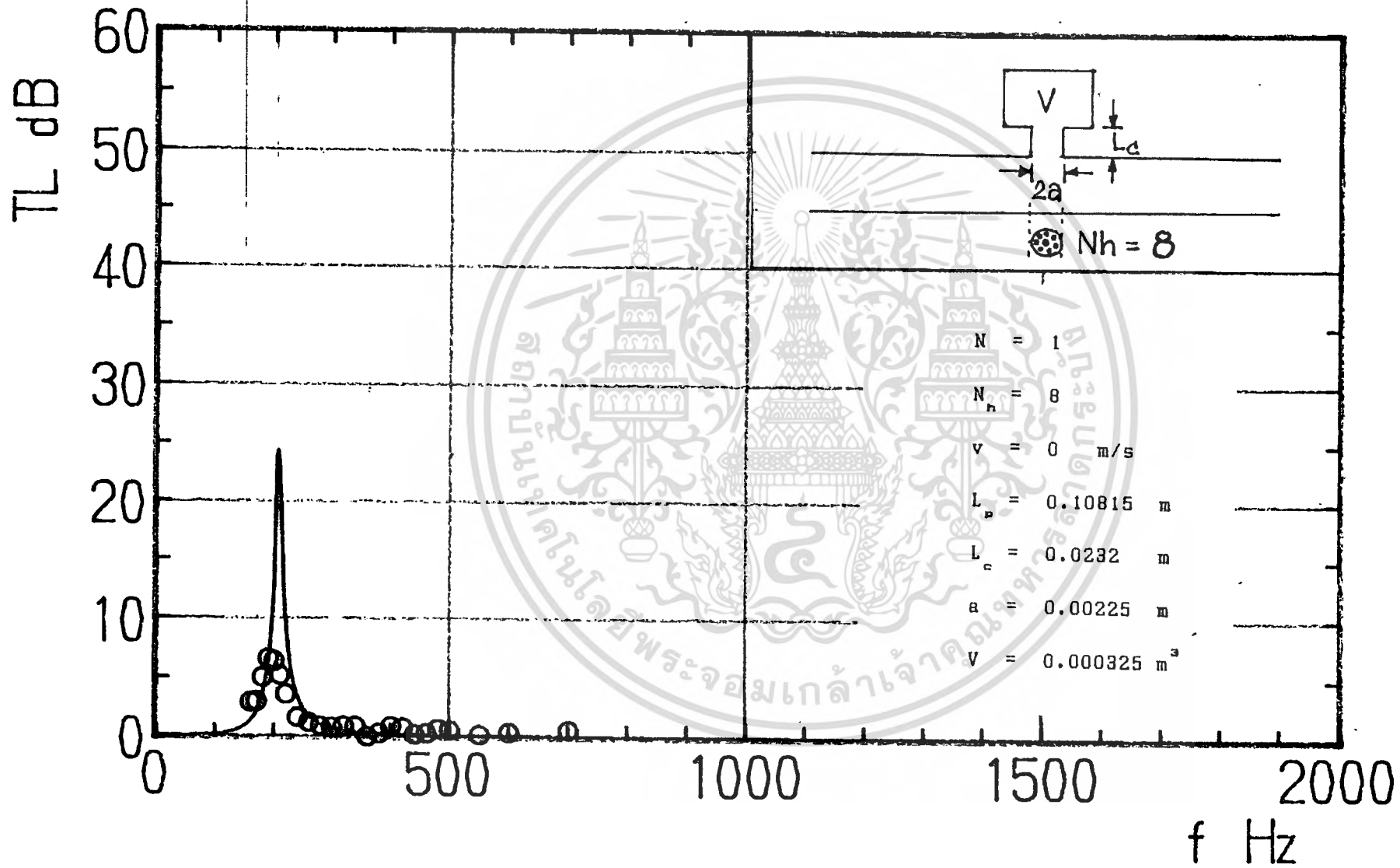
Helmholtz Resonator 8 รุ 1 อ้น

V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.9099	116.42	110.79	5.63	2.7201
170	2.9537	133.45	127.76	5.68999	2.7363
180	5.0815	125.01	116.36	8.65	3.5685
190	6.59	125.52	114.72	10.8	4.21
200	6.37401	127.05	116.52	10.53	4.156
210	5.2093	120.98	112.15	8.83	3.6207
220	3.6768	128.85	122.16	6.69	3.0132
240	1.616	125.41	121.8	3.61	1.994
260	1.211	116.36	113.42	2.94	1.729
280	.944494	128.51	125.98	2.52999	1.5855
300	.840497	125.13	122.76	2.37	1.5295
320	.8535	127.18	124.79	2.39	1.5365
340	.924997	128.01	126.32	1.68999	.764997
360	-.576602	124.56	124.83	-.270004	.306598
380	.347999	127.5	126.9	.599998	.251999
400	.965002	127.97	126.2	1.77	.805002
420	.895002	123.47	121.84	1.63	.735002
440	.232001	126.8	126.4	.400002	.168001
460	.278402	125.4	124.92	.480003	.201601
480	.780001	116.9	115.5	1.4	.620001
500	.859999	125.06	123.5	1.56	.699999
550	.173997	124.2	123.9	.299995	.125998
600	.464002	121	120.2	.800003	.336001
700	.629999	120.6	119.5	1.1	.469999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



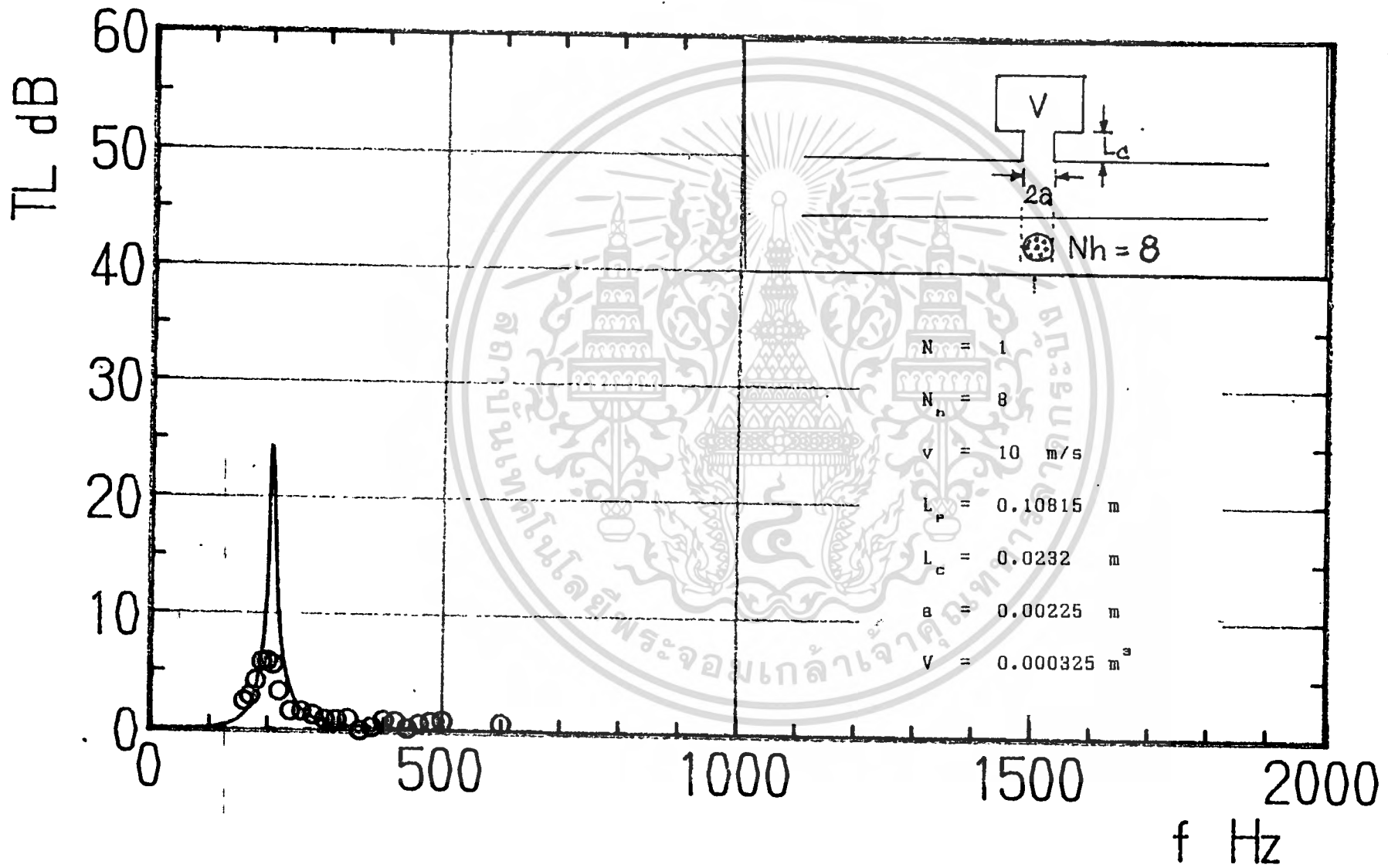
Helmholtz Resonator 8 รู 1 อัน

V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.39	122.6	117.7	4.9	2.51
170	2.86609	136.2	130.63	5.56999	2.7039
180	4.188	129.7	122.3	7.39999	3.212
190	5.8756	128.38	118.5	9.88001	4.0044
200	1.005	121.85	120	1.85	.844999
210	5.5966	121.9	112.47	9.43	3.8334
220	3.288	133.5	127.35	6.15	2.862
240	1.64	130.25	126.6	3.65	2.01
260	1.64	122.55	118.9	3.65	2.01
280	1.346	133.46	130.3	3.16	1.814
300	.892498	130.75	128.3	2.45	1.5575
320	.970495	132.15	129.58	2.56999	1.5995
340	1.07	132.5	130.52	1.98	.909998
360	-.576594	129.88	130.15	-.269989	.306605
380	.260998	132.58	132.13	.449997	.188999
400	.959997	132.36	130.6	1.75999	.799997
420	.805002	128.08	126.63	1.45	.645002
440	.249405	131.38	130.95	.430008	.180603
460	.58	130.63	129.63	1	.42
480	.879999	122.65	121.05	1.6	.719999
500	.930006	129.82	128.12	1.70001	.770006
600	.694998	126.63	125.4	1.23	.534998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

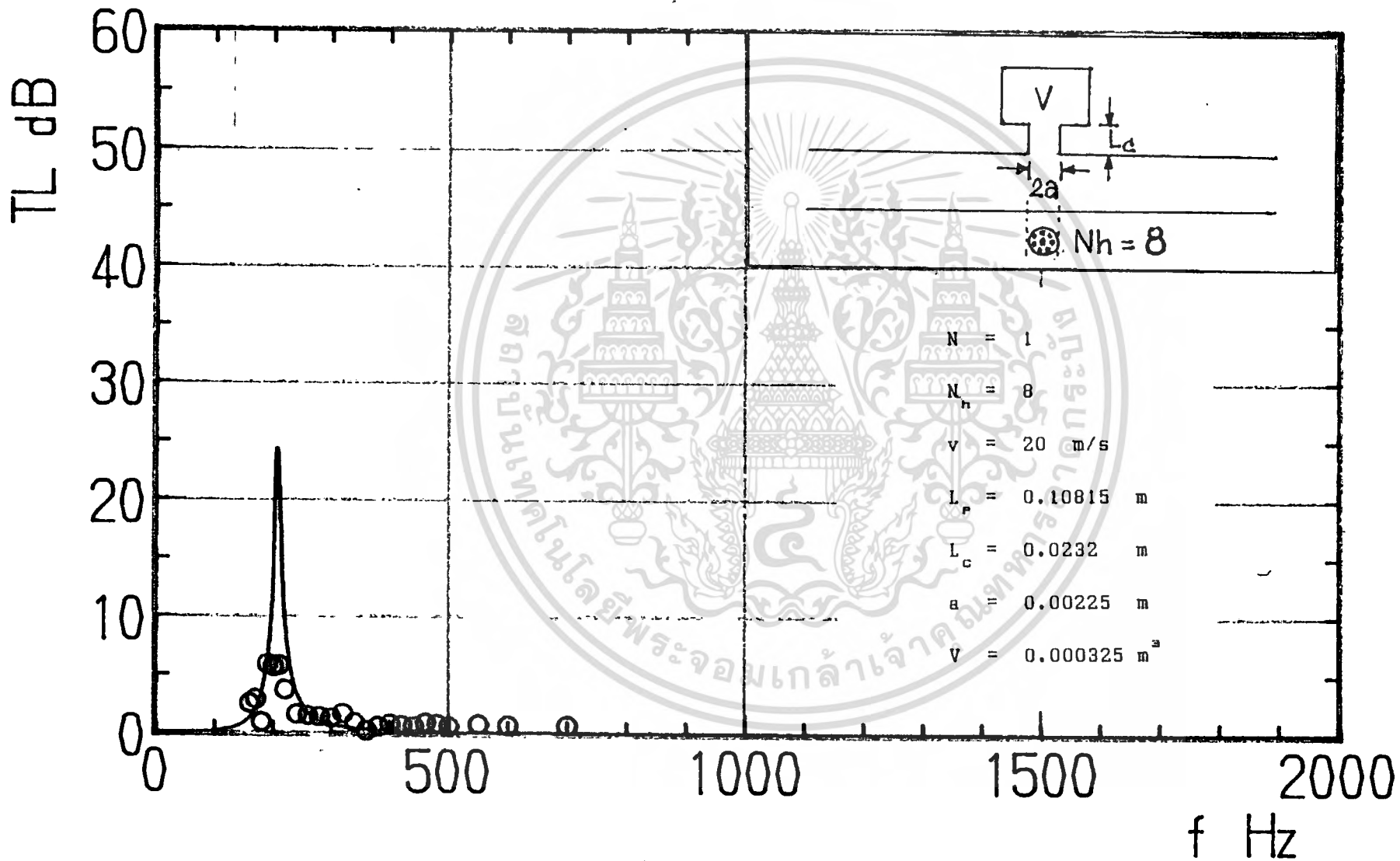


V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.45	121.5	116.5	5	2.55
170	2.90261	135.82	130.2	5.62001	2.7174
180	.918499	130.09	127.6	2.49	1.5715
190	5.958	128.37	118.36	10.01	4.052
200	5.764	131.4	121.7	9.7	3.936
210	5.8384	120.32	110.5	9.82	3.9816
220	3.7344	132.6	125.83	6.77	3.0356
240	1.688	129.53	125.8	3.73	2.042
260	1.61	118.08	114.48	3.6	1.99
280	1.466	133.46	130.1	3.36	1.894
300	1.25	129.8	126.8	3	1.75
320	1.688	128.23	124.5	3.73	2.042
340	.938003	132	129.48	2.52	1.582
360	.202995	129.7	129.35	.349991	.146996
380	.629995	131.15	130.05	1.09999	.469995
400	.814501	131.85	129.52	2.33	1.5155
420	.697506	130.3	128.15	2.15001	1.4525
440	.639998	130.22	129.1	1.12	.479998
460	.959997	130.12	128.36	1.75999	.799997
480	.824999	120.7	119.21	1.49	.664999
500	.606506	128.82	126.81	2.01001	1.4035
550	.83	127.7	126.2	1.5	.67
600	.754999	125.1	123.75	1.35	.594999
700	.680002	121.97	120.77	1.2	.520002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

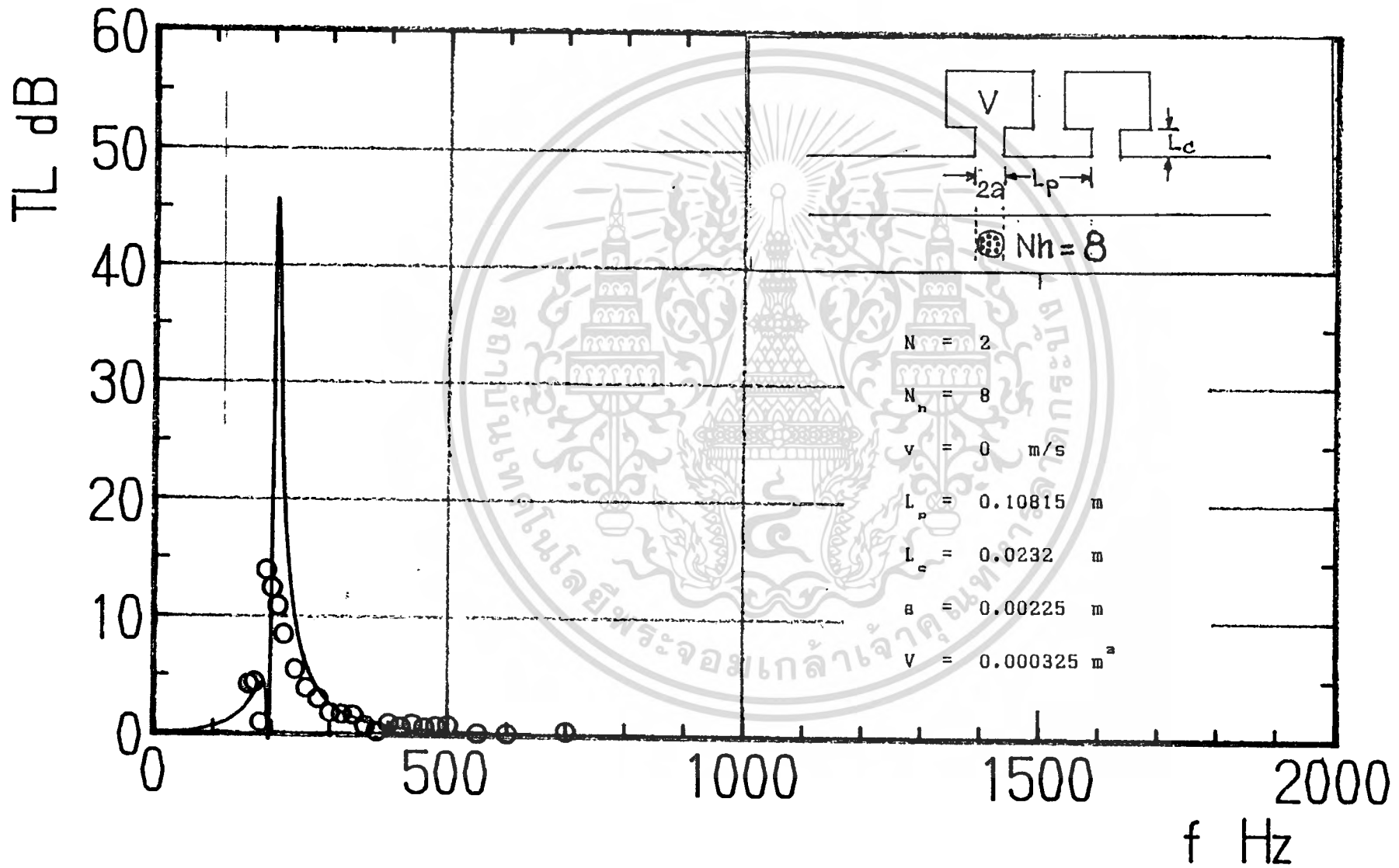


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	4.224	117.01	109.56	7.45	3.226
170	4.4112	131.91	124.2	7.71001	3.2988
180	.860001	124.72	122.32	2.4	1.54
190	13.889	125.93	106.72	19.21	5.321
200	12.399	127.83	110.22	17.61	5.211
210	10.9245	121.22	105.25	15.97	5.0455
220	8.49311	130.6	117.47	13.13	4.6369
240	5.4912	126.28	117.02	9.26	3.7688
260	3.8928	116.87	109.88	6.99001	3.0972
280	3.0121	128.74	122.97	5.77	2.7579
300	1.832	126.64	122.67	3.97	2.138
320	1.742	127.61	123.79	3.82	2.078
340	1.694	128.37	124.63	3.74	2.046
360	.697501	127.44	125.29	2.15	1.4525
380	.179799	126.32	126.01	.309998	.130199
400	.874998	127.64	126.05	1.59	.714998
420	.684498	124.2	122.07	2.13	1.4455
440	.935	127.28	125.57	1.71	.775
460	.58	125.6	124.6	1	.42
480	.705	117.3	116.05	1.25	.545
500	.76	124.76	123.4	1.36	.6
550	.0579991	123	122.9	.0999985	.0419994
600	.191401	120.86	120.53	.330002	.138601
700	.324799	120.32	119.76	.559998	.235199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



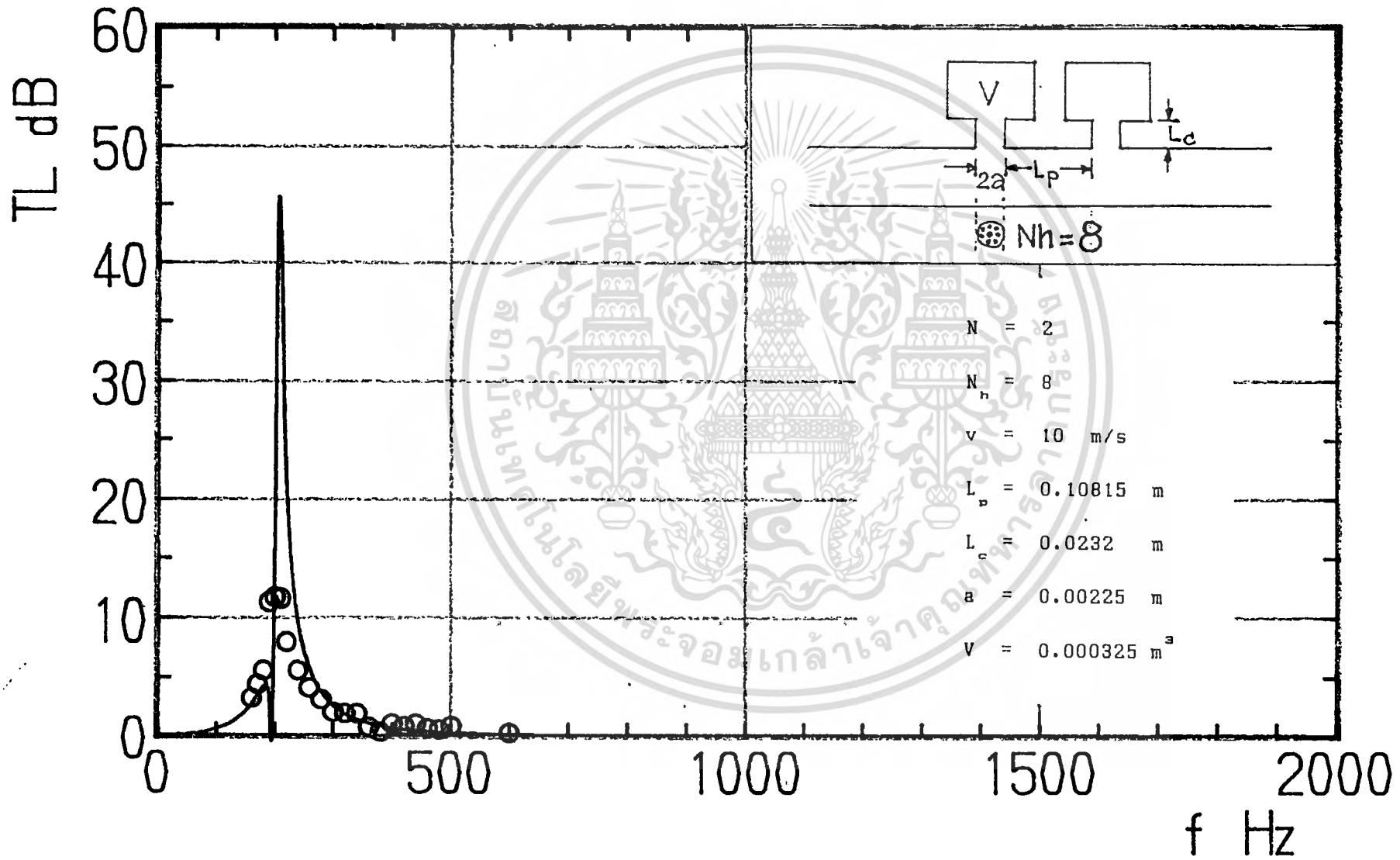
Helmholtz Resonator 8 ร 2.อัน

V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.18	123.2	117.2	6	2.82
170	4.3824	135.2	127.53	7.67	3.2876
180	5.64	129.5	120	9.5	3.86
190	11.292	128.85	112.47	16.38	5.088
200	11.715	130.58	113.73	16.85	5.135
210	11.634	122.06	105.3	16.76	5.126
220	8.0314	135.33	122.75	12.58	4.5486
240	5.6896	131.3	121.72	9.58	3.8904
260	4.1232	123.06	115.75	7.31	3.1868
280	3.1362	133.5	127.66	5.94	2.8038
300	2.084	132.12	127.73	4.38999	2.306
320	1.94001	132.6	128.45	4.15001	2.21
340	1.886	132.86	128.8	4.06	2.174
360	.743001	132.7	130.48	2.22	1.477
380	.307399	131.45	130.92	.529999	.222599
400	1.005	132.22	130.37	1.85001	.845003
420	.866497	129.04	126.63	2.41	1.5435
440	1.03	132	130.1	1.89999	.869997
460	.65	130.41	129.27	1.14	.49
480	.5162	122.45	121.55	.889999	.3738
500	.859999	129.48	127.92	1.55	.699999
600	.243599	125.95	125.53	.419998	.176299

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



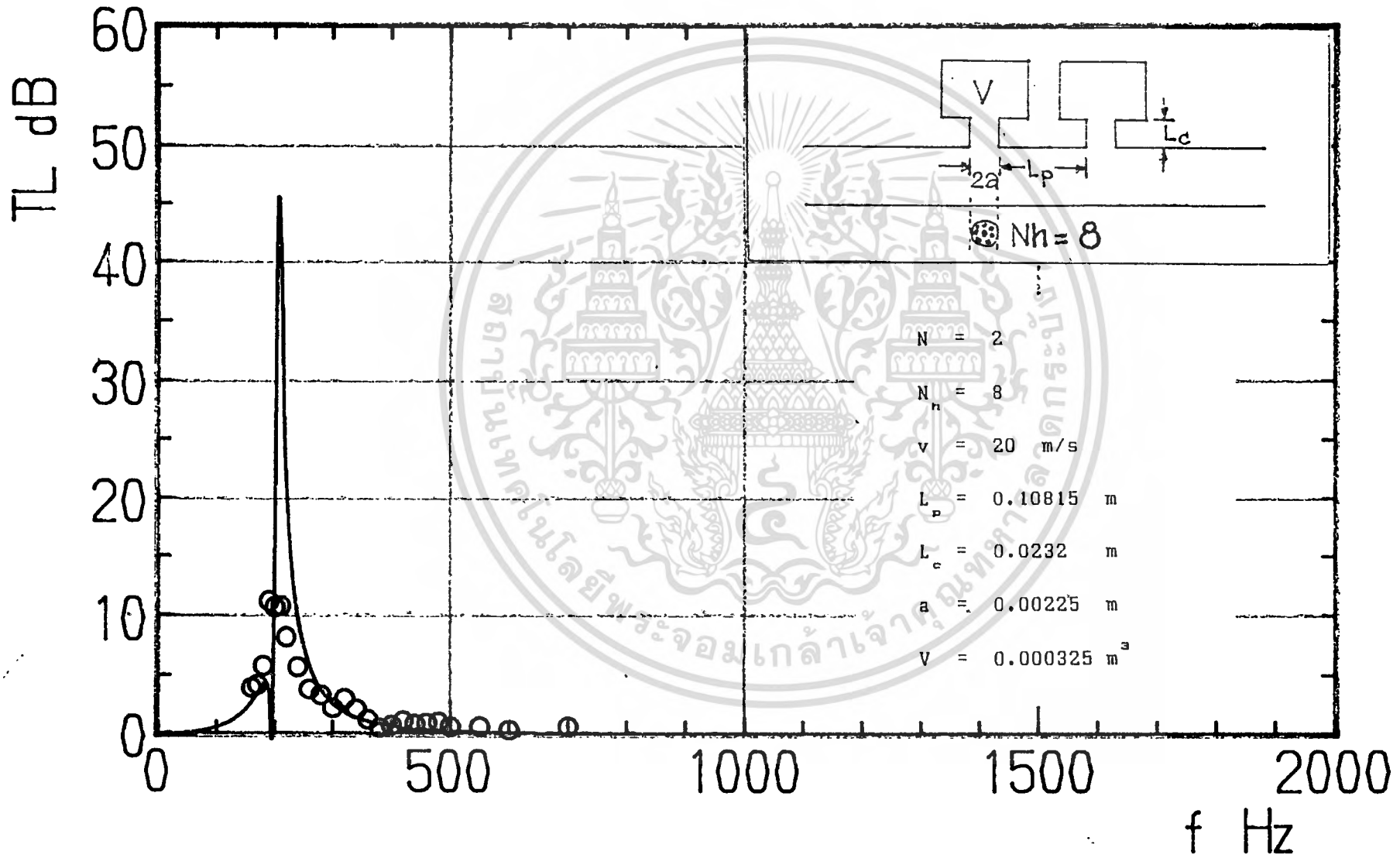
Helmholtz Resonator 8 รู 2 อัน

V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.936	122.05	115	7.05	3.114
170	4.1952	135.05	127.64	7.41	3.2148
180	5.826	129.4	119.6	9.8	3.974
190	11.247	128.6	112.27	16.33	5.083
200	10.7375	132.2	116.45	15.75	5.0125
210	10.78	120.5	104.7	15.8	5.02
220	8.19741	134.02	121.24	12.78	4.5826
240	5.764	130.5	120.8	9.7	3.936
260	3.792	118.8	111.95	6.85001	3.058
280	3.3168	133.8	127.61	6.19	2.8732
300	2.252	130.97	126.3	4.67	2.418
320	3.034	128.84	123.04	5.8	2.766
340	2.162	132.38	127.86	4.52	2.358
360	1.274	132.25	129.21	3.03999	1.766
380	.527802	130.14	129.23	.910004	.382202
400	.729998	131.45	129.25	2.2	1.47
420	1.107	130.7	127.92	2.78	1.673
440	.8535	130.81	128.42	2.39	1.5365
460	.920004	130.24	128.56	1.68001	.760004
480	1.005	121.45	119.6	1.85	.844999
500	.645505	128.6	126.53	2.07001	1.4245
550	.609999	127.1	126.04	1.06	.449999
600	.348004	124.8	124.2	.600006	.252003
700	.644999	121.7	120.57	1.13	.484999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

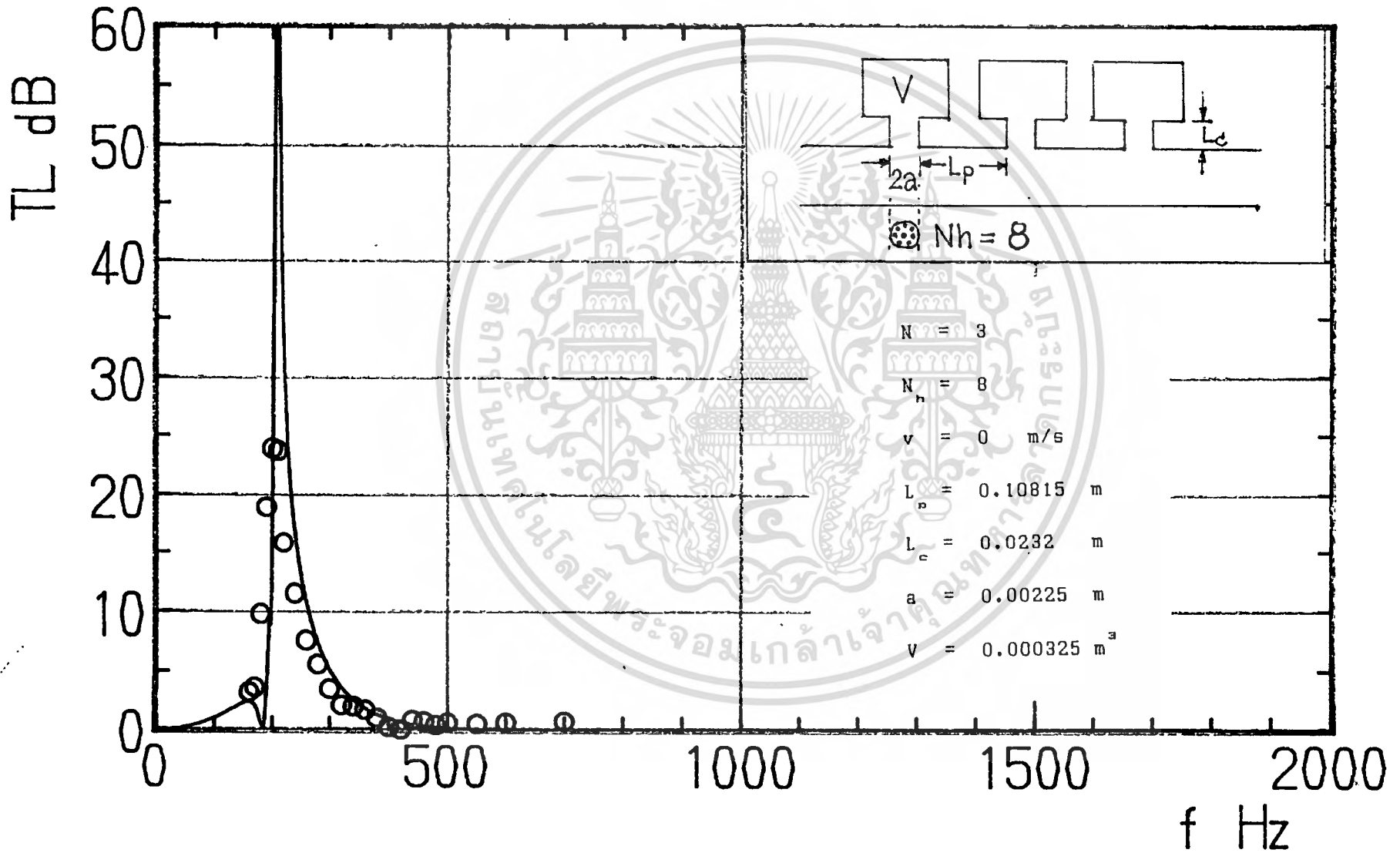


V= 0[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	3.18	117.6	111.6	6	2.82
170	3.6336	129.6	122.97	6.63	2.9964
180	9.8195	124.72	110.05	14.67	4.8505
190	18.954	125.9	101.3	24.6	5.646
200	23.8762	127.73	98.04	29.69	5.8138
210	23.788	126.7	97.1	29.6	5.812
220	15.784	131.01	109.75	21.26	5.476
240	11.454	126.49	109.93	16.56	5.106
260	7.6496	117.07	104.95	12.12	4.4704
280	5.6586	128.84	119.31	9.53	3.8714
300	3.504	128.52	122.07	6.45	2.946
320	2.126	127	122.54	4.46	2.334
340	2.054	128.4	124.06	4.34	2.286
360	1.694	128.91	125.17	3.74001	2.046
380	1.03	126.31	124.41	1.89999	.869997
400	.2494	127.05	126.62	.43	.1806
420	-1.507	122.4	123.55	-1.15	.356999
440	.799997	126.95	125.51	1.43999	.639997
460	.709997	125.67	124.41	1.25999	.549997
480	.452399	116.68	115.9	.779999	.327599
500	.639998	124.42	123.3	1.12	.479998
550	.522001	123.5	122.6	.900002	.378001
600	.562601	121.17	120.2	.970001	.4074
700	.680002	120.76	119.56	1.2	.520002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



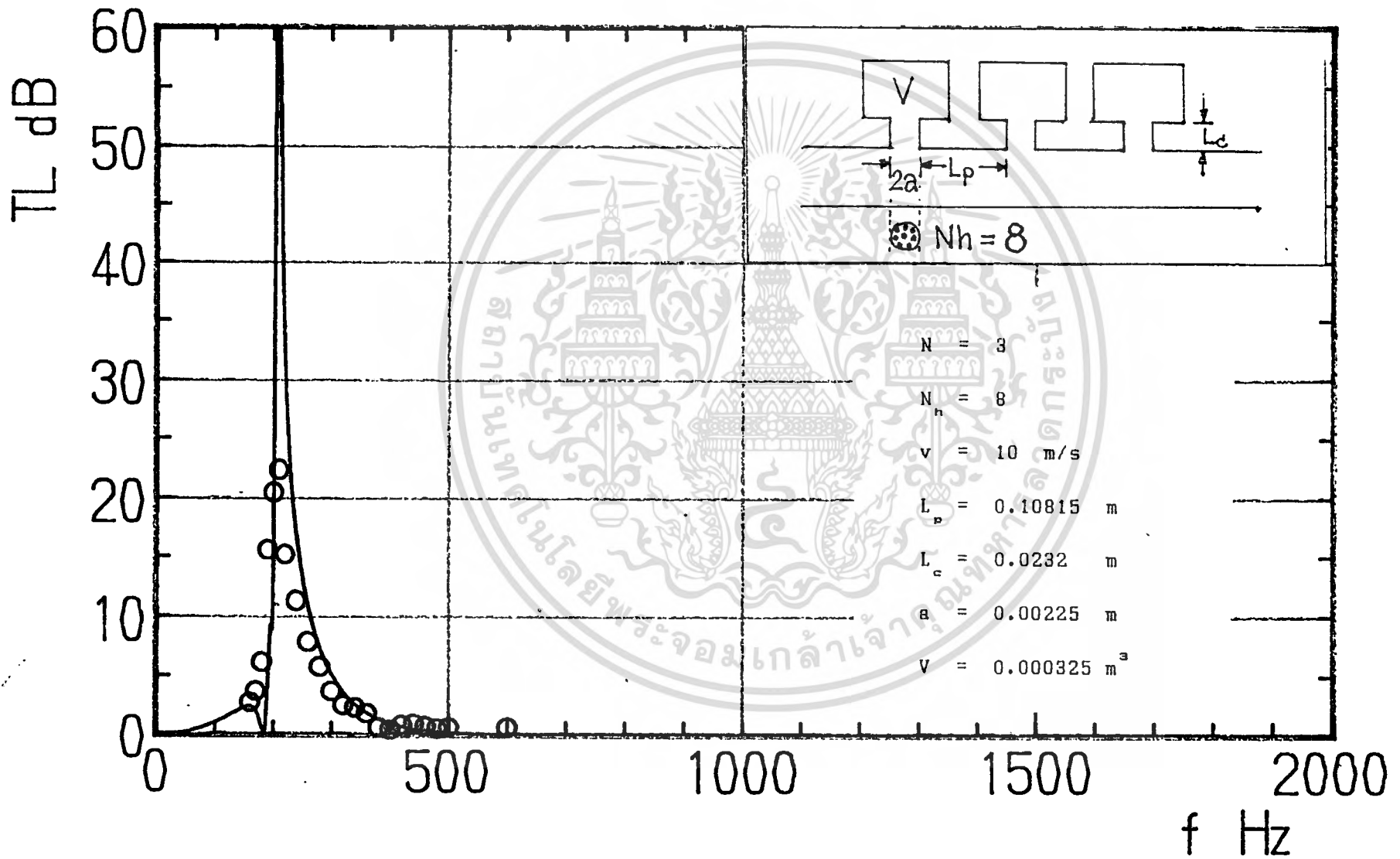
Helmholtz Resonator 8 ร 3 อัน

V= 10[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.7055	123.75	118.4	5.35	2.6445
170	3.7056	133.1	126.37	6.73	3.0244
180	6.19	129.4	119.1	10.3	4.11
190	15.604	128.81	107.75	21.06	5.456
200	20.4746	130.45	104.27	26.18	5.7054
210	22.3561	122.1	93.97	28.13	5.7739
220	15.208	135.7	115.06	20.64	5.432
240	11.265	131.12	114.77	16.35	5.085
260	7.965	123.26	110.76	12.5	4.535
280	5.795	133.68	123.93	9.74999	3.955
300	3.7488	133.77	126.98	6.79	3.0412
320	2.5376	132.02	126.9	5.12	2.5824
340	2.366	132.98	128.12	4.86	2.494
360	1.79	134.2	130.3	3.89999	2.11
380	.632502	131.2	129.15	2.05	1.4175
400	.400201	131.58	130.89	.690002	.289801
420	.824999	128.25	126.76	1.49	.664999
440	.959997	131.67	129.91	1.75999	.799997
460	.775	130.46	129.07	1.39	.615
480	.521996	122.02	121.12	.899994	.377997
500	.600001	128.91	127.87	1.04	.44
600	.610003	126.62	125.56	1.06001	.450003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

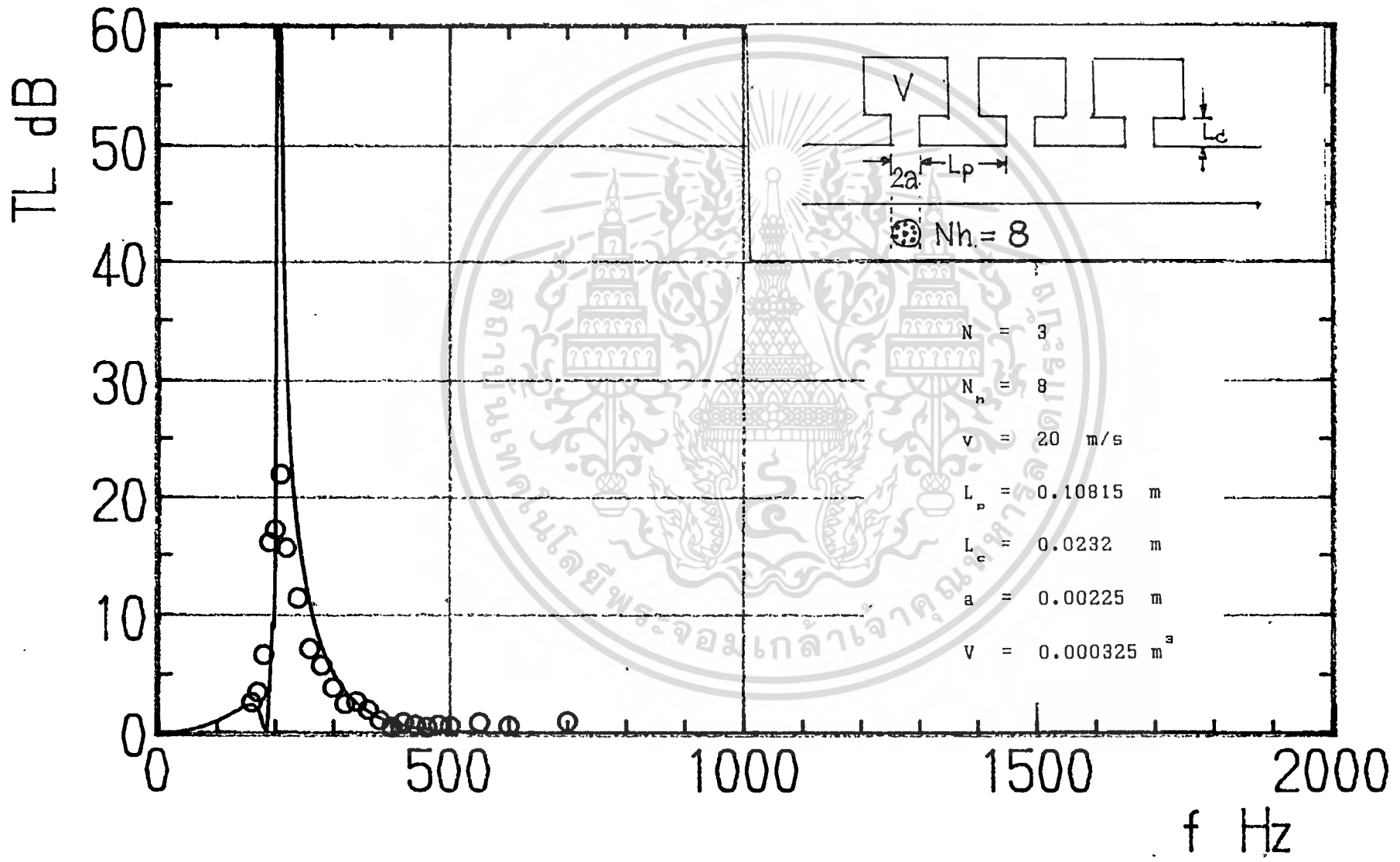


V= 20[m/s]

GENSUI SOKUTEITI

SYUHA	HOSEIGO	IN(dB)	OUT(dB)	SONSITU	HOSEI
160	2.6471	122.5	117.23	5.27	2.6229
170	3.5112	132.78	126.32	6.46	2.9488
180	6.75	129.7	118.7	11	4.25
190	16.135	128.65	107	21.65	5.515
200	17.1925	132.05	109.3	22.75	5.5575
210	22.038	120.8	93	27.8	5.762
220	15.55	134.3	113.3	21	5.45
240	11.4	130.9	114.4	16.5	5.1
260	7.23	119.2	107.6	11.6	4.37
280	5.8446	133.91	124.08	9.83	3.9854
300	3.97921	132.46	125.35	7.11001	3.1308
320	2.5376	128.12	123	5.11999	2.5824
340	2.669	132.34	127.04	5.3	2.631
360	2.06	133.47	129.12	4.35001	2.29
380	1.10699	130.15	127.37	2.77999	1.673
400	.522005	130.6	129.7	.900009	.378004
420	.929998	130	128.3	1.7	.769998
440	.769995	130.34	128.96	1.37999	.609995
460	.527793	129.87	128.96	.909988	.382195
480	.705	121.04	119.79	1.25	.545
500	.629999	127.6	126.5	1.1	.469999
550	.955	126.75	125	1.75	.795
600	.679998	125	123.8	1.2	.519998
700	1.04	122.45	120.53	1.92	.879999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

สำหรับ Muffler

ผลจากการทดลอง พบว่า Muffler สามารถที่ลดความดังเสียงได้หลายช่วงความถี่ แต่ความดังเสียงที่ลดลงนั้น ลดลงได้น้อย

สำหรับ Helmholtz Resonator

- ในกรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน

1. จากผลการทดลองเมื่อเรากำหนดการทดลองให้ใช้ Helmholtz Resonator ที่มีจำนวนช่องนำเสียงคงที่ ($N_n =$ ค่าคงที่) แล้วเปลี่ยนแปลงจำนวน (N) ของ Helmholtz Resonator โดยเพิ่มจาก 1 เป็น 2 และ 3 อัน ตามลำดับ พบว่า เมื่อ N มีจำนวนมากขึ้นจะลดเสียงได้ดีขึ้น นั่นคือ Transmission Loss (TL) จะเพิ่มขึ้น

2. จากผลการทดลองเมื่อเรากำหนดการทดลองให้ใช้ Helmholtz Resonator ที่มีจำนวน (N) เท่ากัน แล้วเปลี่ยนแปลงช่องนำเสียง (N_n เปลี่ยน) โดยที่ N_n จะเปลี่ยนจาก 1 เป็น 4 และ 8 รู ตามลำดับ พบว่า เมื่อ N_n มีจำนวนมากขึ้นจะลดเสียงได้น้อยลง นั่นคือ Transmission Loss (TL) จะลดลง

3. จากผลการทดลองพบว่า จำนวนของ Helmholtz Resonator และจำนวนรูของช่องนำเสียง จะไม่มีผลต่อ cutoff frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในกรณีเมื่อมีอากาศไหลผ่าน พบว่า ข้อสรุป 1, 2 และ 3 ยังคงเช่นเดียวกับกรณีไม่มีอากาศไหลผ่าน และข้อสรุปที่เพิ่มขึ้นคือ

4. จากผลการทดลอง เมื่อเราทำให้อากาศเกิดการไหลผ่านไปในท่อนำเสียง จะพบว่า ความสามารถในการลดเสียงของ Helmholtz Resonator ที่มี N และ N_{H} เท่ากันนั้น จะลดลงกว่าเดิม นั่นคือ Transmission Loss (TL) ลดลง

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง Helmholtz Resonator เราจะพบข้อดี และข้อเสีย ดังนี้

- ข้อดี

1. สามารถลดความดังเสียงได้มาก นั่นคือ มีค่า Transmission Loss สูง
2. มีขนาดเล็ก

- ข้อเสีย

1. สามารถลดความดังเสียงได้เฉพาะที่จุด cutoff frequency เท่านั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ Muffler พบว่า Muffler มีข้อดีข้อเสีย ดังนี้

- ข้อดี

1. สามารถลดความดังเสียงได้หลายช่วงความถี่

- ข้อเสีย

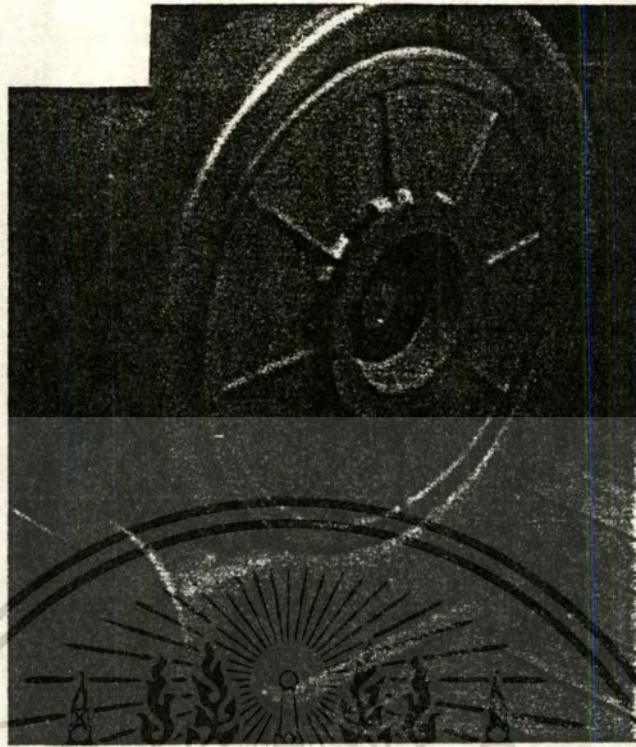
1. มีขนาดใหญ่กว่า Helmholtz Resonator
2. สามารถลดความดังเสียงได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ Helmholtz Resonator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

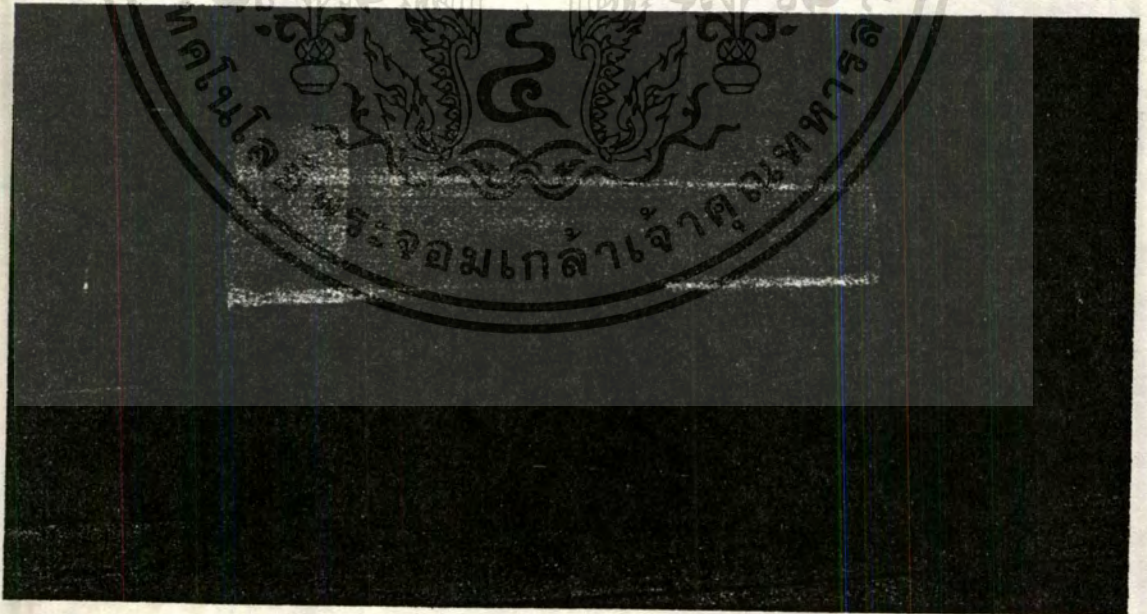


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

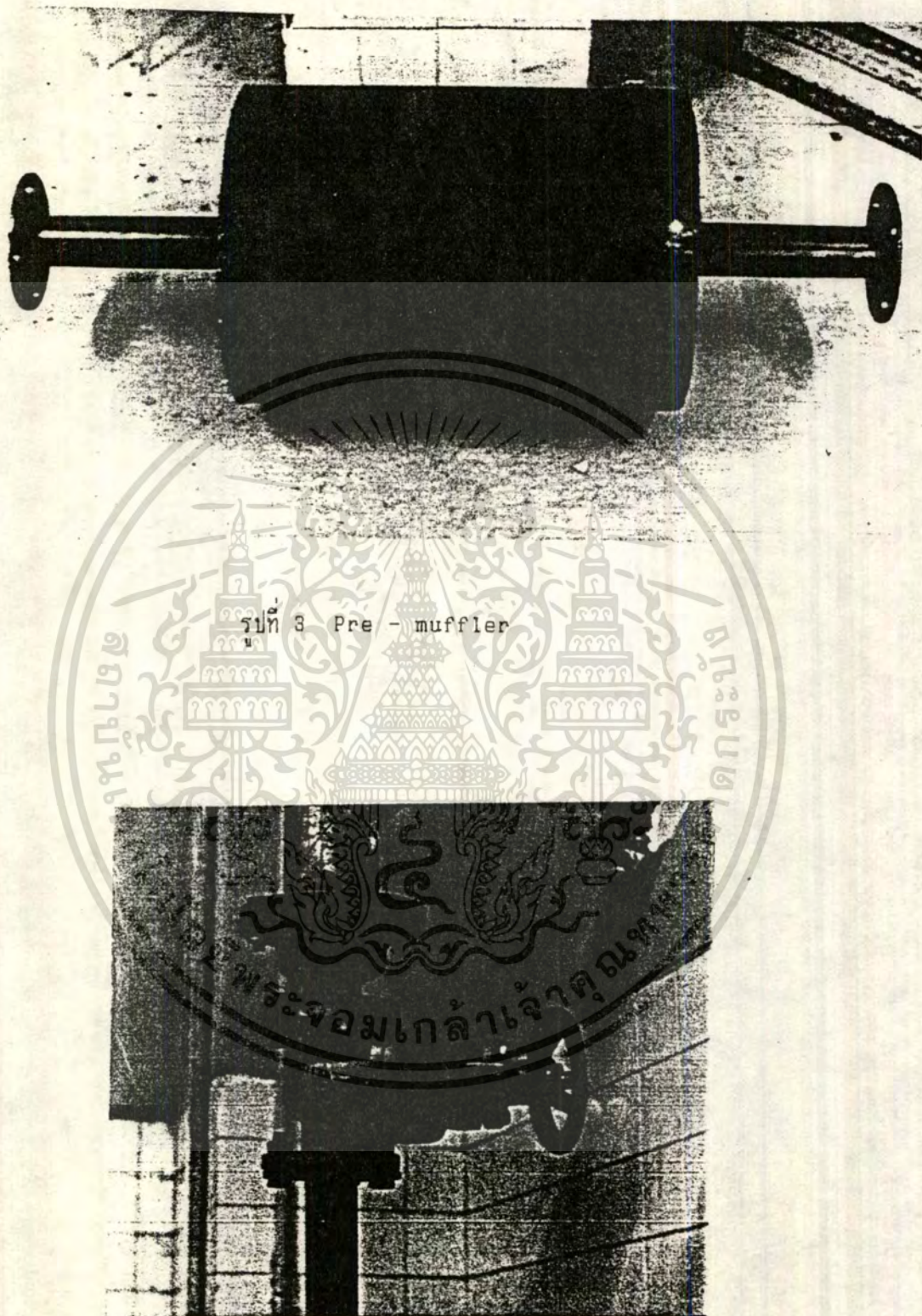


รูปที่ 1. พัดลม (Blower) ที่ใช้ในการทดลอง

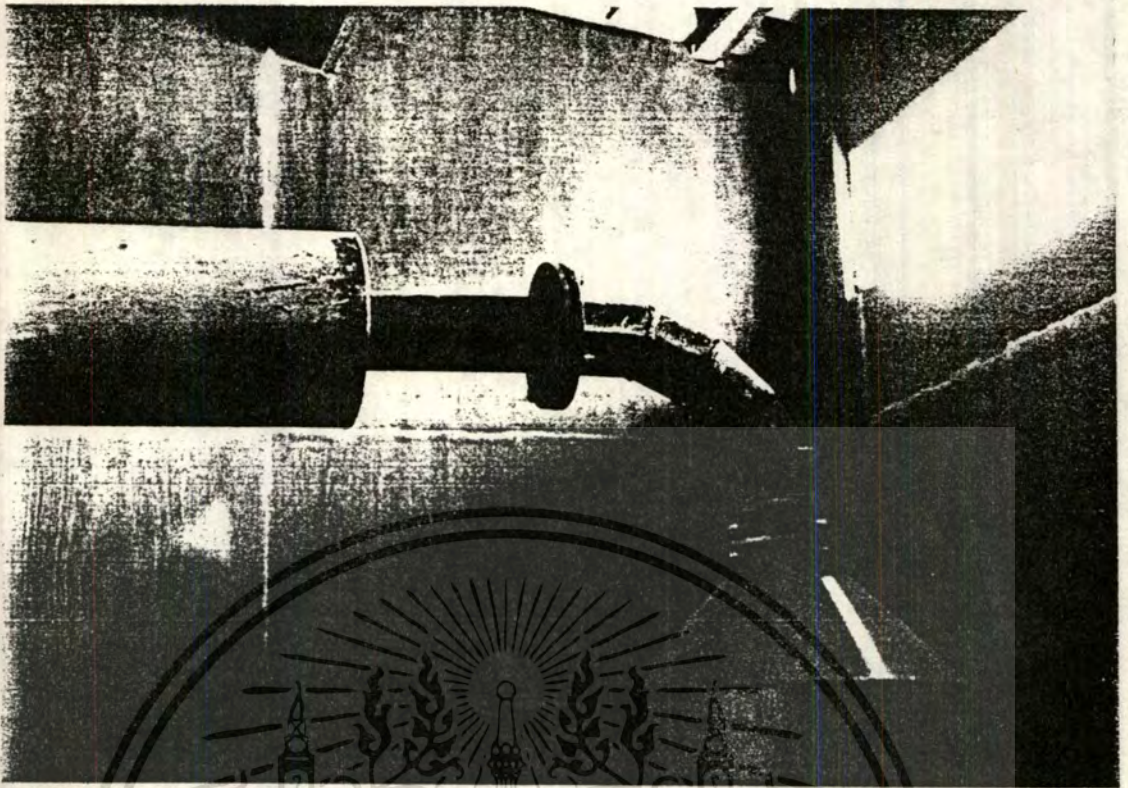


รูปที่ 2 Cyclone

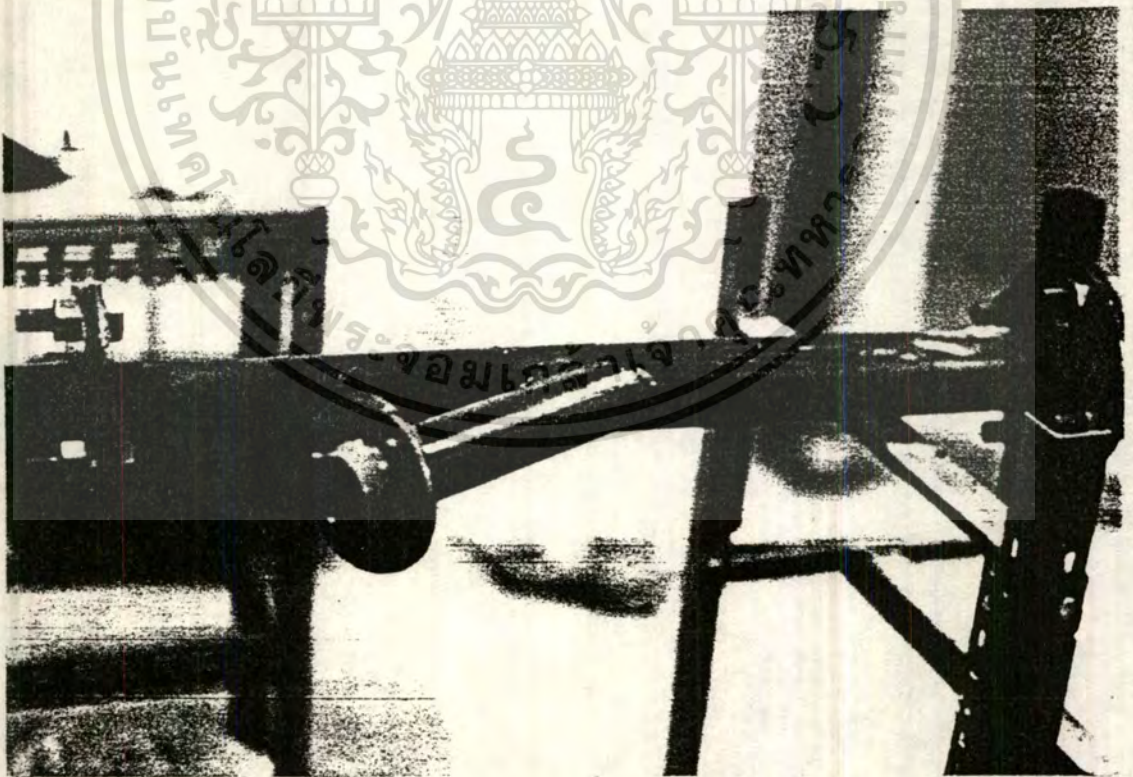
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้จริงของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ**รูปที่ 4** ใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

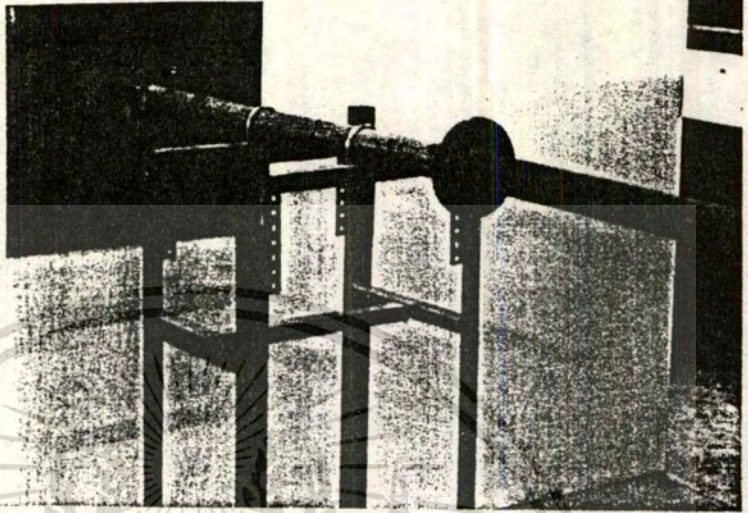


รูปที่ 5 แสดงการต่อ Cyclone เข้ากับ Pre-muffler



รูปที่ 6 ทอรูปตัว Y ที่ใช้ต่อกับ Driver Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 6 ใช้ในงานวิจัยที่วารสารวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ปี ๒๕๖๓ ฉบับที่ ๑๖๖ หน้า ๑๐๑-๑๐๒
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 การต่อท่อเข้าห้องเก็บเสียง

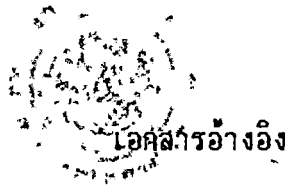
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. อัครเดช สินธุภัค เป็นอย่างยิ่งที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ คณะผู้เขียน ตลอดจนให้คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ มาโดยตลอดจนปริญญาพันธบัตรนี้ สำเร็จผลได้ ขอขอบคุณ พี่มณฑา พี่พงษ์ศักดิ์ พี่ติงและผู้ควบคุม shop ต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำชิ้นงานจนสำเร็จ ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจ และที่สำคัญทางคณะผู้เขียนขอขอบคุณ น้องหมู คณะวิทยาศาสตร์ ปี 2 และน้องบีม คณะวิทยาศาสตร์ ปี 1 ที่ได้ช่วยเหลือในการพิมพ์ต้นฉบับจนสำเร็จ เหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้กำลังใจและทุนในการทำปริญญาพันธบัตรนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Lawrence E.Kinsler, Austin R.Frey, Alan B.Coppenens, James V.Saanders
" Fundamentals of acoustics " 3rd Edition, John Wiley
& Son Inc.
2. Shuntaro Murakami, " An outline of noise reduction (Silencer
Performances) " Tokai University , 1992
3. D.D.Davis, Jr.,G.L.Stevens, D.Moore and G.M.Stokes, " Theoretical
and Measured Attenuation of Muffler at Room Temperature
without Flow, with comments on Engine-Exhaust Muffler
Design " , NACA Rep., No. 1192(1954), 827.
4. Department of Mechanical Engineering Tokai University, " Papers in
Transmission Loss of Expansion-Chamber silencers with
Inserted Tubes and Tapered Sections"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้