



การหาประสิทธิภาพการลดเสียงแบบ Helmholtz
และแบบ Side Branch ที่ความถี่สูง

Acousical Performance of Helmholtz and Side Branch Type
At High Frequency



จัดทำโดย

นาย พรเทพ	รัตน์บุรี	เลขประจำตัว 34104281
นาย อัครพล	คำนึ่ง	เลขประจำตัว 34109496
นาย เอกวุฒิ	ชื่นชม	เลขประจำตัว 34109524

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. อัครเดช สินธุภัก

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2587

ปีการศึกษา 2537

Acoustical Performance of Helmholtz Type
and Side Branch At High Frequency



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. อัครเดช สินสุภักดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Acoustical Performance of Helmholtz Type
and Side Branch At High Frequency**

ผู้จัดทำ

นาย พรเทพ รัตนบุรี

นาย อัครพล คำนึ่ง

นาย เอกวุฒิ ชื่นชม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. อัครเดช ตินฐักต์

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอธิบายถึงความสามารถในการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Helmholtz และแบบ Side Branch โดยวัดความสามารถในการลดเสียง จากค่าการลดเสียง (Transmission Loss, TL)

ท่อที่ใช้ในการทดลองปลายท่อจะบุด้วย fiber glass เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่ปลายท่อ ในการทดลองลักษณะของเสียงที่ลดลง จะวัดจากระดับความดันเสียงที่ตกลงระหว่างจุดที่ปลายท่อ (exhaust pipe) กับจุดที่ท้ายท่อ (tail pipe) ที่แต่ละความถี่ เปรียบเทียบกับลักษณะของเสียงที่ลดลงในทางทฤษฎี ซึ่งได้จากการคำนวณ โดยใช้ basic one dimensional linearized theory โดยพิจารณาคลื่นเสียงในรูปของคลื่นมิติเดียว (plane wave) มีแหล่งกำเนิดเสียงเป็น single point และความดันของคลื่นเสียงเป็น unity ในการทดลองจะพิจารณาจำนวนแถวของ resonator และขนาดของ resonator เมื่อควบคุมให้มีจำนวน resonator เท่ากัน

**Acoustical Performance of Helmholtz Type
and Side Branch At High Frequency**

Mr. Porntep Ruttanaburi

Mr. Akrapon Kumnung

Mr. Akawut Cheunchom

Asst. Prof. Akradach Sinthuphak Advisor

Abstract

This thesis describes the Performance of Helmholtz and Side Branch by measure the Transmission Loss (TL) of the muffler

In the duct system used for the experiment, the nonreflected acoustic tube constructed by connecting glass wool was attached to the end of duct. The experimental transmission loss measured quantity is the maximum drop in sound pressure level between the exhaust pipe and

the tail pipe. The experimental transmission loss can be compared with the theoretic transmission loss which is calculated on the equation acoustic theory; the basic one dimensional linearized theory; Assume that sound be transmitted in a tube in the form of one dimensional or plane wave, all sound reflection take place from a single point and the incident sound pressure is unity. In the experiment consider the result number row of resonator and size of resonator when number of resonator is constant.

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
ทฤษฎีและหลักการทํางาน	3
การสร้างอุปกรณ์ทดลอง	9
การทดลอง	10
ผลการทดลอง	12
สรุปผลการทดลอง	87
ภาคผนวก	88
- สัญลักษณ์	
- สมการที่ใช้ในการคำนวณ	
รูปภาพประกอบ	94
กิตติกรรมประกาศ	99
เอกสารอ้างอิง	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางที่มีการสั่นสะเทือน เสียงจะเคลื่อนที่ในลักษณะลูกคลื่น (wavemotion) สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในอากาศ, ของเหลวและของแข็ง ระดับของเสียงหรือความดังจะมีหน่วยวัดเป็น เดซิเบล(dB) เสียง(sound) มักหมายถึง เสียงที่คนเราชอบซึ่งอาจเป็นเสียงเพลงหรือเสียงดนตรี แต่เสียงรบกวน(noise) จะเป็นเสียงที่มีน้ำเสียงซ้ำๆ กัน เช่น เสียงพัดลมในเครื่องปรับอากาศ เสียงเครื่องจักร เสียงรถยนต์ อีกนัยหนึ่งเสียงรบกวนมักหมายถึง เสียงที่เราไม่ต้องการนั่นเอง ดังนั้น จึงมีการศึกษาค้นคว้าวิจัย การลดเสียงวิธีต่างๆ ขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ชีวิตมนุษย์

โครงการวิจัยการลดเสียง มีการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงและอุปกรณ์ลดเสียงเพื่อหาลักษณะเฉพาะต่างๆ ของอุปกรณ์ลดเสียงแต่ละชนิด

สิ่งที่ควรพิจารณาในการศึกษาก็คือ การเปลี่ยนแปลงหน้าคลื่น, การส่งสัญญาณ การใส่ Branch เข้าไป, การกรองเสียง ณ จุดเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วนอุปกรณ์ลดเสียง ทฤษฎีต่างๆ ที่อ้างเกี่ยวกับการกรองเสียง ในรายงานฉบับนี้ ได้มีการตรวจสอบแล้ว จากการทดลองสำหรับตัวกรองขนาดเล็ก ที่สภาวะอากาศไม่แปรปรวน หรือสภาพอากาศคงที่ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเสมือนเป็นตัวกลางของเสียง

ข้อสันนิษฐานต่างๆ ที่ได้จากการ derivation สมการของตัวกรองเสียง จะทำให้สามารถวิเคราะห์หาขนาดมากที่สุดของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรองเสียง และความดันสูงสุดของเสียงได้

ในอังกฤษได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียงของเครื่องบินโดยทำการทดลองกับแบบจำลอง และเครื่องยนต์ทดสอบ ซึ่งพบว่า การลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Expansion Chambers silencers ที่ความถี่ต่ำ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น การลดเสียงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่า อากาศที่ไหลมีผลน้อยต่อการลดเสียง สำหรับอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Multiple Resonator

การหลีกเลี่ยง ความดันกลับที่มากเกินไป เป็นสิ่งสำคัญในการลดเสียงของ อุปกรณ์ลดเสียง ดังนั้น ชนิดของอุปกรณ์ลดเสียงที่ยอมให้ก๊าซเสียไหลผ่านโดยปราศจากการวนกลับจึงถูกพิจารณาในการค้นคว้าครั้งนี้

วิธีการในการลดเสียงรบกวนนั้นกระทำได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. การลดเสียง ณ จุดกำเนิดเสียง
 - 1.1 การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างของเครื่องจักร เพื่อให้เกิดเสียงน้อยลง คือการปรับปรุงการจับยึดเครื่องจักร เพื่อให้การสั่นสะเทือนลดลง
 - 1.2 การเปลี่ยนแปลงบางส่วนของเครื่องจักร คือ การพยายามลดชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรให้น้อยลง
 - 1.3 การใส่แอดัมเปอร์(damper) เพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรให้น้อยลง
2. การลดเสียงโดยกระทำระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง และแหล่งรับเสียง

- 2.1 การรบกวนคลื่นเสียง
- 2.2 การดูดคลื่นเสียง
- 2.3 การใช้ตัวลดเสียง(silencer)

ลักษณะของ Silencer ที่ดีแบ่งตามจุดประสงค์

1. สำหรับการลดของเสียง
 - ลด ณ จุดความถี่ที่แน่นอน
 - สามารถลดเสียงรบกวนได้เป็นจำนวนมาก
2. ทางด้านแอโรไดนามิกส์
 - ต้องมีการสูญเสียความดันต่ำ
 - ต้องกำเนิดเสียง(เนื่องจากการไหลของของเหลว)ต่ำ
3. ทางด้านเครื่องจักรกล
 - ต้องมีโครงสร้างอย่างง่าย
 - ต้องมีขนาดเล็ก

ทฤษฎีและหลักการทํางาน

ในการพิจารณาทางทฤษฎี เสียงได้ถูกสมมุติว่าถูกส่งไปในท่อในสถานะ plane wave หรือคลื่นมิติเดียว จนถึงจุดต่อซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อทำให้หน้าคลื่นเปลี่ยนแปลงเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นตกกระทบบางส่วนกลับไปยังแหล่งกำเนิด ส่วนคลื่นที่เหลือจะผ่านทะลุจุดต่อออกไปช่วงระยะจากแหล่งกำเนิด(Lound-speaker)จนถึง Muffler เรียกว่า Exhaust pipe ส่วนระยะจาก Muffler จนถึงปลายท่อ เรียก Tial pipe

Definition of Noise-reduction Amount

1. Transmission Loss (TL)

$$TL = 10 \log (W_i/W_t)$$

โดยที่

W_i = Enter Wave

W_t = Transmission Wave

2. Attenuation (Att)

$$Att = 20 \log (P/P')$$

โดยที่

P = Sound Pressure เมื่อติดตั้ง silencer

P' = Sound Pressure เมื่อไม่มีการติดตั้ง silencer

โดยค่า P, P' จะวัดที่จุดเดียวกัน

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการลดเสียงของ Silencer จะสามารถแสดงได้ในรูปค่า Transmission Loss (TL) โดยในการ Derivation สมการจะใช้ทฤษฎีของคลื่นมิติเดียว

Silencer ที่พิจารณาใน Project ครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะแบบ Resonance Type

Single-chamber resonator

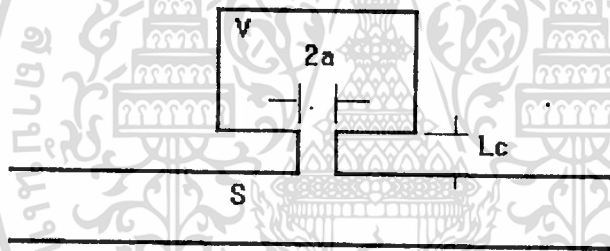
Single resonator แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท

แบบแรก ประกอบด้วย resonator chamber มีกึ่งเป็นปริมาตรปิดยื่นออกจาก exhaust-pipe resonator แบบนี้จะเพิ่มแรงเนื่องจากความหนืดใน connection tubes ในการคำนวณด้วย

แบบที่สอง ประกอบด้วย resonator ที่มี chamber เป็นลักษณะวงแหวน ถัดม exhaust pipe resonator แบบนี้ค่อนข้างจะใหญ่กว่าแบบแรกอยู่บ้าง และแรงหนืดจะถูกตัดออกจากการคำนวณ

โดยที่ทั้งสองแบบ ส่วนที่เป็น กิ่ง และ วงแหวน ยื่นออกมาจาก chamber จะมีจุดศูนย์กลางร่วมกับ exhaust pipe ด้วย ในโครงงานนี้จะพิจารณาเฉพาะ resonator ประเภทที่ resonator chamber มีปริมาตรปิดยื่นออกจาก chamber

จากรูปของ single resonator ดังรูปข้างล่าง



ในการศึกษาวิจัย exhaust-gas ที่มีความที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอภายใน exhaust-pipe จะไหลผ่าน chamber และเข้า connector ของ resonator ที่ต่อยื่นออกจาก chamber ซึ่ง connector เหล่านี้จะพิจารณาเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของเสียง ในการศึกษาความแตกต่างของ phase ระหว่างปลายของท่อเล็กๆ สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นก๊าซที่อยู่ในท่อเล็กๆ สามารถพิจารณาได้ว่ามีกระบวนที่เหมือนแท่งกระบอกสูบตันที่มีมวลแน่นอน ฉะนั้นท่อใช้ความหนืดหรือฟังก์ชันของแรงที่คงที่แน่นอน เสมือนกับว่าเป็นกระบอกสูบของ gas ที่เคลื่อนที่เข้าออก ก๊าซที่อยู่ข้างใน chamber จะรับการอัดการสลับกันไป ในทางปฏิบัติ ความเสียดทานระหว่าง อากาศ และ ฉนวนของท่อที่ต่อออกมาจาก chamber (connecting tube) มีค่าน้อยมากพอที่จะตัดทิ้งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กระทำกับอากาศใน connecting tube และแรงกดใน chamber

ความหนาของ boundary layer บาง เมื่อเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของ tube หรือ orifice ทำให้เราต้องคิดผลของความหนืด ขนาดของ resonator เล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นเสียงที่ใช้ ทิหารณาผลของ impedance ใน side branch $Z = R + ix$ ซึ่ง คลื่นมีทิศทางที่เคลื่อนที่เข้าไปใน tube ที่จุดซึ่ง branch ต่อกับ tube เงื่อนไขของสมการ Continuity เอาความดันและเสียง (sound current) คือ

$$P_i + P_{re} = P_b = P_{tr} \quad \dots (1)$$

$$I_i + I_{re} = I_b = I_{tr} \quad \dots (2)$$

ที่ซึ่ง Subscripts :

i แสดงถึง incident waves ก่อนเข้า branch

re แสดงถึง reflect wave ก่อนเข้า branch

b แสดงถึง branch

tr แสดงถึง transmitted wave หลังผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

สำหรับคลื่นมีทิศทางเดียว $P = Z_0 I$

โดยที่ Z_0 คือ characteristic impedance ของ tube

ถ้ากระแสถูกเขียนในเทอมของความดันและความต้านทาน (impedance) เราจะได้สมการ (2) ใหม่ คือ

$$(1/Z_0)(P_i - P_{re}) = P_{tr} [(1/Z_b) + (1/Z_0)] \quad \dots (3)$$

จากสมการ (1) และ (3) เราจะได้อัตราส่วนของ P_i/P_{tr} เป็น

$$P_i/P_{tr} = 1 + (Z_0/2Z_b) = 1 + [Z_0/2(R_b + iX_b)]$$

และ Transmission Loss เป็น

$$\begin{aligned} TL &= 10 \log [P_i/P_{tr}]^2 \\ &= 10 \log [(R_b + (Z_0/2))^2 + X_b^2 / (R_b^2 + X_b^2)] \quad \dots (4) \end{aligned}$$

impedance ของ various components คือ

$$\text{volume-chamber impedance} = -i \rho c^2 / wv \quad \dots (5)$$

connector impedance

$$(Z_c) = (L_c / \pi a^3) \sqrt{2 \mu \rho W} + j[(w_p / C_0) + (L_c / \sqrt{a^3}) \sqrt{2 \mu \rho W}] \quad \dots (6)$$

ซึ่ง C_0 คือ conductivity

L_c คือ effective length ของ connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณี resonator side branch , volume chamber และ connector จะอยู่ในรูปอนุกรม จะได้

$$R_b = (L_c/\pi a^3)(2\mu\rho w) \quad \dots (7.1)$$

$$X_b = (w/C_o) - (\rho C^2/wv) + (L_c/\pi a^2)2\mu\rho w \quad \dots (7.2)$$

เมื่อแทนค่า R_b และ X_b ลงในสมการ (4) เราจะได้ค่า Transmission Loss ของ single resonator

ในหลายกรณี เราสามารถที่จะไม่คิดผลของความหนืด โดยไม่มีการคำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นยกเว้นที่ความถี่ resonator ถ้า $\mu = 0$ จะได้ (4) เป็น

$$TL = 10\log[1 + (Z_o^2/4x_b^2)] \quad \dots (8)$$

เมื่อแทนค่า X_b สมการ (8) จะอยู่ในรูป

$$TL = 10\log\{1 + [(\sqrt{C_o} V/2s) / (f/f_r) - (f_r/f)]^2\} \quad \dots (9)$$

เพราะว่าความหนืดไม่คำนึงถึง เราอาจทำนายว่า TL เพิ่มขึ้นถึงอนันต์ (rise to infinity) ที่ความถี่กทอน (resonant) $f/f_r = 1$

ถ้า effective length ของ connector , L_c ไม่สั้นเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น เงื่อนไขข้อ (7) จะใช้ไม่ได้ เพราะคลื่นธรรมชาติในการไหลใน connector จะต้องถูกพิจารณาถึง สำหรับ connector ที่มีความยาว L_c พื้นที่ S_c และปริมาตร V จะได้ branch reactance (ไม่คิดความหนืด) เป็น

$$X_b = (\rho C/S_c)\{(\tan kL_c - (S_c/kV))/((S_c/kV)\tan kL_c + 1)\}$$

ในการทดลองพบว่า ที่ระดับความถี่เดียวกัน ความต้านทานที่ต่อจะต่ำกว่าความต้านทานที่บริเวณ tail-pipe ทำให้ resonance chamber มีการ short circuit (ัดวงจร) คือ มีการสะท้อนของคลื่นตกกระทบ จำนวนมากกลับไปยังแหล่งกำเนิดเสียง ดังนั้นผลรวมทางพลังงานเสียงซึ่งจะผ่านเครื่องลดเสียงไปยัง tail-pipe จะลดลง

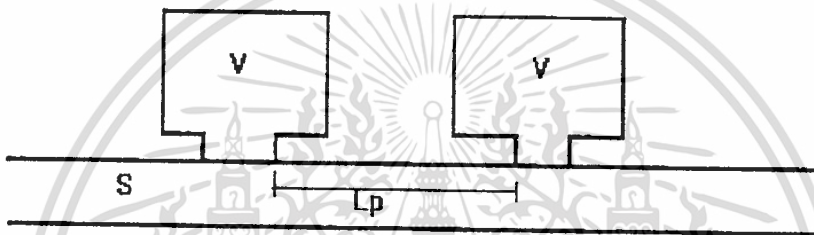
Conductivity (C_o)

Conductivity (C_o) ในปริมาณทางกายภาพที่สำคัญมากที่สุดที่ใช้ในการพิจารณาความถี่ resonant และความสามารถในการลดเสียงของ resonator-type muffler ความเฉื่อยของเสียง (ρ/C_o) เป็นข้อจำกัดทางกายภาพในการวางท่อเสียง เนื่องจากเป็นปริมาณที่ถูกกำหนดโดยพลังงานจลน์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างการวางท่อสภาพการนำ เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่เข้าใยาจ ซึ่งสามารถทำนายจากกรณีพิเศษเท่านั้น เช่น กรณีที่เป็นรู orifice กลมยาวไม่จำกัด ในทางปฏิบัติส่วนมากจะประมาณค่า C_o โดยดูจากการทดลอง

การทำนายค่า C_0 จะถูกพิจารณาใน ref 1 ในกรณี single connector ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ใหญ่จนเกินไปเมื่อเทียบกับ เส้นผ่านศูนย์กลางของ exhaust-pipe สมการที่ได้คือ $C_0 = \pi a^2 / (L_c + \beta a)$ ที่ซึ่ง β คือค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $\pi/2$ ถึง $\pi/4$

Multiple resonator

เครื่องลดเสียงแบบ Multiple-resonator ประกอบด้วย resonator ที่เหมือนกันทุกอย่างอย่างน้อย 2 ตัว มาต่อกันโดยมี ระยะห่างระหว่าง resonator แต่ละอันเท่ากับตลอดความยาว exhaust-pipe



รูปแสดง Multiple-resonator

สมการลดเสียงของ resonator แบบนี้ คือ

$$TL = -8.69 M \cosh^{-1} (\cos(K_L L_p (f/f_r)) + [\sqrt{C_0} V/2S] / [(f/f_r) - (f_r/f)] \sin(K_L L_p (f/f_r)))$$

ที่ซึ่ง M = จำนวน resonator

จากสมการมีตัวแปรเกี่ยวข้องที่สำคัญ คือ

$$(\sqrt{C_0} V)/2S = \text{Transmission Loss Parameter}$$

$$\sqrt{C_0}/V = \text{Resonance Parameter}$$

L_p = ระยะระหว่างรอยต่อ

จะเห็นได้ว่า TL เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ จำนวน Resonator (M)

ซึ่งเราสามารถทราบความสัมพันธ์นี้ได้จากการทดสอบกลุ่มของ Multiple resonator แบบต่างๆ

Effect of number of Chamber (M)

จากข้อมูลของการทดลองพบว่าค่าของ TL จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ Chamber (M) ซึ่งหมายความว่าค่า TL เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน resonator (M) ใน muffler โดยเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TL กับ M จากการทดสอบกลุ่มของ muffler resonator แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Conductivity (C_o)

ค่า Conductivity จะใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่าง Resonator แต่ละตัวซึ่งมีความยุ่งยากในการคำนวณมาก ฉะนั้นในการคำนวณจึงมีการตัดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลไม่แน่นอนต่อ ค่า C_o ทิ้งไป

จะได้ว่า ค่า C_o สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_o = \pi a^2 / (L_c + \beta_a) \quad \text{สำหรับ resonator ที่ควบคุมปริมาตร}$$

โดยที่ $\beta = \pi/2$ และ $\pi/4$

ถ้ามีหลาย element ให้คูณด้วย n (จำนวน element) Multiple chamber resonator เครื่องลดเสียงแบบนี้ในการ Derivation สมการ Chamber จะถูกพิจารณาในรูปตัวต้านทาน และที่อระหว่าง resonator แต่ละตัวเสมือนเป็นตัวต้านทาน





ยารสร้างอุปกรณ์ทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการสร้าง

1. ท่อลูมิเนียมชนิดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 10 ซม. 100 ชิ้น
2. ท่อลูมิเนียมชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 10 ซม. 100 ชิ้น
3. แผ่นไม้อัด
4. ท่อลูมิเนียมชนิดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 6 เมตร 2 เส้น
5. ท่อลูมิเนียมชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 6 เมตร 2 เส้น
6. ท่อลูมิเนียมชนิดกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว ยาว 6 เมตร 2 เส้น
7. กาวติดโลหะ
8. ไช้แก้ว
9. ลำโพง
10. ไมโครโฟน
11. แผ่นสังกะสี

วิธีสร้างอุปกรณ์ทดลอง

1. กัดท่อลูมิเนียมขนาด 3/4 นิ้ว ยาว 6 เมตร (ทั้งกลมและเหลี่ยม) ให้เป็นร่องที่ผิวท่อและกัดท่อลูมิเนียมขนาด 1/4 นิ้ว ให้ได้ร่องขนาดเดียวกัน
2. นำท่อที่ได้จากข้อหนึ่งมาประกบกันด้วยกาวติดโลหะ ให้ได้ตามรูปที่ 2
3. นำไช้แก้วอัดที่ปลายท่อลูมิเนียมทั้งสองด้าน
4. ตัดไม้อัดมาประกบกันเป็นกล่องไม้ให้ได้ขนาดภายใน 1x0.215x0.057 เมตร ตามรูปที่ 3
5. บีมสังกะสีเป็นรูปร่างวงแหวนเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3/4 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 5 มม. จำนวน 50 ชิ้น
6. บีมสังกะสีเป็นรูปร่างกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว จำนวน 100 ชิ้น
7. บีมสังกะสีเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3/4 นิ้ว จำนวน 200 ชิ้น
8. นำสังกะสีที่ได้จากข้อ 8. มาบีมให้เป็นรูปร่างกลมตรงกลาง เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 50 ชิ้น

การทดลอง

เครื่องมือวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเครื่องลดเสียง ส่วนของท่อระหว่าง loud-speaker ถึง muffler ในรูปที่ 1 เรียกว่า Exhaust-pipe ส่วนท่อที่อยู่อีกข้างของ muffler เรียกว่า tail pipe จุดที่ทำการวัดจะใส่ไมโครโฟนโดยติดไว้ใน exhaust-pipe และ tail-pipe จุดที่วัดนี้จะต้องมีพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากัน เมื่อใส่ไมโครโฟนเข้าไปจะต้องให้มีผลต่อการได้ยินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยต้องปฏิบัติตาม ซึ่งเป็นผลจากการตกกระทบของคลื่นเสียง ที่จะเดินทางจากแหล่งกำเนิดเสียง หรือ Loud-speaker ไปยัง muffler และคลื่นเสียงสะท้อน ที่เดินทางจาก muffler กลับไปยัง loud-speaker โดยที่ความดันของคลื่นเสียงจะแปรตามระยะขจัดของ exhaust-pipe

การวัด

จะเลื่อนจุดวัดใน exhaust-pipe และวัดที่ tail-pipe โดยจะวัด 2 ตำแหน่งในช่วงระหว่าง muffler ถึง cotton termination โดยการเลื่อน cotton จนกระทั่งการสะท้อนจาก termination ลดลงจนถึงระดับต่ำสุด การสะท้อนจะจับเท่าสัญญาณได้จากความแตกต่างของความดันเสียง ณ ตำแหน่งที่วัด โดยวัดค่าได้มากที่สุด ที่ตำแหน่งประมาณ $\pm 3/4$ dB สำหรับความถี่ระหว่าง 120 ถึง 700 รอบ/นาที และ ประมาณ $\pm 1 1/2$ dB สำหรับ 40 ถึง 120 รอบ/นาที ไมโครโฟนที่ใช้ในการวัดระดับความดันจะสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความดันเสียงส่งสัญญาณไฟฟ้าไปให้เครื่องวัดแสดงระดับความดันเสียงออกมาในรูป decibels

$$\text{กำหนด } 20 \log_{10}(P/P_0)$$

ที่ซึ่ง P_0 เป็นระดับความดันมาตรฐาน 0.0002 dyne/cm^2

ใช้ Scillograph และ sound Analyzer เป็นเครื่องมือช่วยเช็ครูปแบบคลื่นเสียงที่จุดวัด

วิธีทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องลดเสียงแต่ละชนิด จะวัดระดับความดันเสียงที่มากที่สุดที่สามารถจับได้ โดยเลื่อนตำแหน่งวัดใน exhaust pipe แล้ววัดระดับความดันเสียงที่จุดวัดใน tail pipe บันทึกข้อมูลจากจุดวัด แล้วทำการเช็ค่าโดยต้องไม่มีการสะท้อนของคลื่นใน tail-pipe

นิยาม

การลดเสียง คือ $20\log_{10}(P_i/P_{tr})$

โดยที่ P_i คือ ความดันคลื่นตกกระทบใน exhaust-pipe

P_{tr} คือ ความดันคลื่นที่ผ่านเข้าไปใน tail-pipe

ข้อมูลที่ได้จาก tail-pipe ในการทดสอบ จะแสดงค่าระดับความดันเสียงที่ผ่านทะลุไปยัง tail-pipe ได้จริง แต่สำหรับระดับความดันเสียงของคลื่นจากการกระทบใน exhaust-pipe ไม่สามารถหาได้จาก exhaust-pipe แต่จะใช้ระดับความดันเสียงมากที่สุดใน exhaust-pipe แทน

ความดันสูงสุดนี้ จะเป็นการซ้อนกันของคลื่นตกกระทบ และคลื่นที่สะท้อนจาก muffler ในบางสภาวะ สามารถคำนวณความแตกต่างระหว่าง เสียงที่ลดลงจริง กับเสียงที่ลดลงที่ได้จากการทดสอบ (ระดับความดันเสียงที่ตกลงมากที่สุด ในช่วงที่เสียงเดินทางจาก exhaust-pipe) ค่าความแตกต่างหรือ Error Effect นี้จะใช้การแก้ไขค่าที่วัด ได้จากการทดลอง ข้อมูลที่ถูกแก้ไขแล้วจะใช้เปรียบเทียบกับ curves การลดเสียงที่ได้จากการคำนวณ ถึงแม้ว่าจะมีการแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้องยิ่งขึ้นแล้ว แต่ก็ยังเหลือความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งถ้าจะให้ถูกต้องจริงๆ แล้ว จะต้องแบ่ง muffler ออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้วทำการคำนวณแต่ละส่วนของ muffler หากมี muffler หลายชนิด แต่ละชนิด จะต้องทำการ derived ใหม่ทุกครั้ง ซึ่งเป็นความยุ่งยากอย่างมาก ดังนั้น จึงได้มีการคิดวิธีประมาณค่า ซึ่งจะสามารถได้ค่าออกมาง่ายกว่า ถึงแม้จะต้องตัดทอนบางทอมทิ้งตามที่จะกล่าวต่อไปนี้

สมมติว่าเสียงเกิดจาก จุดศูนย์กลาง (Single point) และเสียงที่ตกกระทบเป็น unity ถ้า 5% ของคลื่นตกกระทบ ถูกสะท้อนกลับ ความดันมากที่สุดใน exhaust-pipe จะเกิดที่จุดซึ่งคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อนอยู่ใน phase เดียวกัน คือ 1.05 ดังนั้น ระดับความดันเสียงใน exhaust-pipe จะเป็น $20\log_{10}(1.05/1.00)$ หรือเท่ากับ 0.41 dB สูงกว่าระดับคลื่นเสียงตกกระทบ และ 95% ของคลื่นตกกระทบจะผ่านทะลุ muffler ดังนั้น การลดเสียงจริงจะเป็น $20\log_{10}(1.00/0.95)$ หรือเท่ากับ 0.44 dB เพราะฉะนั้น ความดันตก (pressure drop) มากที่สุด ที่สามารถวัดได้จากการทดลองจะเป็น $0.41+0.44$ หรือเท่ากับ 0.85 dB โดยในรายงานฉบับนี้จะใช้หลัก

การนี้ในการพิจารณา

การรั่วไหลของเสียงเข้าไปใน microphone ที่ tail-pipe ที่จุดวัดจะกำจัดระดับเสียงที่ต่ำที่สุดที่สามารถวัดได้ เพราะฉะนั้น Transmission Loss ที่มากที่สุดในการวัด สำหรับ muffler ต่างๆ

ถูกกำหนดไว้ประมาณ 50 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบกลม พื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S_b = 0.000123$)

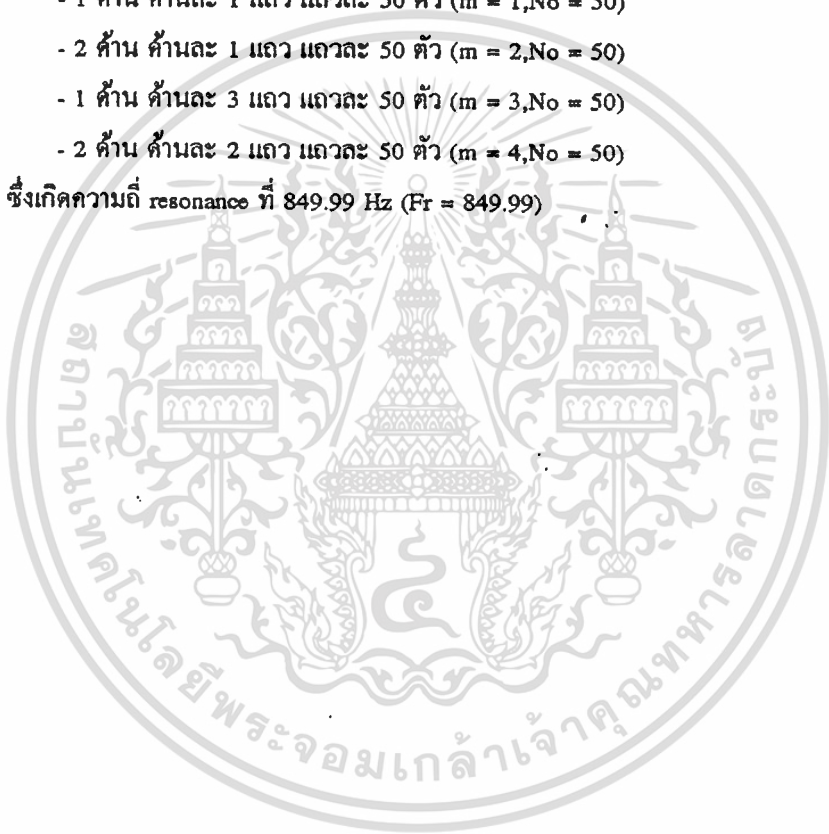
ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

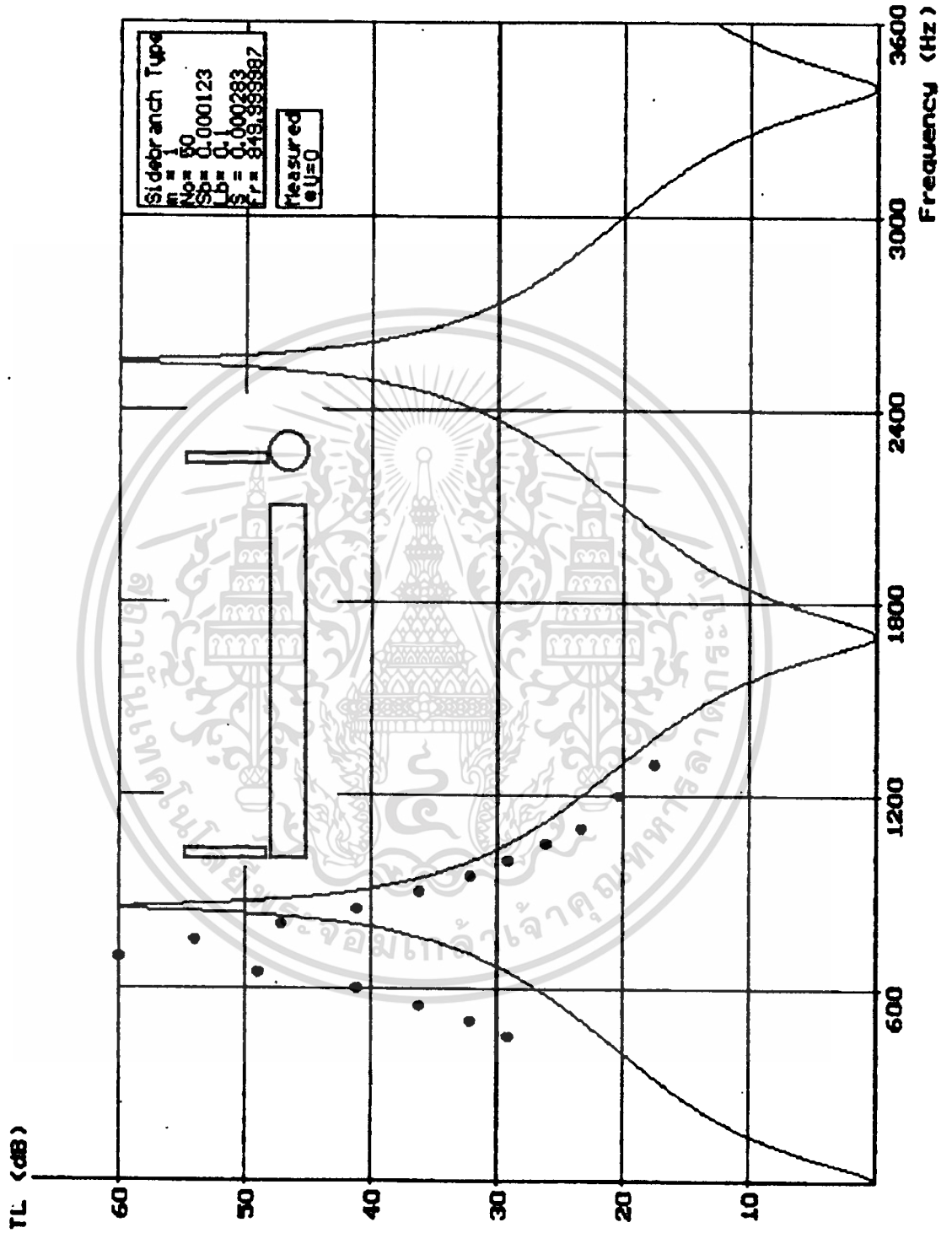
ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

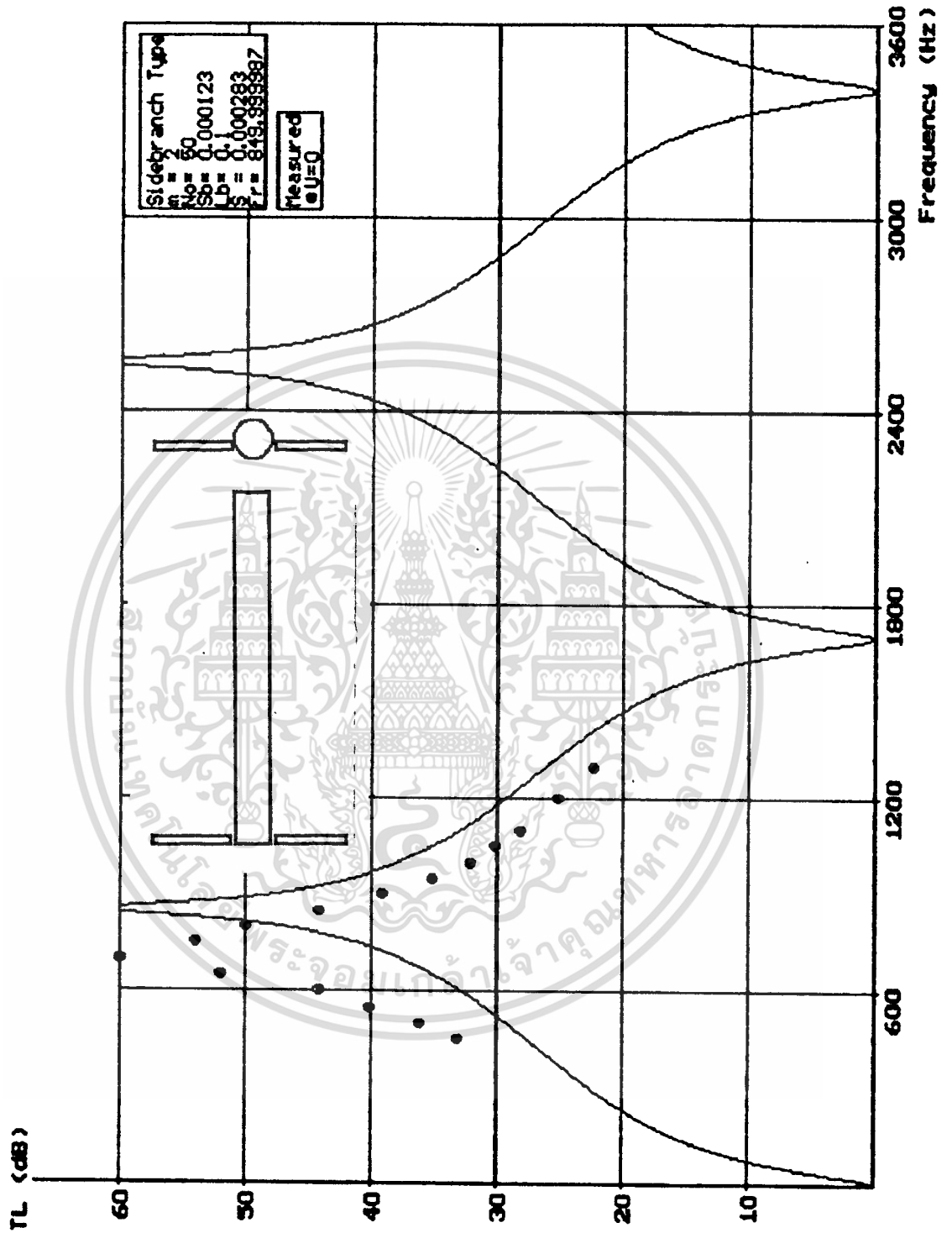
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, No = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, No = 50$)

ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($Fr = 849.99$)

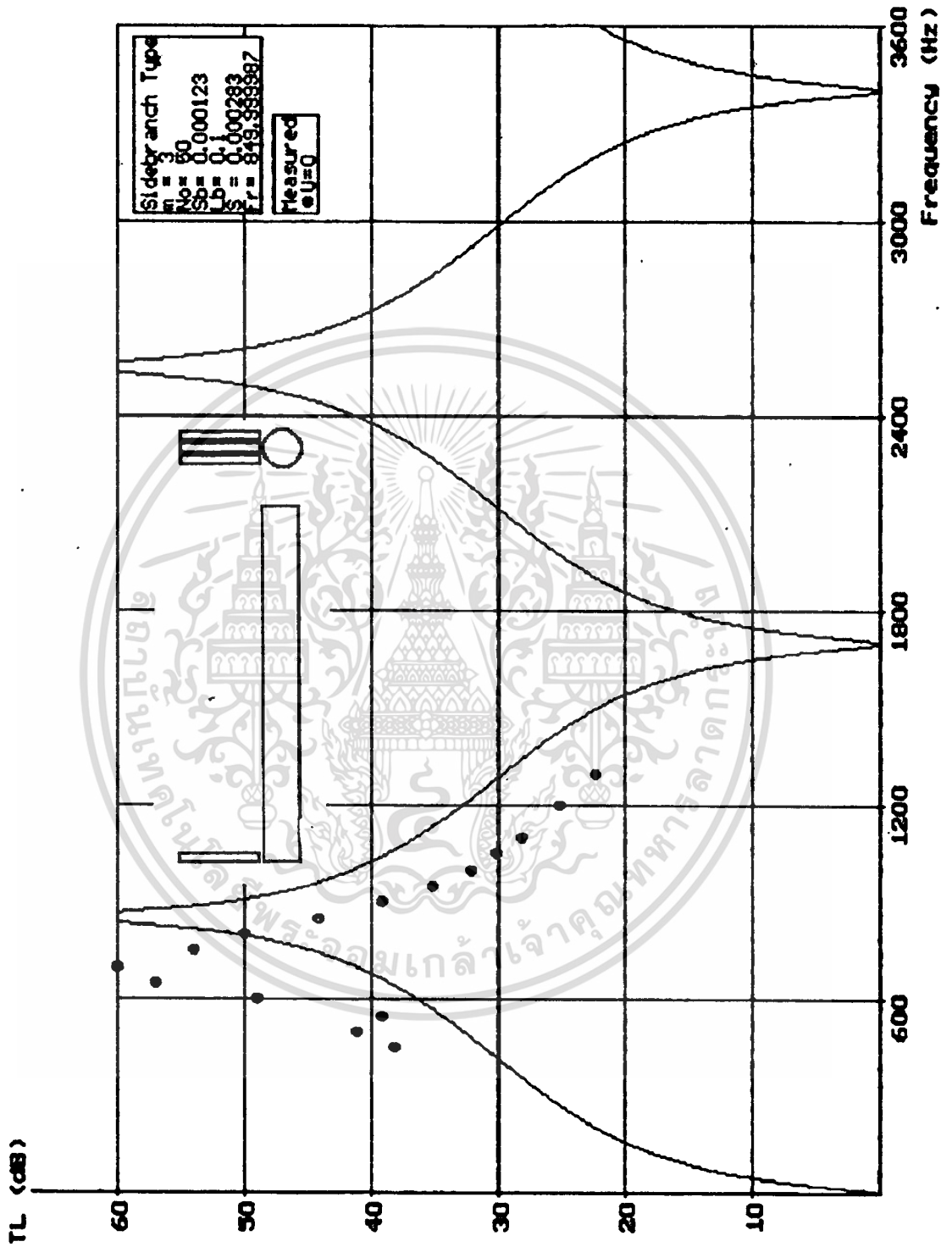




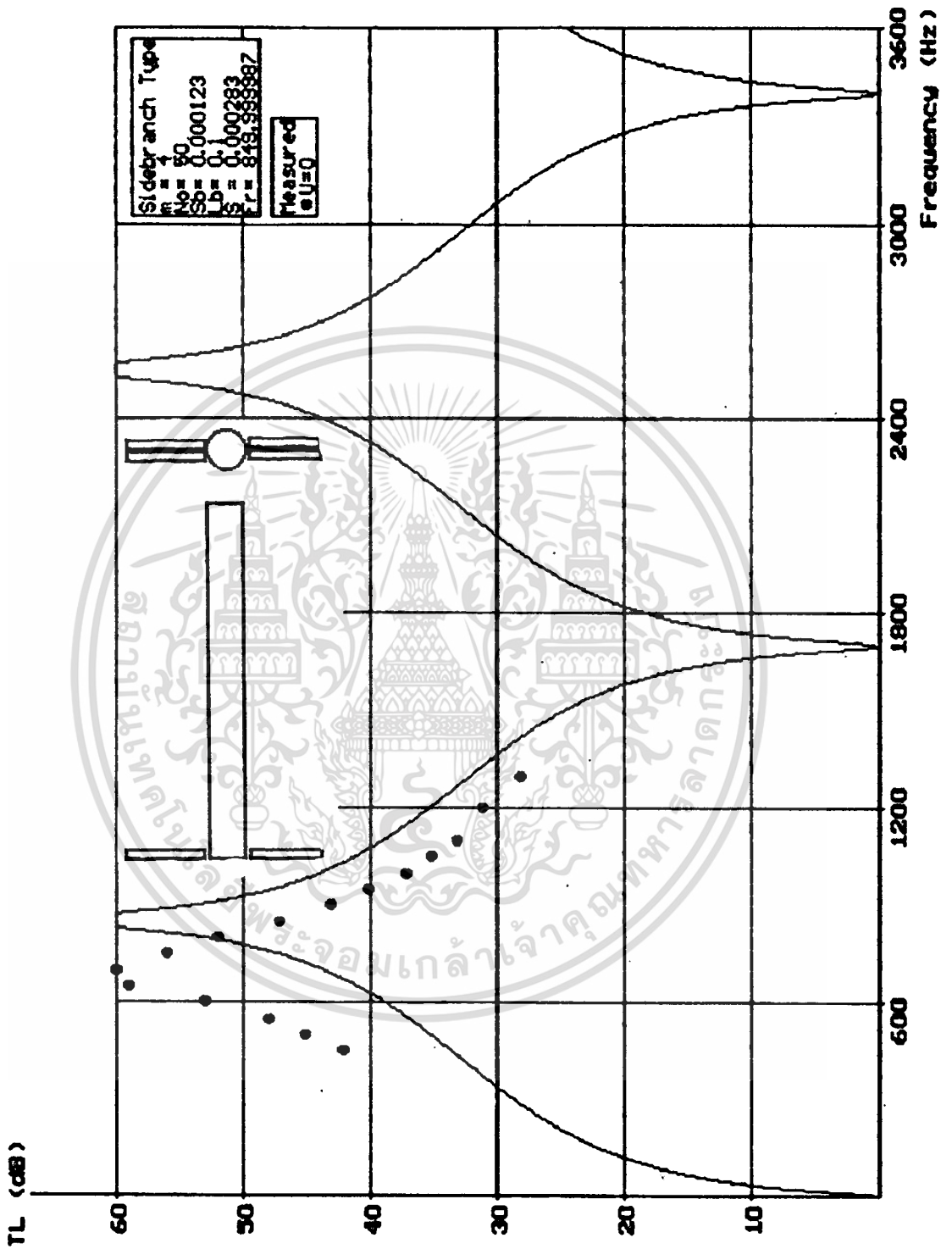
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบกลม พื้นที่หน้าตัด 0.000123 ตารางเมตร ($S_b = 0.000123$)

ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

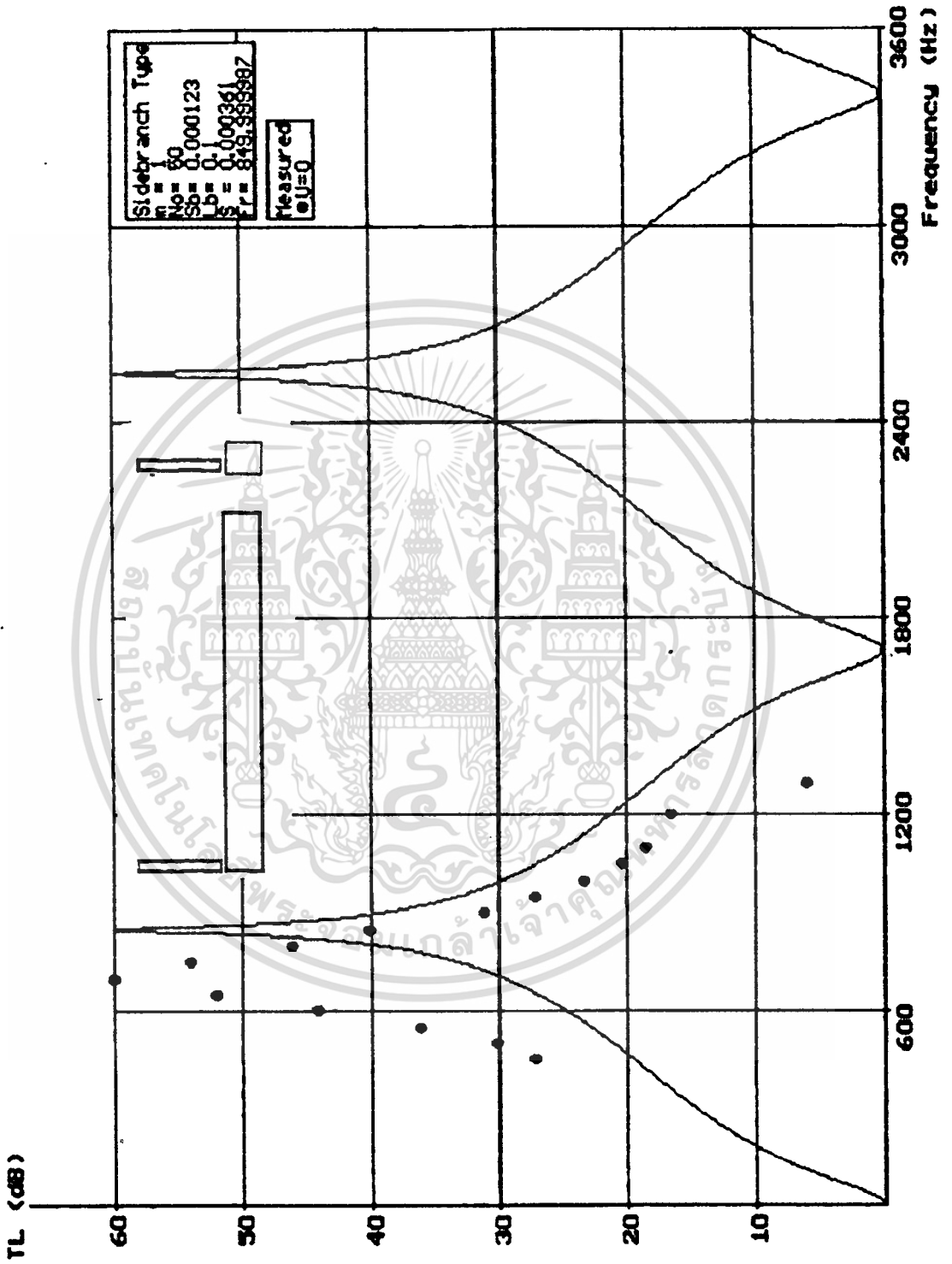
ใช้ท่อทางเดินเสียงที่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

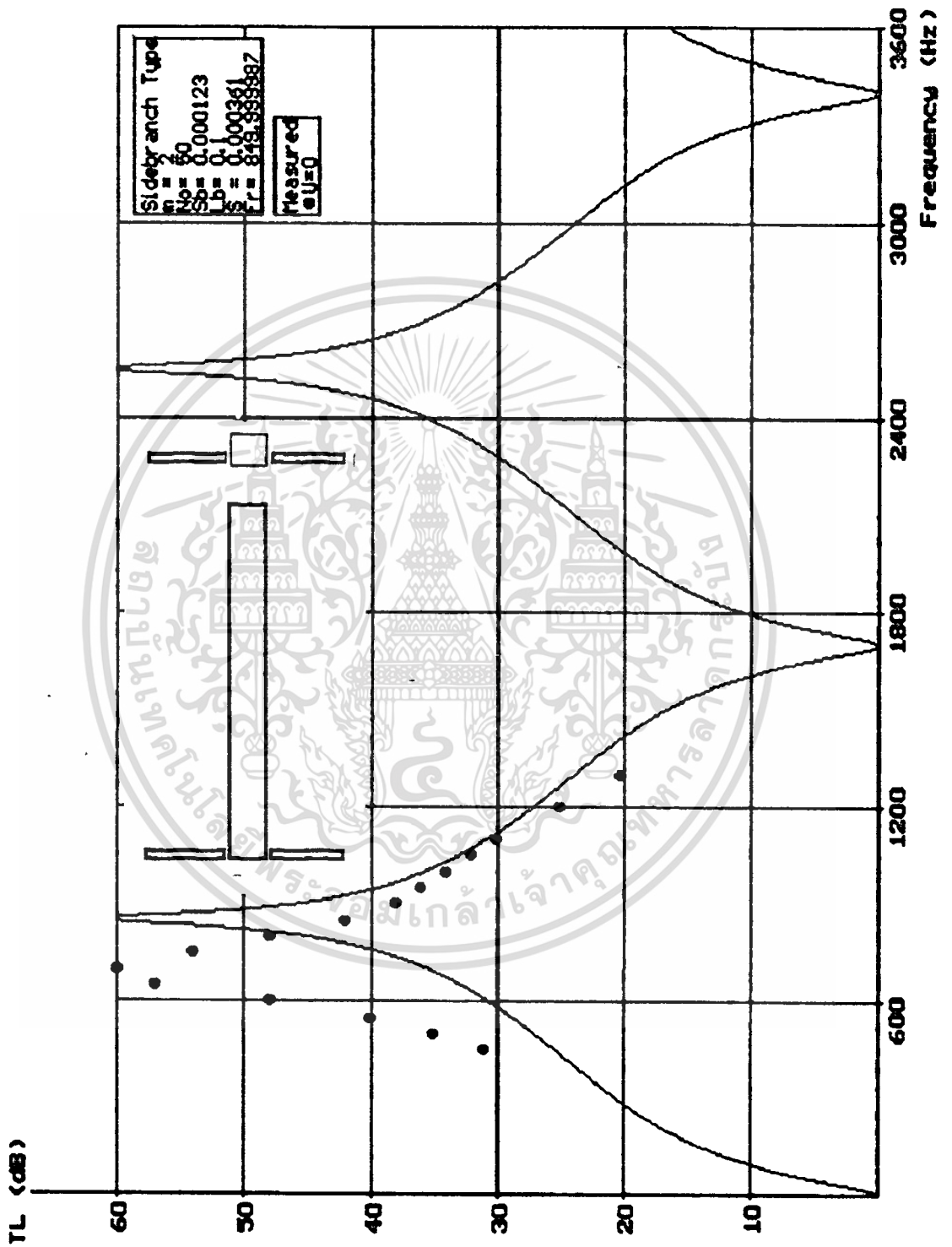
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, No = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, No = 50$)

ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($Fr = 849.99$)

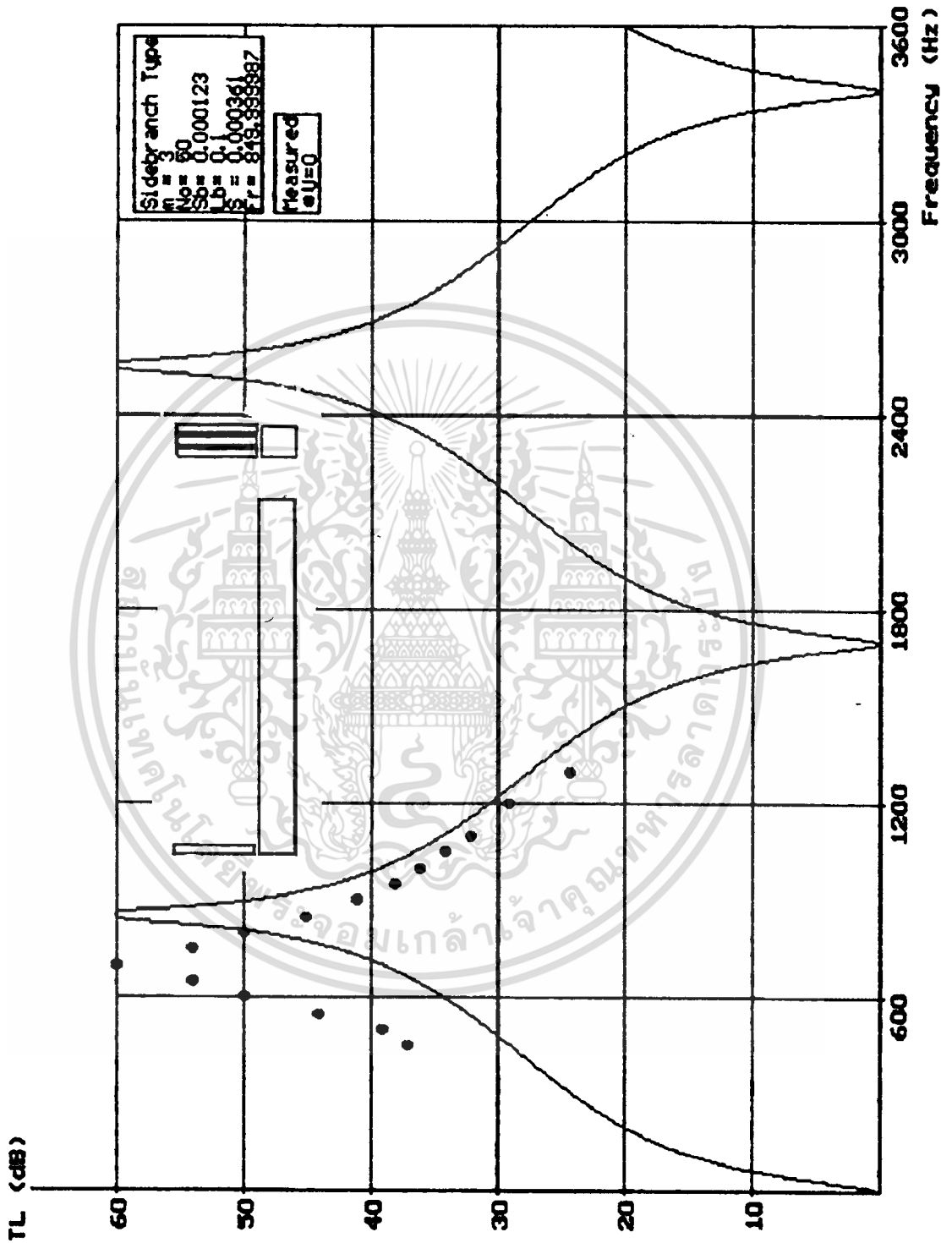




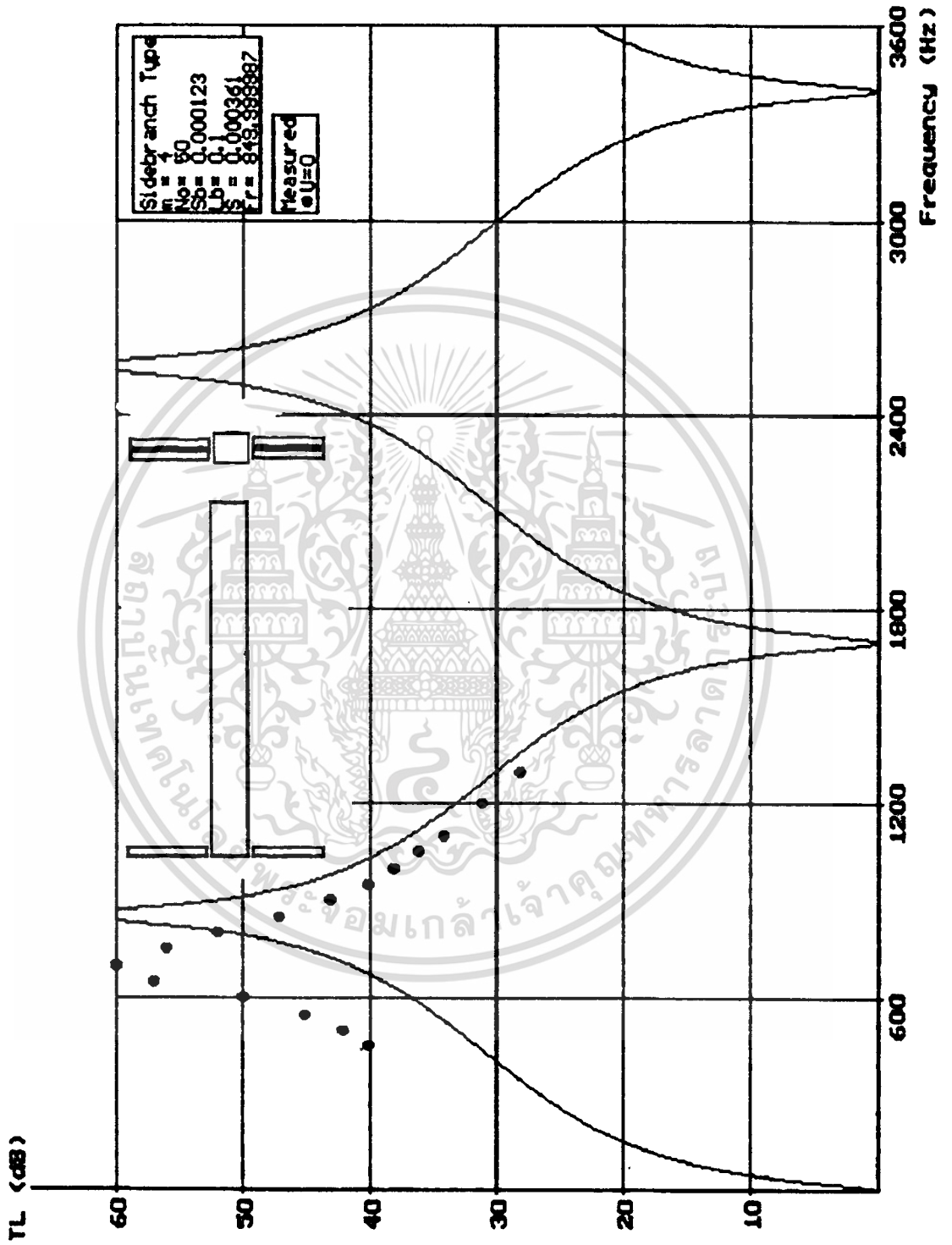
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบกลม พื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S_b = 0.000283$)

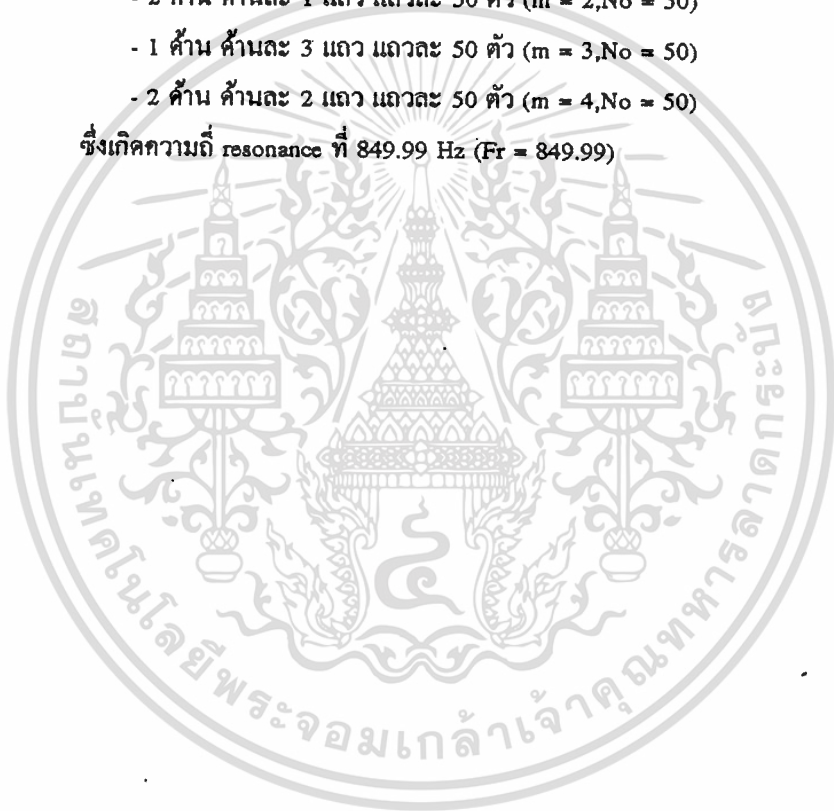
ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

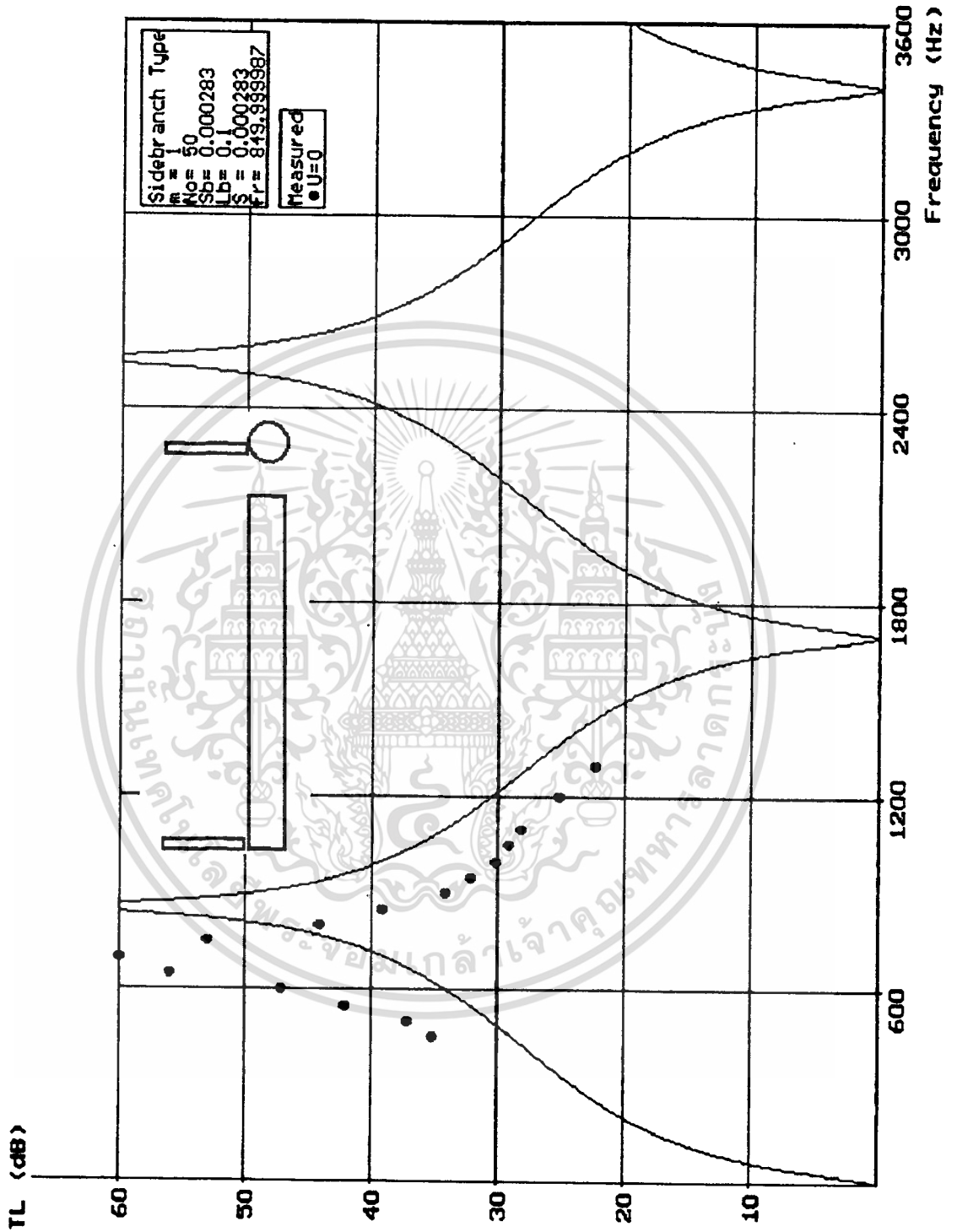
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

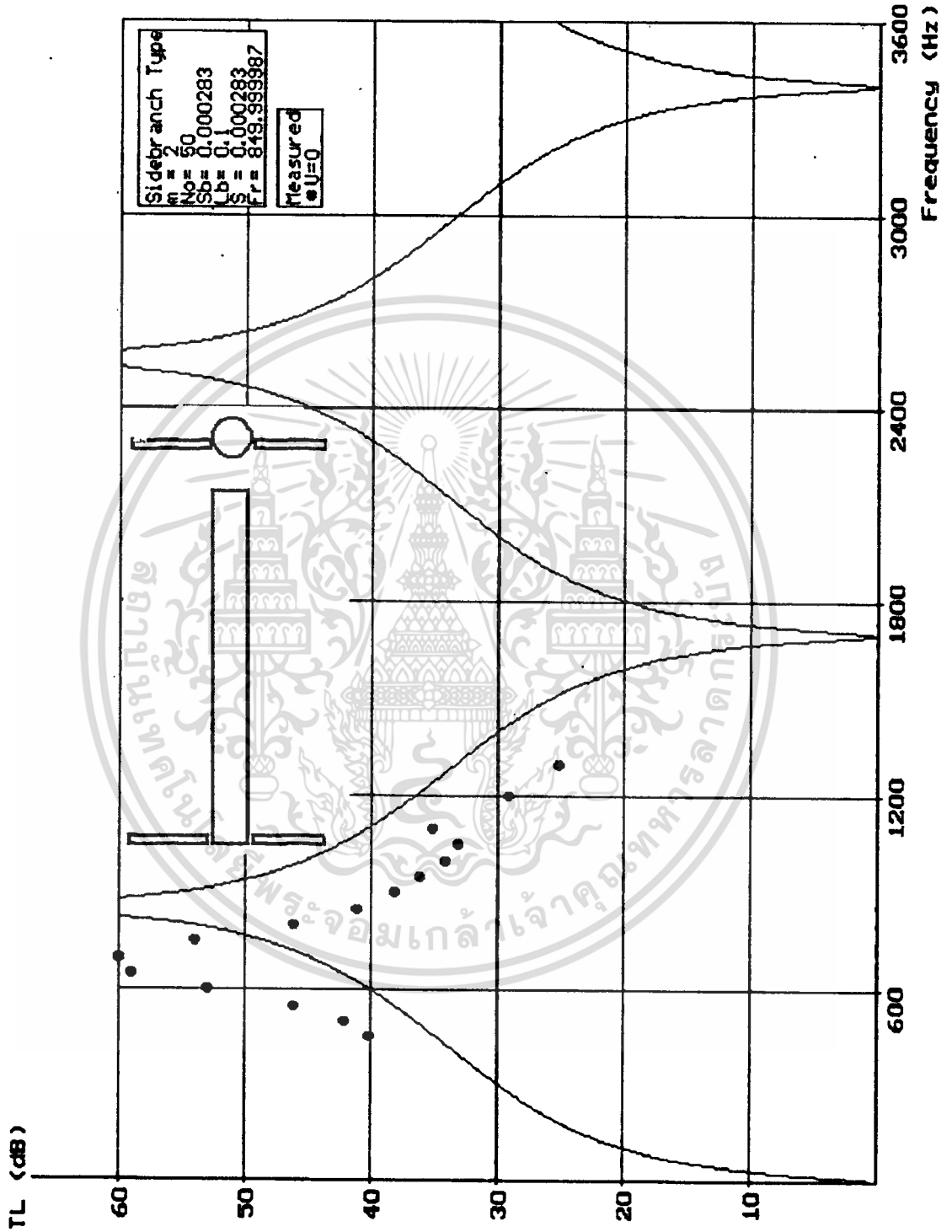
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($F_r = 849.99$)



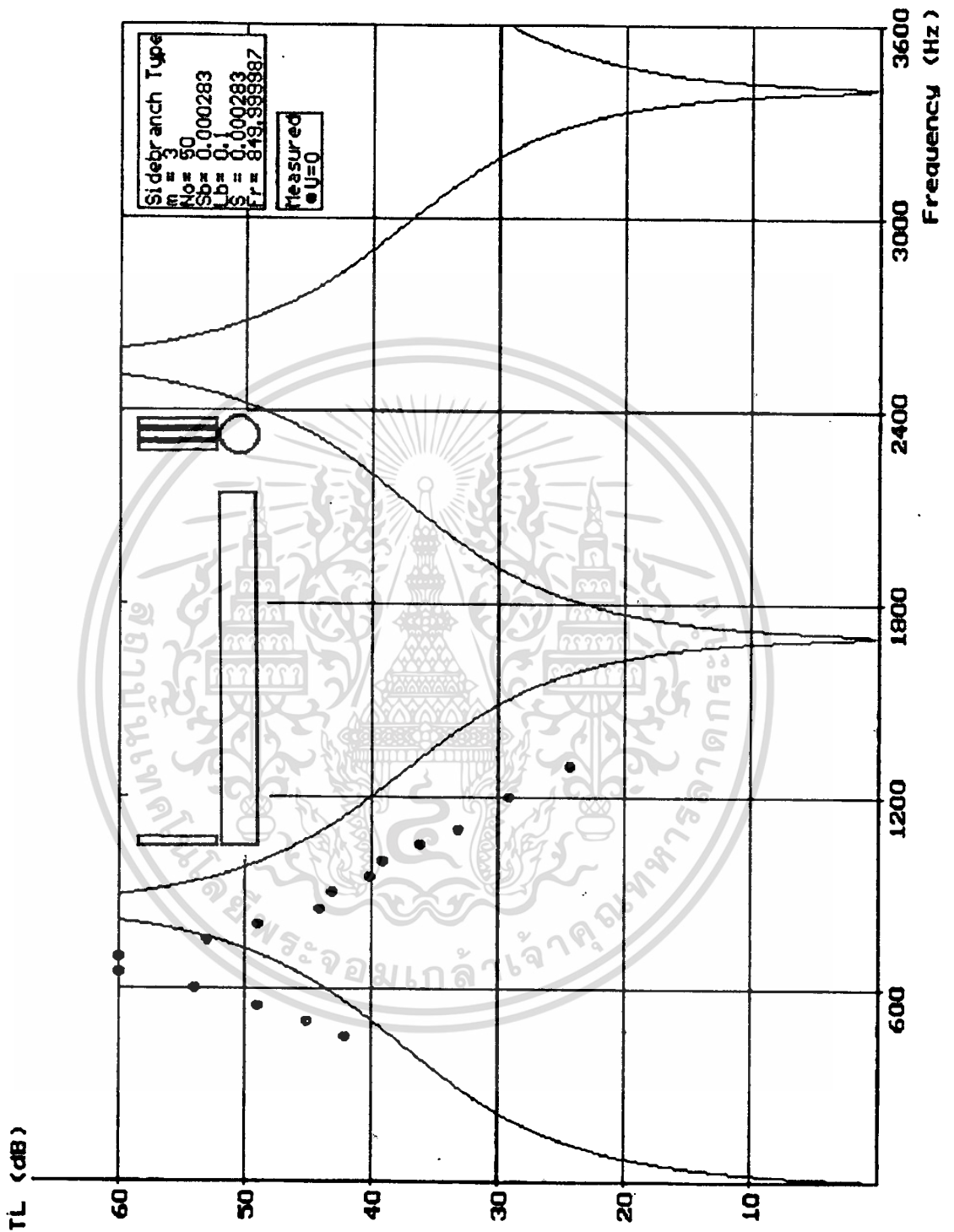
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



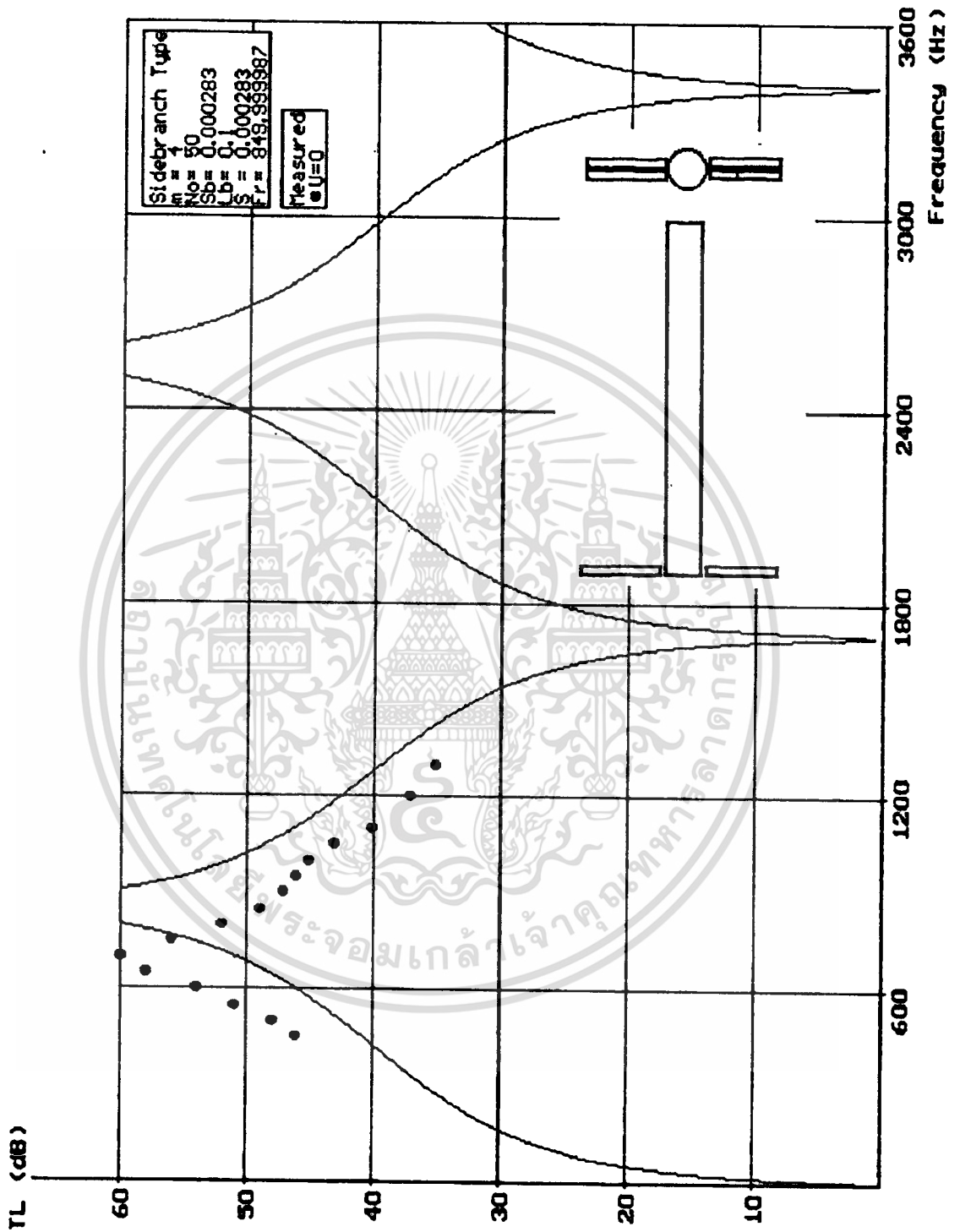
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบกลม พื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S_b = 0.000283$)

ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

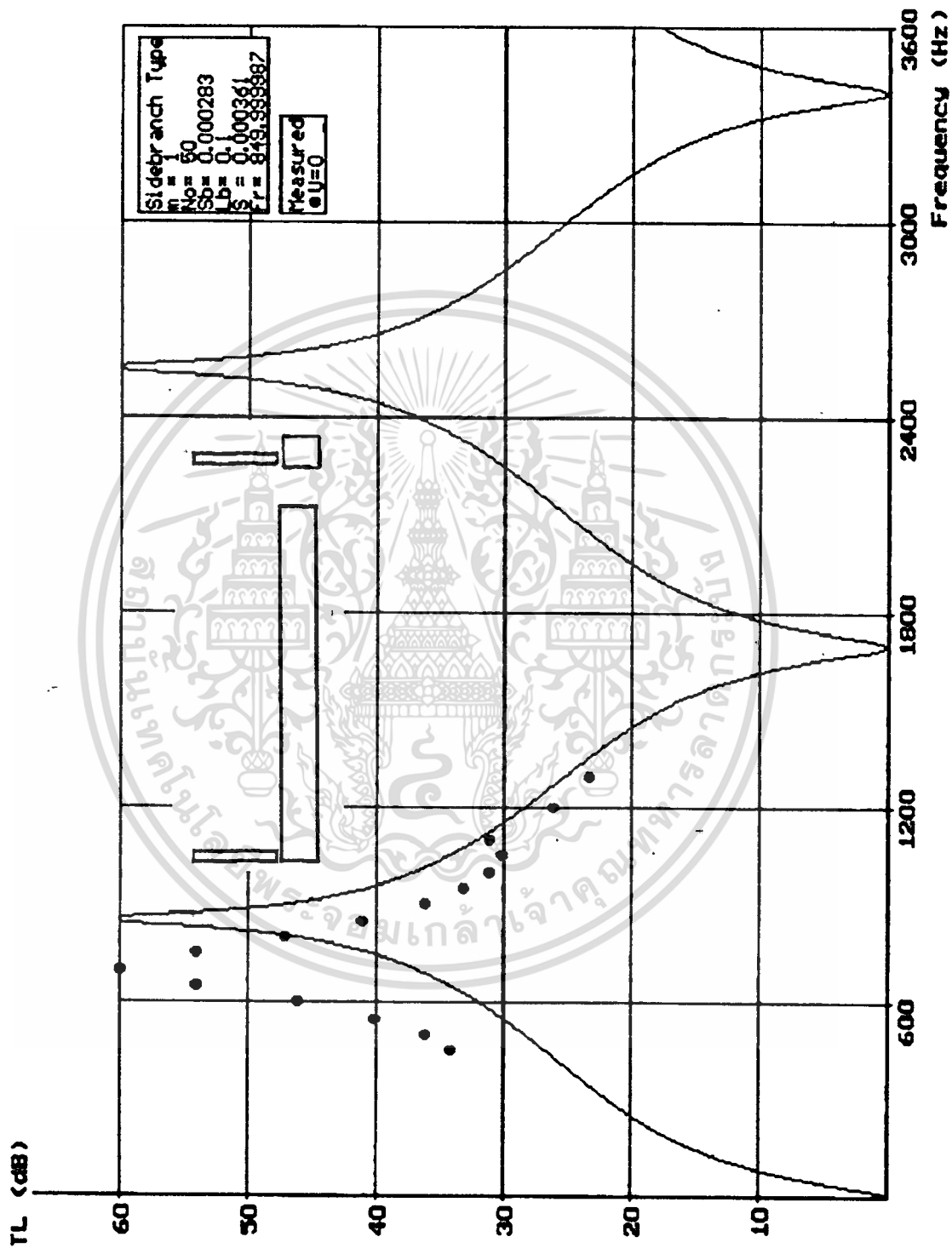
ใช้ท่อทางเดินเสียงที่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

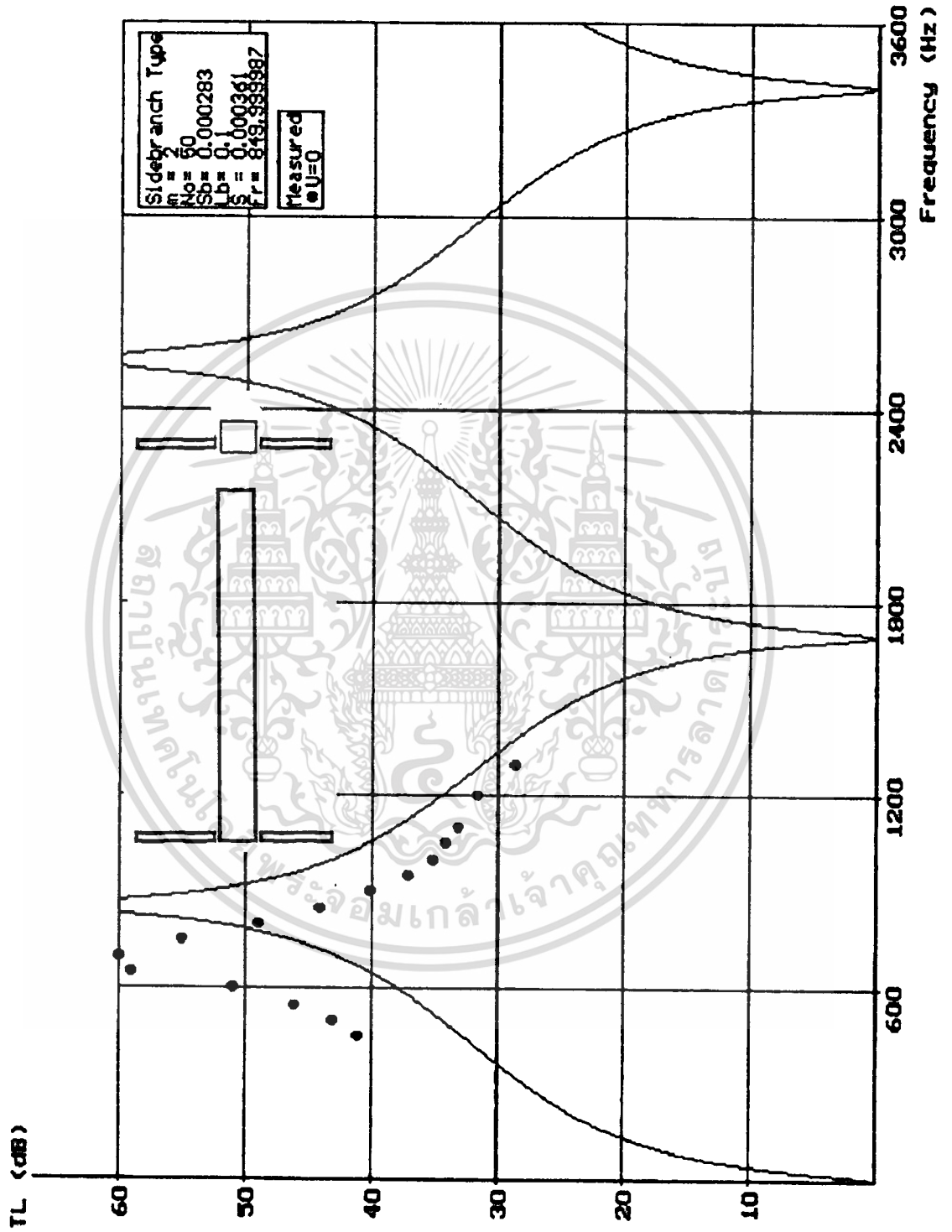
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($Fr = 849.99$)

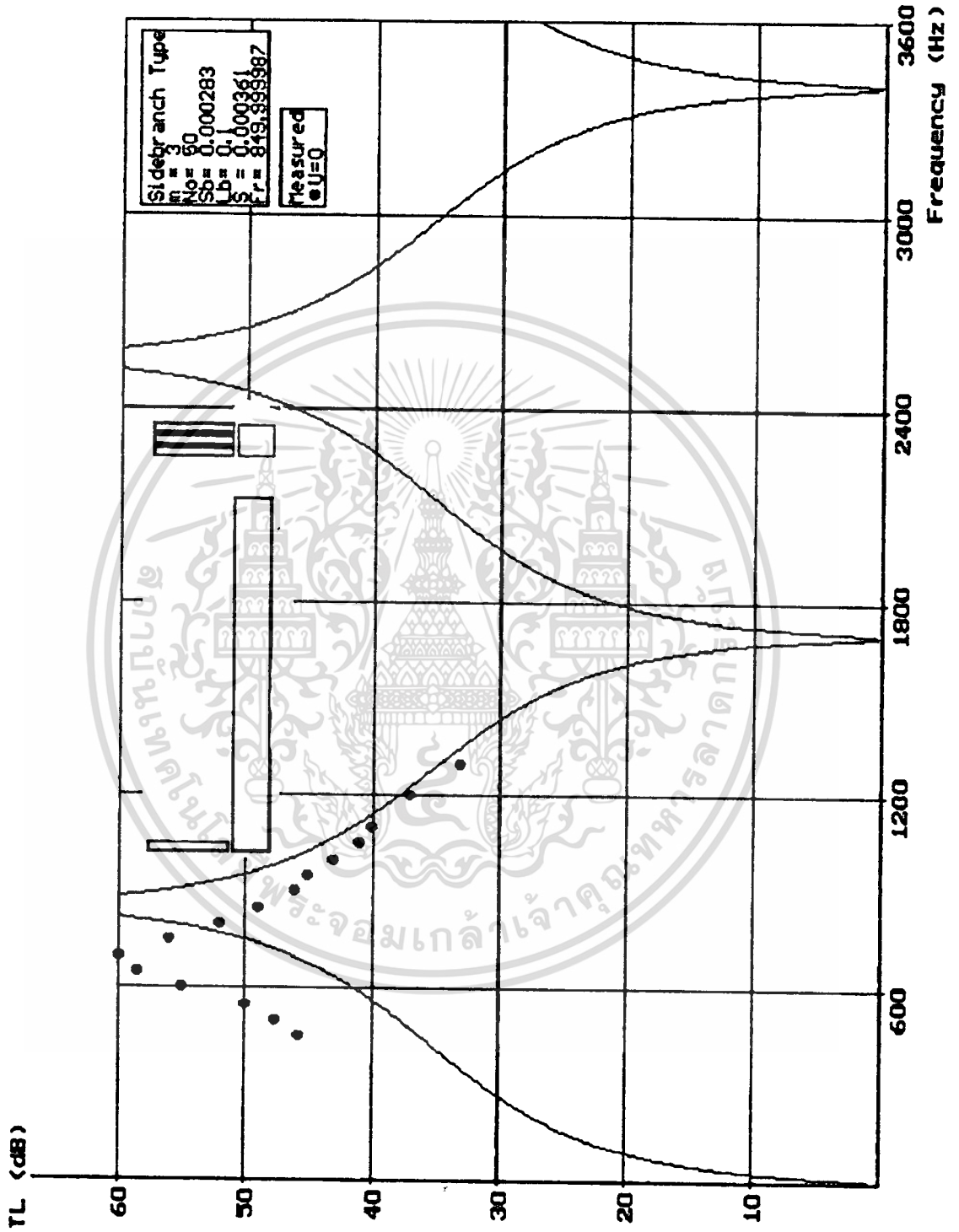




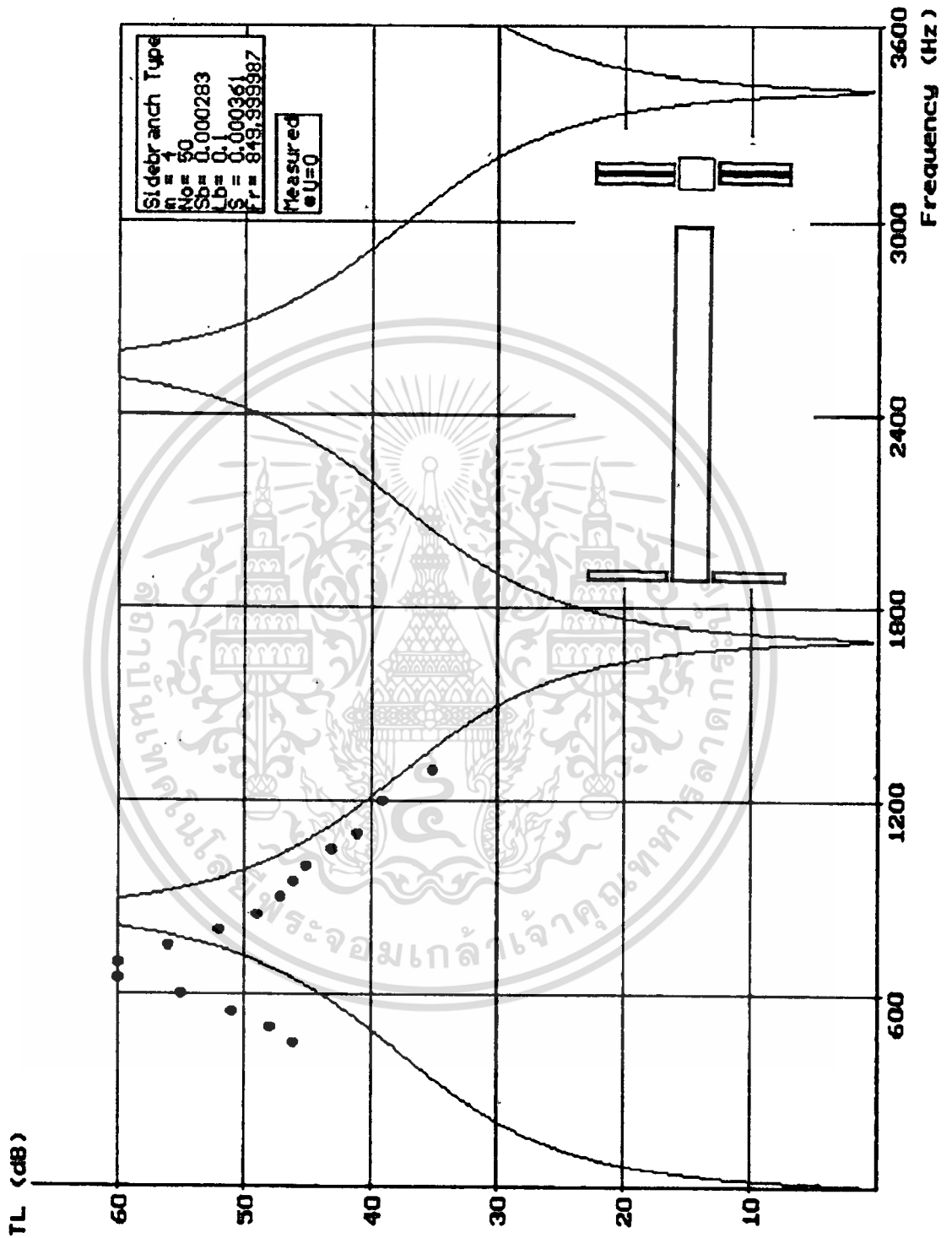
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบสี่เหลี่ยม พื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S_b = 0.000361$)

ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

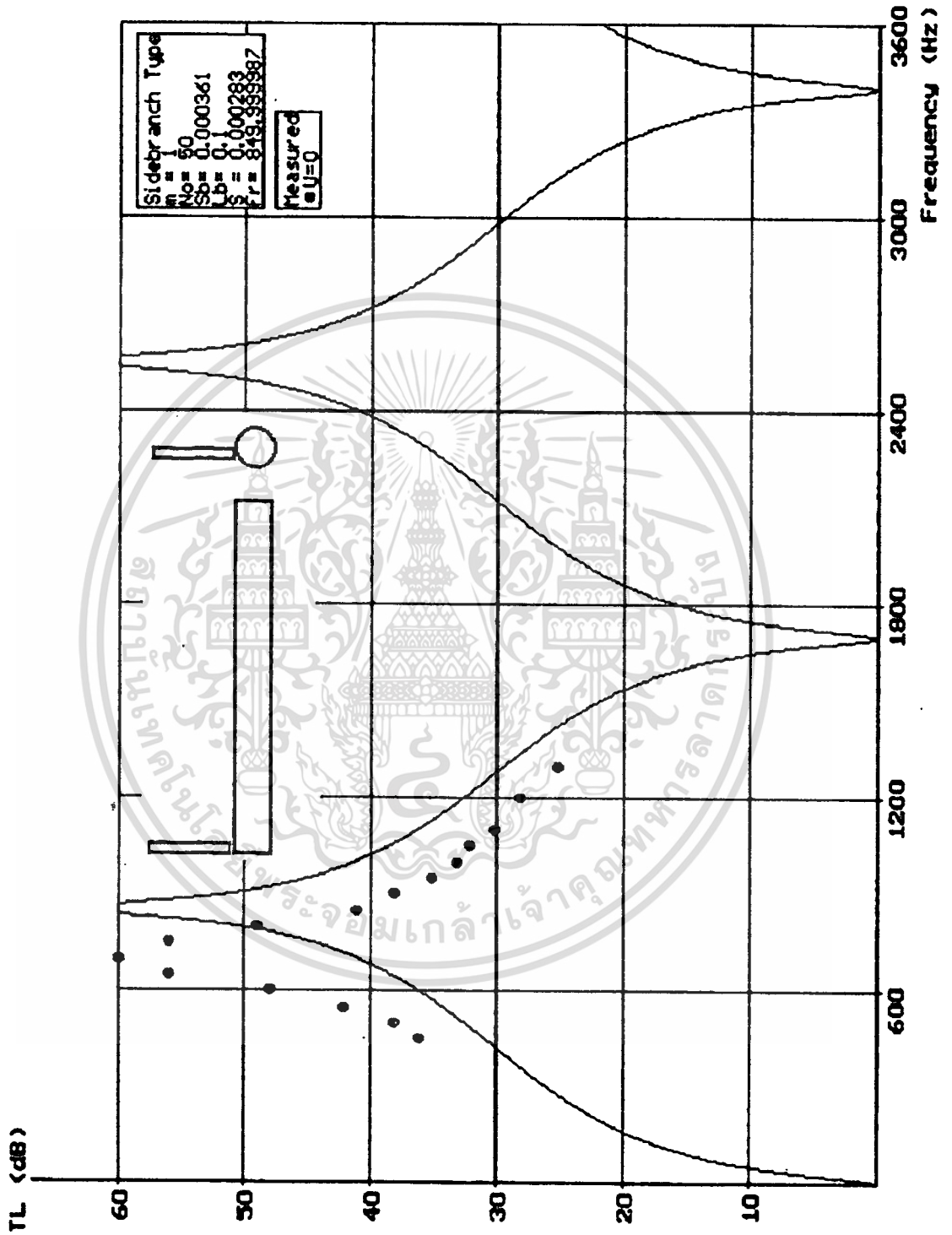
ไร้ออกทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

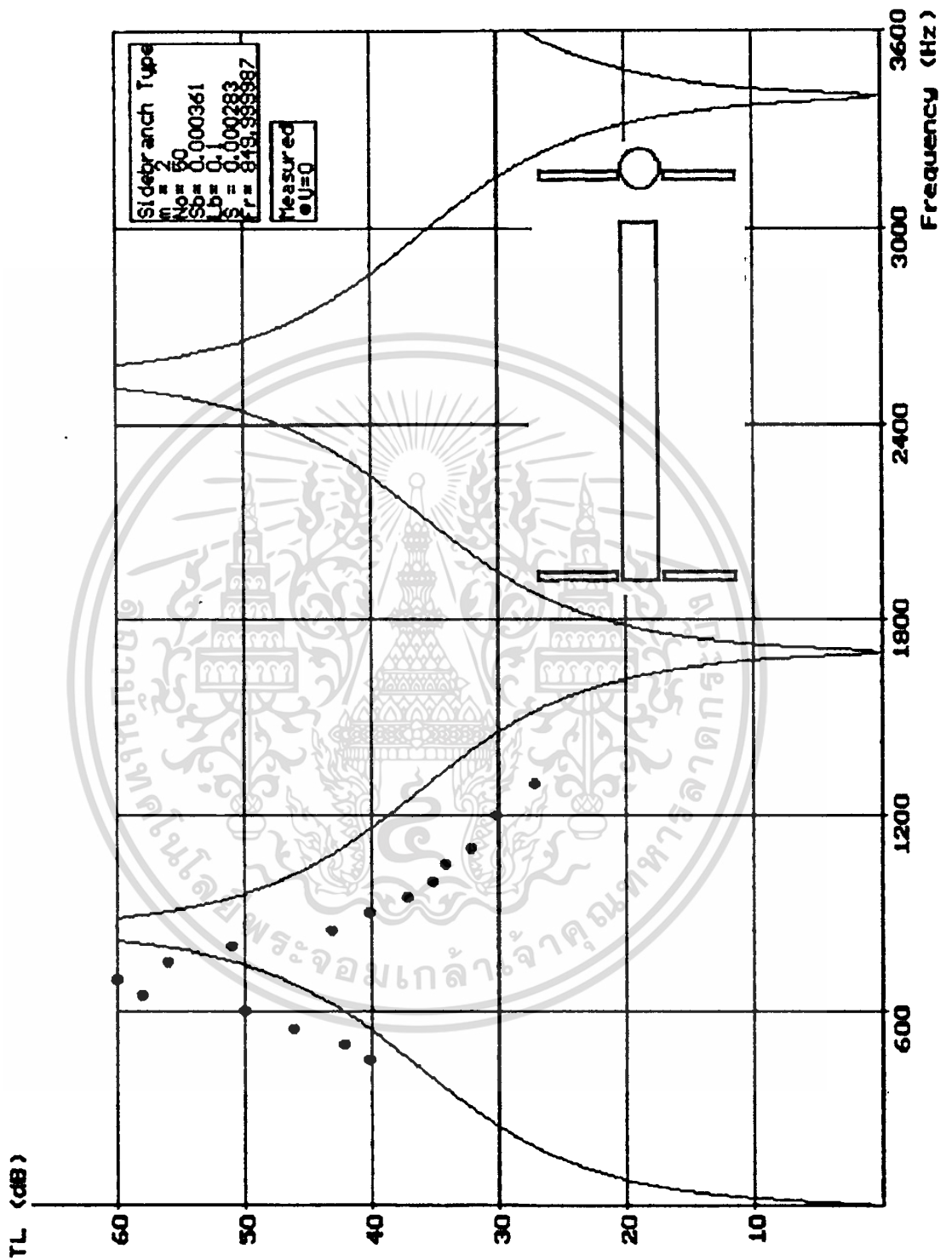
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($F_r = 849.99$)

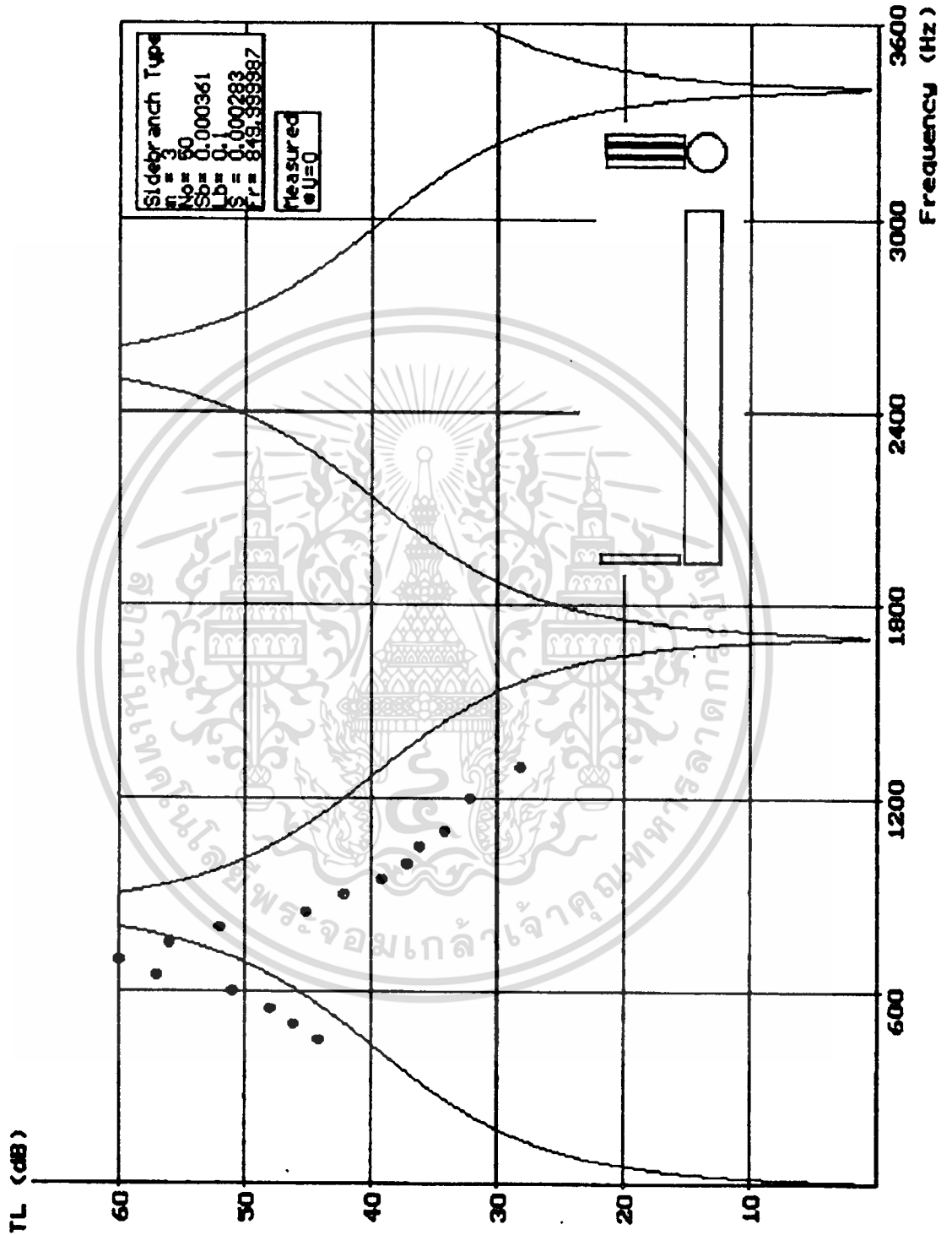




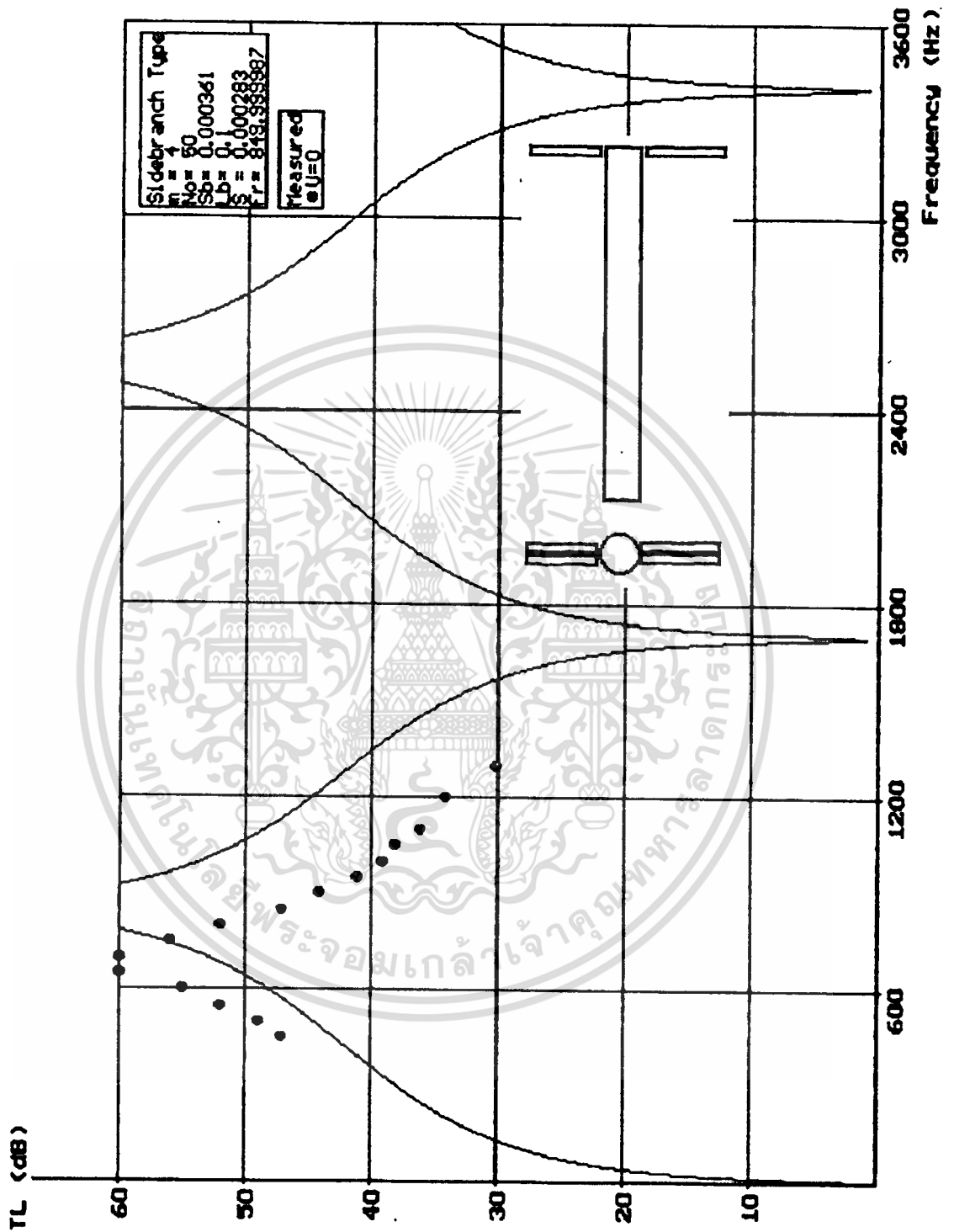
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Side Branch Resonator

แบบสี่เหลี่ยม พื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S_b = 0.000361$)

ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

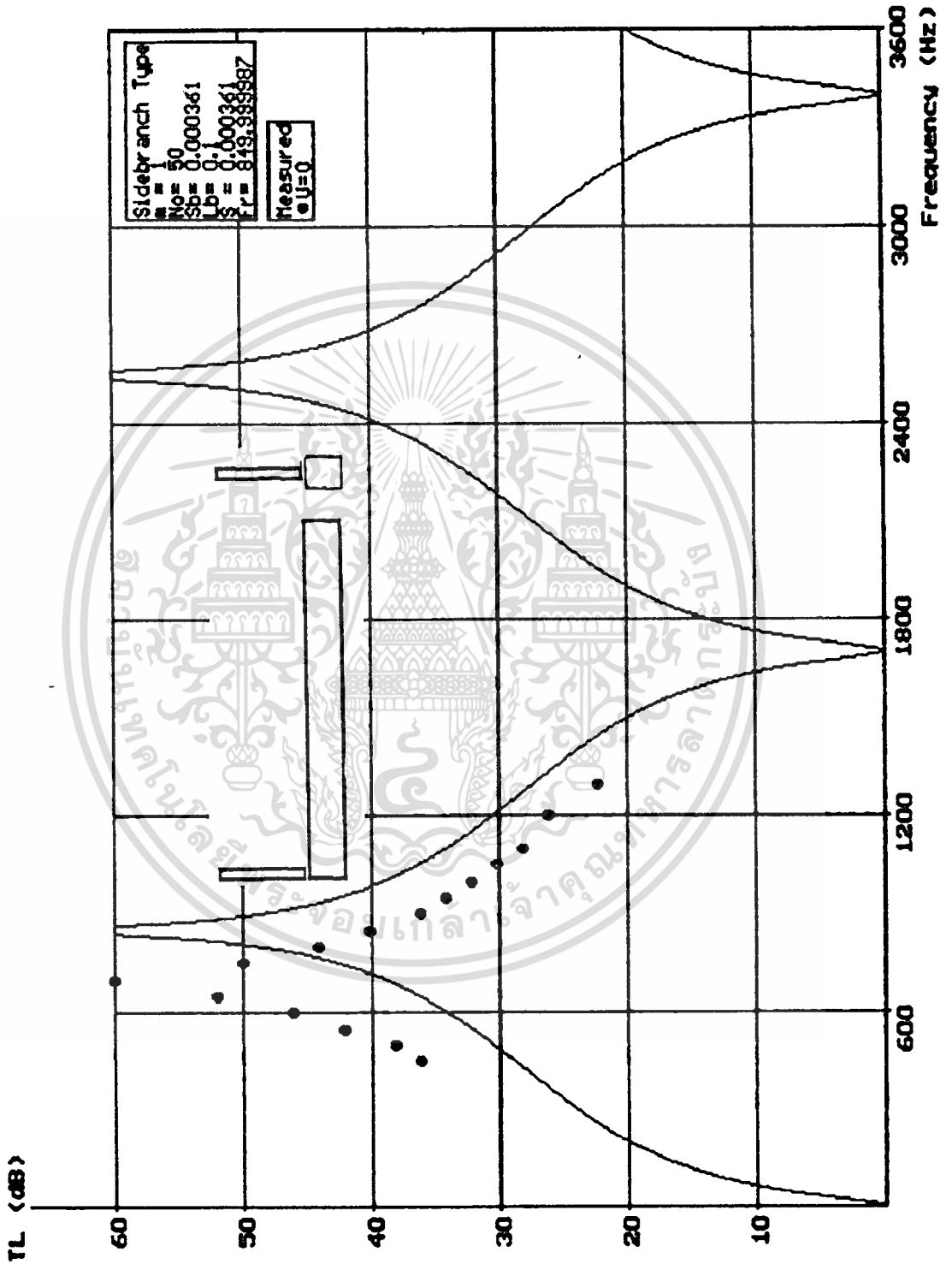
ใช้ท่อทางเดินเสียงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

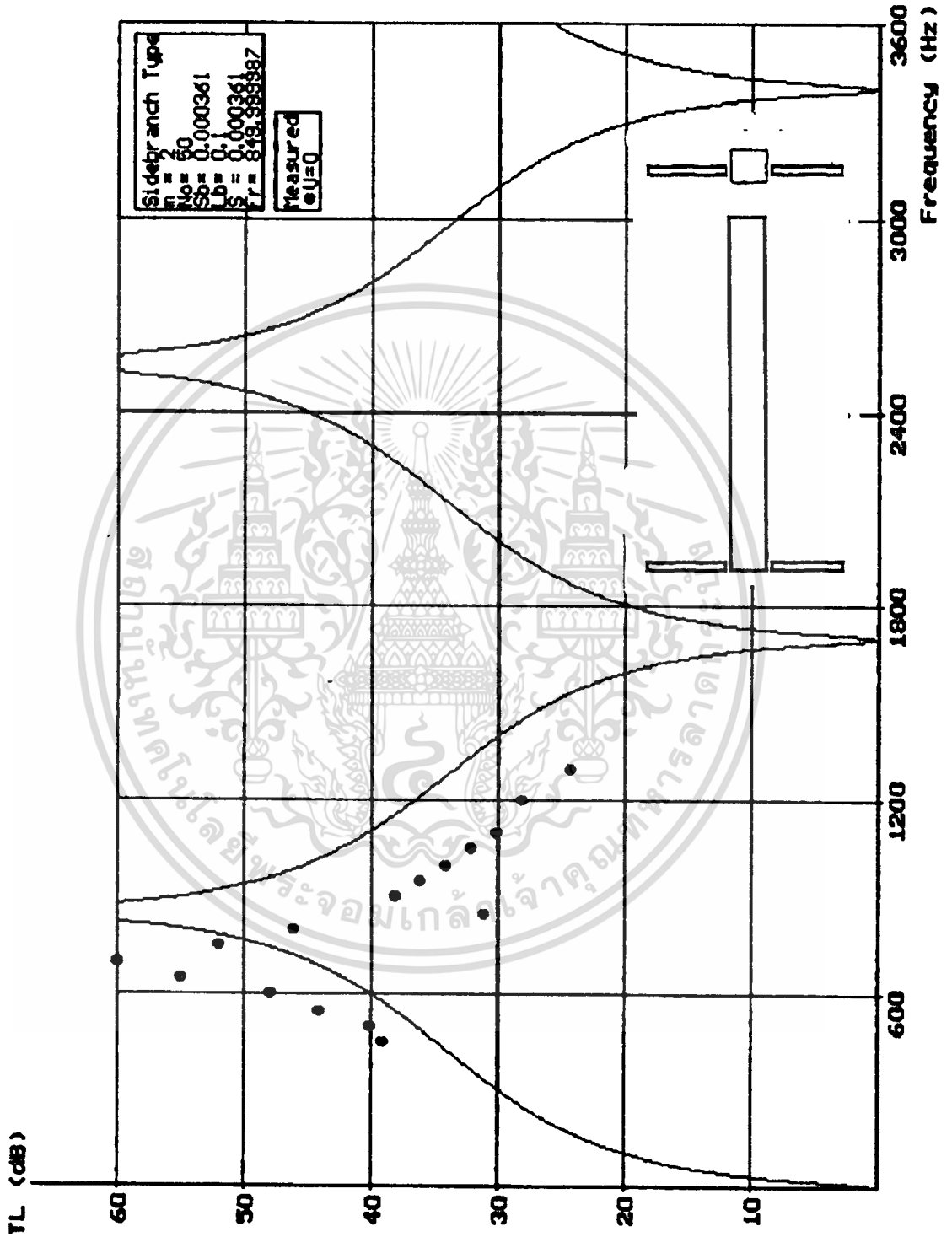
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 849.99 Hz ($F_r = 849.99$)

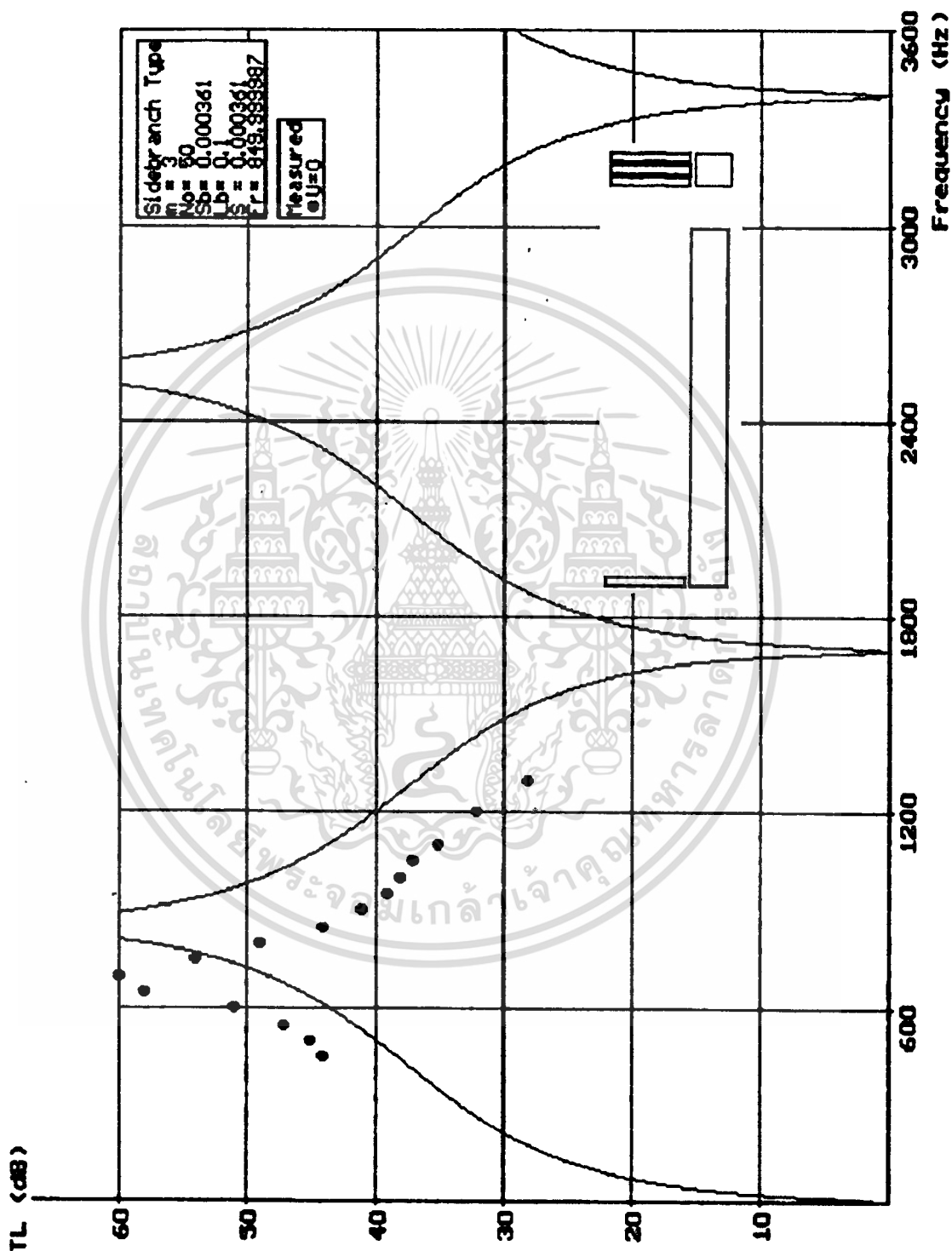




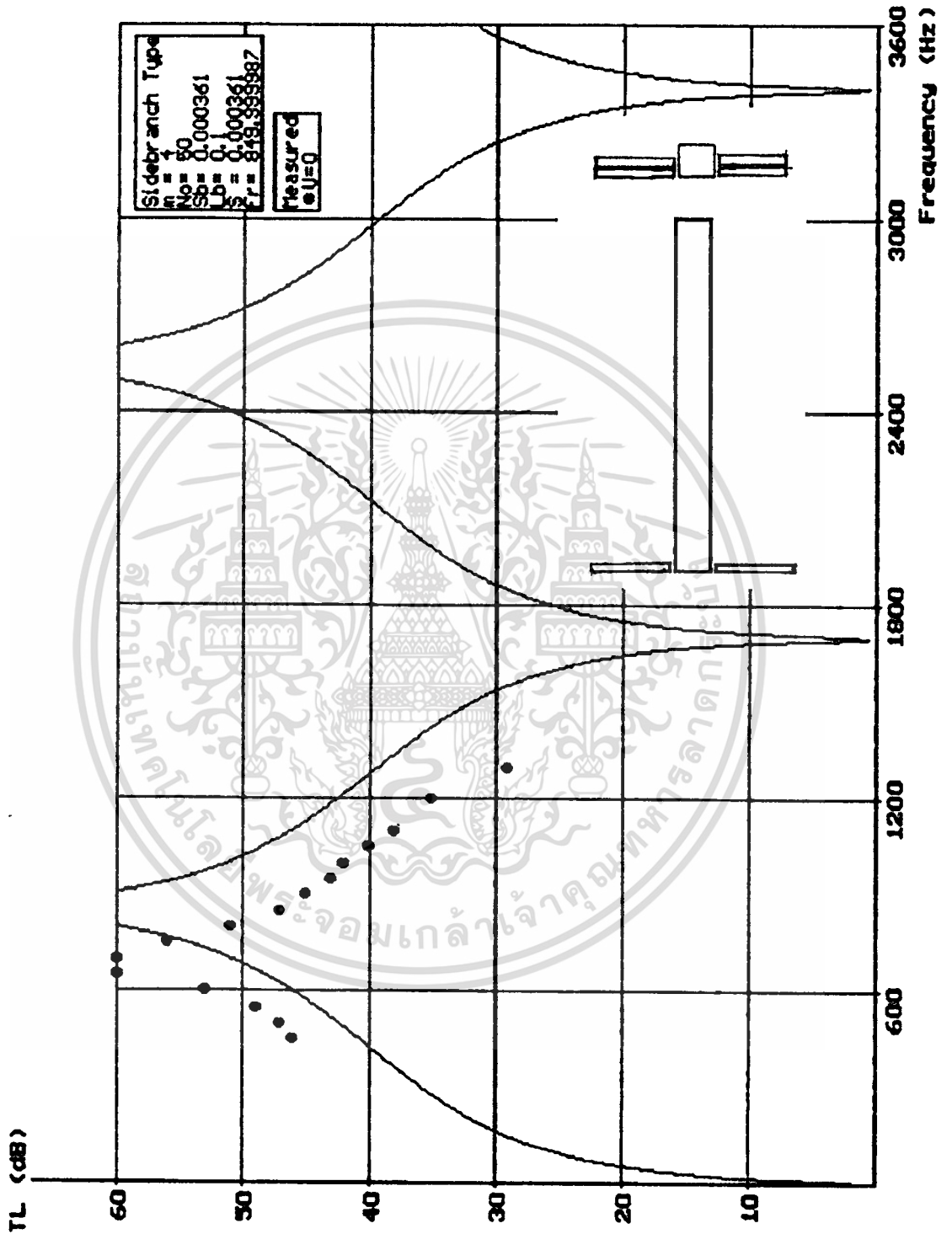
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบกลม ปริมาตร 0.000012 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000012$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($Nh = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.0125 เมตร (Lp)

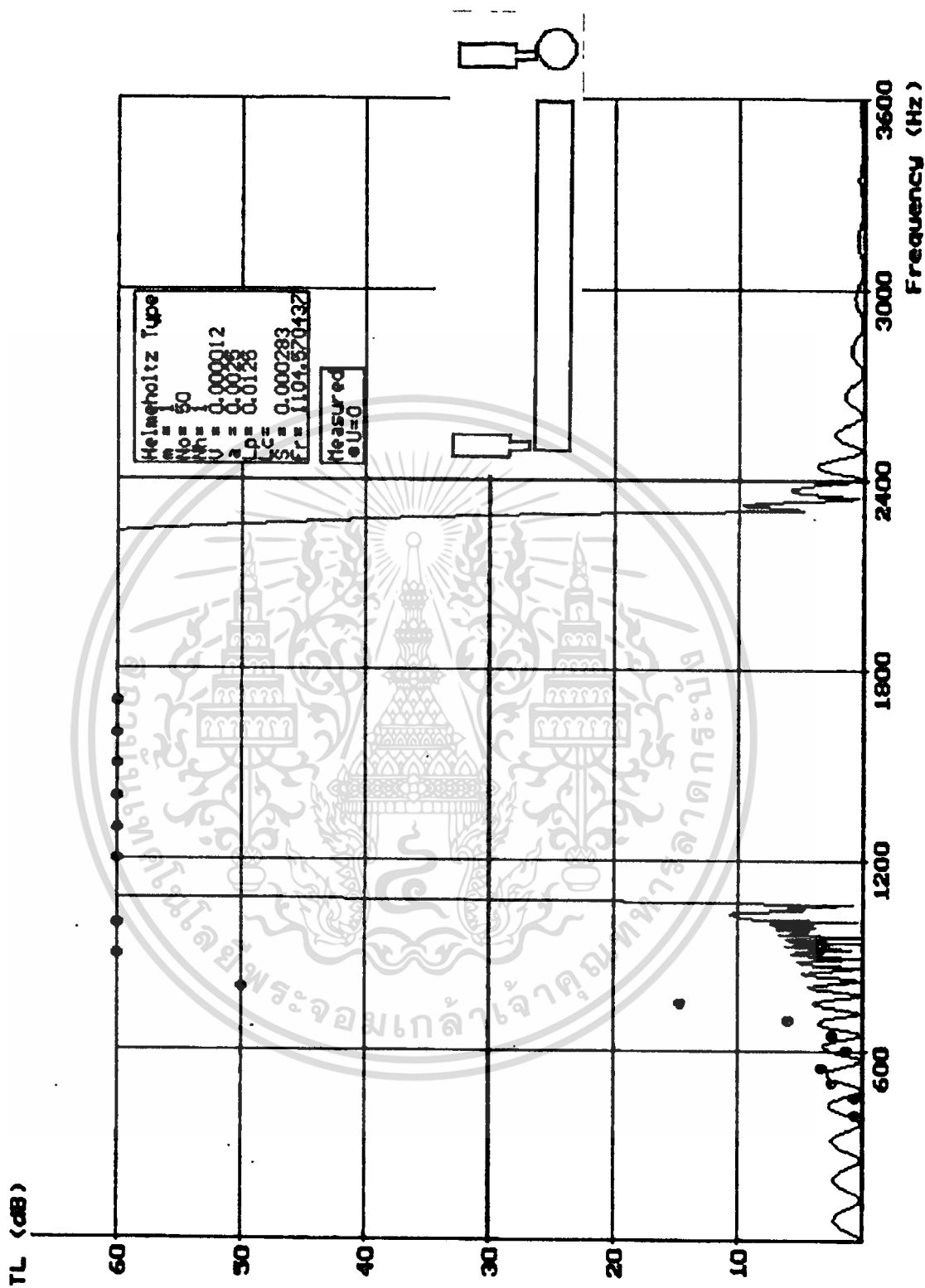
*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($Lc = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

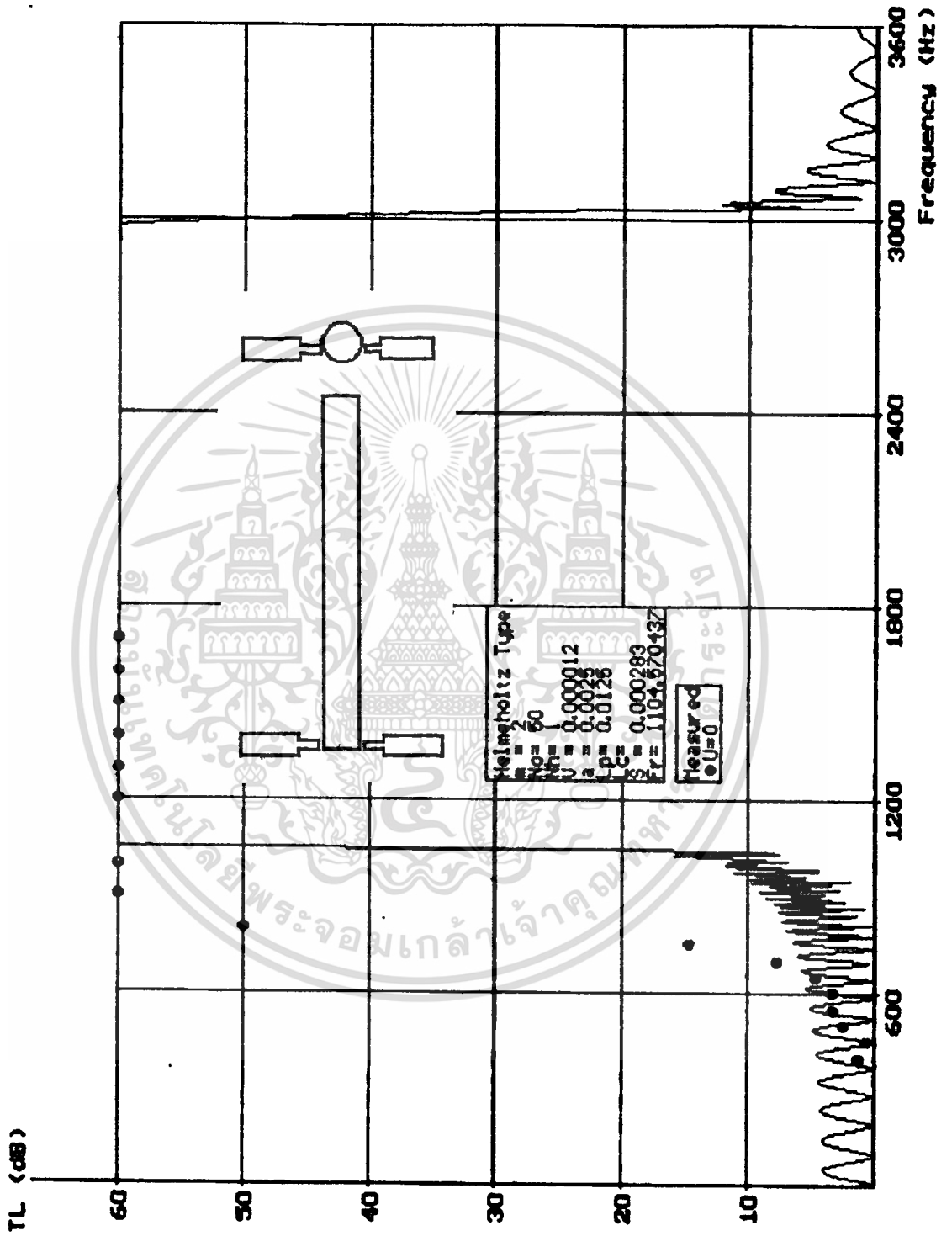
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, No = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, No = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, No = 50$)

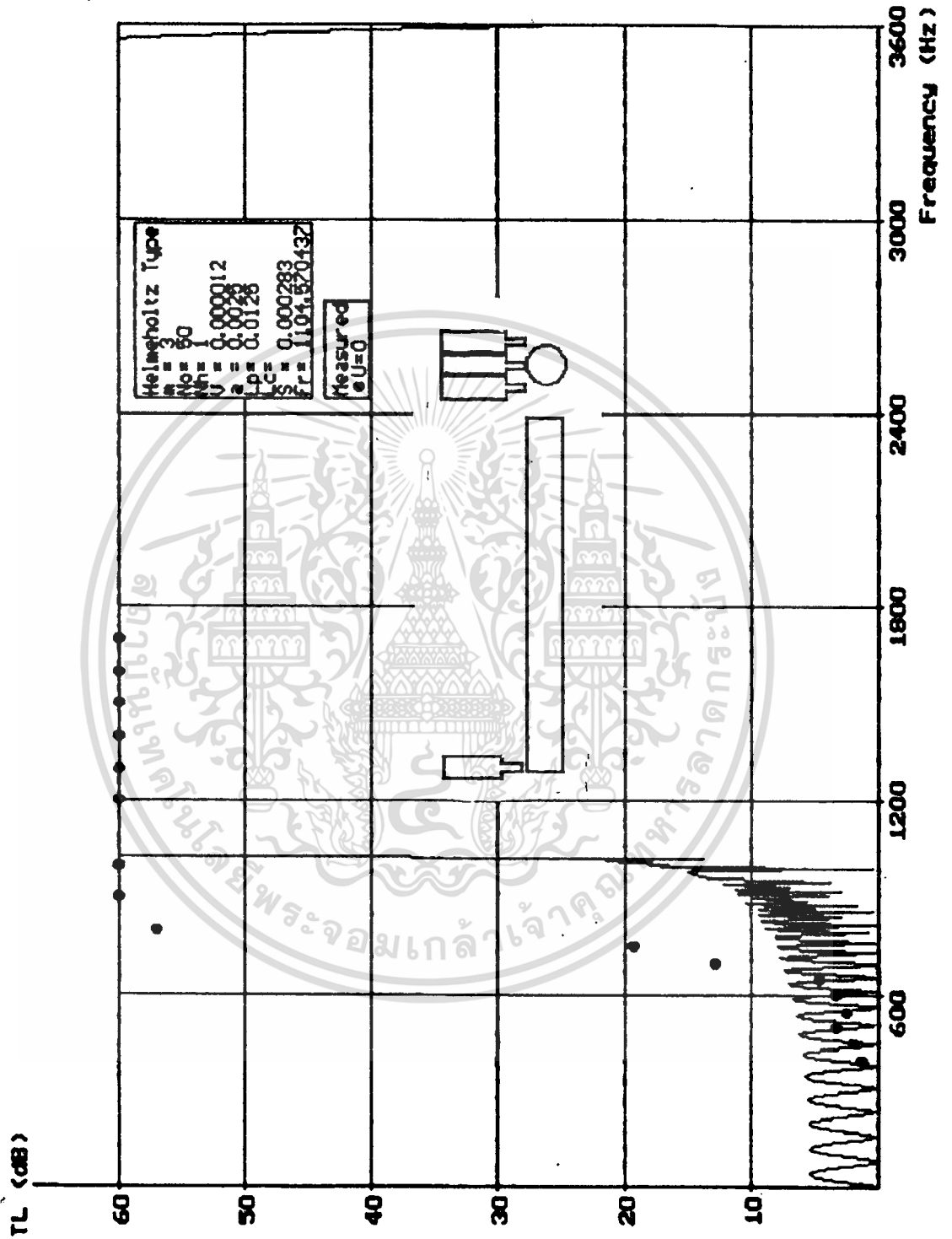
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 1104.57 Hz ($Fr = 1104.57$)



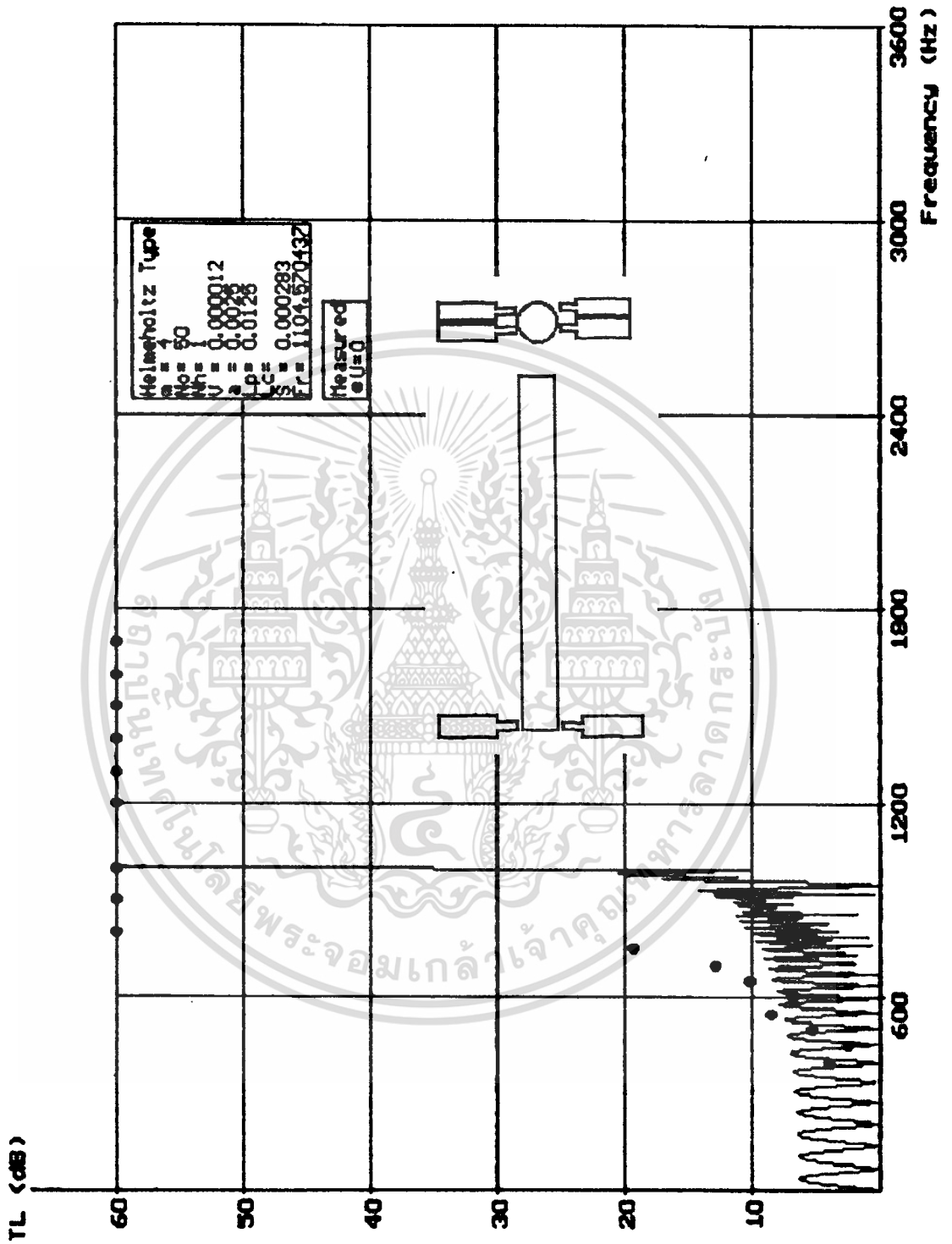
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบกลมปริมาตร 0.000012 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000012$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.0125 เมตร (L_p)

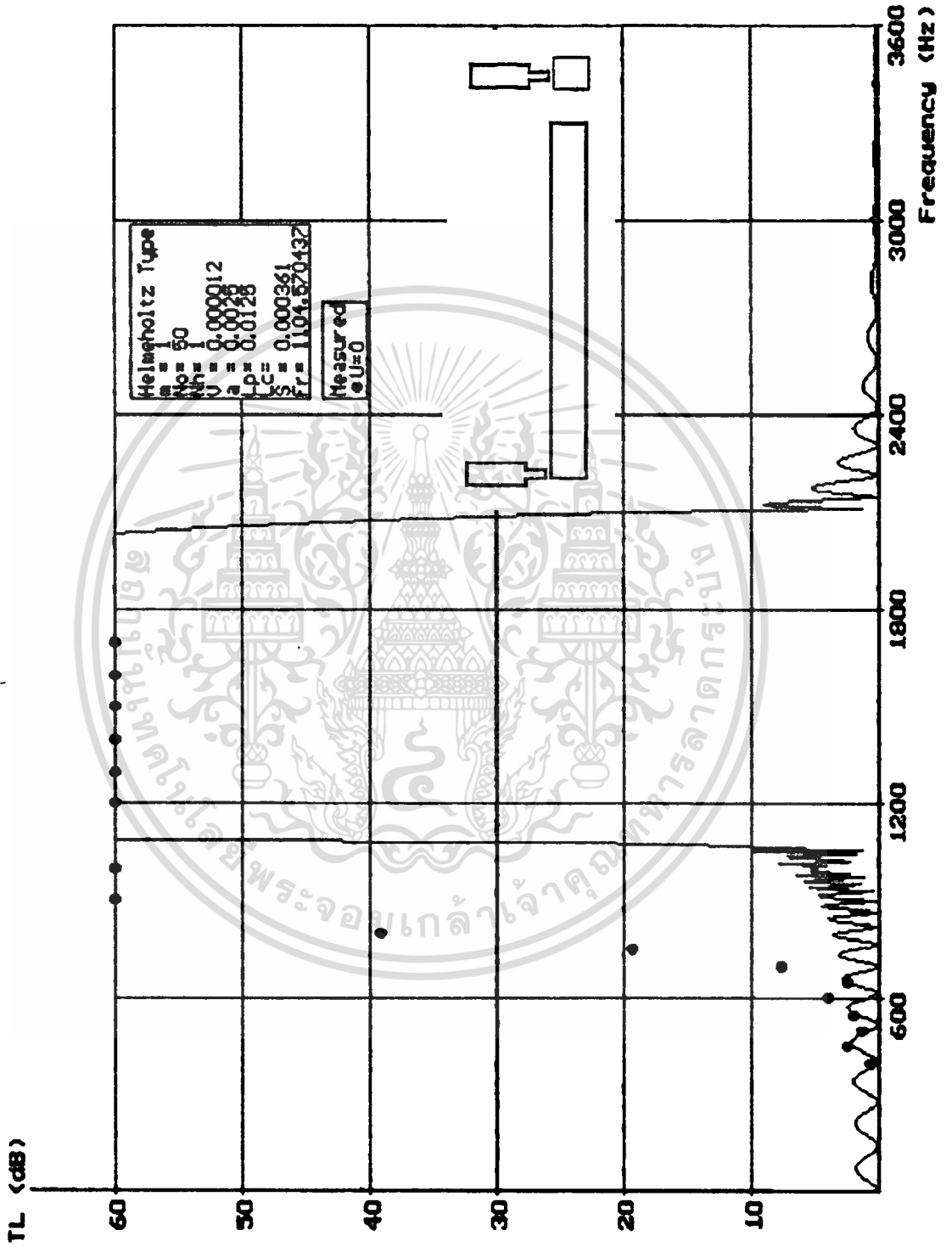
*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

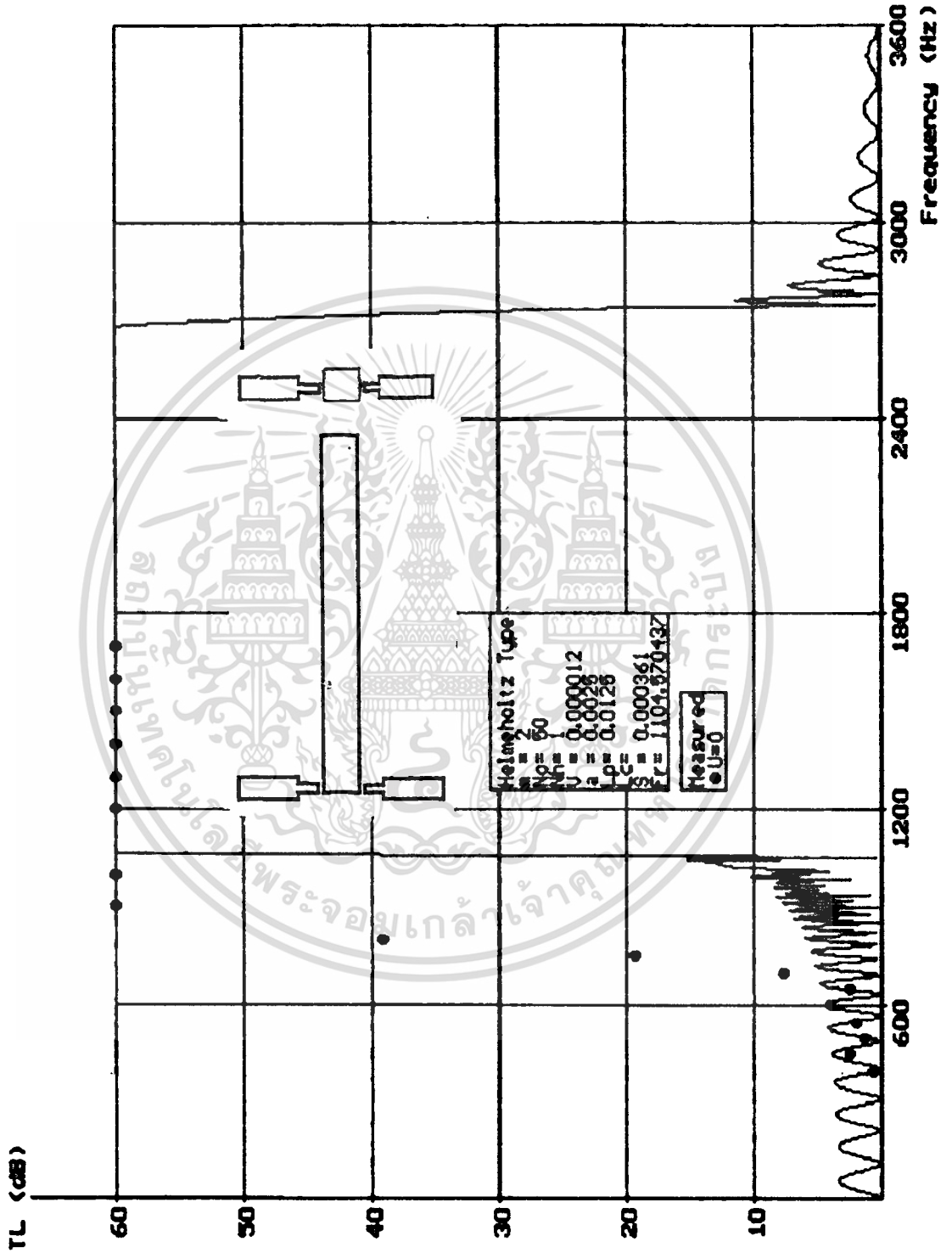
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

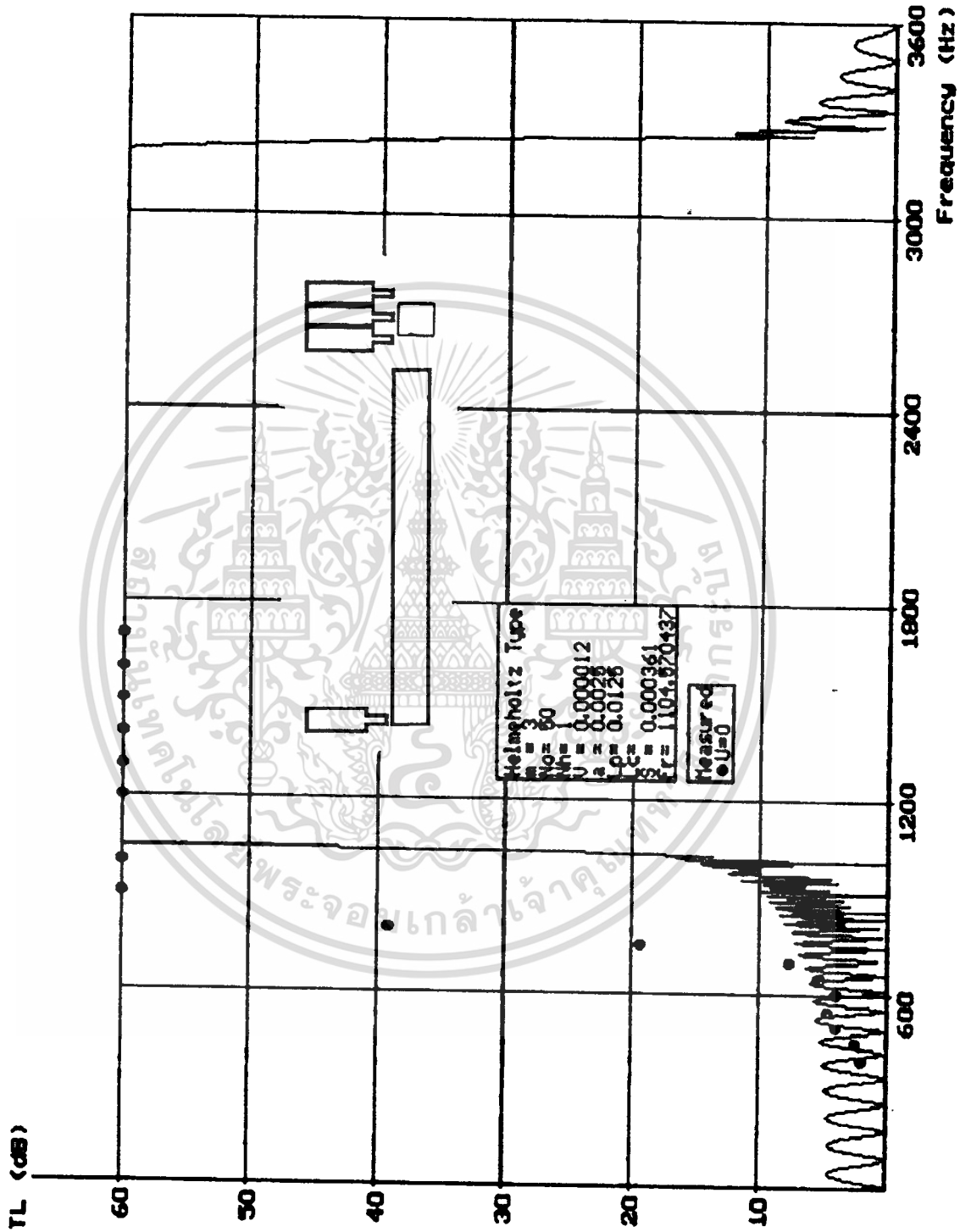
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 1104.57 Hz ($F_r = 1104.57$)



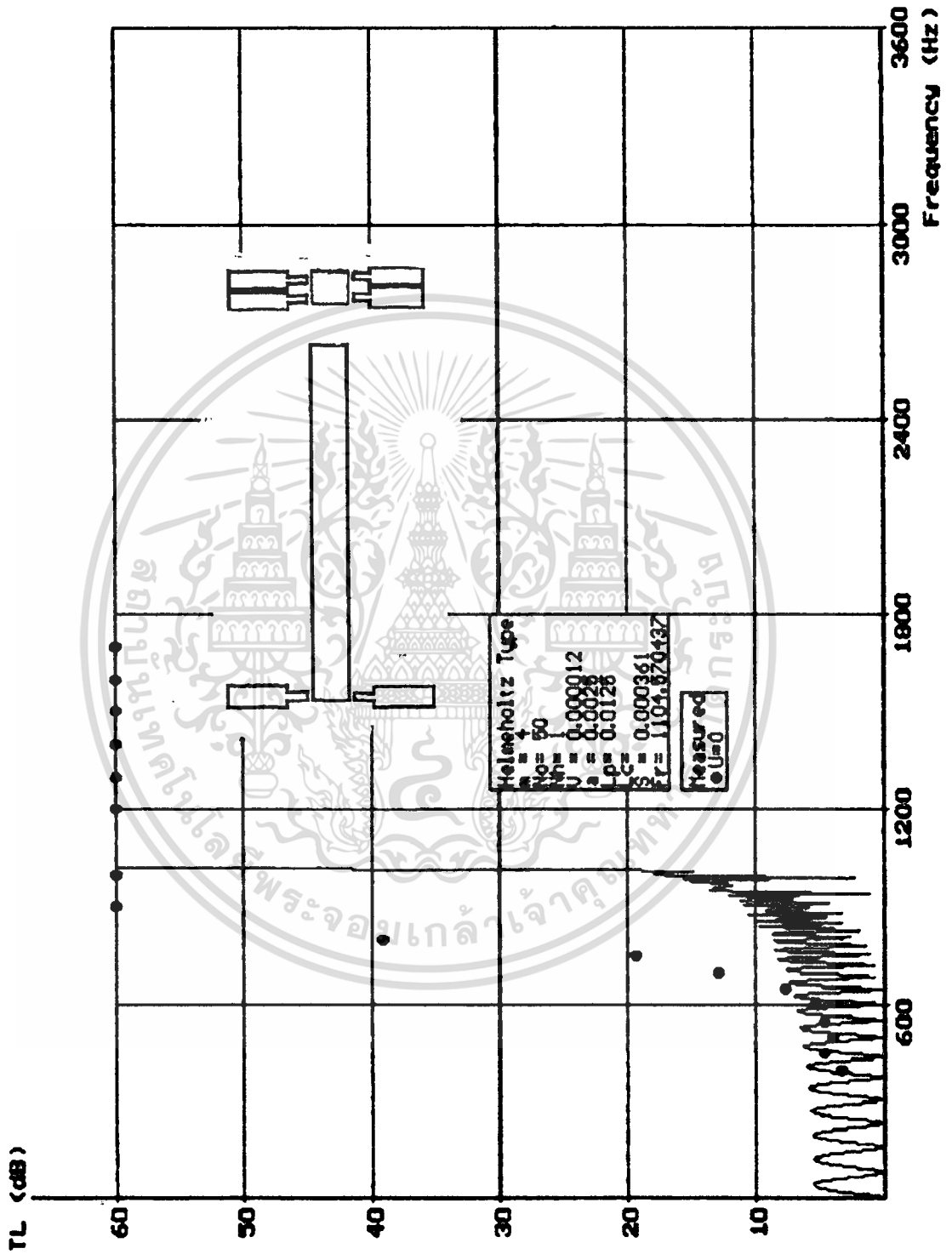
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบกลมปริมาตร 0.000028 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000028$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.019 เมตร (L_p)

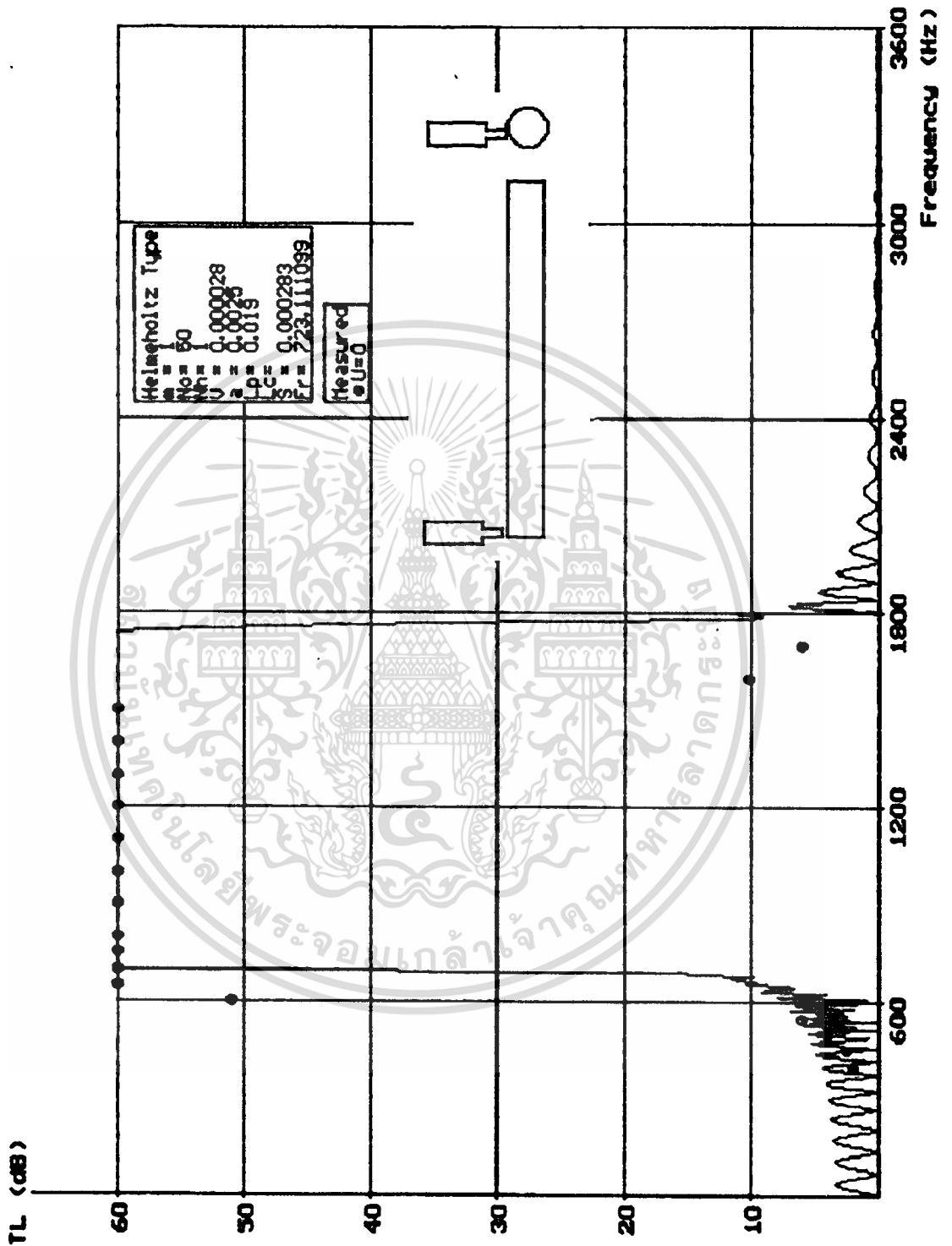
*ประมาณว่าความหนาของคอคอคเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

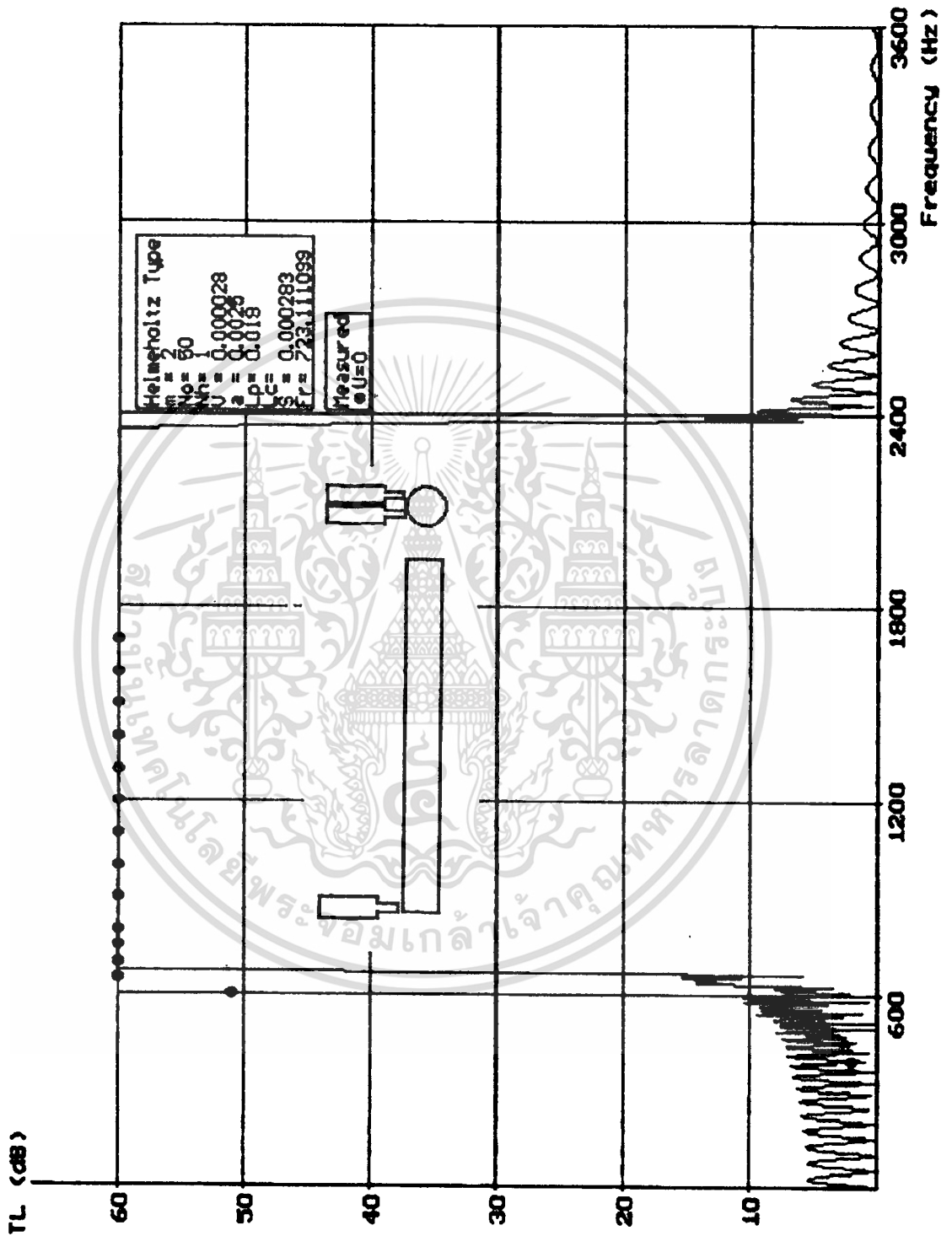
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

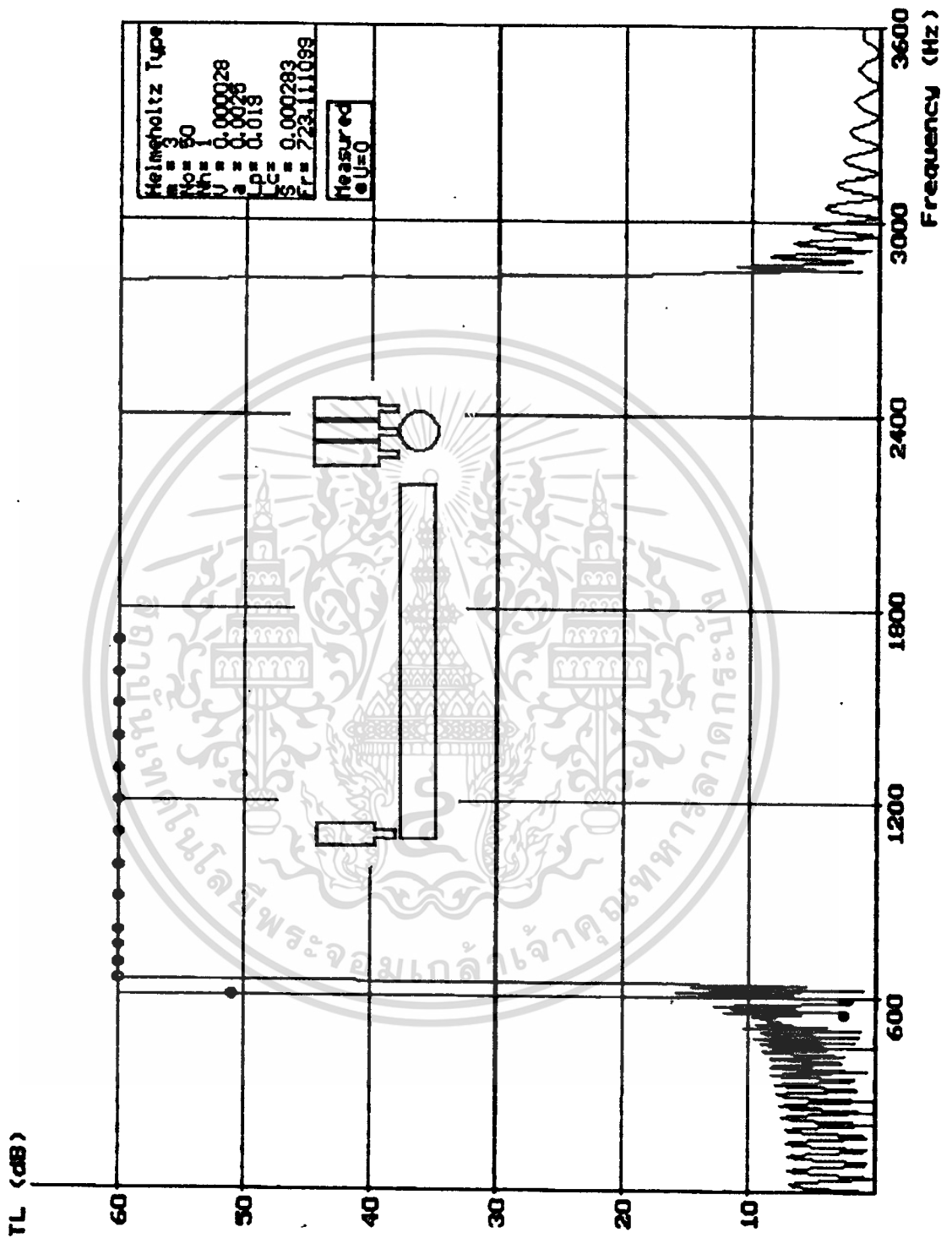
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 723.11 Hz ($F_r = 723.11$)



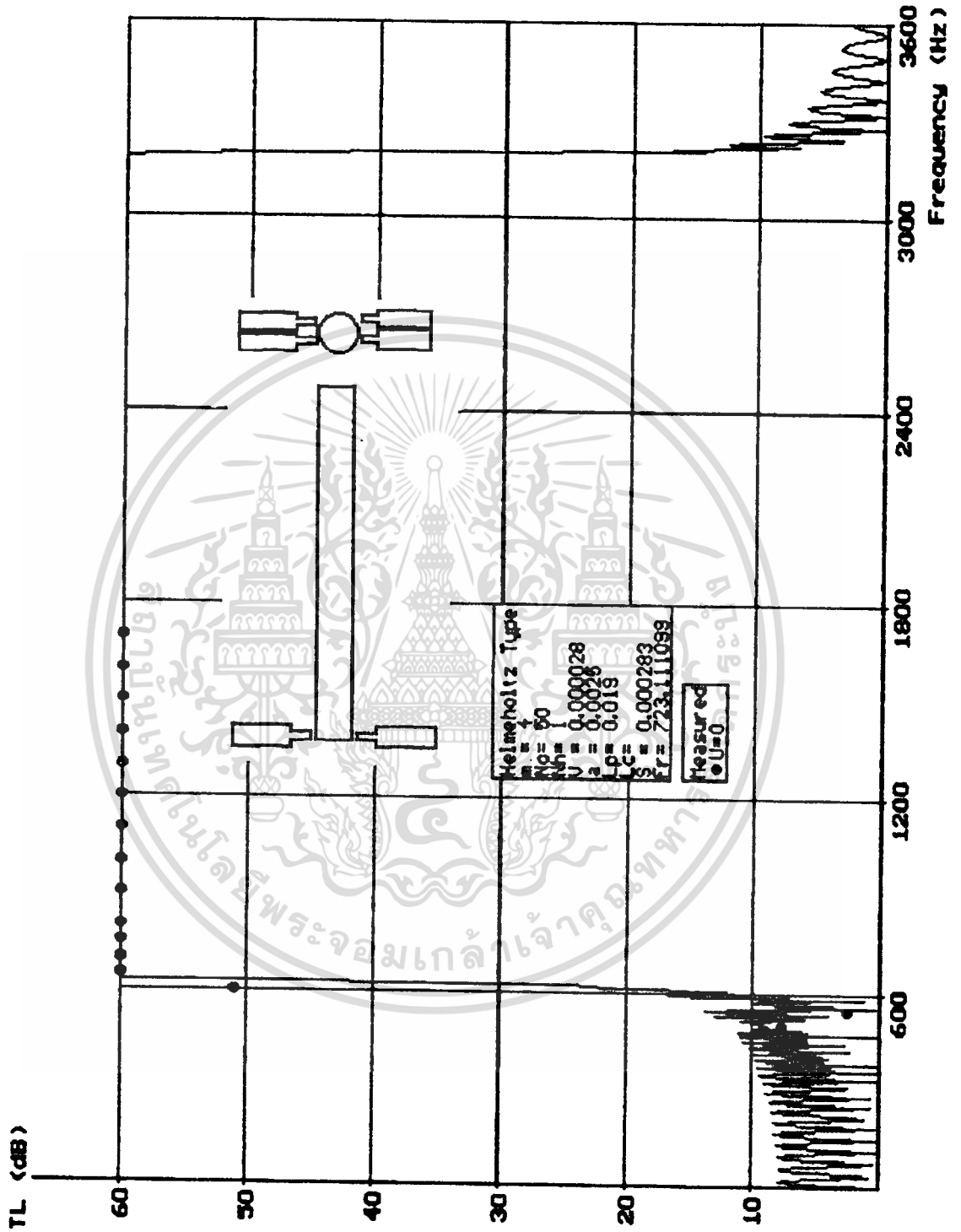
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบกลมปริมาตร 0.000028 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000028$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.019 เมตร (L_p)

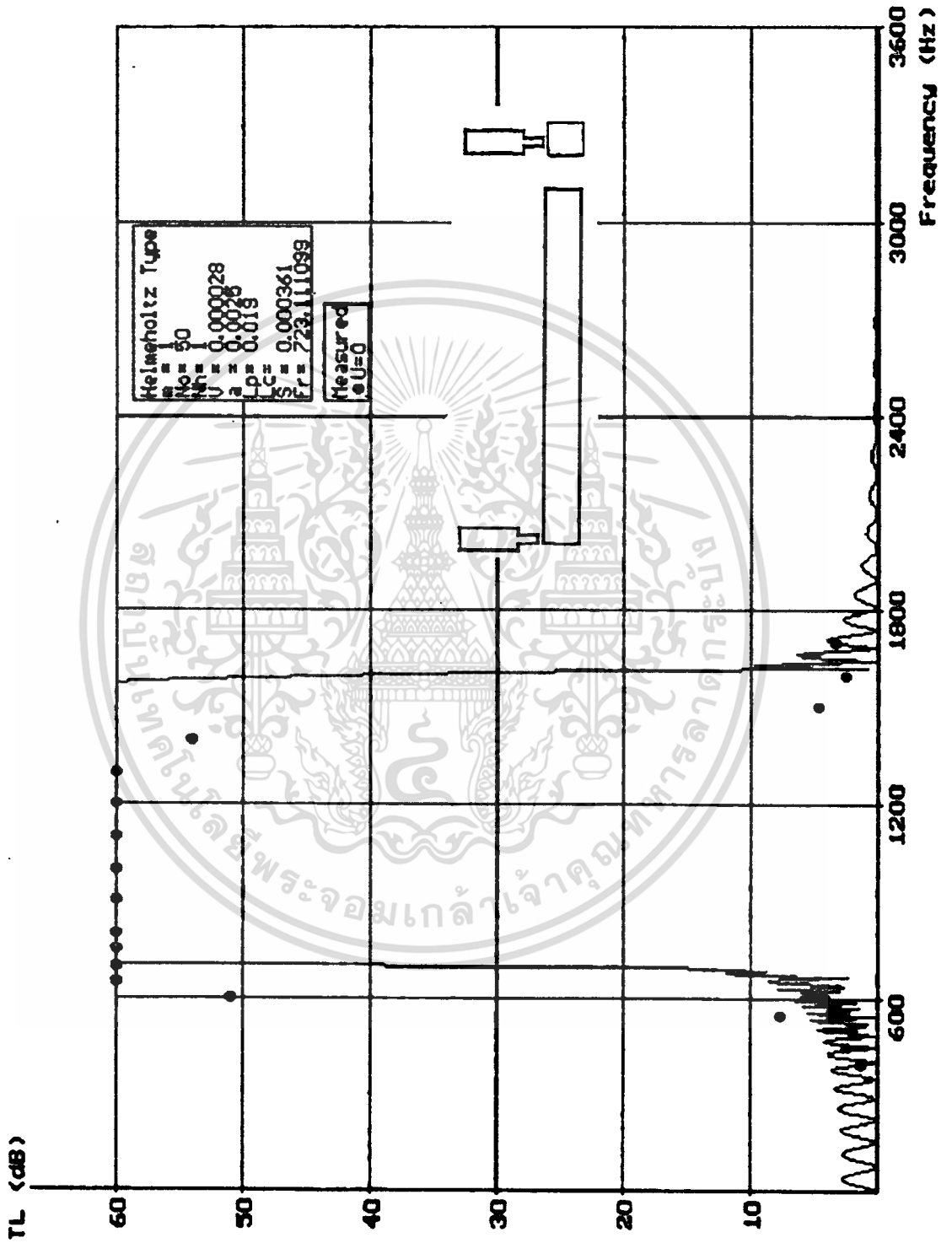
*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

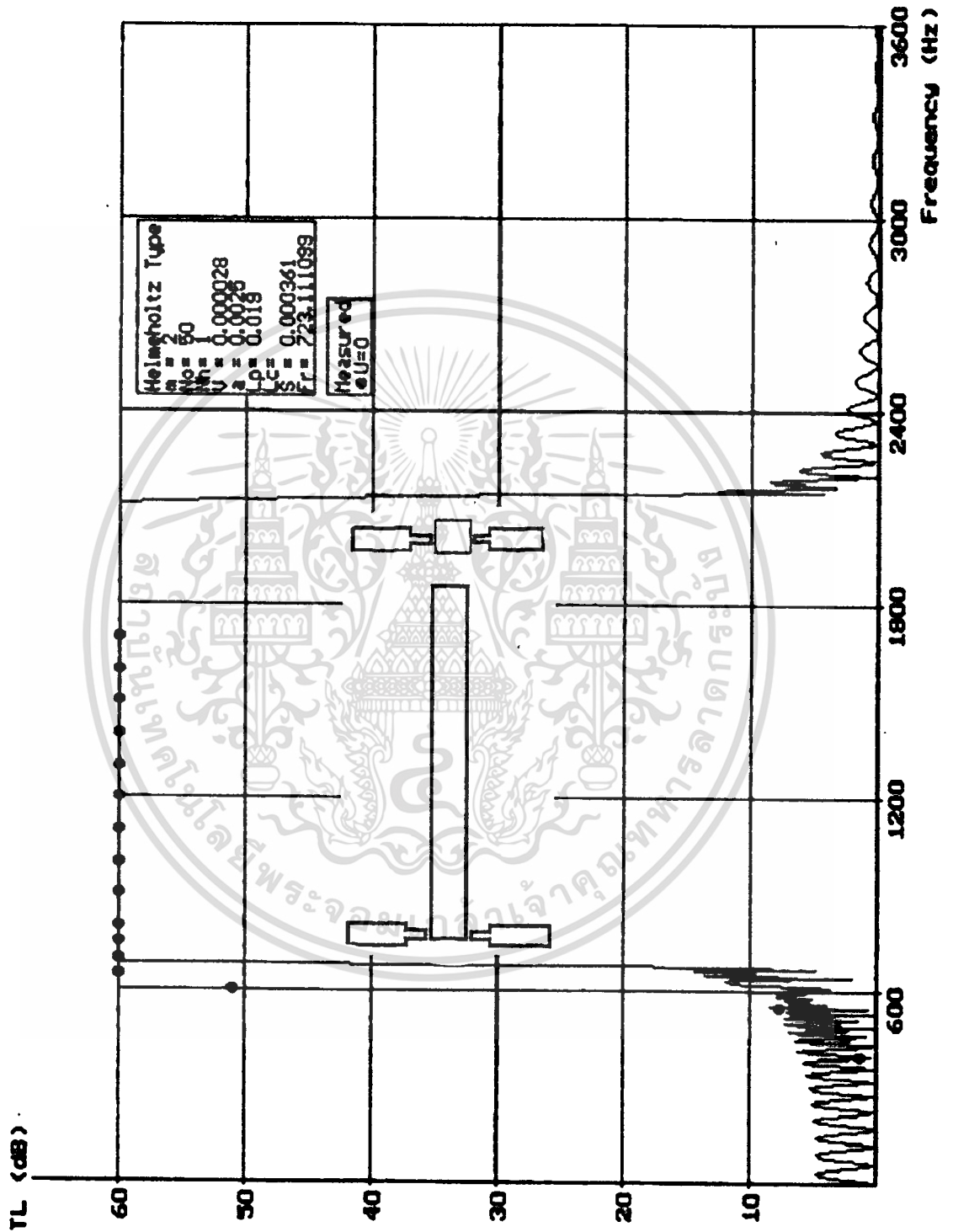
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

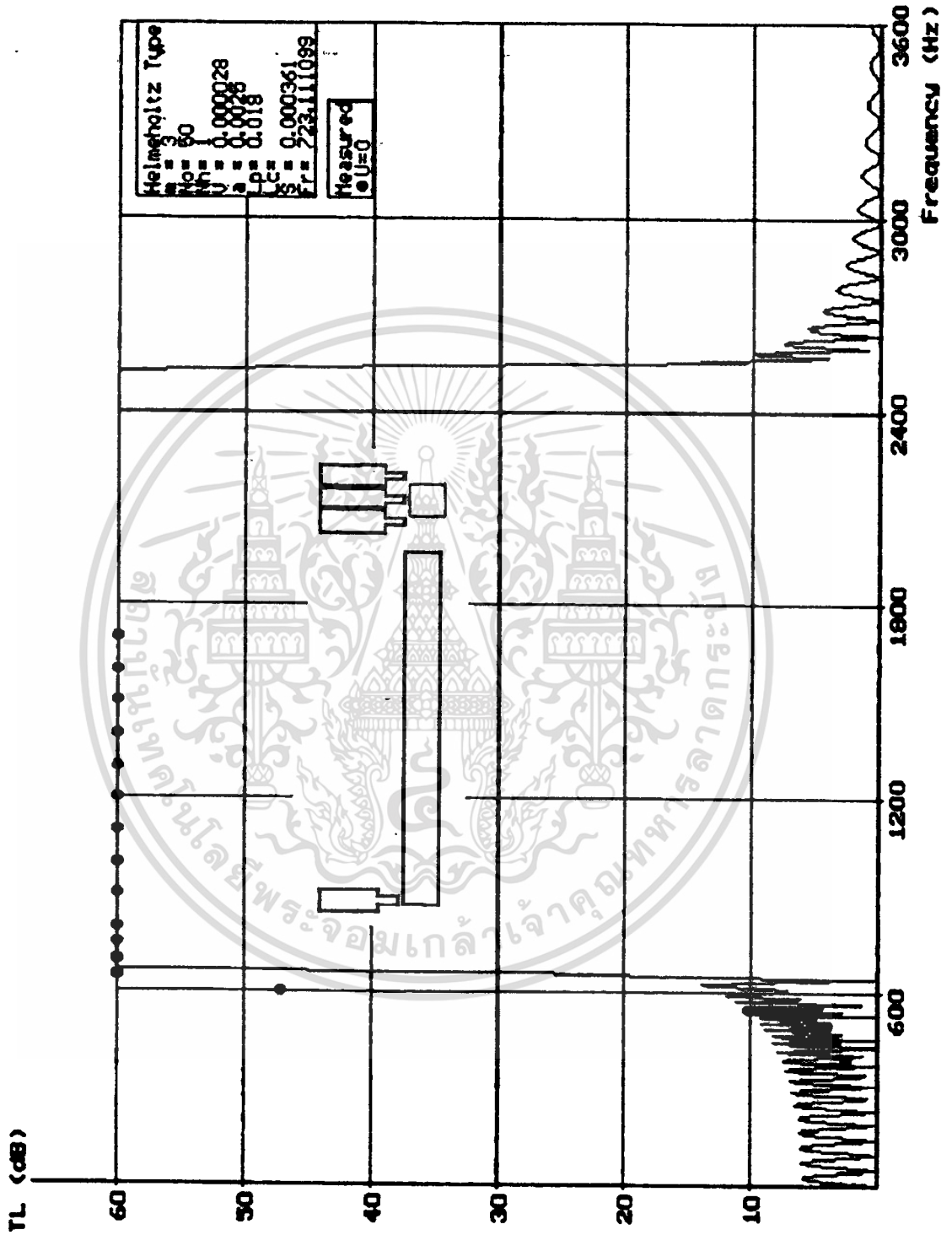
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 723.11 Hz ($F_r = 723.11$)



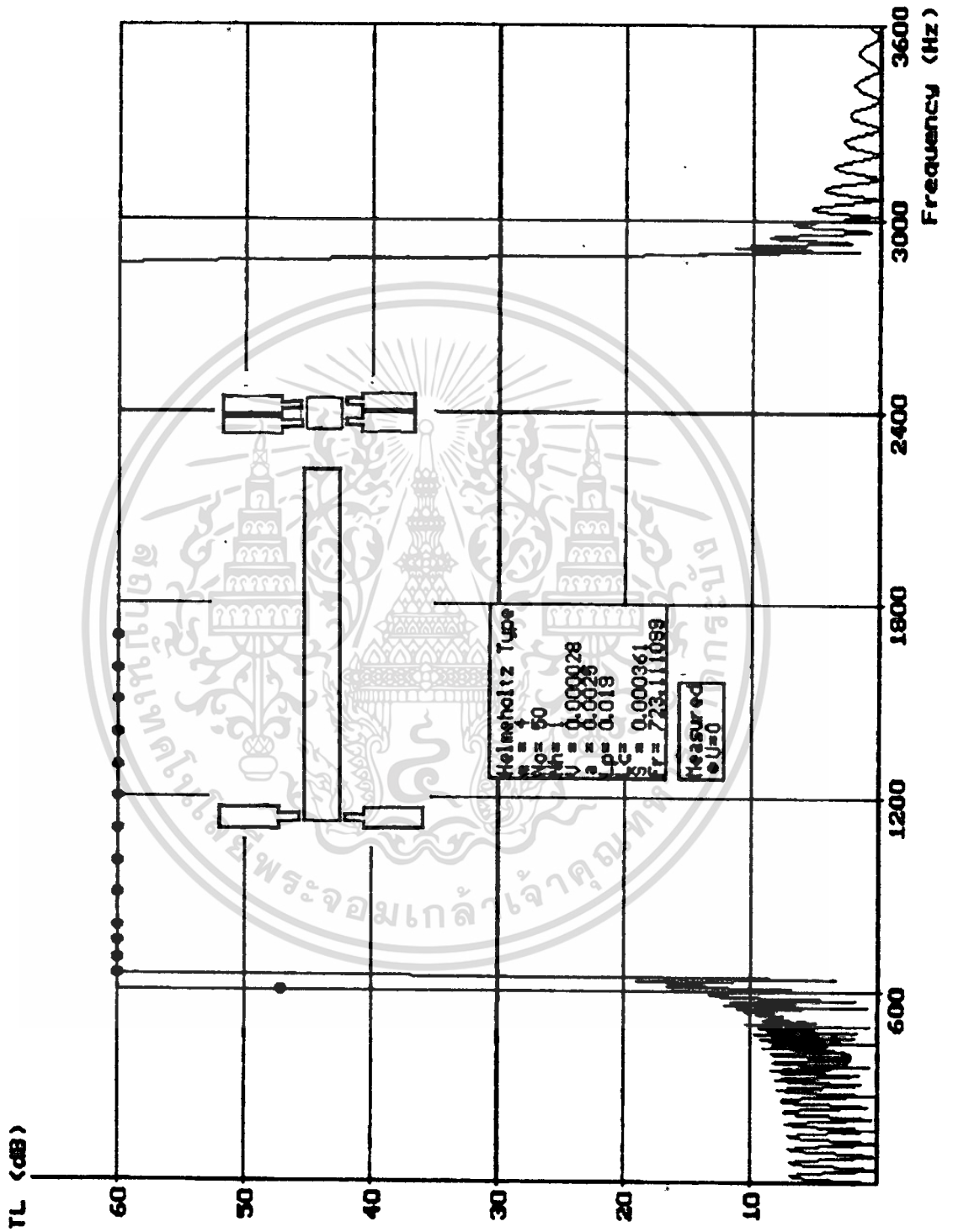
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบสี่เหลี่ยมปริมาตร 0.000036 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000036$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.019 เมตร (L_p)

*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

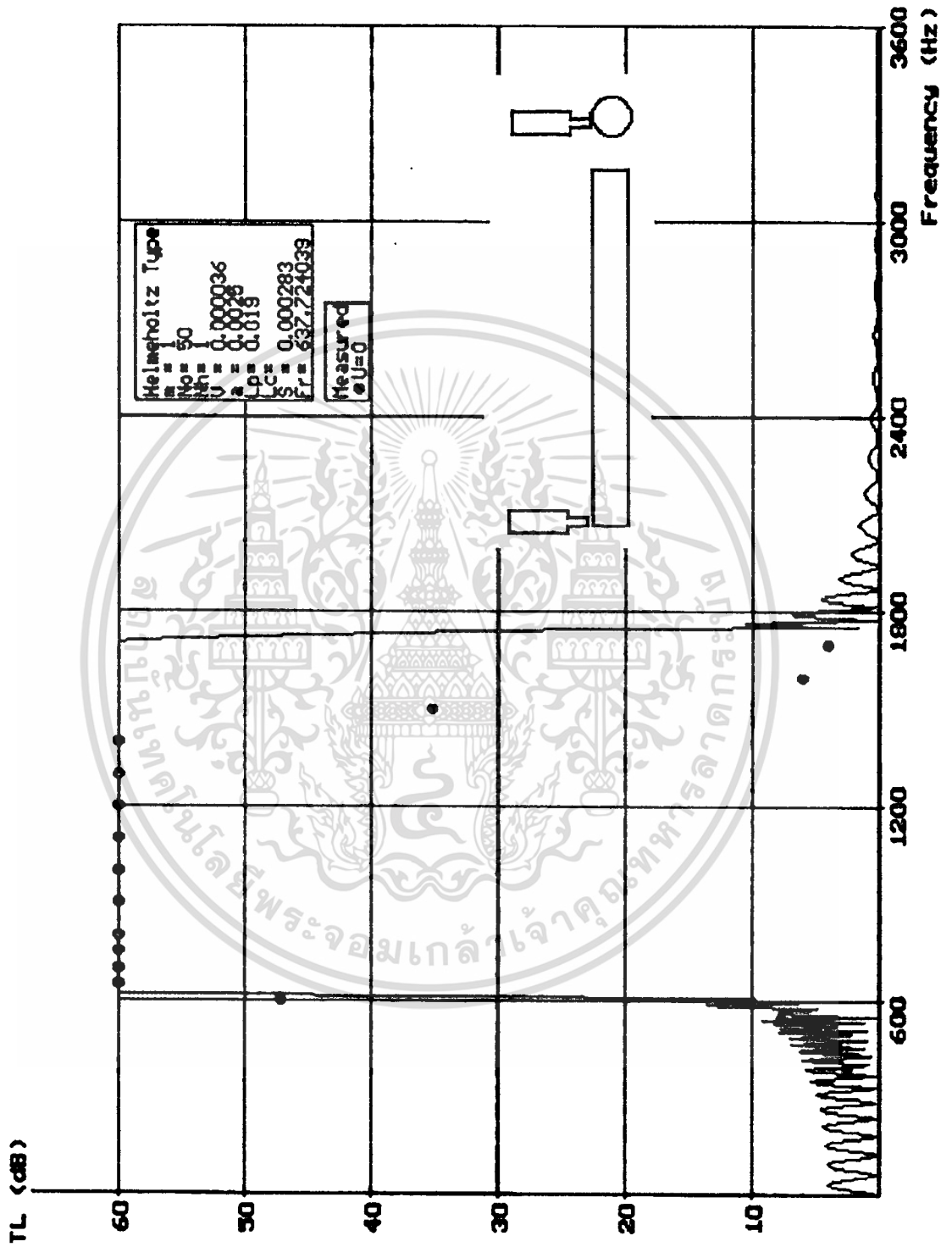
- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)

- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)

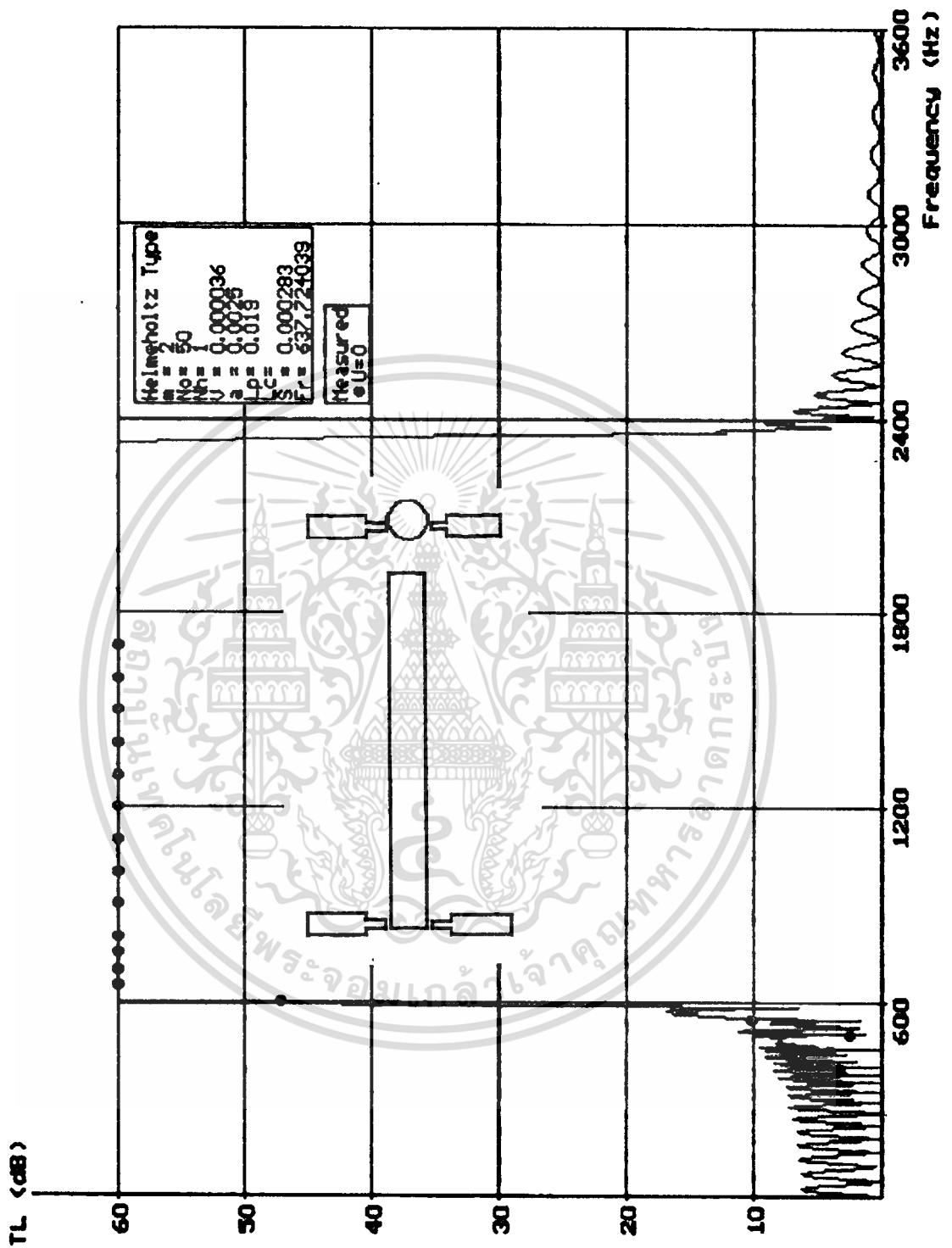
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)

- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

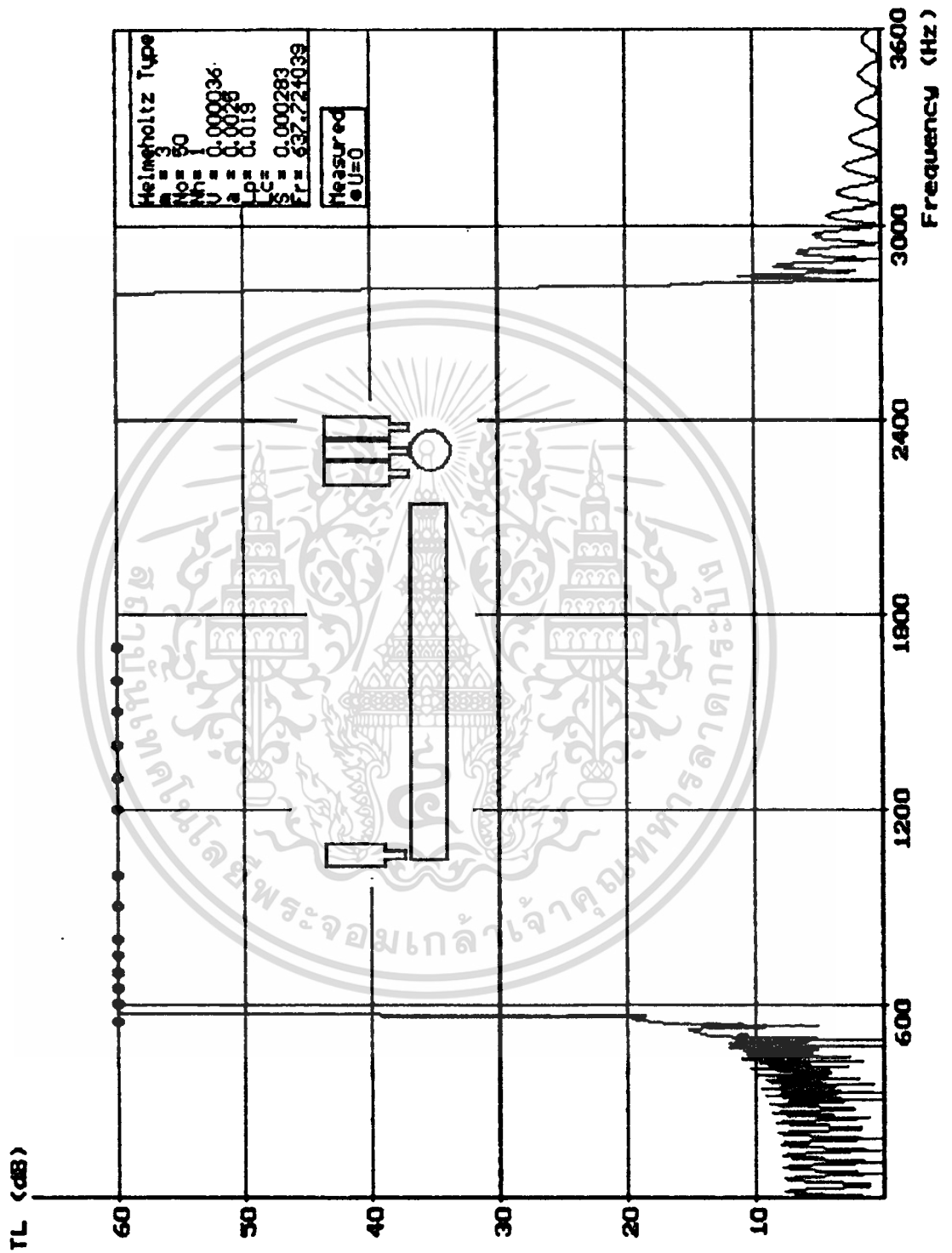
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 637.72 Hz ($F_r = 637.72$)



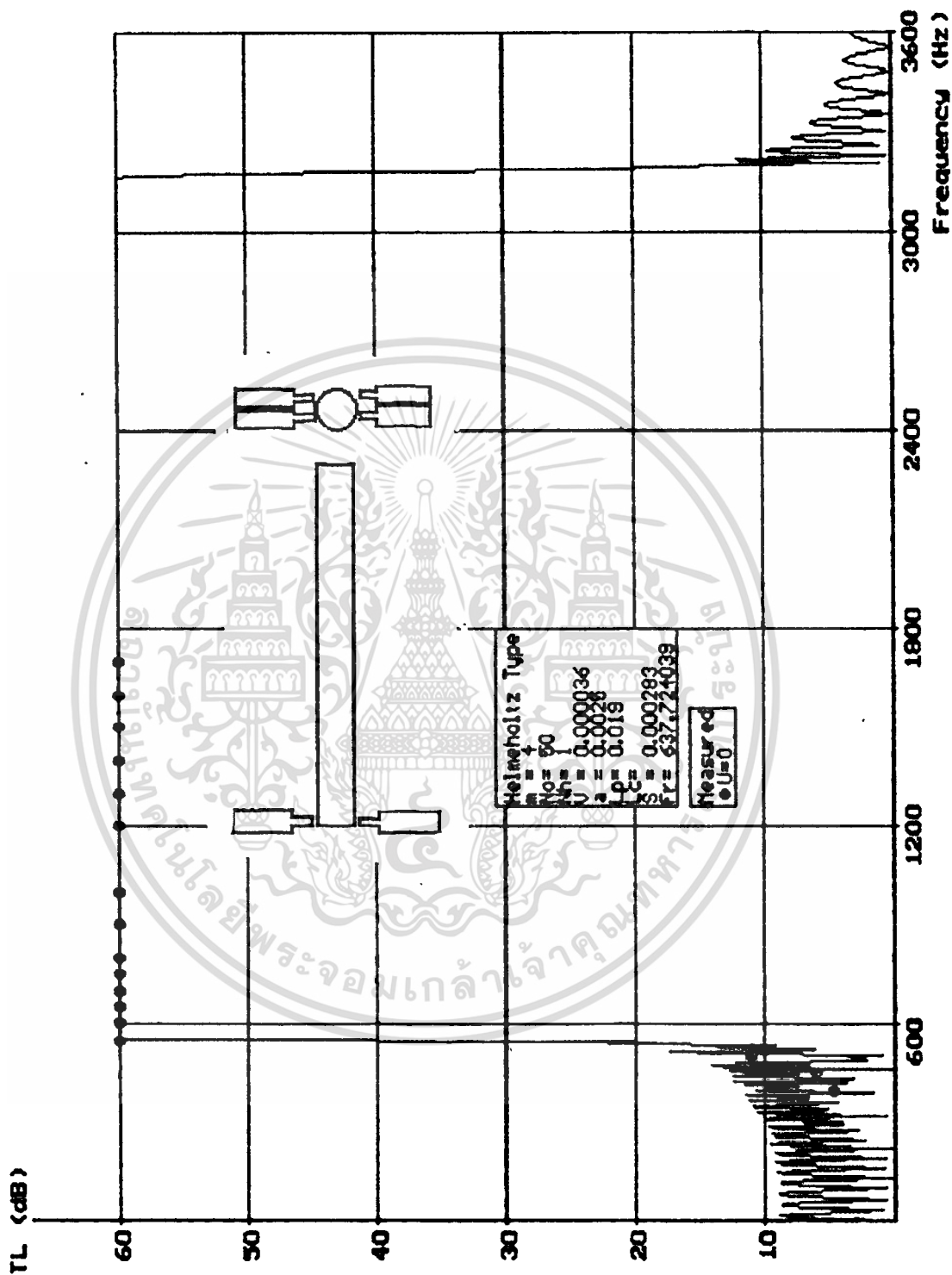
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี :

Helmholtz Resonator

แบบสี่เหลี่ยมปริมาตร 0.000036 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000036$)

เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.019 เมตร (L_p)

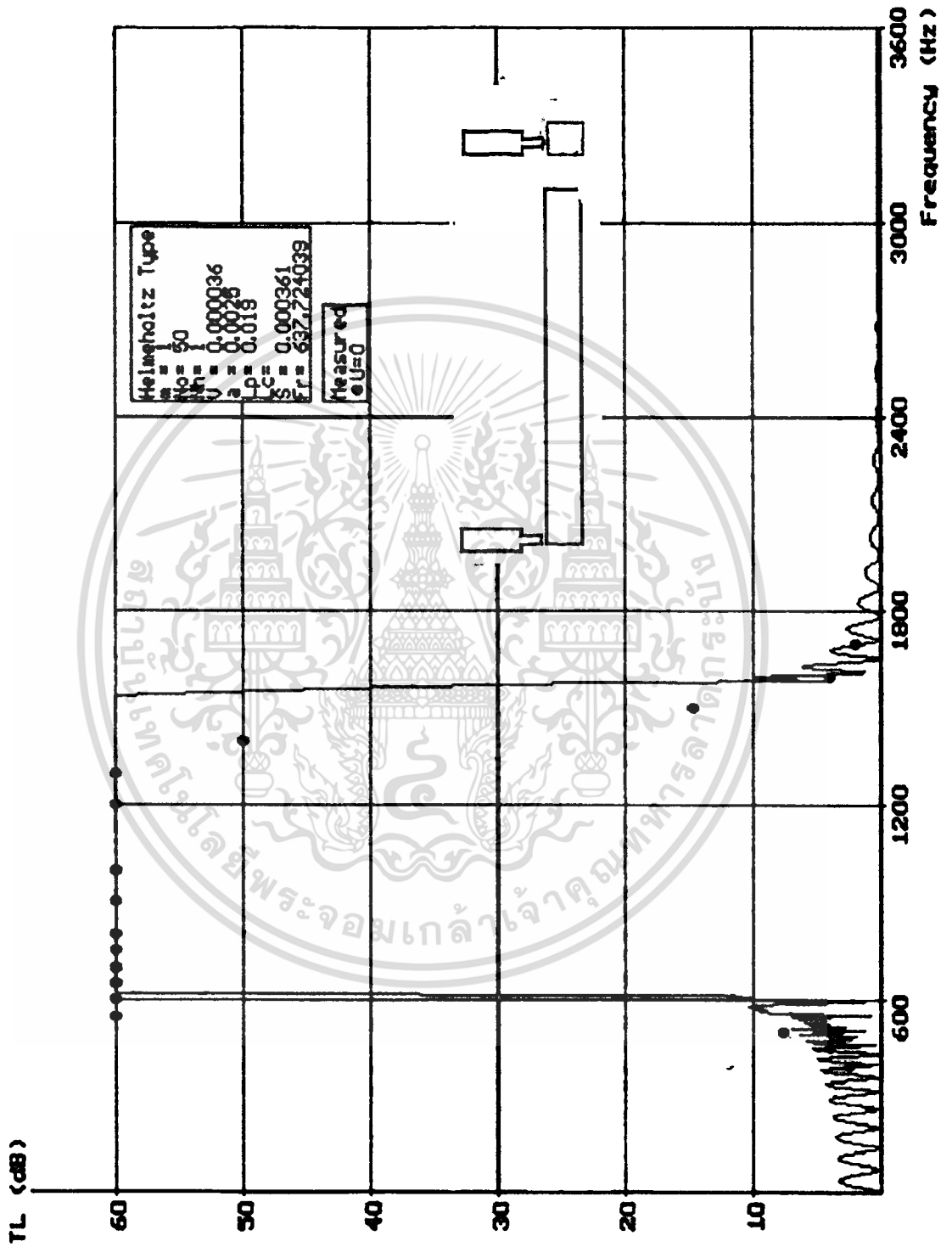
*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงสี่เหลี่ยมพื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

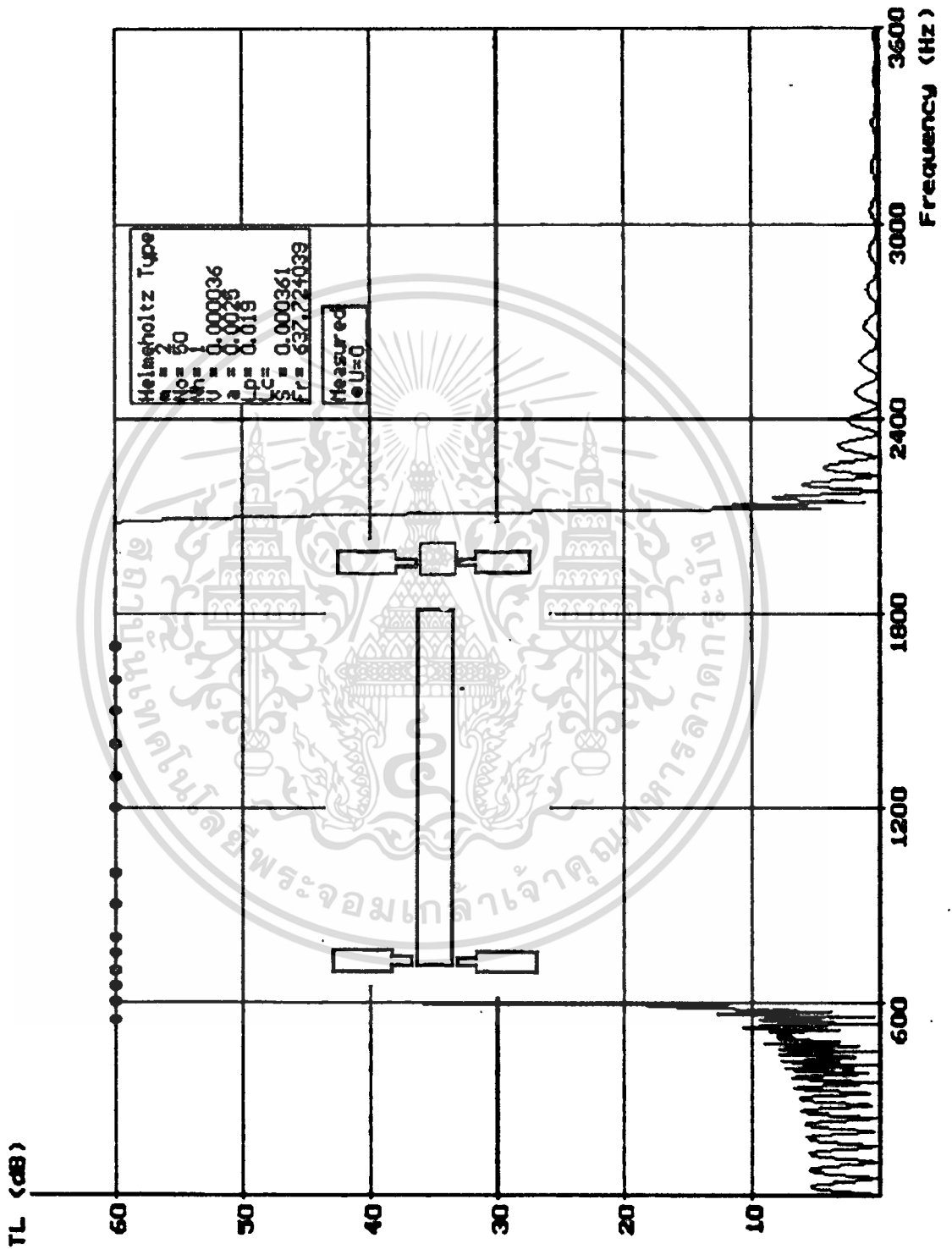
เรียง Resonator ในกล่อง 4 ลักษณะ คือ

- 1 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 1, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 1 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)
- 1 ด้าน ด้านละ 3 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 3, N_o = 50$)
- 2 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 4, N_o = 50$)

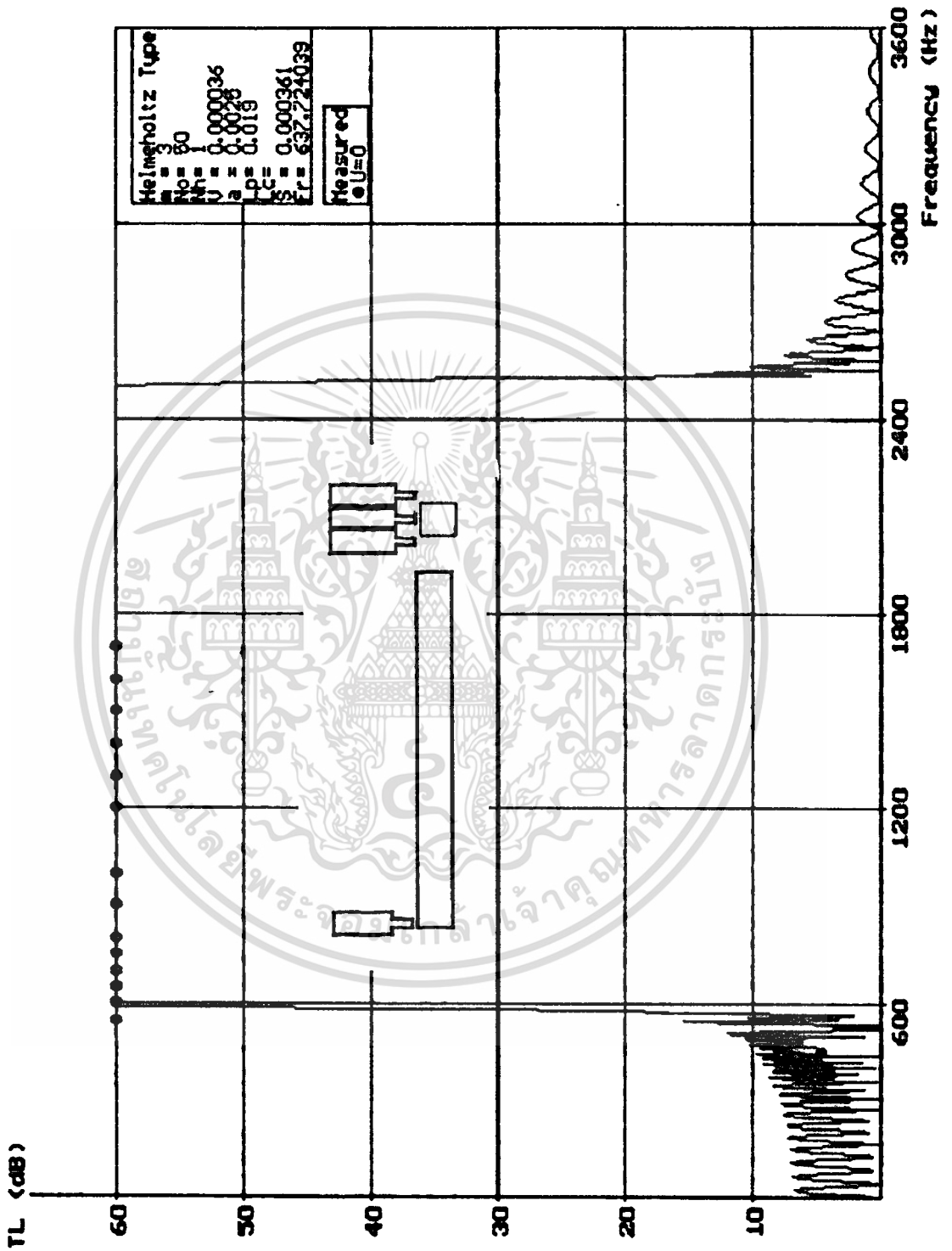
ซึ่งเกิดความถี่ resonance ที่ 637.72 Hz ($Fr = 637.72$)



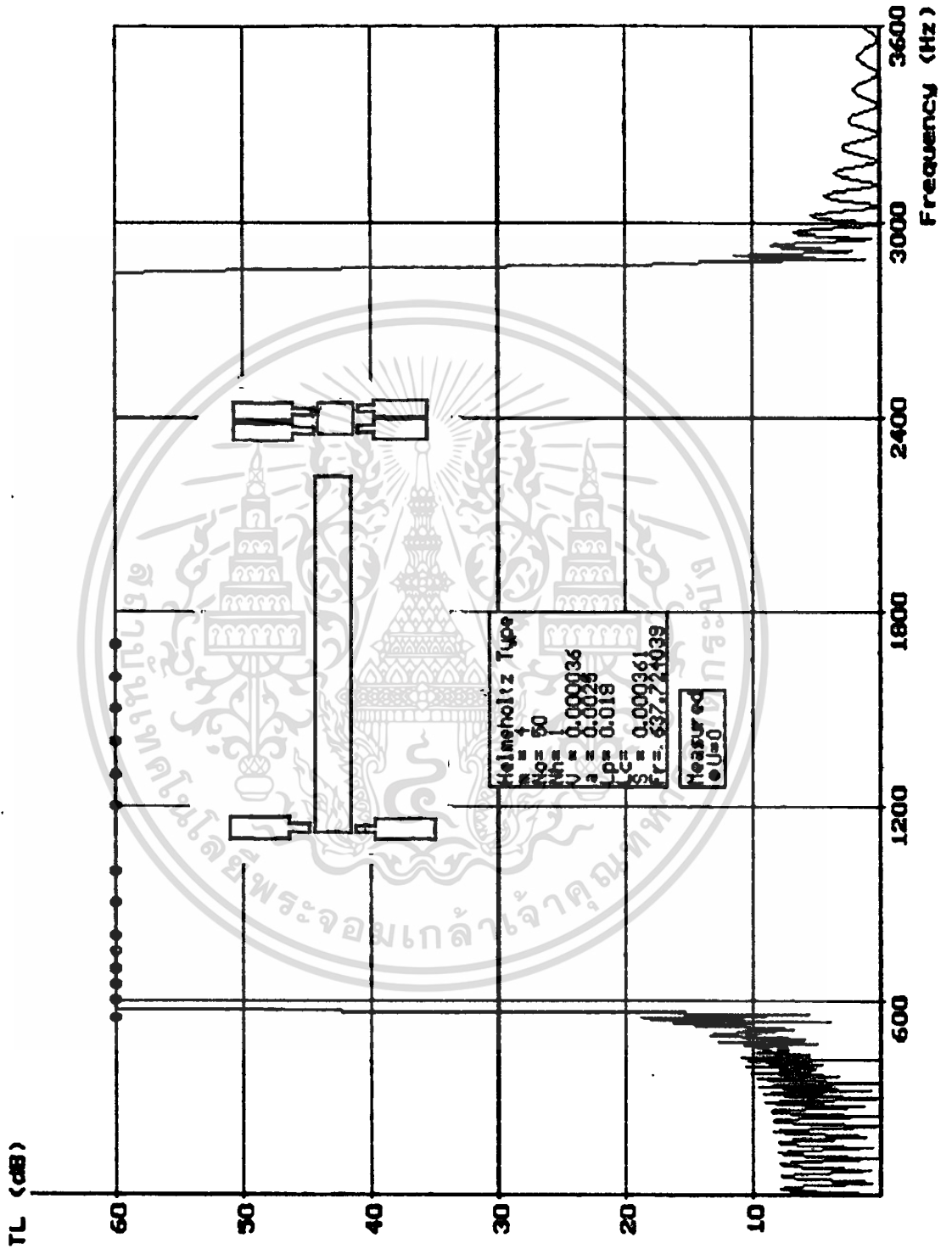
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี

เรียง Resonator เป็นลักษณะ

1 ด้าน ด้านละ 2 แถว แถวละ 50 ตัว ($m = 2, N_o = 50$)

Sidebranch Resonator**แบบกลม**

พื้นที่หน้าตัด 0.000123 ตารางเมตร ($V = 0.000123$)

และ 0.000283 ตารางเมตร ($V = 0.000283$)

แบบสี่เหลี่ยม

พื้นที่หน้าตัด 0.000361 ตารางเมตร ($V = 0.000361$)

ความยาว 0.1 เมตร ($L_b = 0.1$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

และ 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)

Helmholtz Resonator**แบบกลม**

ปริมาตร 0.000012 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000012$)

และ 0.000028 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000028$)

แบบสี่เหลี่ยม

ปริมาตร 0.000036 ลูกบาศก์เมตร ($V = 0.000036$)

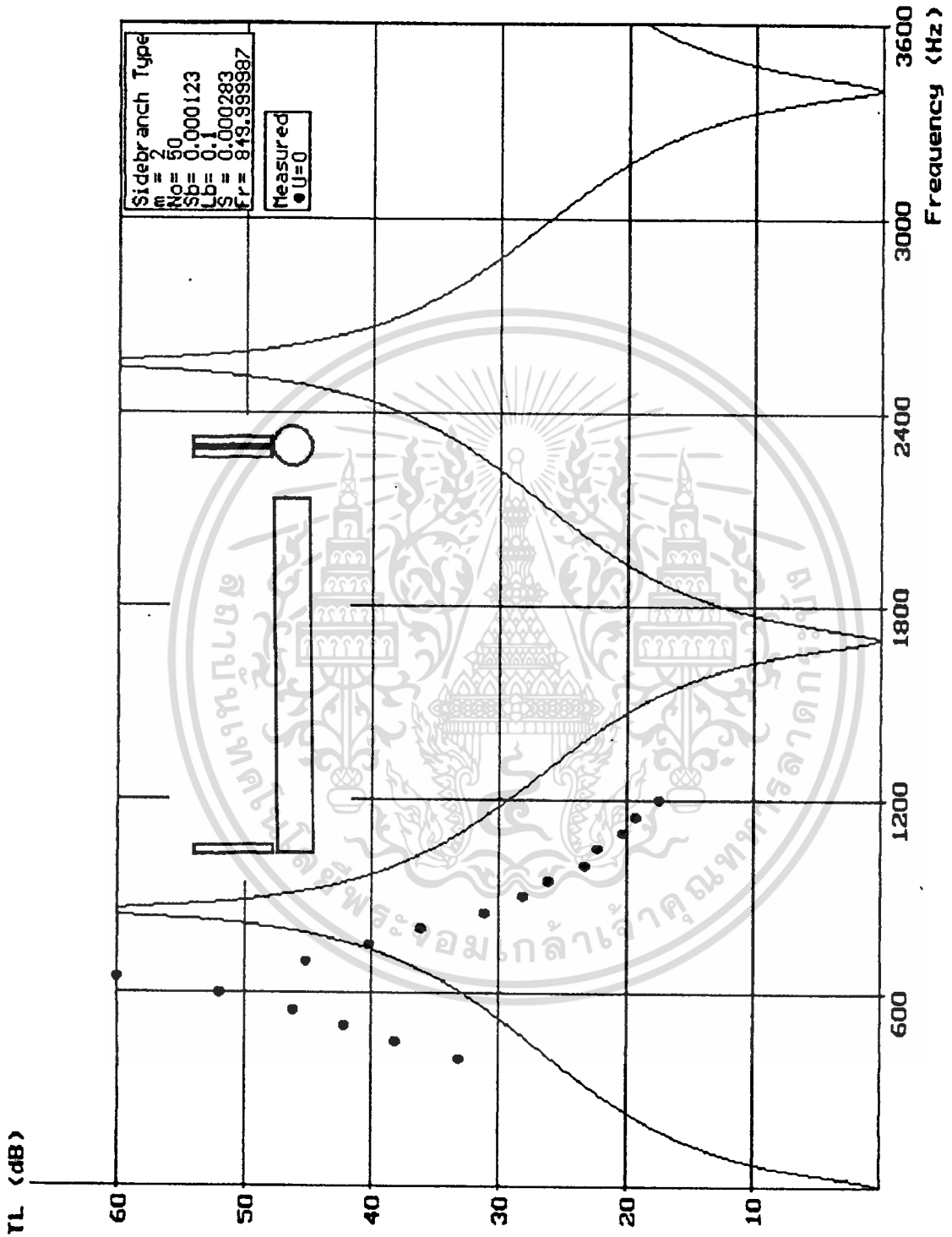
เจาะช่อง 1 ช่อง ($N_h = 1$) ,รัศมี 0.0025 เมตร ($a = 0.0025$)

ระยะระหว่างศูนย์กลาง Resonator แต่ละตัว 0.0125 เมตร (L_p)

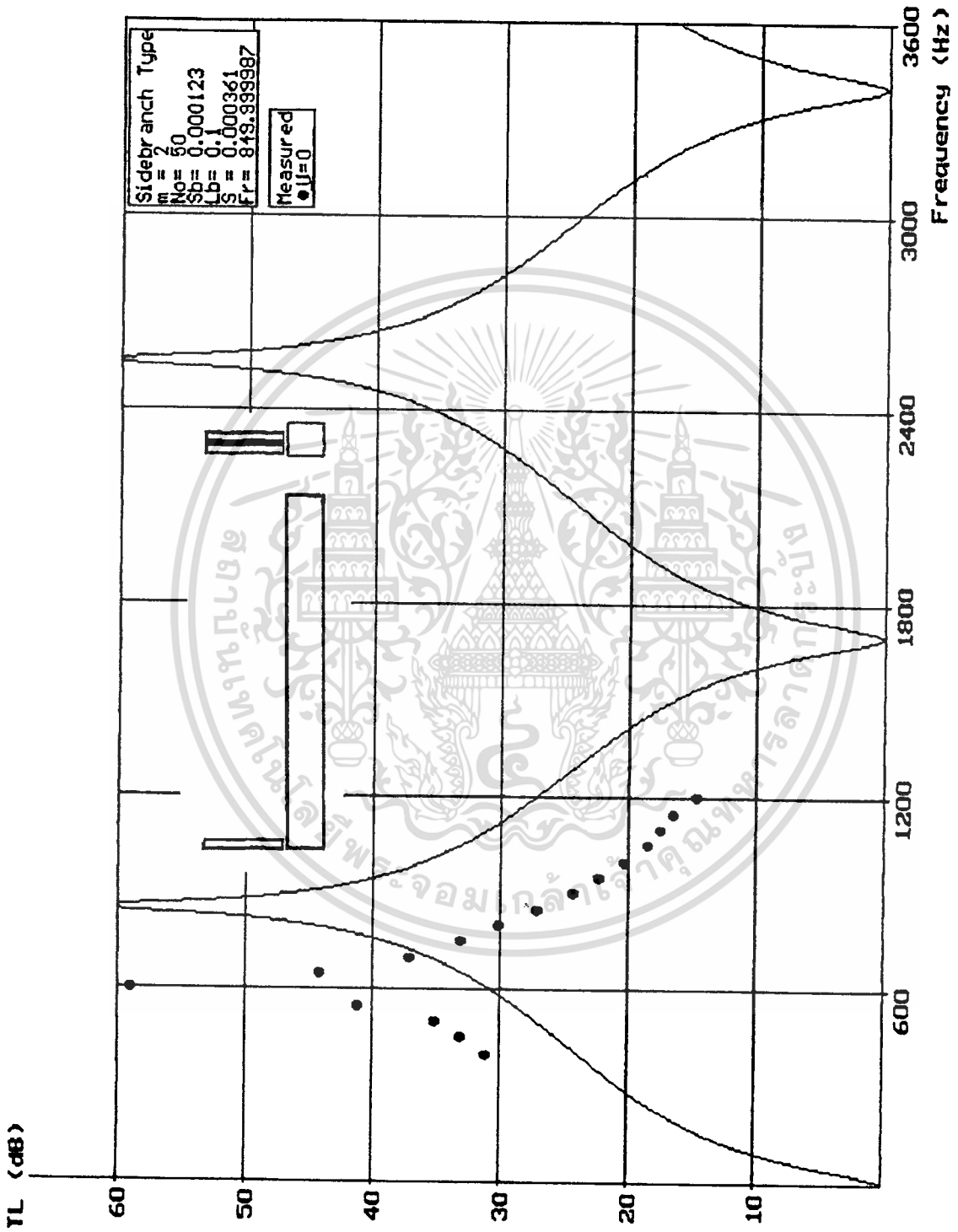
*ประมาณว่าความหนาของคอคอดเป็น 0 ($L_c = 0$)

ใช้ท่อทางเดินเสียงกลมพื้นที่หน้าตัด 0.000283 ตารางเมตร ($S = 0.000283$)

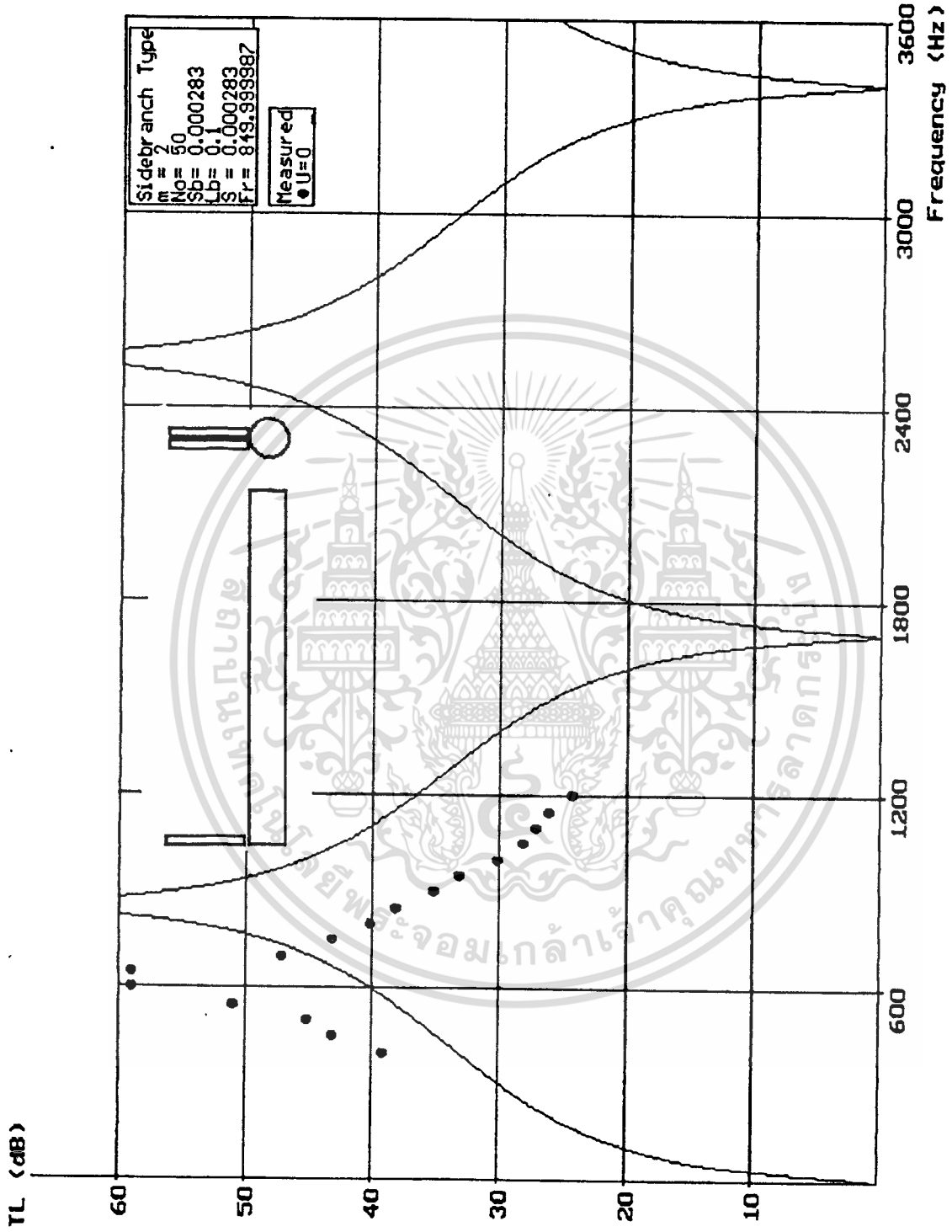
และ 0.000361 ตารางเมตร ($S = 0.000361$)



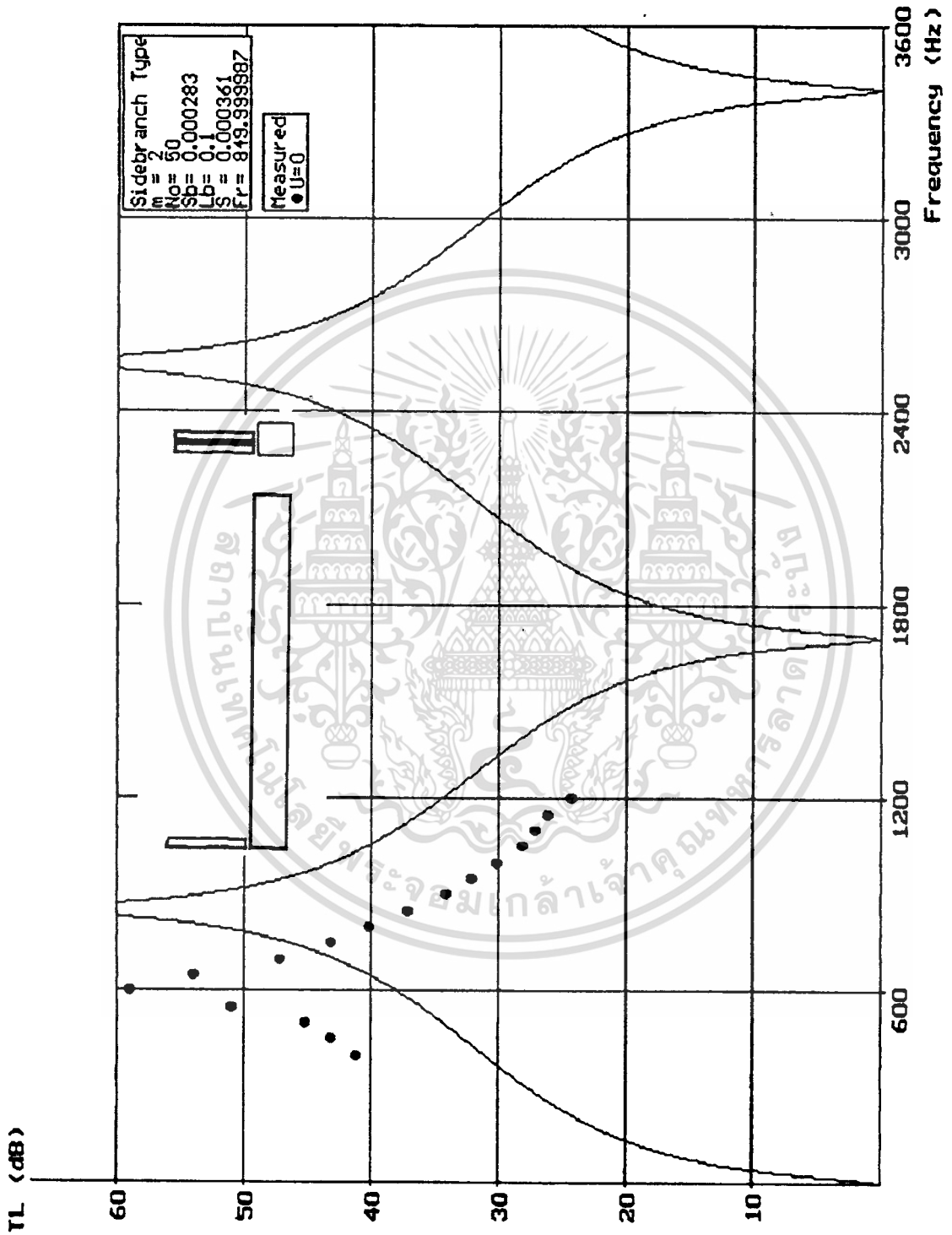
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



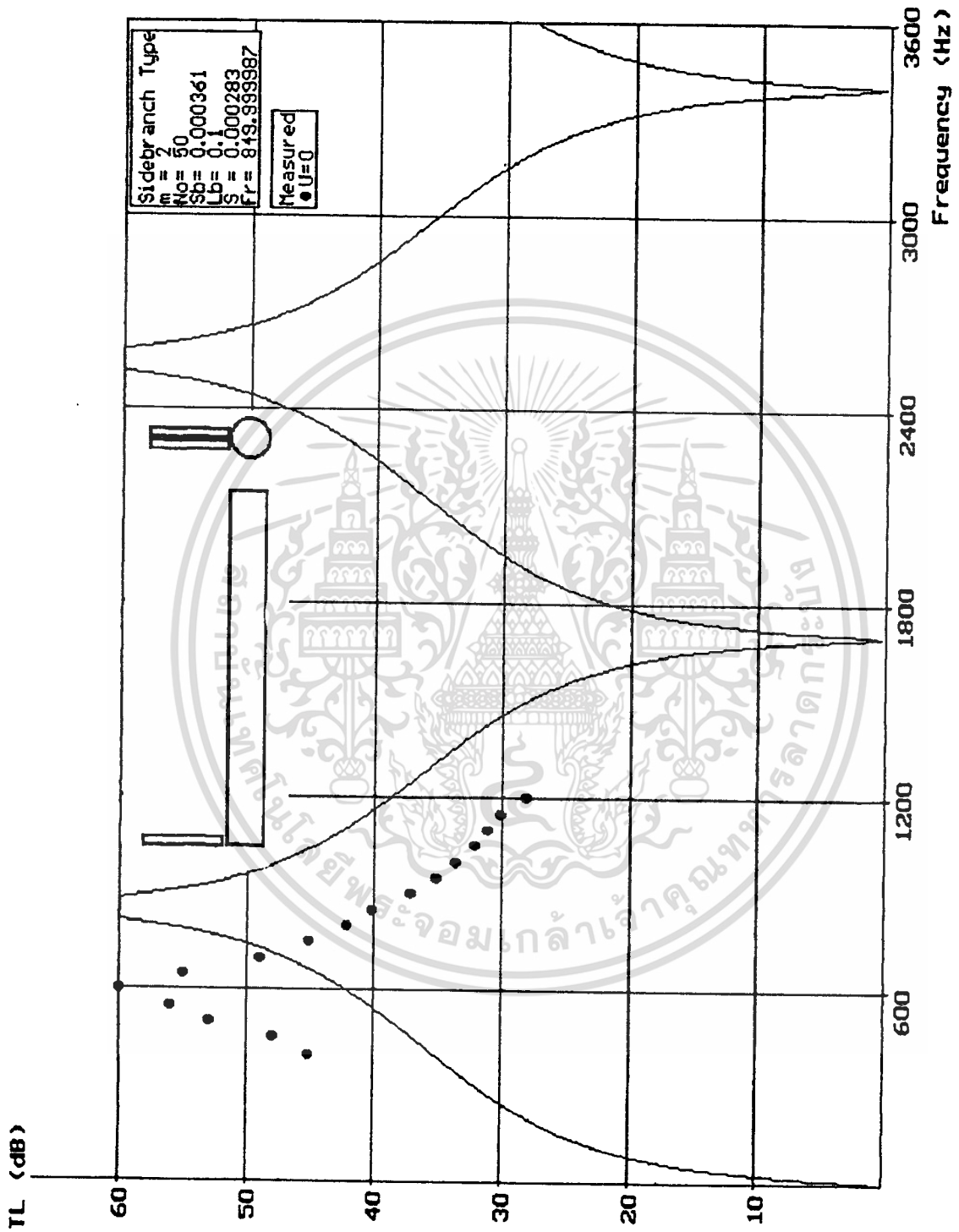
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



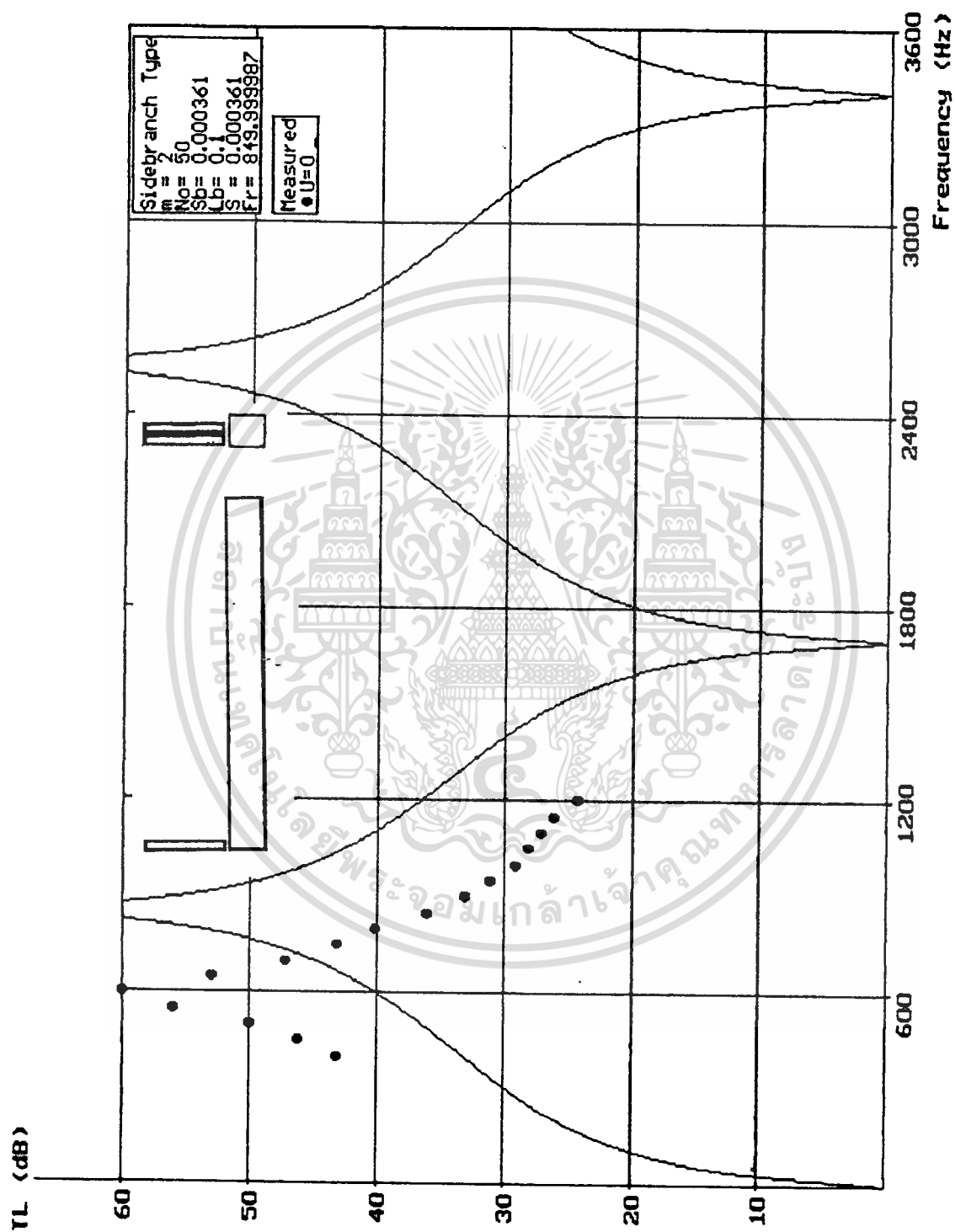
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



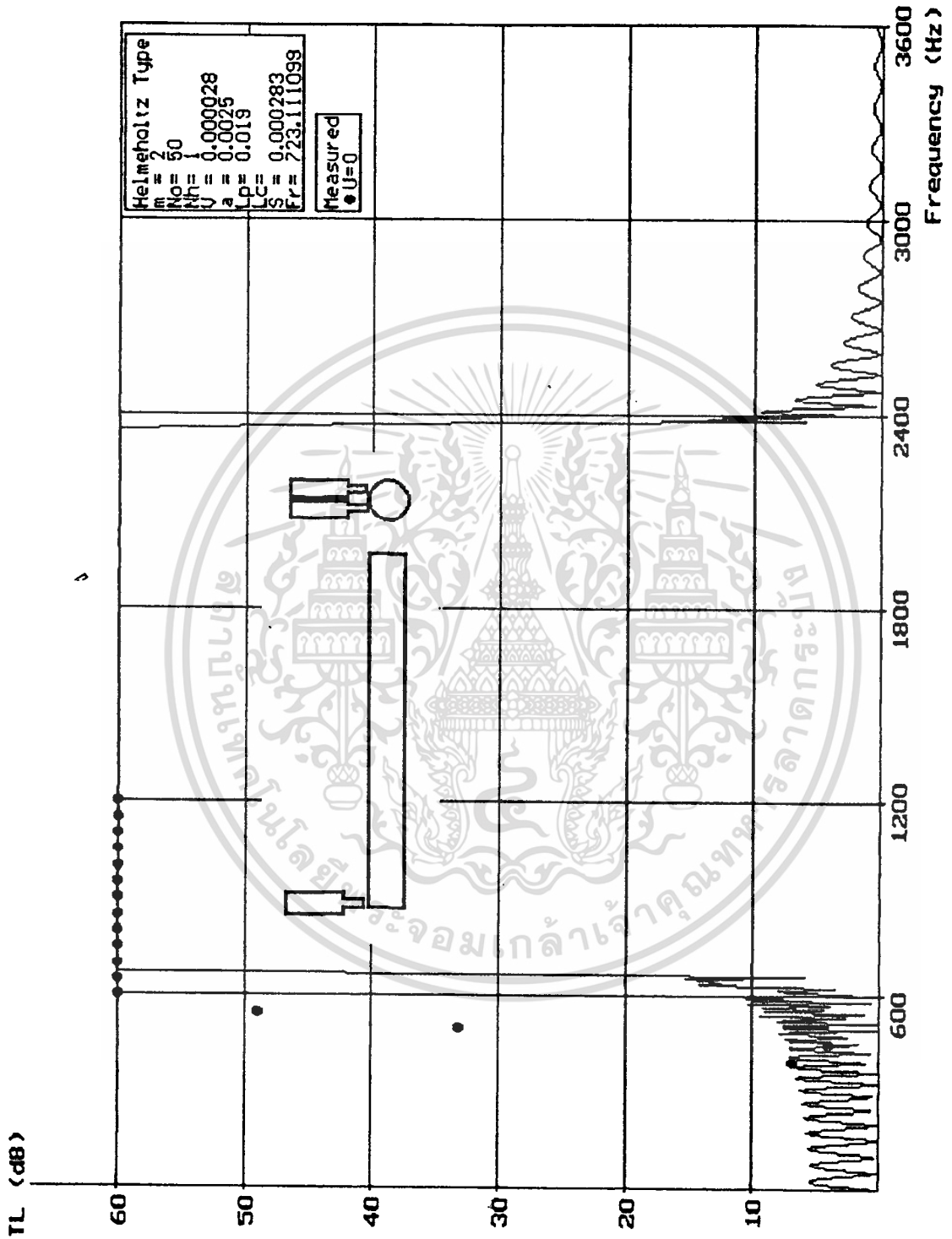
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



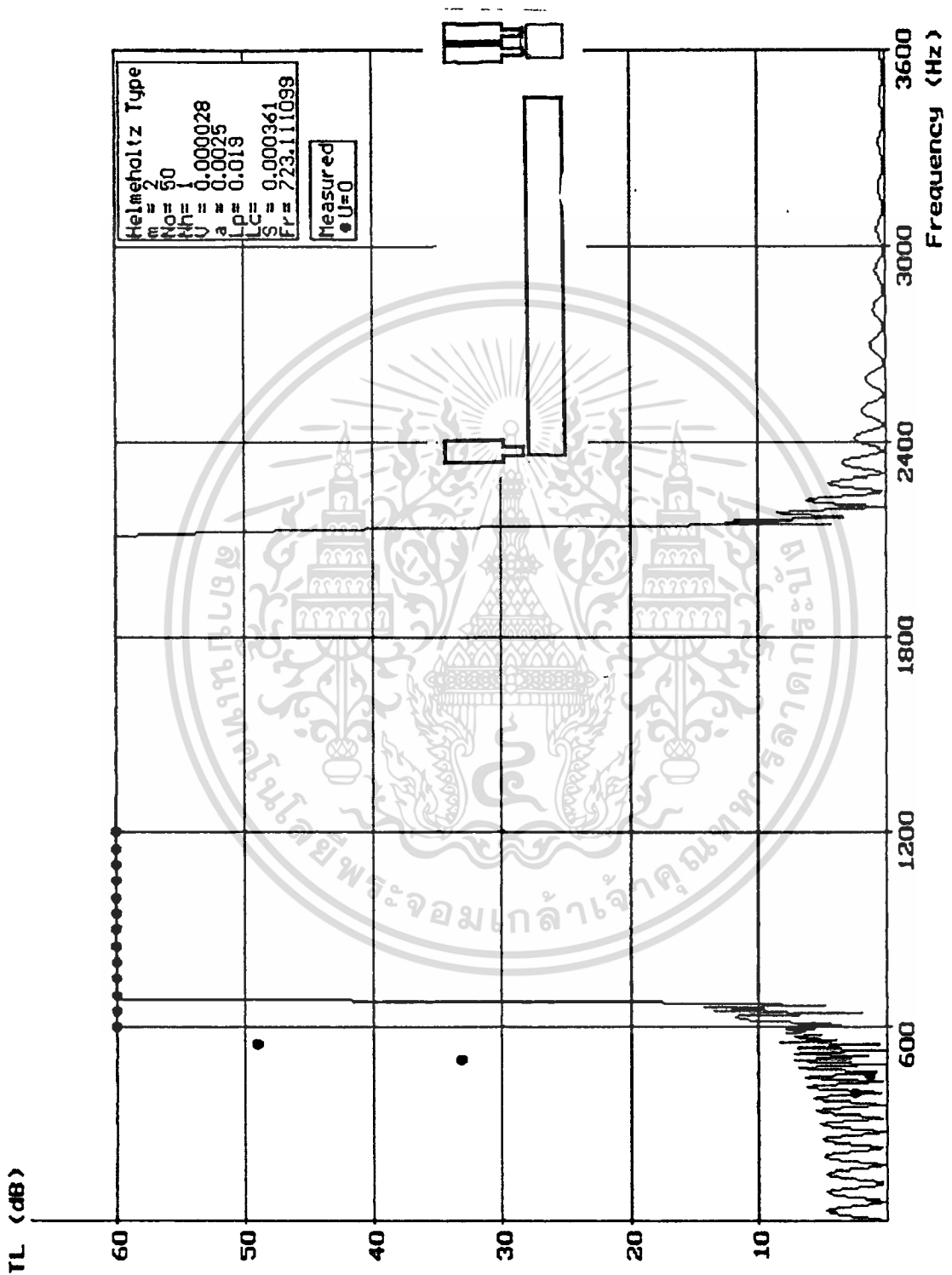
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



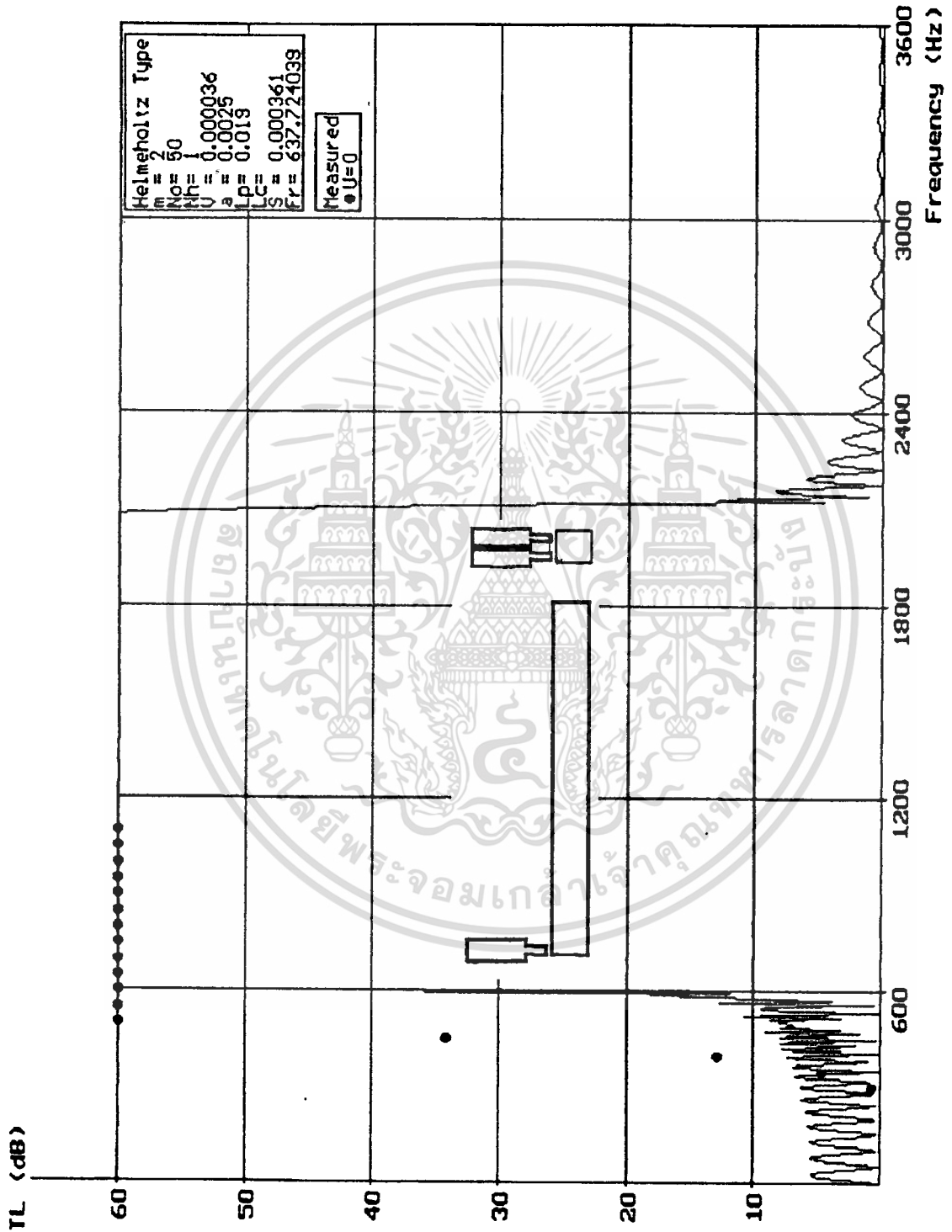
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



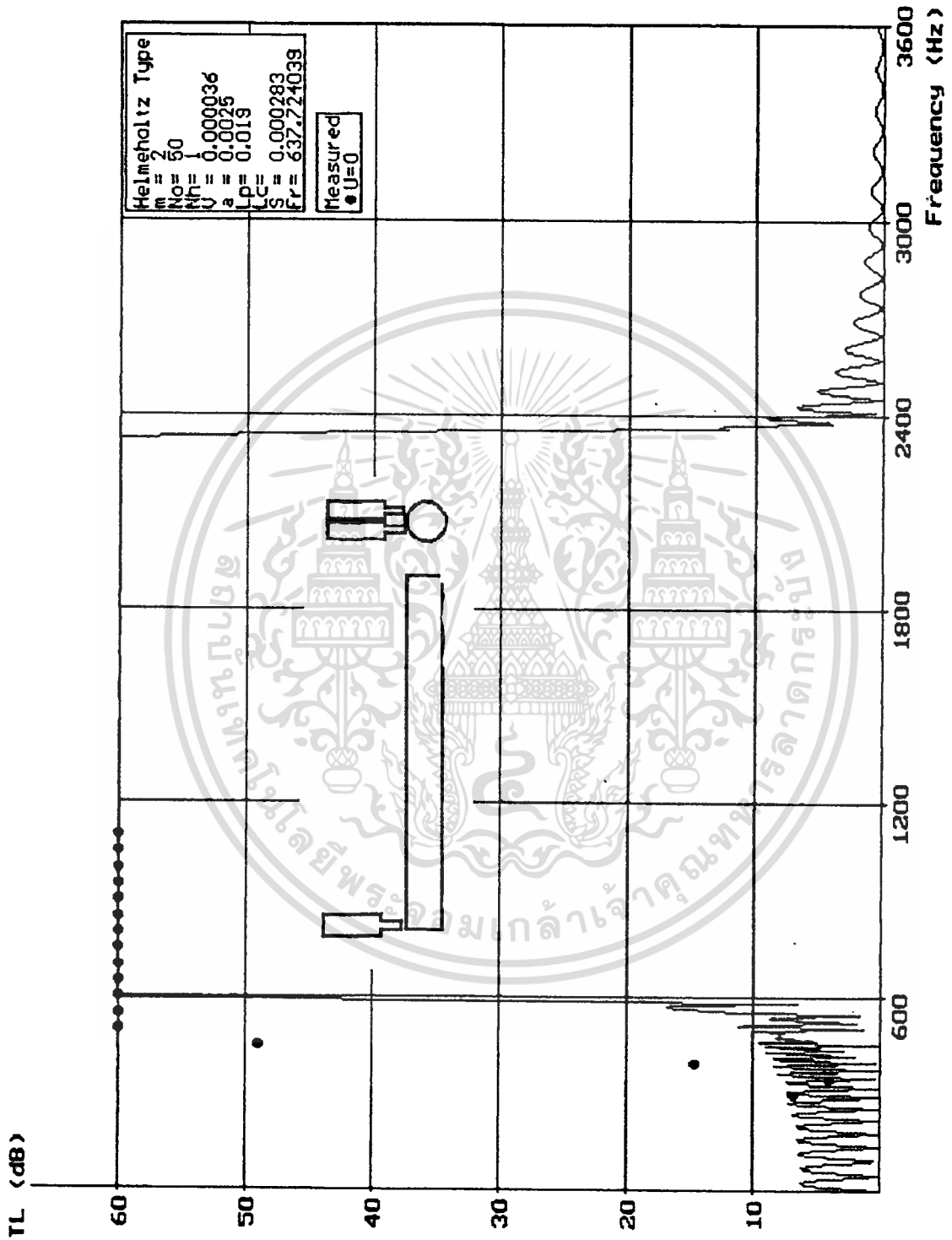
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



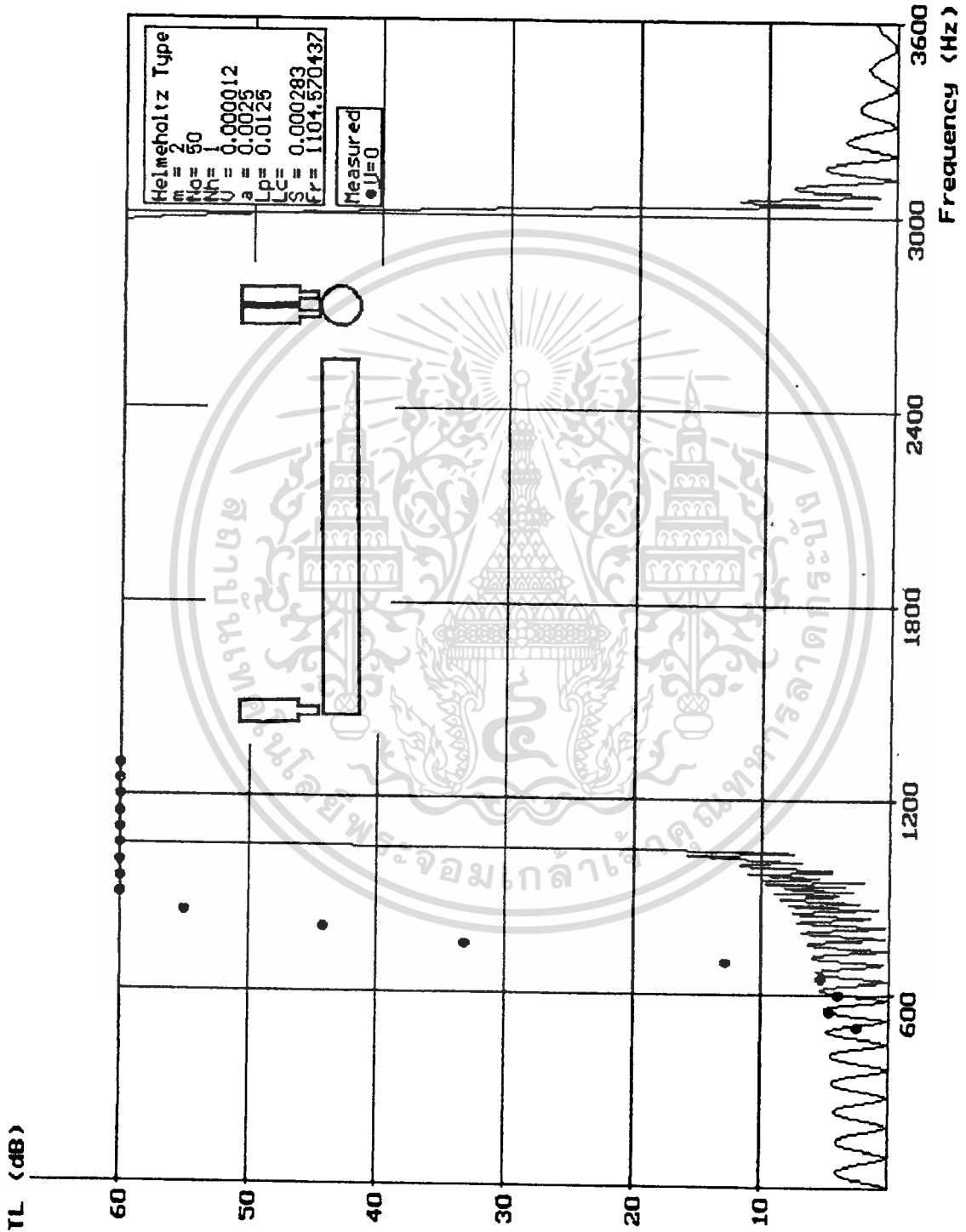
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



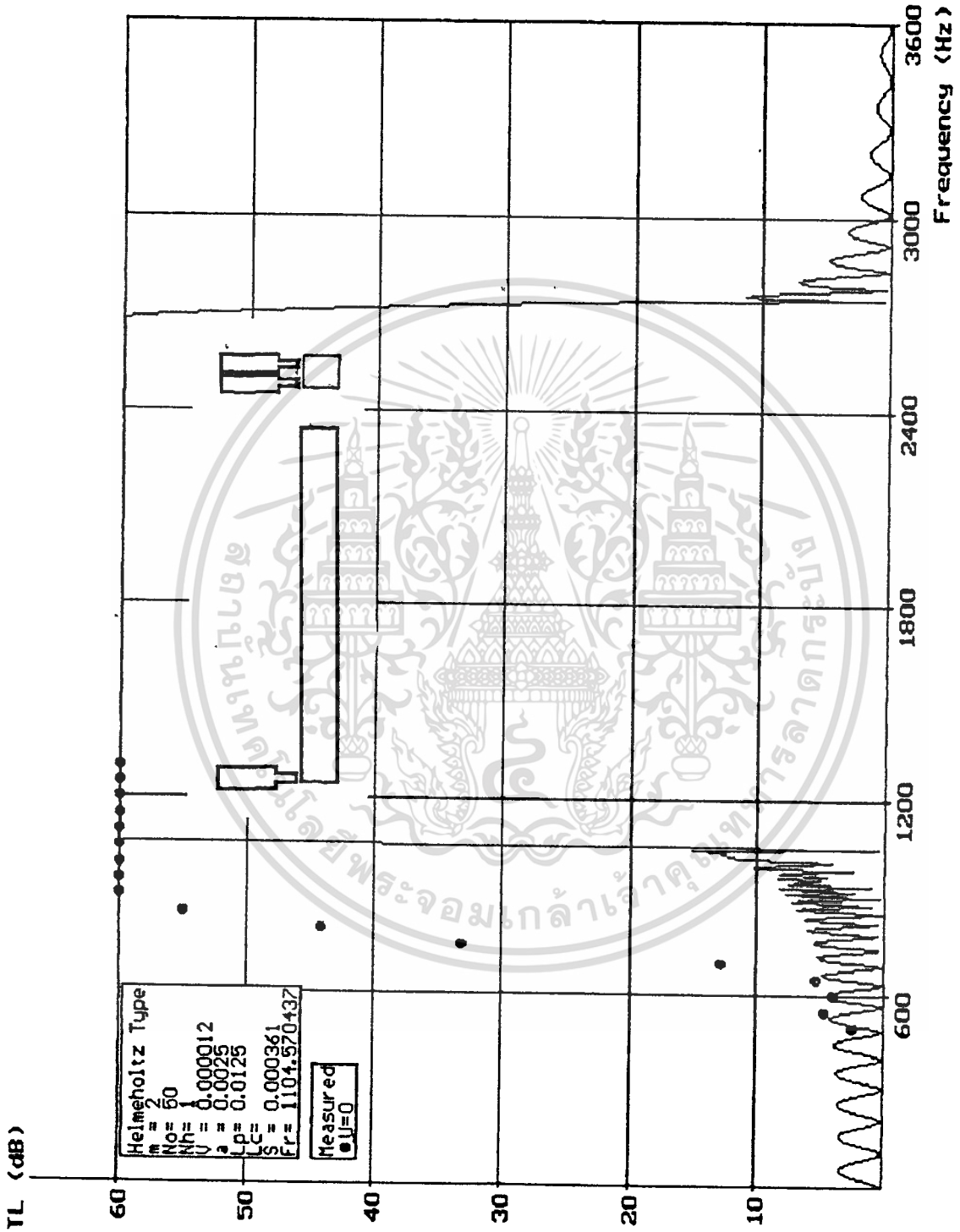
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองข้างต้นที่ยกมาเป็นตัวอย่างและจากผลการทดลองอื่นๆ ที่แสดงไว้นั้นสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. เรโซเนเตอร์แบบ Helmholtz มีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่าแบบ Side Branch
2. ประสิทธิภาพในการลดเสียงจะมากขึ้น ถ้าจำนวนแถวของเรโซเนเตอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่แต่ละแถวมีจำนวนเรโซเนเตอร์เท่ากัน
3. เรโซเนเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (พื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่าในขณะที่ความยาวเท่ากัน) จะมีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่า
4. ท่อทางเดินของเสียงที่มีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดเสียง ของเรโซเนเตอร์ลดลง
5. เรโซเนเตอร์แบบ Helmholtz เมื่อขนาดของเรโซเนเตอร์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความถี่ resonance ซึ่งเรโซเนเตอร์แบบ Side Branch ขนาดของเรโซเนเตอร์ไม่มีผลต่อความถี่ resonance

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวย่อ

- a radius of connector between exhaust pipe and branch
- A displacement amplitude of an incident wave
- B displacement amplitude of a reflected wave
- C velocity of sound
- C_0 conductivity of connector between exhaust pipe and chamber
- 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 two successive in a multiple resonator
or length of pipe between a combination muffler
- L_2 length of resonant chamber
- L_c one-half of effective length of connector between expansion chamber
- L_p length of expansion chamber
- m expansion ratio ;
ratio of chamber cross-section exhaust-pipe cross-section area
- p sound pressure
- R resistive component of impedance
- S cross-section area
- t time
- V volume
- x distance coordinate measured along pipe
- X reactive component of impedance
- Z impedance
- Z_0 acoustic resistance of transmission of a plane wave in a pipe , characteristic
impedance
- μ coefficient of viscosity of sound-conducting medium
- ρ average density of sound-conducting medium
- γ instantaneous displacement of a particle of the medium in which a plane acoustic wave is
transmitted

Subscripts :

- b** branch
- i** incident wave
- re** reflected wave
- tr** transmissin wave



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

สมการ matrix ของท่อตรงที่ไม่มี resonator



$$\begin{bmatrix} P_i' \\ U_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_r' \\ U_r' \end{bmatrix}$$

เพราะว่า $U_i = 0, U_r = 0$
 ดังนั้น $U_i = C P_i$ และ $U_r = C P_r \dots (2)$

สมมติให้ Volume Velocity ที่ทางเข้าของท่อมียค่าคงที่

ดังนั้น จากสมการ (2) จะได้

$$C P_i = C P_r$$

$$P_i / P_r = C / C' = C / \left(\frac{2s}{\rho c} \right)$$

$$\therefore TL = 10 \log \left| \frac{C}{2s/\rho c} \right|^2$$

สมการที่ใช้คำนวณหาค่า TL

สำหรับ Helmholtz Resonator 1 ตัว

$$\begin{bmatrix} Ar & Br \\ Cr & Dr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 0 \end{bmatrix}$$

สำหรับ Helmholtz Resonator n ตัว

$$\begin{bmatrix} Ar & Br \\ Cr & Dr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_p & b_p \\ c_p & d_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_p & b_p \\ c_p & d_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

$$TL = 10 \log (Z_o Cr / 2)^2$$

และสมการที่ใช้ในสมการหาค่าการลดเสียง

$$Z_o = \rho C / S$$

$$Z_c = j[(C/C_o) - (C^2 / \rho V)]$$

$$C_o = \pi a^2 / (L_c + \beta a)$$

$$a_p = \cos kL_p$$

$$b_p = j(\rho C / S) \sin kL_p$$

$$c_p = j(S / \rho C) \sin kL_p$$

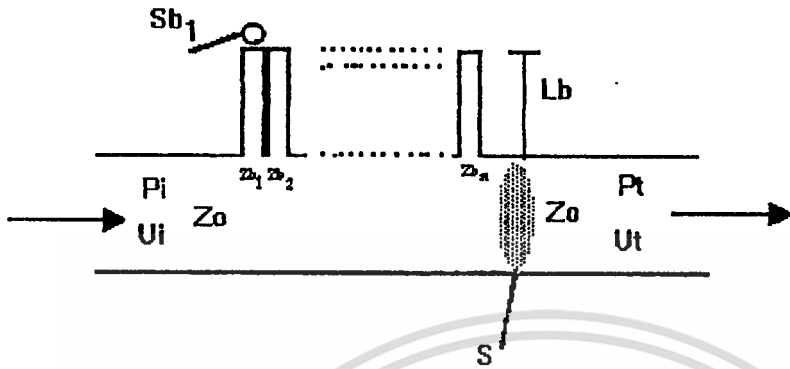
$$d_p = \cos kL_p$$

$$\omega = 2\pi f$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Side Branch Resonator จำนวน n ชุด



$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{b1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{b2} & 1 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_{bn} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_0 & 1 \end{bmatrix} \dots (1)$$

เมื่อ A,B,C,D = 4 terminal constants

Z_b = characteristic impedance ของ Silencer

$$= j \rho C / S_b \cot kL_b$$

ถ้าพื้นที่หน้าตัดของ Silencer เท่ากัน

$$S_b = S_{b1} = S_{b2} = \dots = S_{bn}$$

และ $Z_b = Z_{b1} = Z_{b2} = \dots = Z_{bn}$

n = จำนวน Side Branch Resonator

แทนค่า Z_b ในสมการ (1) คำนวณค่าคงที่ C ได้

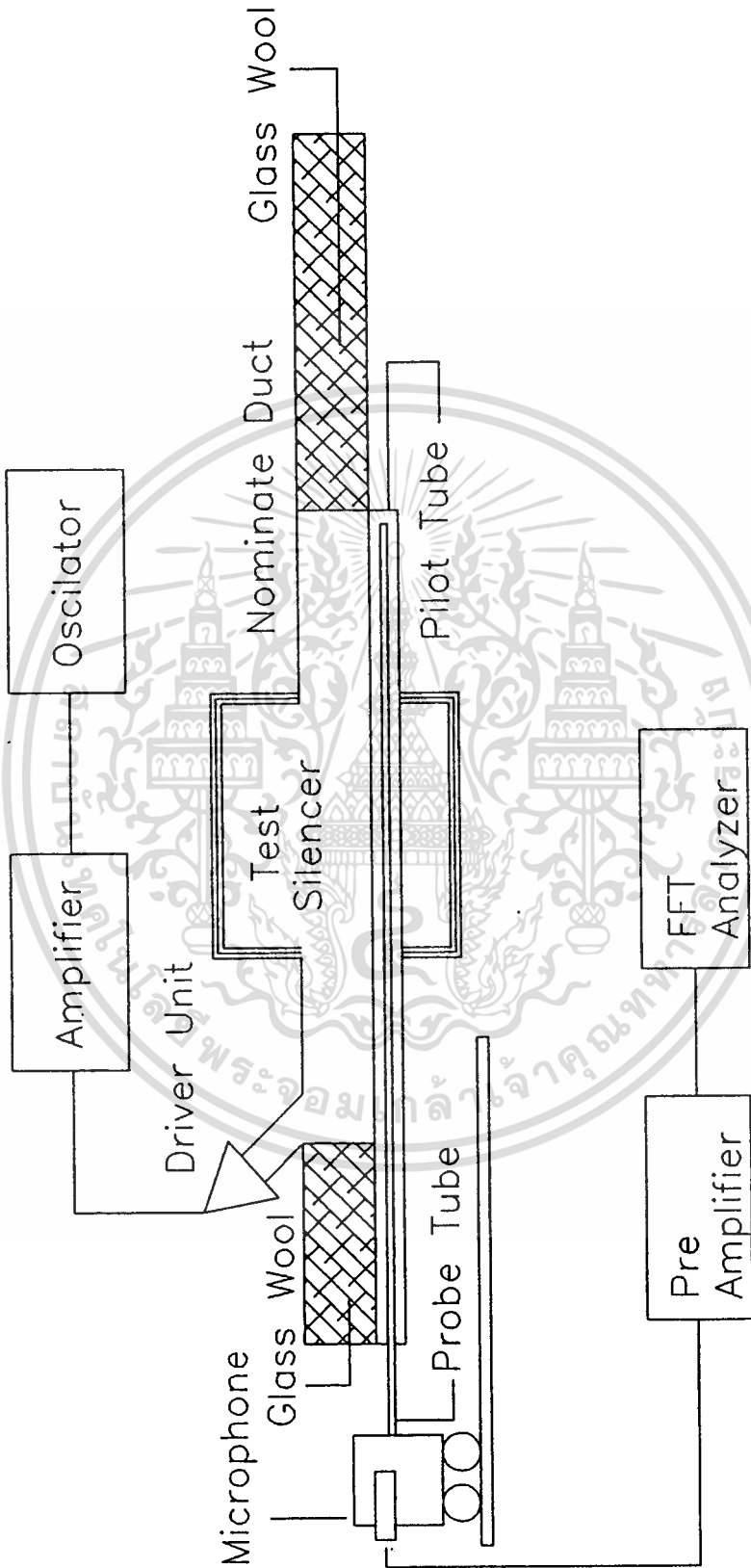
$$C = 2s / \rho c + \sum Z_b$$

$$\therefore TL = 10 \log \left| \frac{C}{2s / \rho c} \right| 2$$

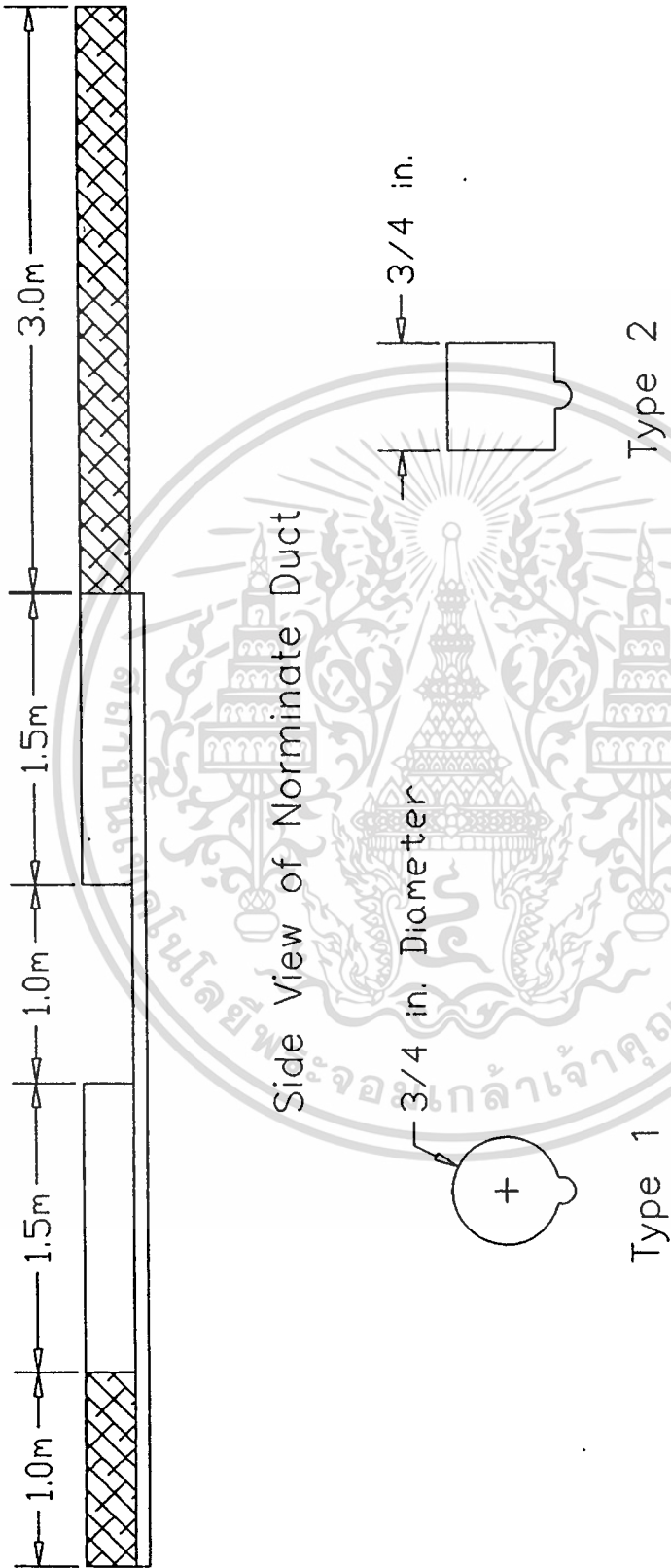
รูปภาพประกอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

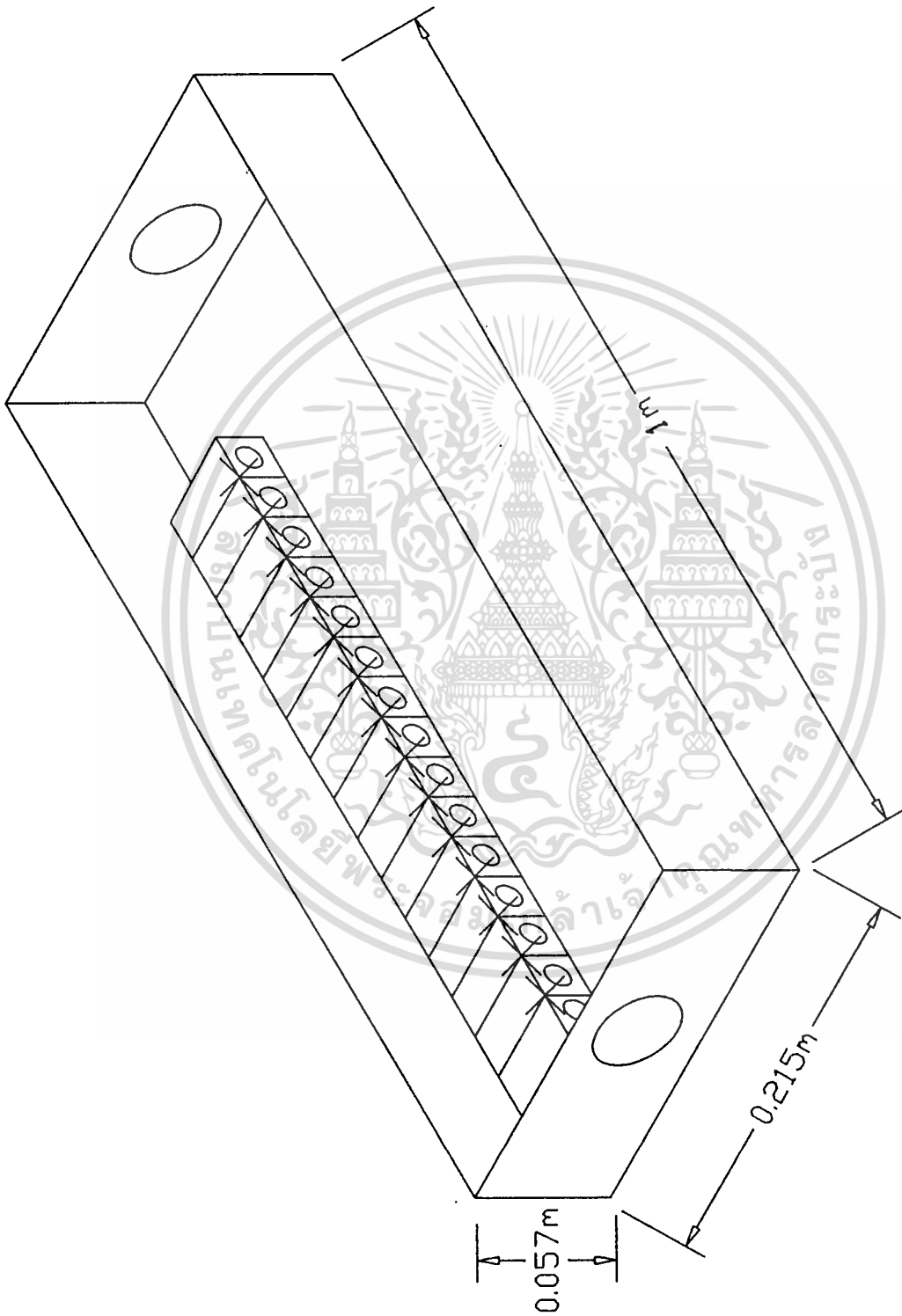


Picture 1 The duct system used for the experiment.



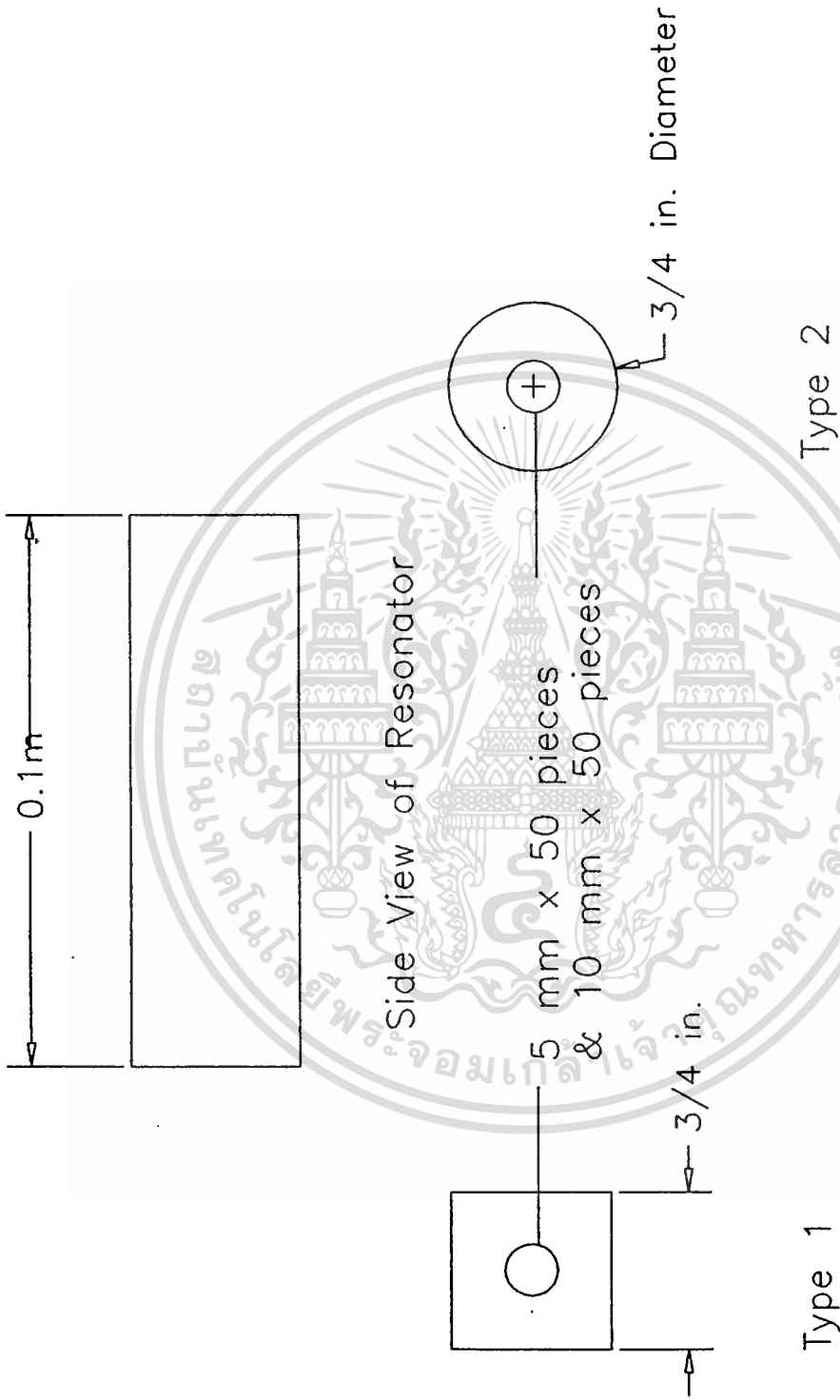
Picture 2 Dimension of Norminate Duct

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Picture 3 Test Silencer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Picture 4 Dimension of Resonator

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จล่วงไปด้วยก็โดยความช่วยเหลือจากอาจารย์และที่ๆ
จึงขอขอบคุณทุกๆ คน ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

1. ขอขอบคุณอาจารย์อัครเดช สันฐภัทร อาจารย์ที่ปรึกษา
2. ขอขอบคุณที่บุญชัย ศิปกิตวงศ์กุล ที่เป็นที่ปรึกษาร่วม
3. ขอขอบคุณเพิ่มฉา เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำอุปกรณ์การทดลอง

พรเทพ รัตนบุรี
อัครพล คำนึ่ง
เอกวุฒิ ชื่นชม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey B. Copens, Jame V. Saunders
" Fundamentals of acoustics " 3rd Edition , John Wiley & Son Inc.
2. Shuntaro Murakami , " An outline of noise reduction (Silencer Performance) "
Tokai University , 1992
3. D.D Davis , Jr , G.L Steven , D. Moore and G.M Stokes ,
" Theoretical without Flow , with comments on Engine-exhaust Muffler Design " ,
NACA.Rep.No.192(1954) , 827.
4. Department of Mechanical Engineering Tokai University ,
" Papers in Transmission Loss of Expansion-Chamber silencers with Inserted Tubes and Tapered
Sections "