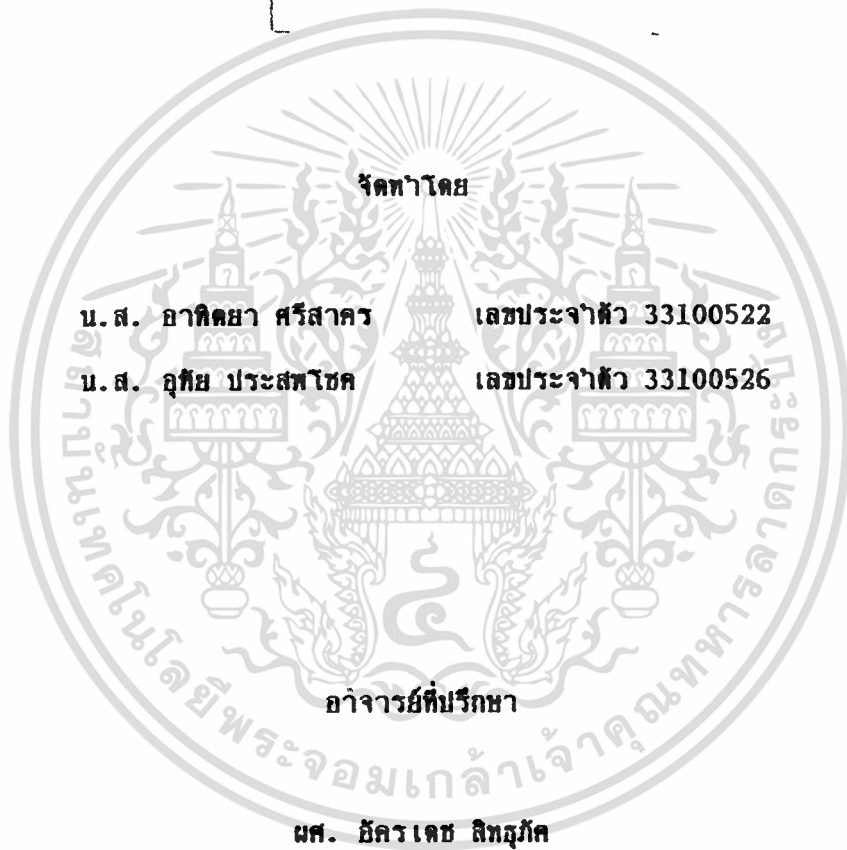


การวัดประสิทธิภาพการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียง
ชนิด Helmholtz แบบ Taper Resonance

Acoustical Performance of Helmholtz
Type Taper Resonance



ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลใดๆ ของเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

033291

ปีการศึกษา 2536

Acoustical Performance of
Helemeholtz 's Type Taper Resonator



(Handwritten signature)
.....

(ผศ. ชัยคร เดช สิบธุรงค์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Acoustical Performance of Helmholtz
Type Taper Resonance

ผู้จัดทำ

บ.ส. อาภิตยา ศรีสาคร

บ.ส. อุทัย ประสพโชค

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ยศเรข ลินธุ์ก

ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอธิบายถึงความสามารถในการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงชนิด Combination ของ Multiple resonator โดยมี Taper expansion chamber ปิดหัว-ท้าย อุปกรณ์ โดยวัดความสามารถในการลดเสียงจากค่าการลดเสียง (Transmission Loss, TL)

ท่อที่ใช้ในการทดลองปลายท่อจะติดตั้ง Conical tube และ Involute tube ซึ่งบุด้วย fiber glass เพื่อป้องกันการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่ปลายท่อ ในการทดลอง ลักษณะของเสียงที่ลดลง จะวัดจาก ระดับความดันเสียงที่ตกลงระหว่างจุดที่ปลายท่อ(exhaust pipe) กับจุดที่ท้ายท่อ(tail pipe) ที่แต่ละความถี่ เปรียบเทียบกับ ลักษณะเสียงที่ลดลงในทางทฤษฎี ซึ่งได้จากการคำนวณ โดยใช้ basic one dimensional linearized theory และ ทฤษฎีของ Conical Horn โดยพิจารณาคลื่นเสียงในรูปของ คลื่นมิติเดียว (plan waves) มีแหล่งกำเนิดเสียงเป็น single point และ ความดันของคลื่นเสียงเป็น unity ใน

เอกสารนี้เป็น การทดลอง จะพิจารณาผลของจำนวนรูที่ connector ของ resonator ผลของ ด้านการคำนวณจำนวนแถวของ resonator เมื่อความถี่มีจำนวน resonator เท่ากัน ที่และ นำไปใช้ ผลจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม

Acoustical Performance of Helemeltz

Type Taper Resonator

Miss Arthidtaya Srisakhon

Miss Uthai prasopchoke

Asst.Prof. Akraddech Sindhuphak Advisor

Abstract

This thesis describes the Performance of Helemeltz Type Taper Resonator by measures the Trasmission Loss (TL) of the mufflers

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 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 lineaized theory , the basic of wave and the conical horn theory ; Assume that the sound be transmitted in a tube in the from 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 results number of connector's hole of resonator , number rows of resonator when number of resonator is constant and turns air flow velocity

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
ทฤษฎีและหลักการทํางาน	3
เครื่องมือวัด	17
วิธีทดสอบ	18
ผลการทดลอง	20
สรุปผลการทดลอง	73
ภาคผนวก	
- สัญลักษณ์	A
- สมการการคำนวณหาค่า TL	B
- การสร้างอุปกรณ์การทดลอง	C
- รูปประกอบทฤษฎี	D
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางที่มีการสั่นสะเทือน เสียงจะเคลื่อนที่ในลักษณะ ลูกคลื่น (wave motion) สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในอากาศ, ของเหลว และของแข็ง ระดับของเสียงหรือความดังจะมีหน่วยวัดเป็น เดซิเบล (dB) เสียง (sound) มัก หมายถึง เสียงที่คนเราชอบซึ่งอาจเป็นเสียงเพลงหรือเสียงดนตรี แต่เสียงรบกวน (noise) จะเป็นเสียงที่มีน้ำเสียงซ้ำๆกัน เช่น เสียงพัดลมในเครื่องปรับอากาศ เสียงเครื่องจักร เสียงเครื่องยนต์ อีกนัยหนึ่งเสียงรบกวนมักหมายถึง เสียงที่เราไม่ต้องการนั่นเอง ดังนั้น จึงมีการศึกษาค้นคว้าวิจัย การลดเสียงวิธีต่างๆขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ชีวิตมนุษย์ในการดำรงชีวิต

โครงการณัวิวิจัยการลดเสียง มีการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเสียงและอุปกรณ์ลดเสียง เพื่อหาลักษณะเฉพาะต่างๆ ของอุปกรณ์ลดเสียงแต่ละชนิด

สิ่งที่ควรพิจารณาในการศึกษาก็คือ การเปลี่ยนแปลงหน้าคลื่น , การส่งสัญญาณ , การใส่ Branch เข้าไป , การกรองเสียง ณ จุดเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วนอุปกรณ์ลดเสียง ทฤษฎีต่างๆ ที่อ้างเกี่ยวกับตั้งกรองเสียง ในรายการฉบับนี้ ได้มีการตรวจสอบแล้ว จากการทดลองสำหรับตัวกรองขนาดเล็กที่สภาวะอากาศไม่แปรปรวนหรือสภาพอากาศคงที่ ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเสมือนเป็นตัวกลางของเสียง

ข้อสันนิษฐานต่างๆ ที่ได้จากการ derivation สมการของตัวกรองเสียง จะทำให้สามารถวิเคราะห์หา ขนาดมากที่สุดของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวกรองเสียง และความดันสูงสุดของเสียงได้

ในอังกฤษได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ลดเสียงของเครื่องบินโดยทำการทดลองกับ แบบจำลอง และ เครื่องยนต์ทดสอบ ซึ่งพบว่า การลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Expansion chambers silencers ที่ความถี่ต่ำ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น การลดเสียงก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่า อากาศที่ไหลมีผลน้อยต่อการลดเสียง สำหรับอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Multiple Resonator

การหลีกเลี่ยง ความดันกลับที่มากเกินไปเป็นสิ่งสำคัญในการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียง ดังนั้น ชนิดของอุปกรณ์ลดเสียงที่ห่อหุ้มให้ก๊าซเสียไหลผ่านโดยปราศจากการวนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับปฏิบัติงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
จึงถูกพิจารณาในการค้นคว้าครั้งนี้
ไม่ว่าการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งสิ่งที่ไม่ได้เห็นแต่เพียงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการในการลดเสียงรบกวนนั้นกระทำได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. การลดเสียง ณ จุดกำเนิดเสียง

1.1 การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างของเครื่องจักร เพื่อให้เกิดเสียงน้อยลง คือ การปรับปรุงการจับยึดเครื่องจักร เพื่อให้การสั่นสะเทือนลดลง

1.2 การเปลี่ยนแปลงบางส่วนของเครื่องจักร คือ การพยายามลดชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรให้น้อยลง

1.3 การใช้แดมป์เปอร์ (damper) เพื่อลดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรให้น้อยลง

2. การลดเสียงโดยกระทำระหว่างแหล่งกำเนิดเสียง และแหล่งรับเสียง

2.1 การรบกวนคลื่นเสียง

2.2 การดูดคลื่นเสียง

2.3 การใช้ตัวลดเสียง (Silencer)

ลักษณะของ Silencer ที่ค้ำแบ่งตามจุดประสงค์

1. สำหรับการลดของเสียง

-ลด ณ จุดความถี่ที่แน่นอน

-สามารถลดเสียงรบกวนได้เป็นจำนวนมาก

2. ทางด้านแอโรไดนามิกส์

-ต้องมีการสูญเสียความดันต่ำ

-ต้องกำเนิดเสียง (เนื่องจากการไหลของของไหล) ต่ำ

3. ทางด้านเครื่องจักรกล

-ต้องมีโครงสร้างง่าย ๆ

-ต้องมีขนาดเล็ก

Kinds of Silencer

1. Passive Silencer

1.1 Expansion-Chamber type

1.2 Resonance type

1.3 Absorption type

2. Active Silencers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการทํางาน

ในการพิจารณาทางทฤษฎี เสียง ได้ถูกสมมุติว่าถูกส่งไปในท่อในสถานะ plane waves หรือ คลื่นมิติเดียว จนถึงจุดต่อ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อ ทำให้หน้าคลื่นเปลี่ยนแปลง เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นตกกระทบบางส่วนกลับไปยังแหล่งกำเนิด ส่วนคลื่นที่เหลือจะผ่านทะลุจุดต่อออกไป

ในการทดลองจะสร้างอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 ช่วงระยะจากแหล่งกำเนิดเสียง (Loud-speaker) จนถึง Muffler เรียกว่า Exhaust pipe ส่วนระยะจาก Muffler จนถึงปลายท่อ เรียก Tial pipe

Definition of Noise-reduction Amount

1. Transmission Loss (TL)

$$TL = 10 \log (W_1/W_2)$$

โดยที่

W_1 : Entered Wave

W_2 : Transmission Wave

2. Attenuation (Att)

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

โดยที่

P : Sound Pressure เมื่อติดตั้ง Silencer

p' : Sound Pressure เมื่อไม่มีการติดตั้ง Silencer

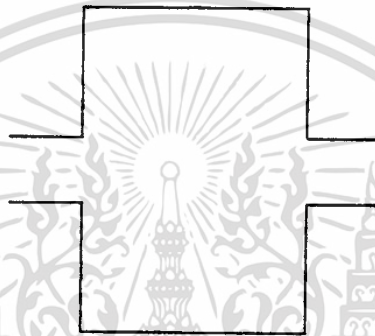
โดยค่า p, p' จะวัดที่จุดเดียวกัน

ในการวิเคราะห์ความสามารถในการลดเสียงของ Silencer จะสามารถแสดงได้ในรูปของค่า Transmission Loss (TL) โดยในการ Derivation สมการจะใช้ทฤษฎีของคลื่นมิติเดียว Silencer ที่พิจารณาใน Project ครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะแบบ Expansion Chamber Type และ Resonance Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Single Expansion Chamber

อุปกรณ์ลดเสียง(Muffler) แบบ Single Expansion Chamber ประกอบด้วย Chamber ที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่าท่อทางออกปกติ อุปกรณ์ลดเสียงชนิดนี้จะใช้หลักการของการสะท้อนของเสียงที่จุดต่อของ Chamber ซึ่งเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อภายในอุปกรณ์ลดเสียง



Picture : single-expansion chamber

ตัวอย่าง Single-expansion chamber ในรูปแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 2

ในการ derive สมการ Transmission Loss ของ single expansion จะต้องกำหนดให้สมการอยู่ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ความดันของเสียงมีค่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความดันเฉลี่ยสมบูรณ์ในระบบ
2. ไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นที่ปลายท่อ
3. ผนังของท่อจะต้องไม่ดูดซับพลังงานเสียง
4. พิจารณาคลื่นเสียงในท่อทางออก(exhaustpipe) และ ท้ายท่อ(tail pipe) ในรูปของคลื่นมิติเดียว(plane wave)
5. ผลของความหนืด (viscosity) ของของไหลไม่คิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Transmission Loss(dB) ของ muffler แบบ Single Expansion Chamber จะเป็นไปตามสูตร

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 1/4(m-1/m)^2 \sin^2 KL_m]$$

โดยที่ K : wave constant

($K = 2\pi f/c$; $c =$ ความเร็วของเสียงใน muffler)

L_m : length of muffler

m : (พ.ท.chamber/พ.ท.exhaust-pipe)

Effect of expansion ratio (m)

จากสมการ

$$TL = 10 \log_{10} [1 + 1/4(m-1/m)^2 \sin^2 KL_m]$$

จะพบว่า การเพิ่มขึ้นของค่า TL จะขึ้นอยู่กับ การเพิ่มขึ้นของ Expansion ratio (m) สำหรับ muffler ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของคลื่นเสียง เมื่อนำค่า m และ TL ซึ่งแปรค่าตามค่า m มา plot จะได้อกราฟที่แสดงว่าการเพิ่มของ m จะมีผลทำให้ค่า TL เพิ่มขึ้นไปด้วย ถึงแม้จะเป็นการเพิ่มแบบกระจัดกระจาย แต่ก็มีแนวโน้มในลักษณะที่จะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of shape

Chamber ของอุปกรณ์ลดเสียงแบบ Single Expansion Chamber มีหลายแบบมากมายดังแสดงในรูปที่ 1 Chamber ที่ใช้ในทดลองสำหรับโครงการครั้งนี้ เป็น Chamber ตามหมายเลข 10 ซึ่งมีปลายทั้งสองข้างของ Chamber เป็นลักษณะ Taper จากทฤษฎีของคลื่นมิติเดียว จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Chamber ประเภทนี้จะมีผลน้อยมากต่อสมรรถนะของ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นว่า ค่า TL สำหรับ connector รูปทวารแบบ Taper จะเป็นฟังก์ชันของ ความยาวคลื่น , ความยาวของ Taper , อัตราขยาย (expansion ratio , m)

curves ในรูป 3 คำนวนจากสมการ

$$Att = 10 \log_{10} \{ [1 + ((\sqrt{m}-1)^2 / m) (1 - \cos b/b^2)]^2 + [((\sqrt{m}-1)^2 / m) ((b - \sin b)/b^2)]^2 \}$$

Effect of Exhaust-gas Velocity

จากข้อสรุปทางทฤษฎีพบว่า ผลอันเนื่องมาจากความเร็วเป็นฟังก์ชันของ $\sqrt{1-M}$ เมื่อ M คือ ค่า Mach number ของ ก๊าซไอเสีย ซึ่งในการพิจารณาต้องพิจารณาลักษณะของ muffler นั้นๆ

ในกรณีของ Expansion chamber ความเร็วของก๊าซไอเสีย (Exhaust-gas Velocity) ใน Expansion chamber จะน้อยกว่าในท่อ เมื่อความเร็วของเสียงในระบบไอเสียประมาณ 2000 ft/s ค่า Mach number จะมีค่าน้อย ดังนั้นค่า M^2 จึงสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นค่าความเร็วของไอเสียจะมีผลน้อยมากต่อค่า attenuation ของ single expansion chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

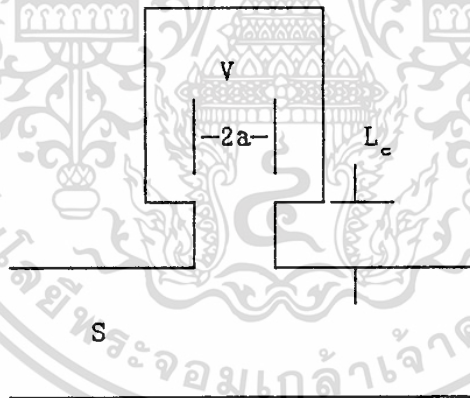
Single-chamber resonator

Single resonator แบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภท

แบบแรก ประกอบด้วย resonant chamber ที่มีกึ่งเป็นปริมาตรปิดยื่นออกมาจาก exhaust-pipe resonator แบบนี้จะเพิ่มแรงเนื่องจาก ความหนืด ใน connection tubes ในการคำนวณด้วย

แบบที่สอง ประกอบ resonator ที่มี chamber เป็นลักษณะวงแหวนล้อมรอบ exhaust pipe resonator แบบนี้ค่อนข้างจะใหญ่กว่าแบบแรกอยู่บ้าง และแรงหนืดจะถูกตัดออกจากการคำนวณ

โดยที่ทั้งสองแบบ ส่วนที่เป็น กึ่ง และ วงแหวน ยื่นออกจาก chamber จะมีจุดศูนย์กลางร่วมกับ exhaust pipe ด้วย ในโครงงานครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะ resonator ประเภทที่ resonant chamber มีปริมาตรปิดยื่นออกมาจาก chamber จากรูปของ single resonator ดังรูปข้างล่าง



ในการศึกษาวิจัย exhaust-gas ที่มีความดันที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอภายใน exhaust-pipe จะไหลผ่าน chamber และ เข้า connector ของ resonator ที่ต่อยื่นออกจาก chamber ซึ่ง connector เหล่านี้จะพิจารณาเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของเสียง ในการศึกษาความแตกต่างของ phase ระหว่างปลายของท่อเล็กๆ สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้น ก๊าซ ที่อยู่ในท่อเล็กๆ สามารถพิจารณาได้ว่าการเคลื่อนที่เหมือนแท่งกระบอกสูบตัน ที่มีมวลแน่นอน ผนังท่อใช้ความหนืดหรือฟังก์ชันของแรงที่คงที่แน่นอน เสมือนกับว่าเป็นกระบอก

สูบของ gas ที่เคลื่อนที่เข้าออก ก๊าซที่อยู่ข้างใน Chamber จะรับการอัด การดึง สลับกันไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติ ความเสียดทานระหว่าง อากาศ และผนังของท่อที่ต่อออกมาจาก chamber (connecting tube) มีค่าน้อยมากพอที่จะตัดทิ้งได้ เมื่อเทียบกับแรงที่กระทำกับอากาศใน connecting tube และแรงกดภายใน chamber

ในการ derive สมการ Transmission Loss ของ single resonator จะต้องกำหนดเงื่อนไขของสมการเพิ่มเติมจากข้อกำหนดใน single expansion คือ

5. ผลของความหนืด (viscosity) ของของไหลไม่คิด ยกเว้นใน Tube หรือ orifice ที่เกิดจากการต่อระหว่างท่อกับ 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 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 waves ก่อนเข้า branch

b แสดงถึง branch

tr แสดงถึง transmitted wave หลังผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

สำหรับคลื่นมิติเดียว $p = Z_0 I$

โดยที่ Z_0 คือ characteristic impedance ของ tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ้ากระแสถูกเขียนในเทอมของหาค่ามิตนและความต้านทาน (impedance) เรา
จะได้สมการ (2) ใหม่ คือ

$$(1/Z_0)(p_i - p_{r_s}) = p_{r_s} [(1/z_b) + (1/Z_0)] \dots (3)$$

จากสมการ (1) และ (3) 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 Transmission Loss เป็น

$$\begin{aligned} TL &= 10 \log [p_i/p_{r_s}]^2 \\ &= 10 \log [((R_b + Z_0/2)^2 + X_b^2)/(R_b^2 + X_b^2)] \dots (4) \end{aligned}$$

impedance ของ various components คือ

$$\text{volume-chamber impedance} = -j\omega c^2/\omega v \dots (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Connector impedance } (z_c) &= (l_c/\pi a^3)j2\mu\omega + j[(\omega\mu/C_0) \\ &\quad + (L_c/ja^3)j2\mu\omega] \dots (6) \end{aligned}$$

ซึ่ง C_0 คือ conductivity

L_c คือ effective length ของ connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณี resonator side branch , volume chamber และ connector จะอยู่ในรูปอนุกรม จะได้

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

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

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

ในหลายกรณี เราสามารถที่จะไม่คิดผลของความหนืด โดยไม่มีการคำนึงถึงค่าความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นยกเว้นที่ความถี่ resonant ถ้า $\mu = 0$ จะได้สมการ (4) เป็น

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

เมื่อแทนค่า X_b สมการ (18) จะอยู่ในรูป

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองพบว่า ที่ระดับความถี่เดียวกัน ความต้านทานที่ ท่อต่อ จะต่ำกว่า ความต้านทานที่บริเวณ tail-pipe ทำให้ resonat chamber มีการ short circuit (ลัดวงจร) คือ มีการสะท้อนของ คลื่นตกลับกระทบ จำนวนมากกลับไปยัง แหล่งกำเนิดเสียง ดังนั้นผลรวมทางพลังงานเสียง ซึ่งจะผ่านเครื่องลดเสียงไปยัง tail-pipe จะลดลง

Conductivity (C_o)

Conductivity (C_o) ในปริมาณทางกายภาพที่สำคัญมากที่ใช้ในการพิจารณา ความถี่ resonant และ ความสามารถในการลดเสียงของ resonator-type muffler ความเฉื่อยของเสียง (ρ/C_o) เป็นข้อจำกัดทางกายภาพในการวางท่อเสียง เนื่องจาก เป็นปริมาณที่ถูกกำหนดโดยพลังงานจลน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของโครงสร้างการวางท่อ สภาพการ นำ เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่เข้าใจยาก ซึ่งสามารถทำนายจากกรณีพิเศษเท่านั้น เช่น กรณี ที่เป็น รู orifice กลมยาวไม่จำกัด ในทางปฏิบัติส่วนมากจะประมาณค่า C_o โดยดูจากการ ทดลอง

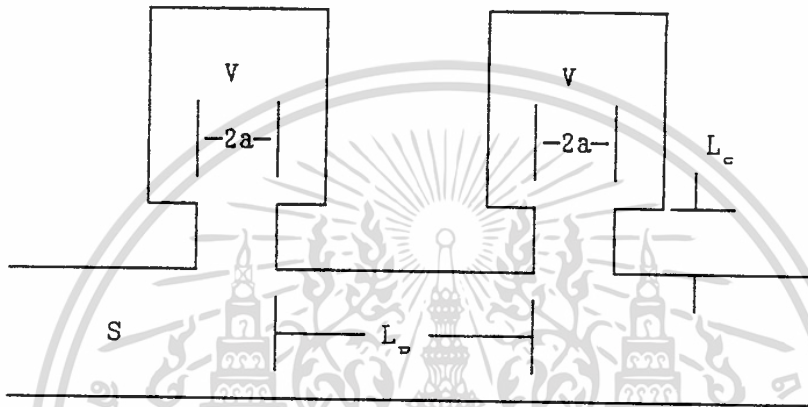
การทำนาค่า C_o ถูกพิจารณาใน ref 1 ในกรณี single connector ซึ่งมี เส้นผ่าศูนย์กลางไม่ใหญ่จนเกินไปเมื่อเทียบกับ เส้นผ่าศูนย์กลางของ exhaust-pipe

$$\text{สมการที่ได้ คือ } C_o = \pi a^2 / (L_c + \beta a)$$

ที่ซึ่ง β คือค่าคงที่ได้จากการทดลองโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $\pi/2$ ถึง $\pi/4$

Multiple resonator

เครื่องลดเสียงแบบ Multiple-resonator ประกอบด้วย resonator ที่เหมือนกันทุกอย่างอย่างน้อย 2 ตัว มาต่อกันโดยมี ระยะห่าง ระหว่าง resonator แต่ละอันเท่ากันตลอดความยาวของ exhaust pipe



รูปแสดง Multiple-resonator

สมการการลดเสียงของ resonator แบบนี้ คือ

$$TL = -8.69 M \cosh^{-1} \left\{ \cos(k_r L_1 (f/f_r)) + [J_0 V / 2S] / [(f/f_r) - (f/f_r - f_r/f)] \sin(k_r L_1 (f/f_r)) \right\}$$

ที่ซึ่ง M : จำนวน resonator

จากสมการมีตัวแปรเกี่ยวข้องที่สำคัญ คือ

$(J_0 V) / 2S$: Transmission Loss Parameter

J_0 / V : Resonance Parameter

L_1 : ระยะระหว่างรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า TL เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ จำนวน resonator(M) ซึ่งเราสามารถทราบความสัมพันธ์นี้ได้จากการทดสอบกลุ่มของ multiple resonator แบบต่างๆ

Effect of Number of Chamber (M)

จากข้อมูลของการทดลองจะพบว่า ค่าของ TL จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ Chamber(M) ซึ่งหมายความว่าค่า TL เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน resonator(M) ใน muffler โดยเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TL กับ ค่า M จากการทดสอบกลุ่มของ muffler resonator แบบต่างๆ

Effect of Conductivity (C_o)

ค่า Conductivity จะใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่าง resonator แต่ละตัว ซึ่งมีความยุ่งยากในการคำนวณมาก และนั้นในการคำนวณจึงมีการตัดตัวแปรต่างๆ ที่มีผลไม่แน่นอนต่อ ค่า C_o ทั้งหมด

จะได้ว่า ค่า C_o สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

โดยที่ $\beta = \pi/2$ และ $\pi/4$

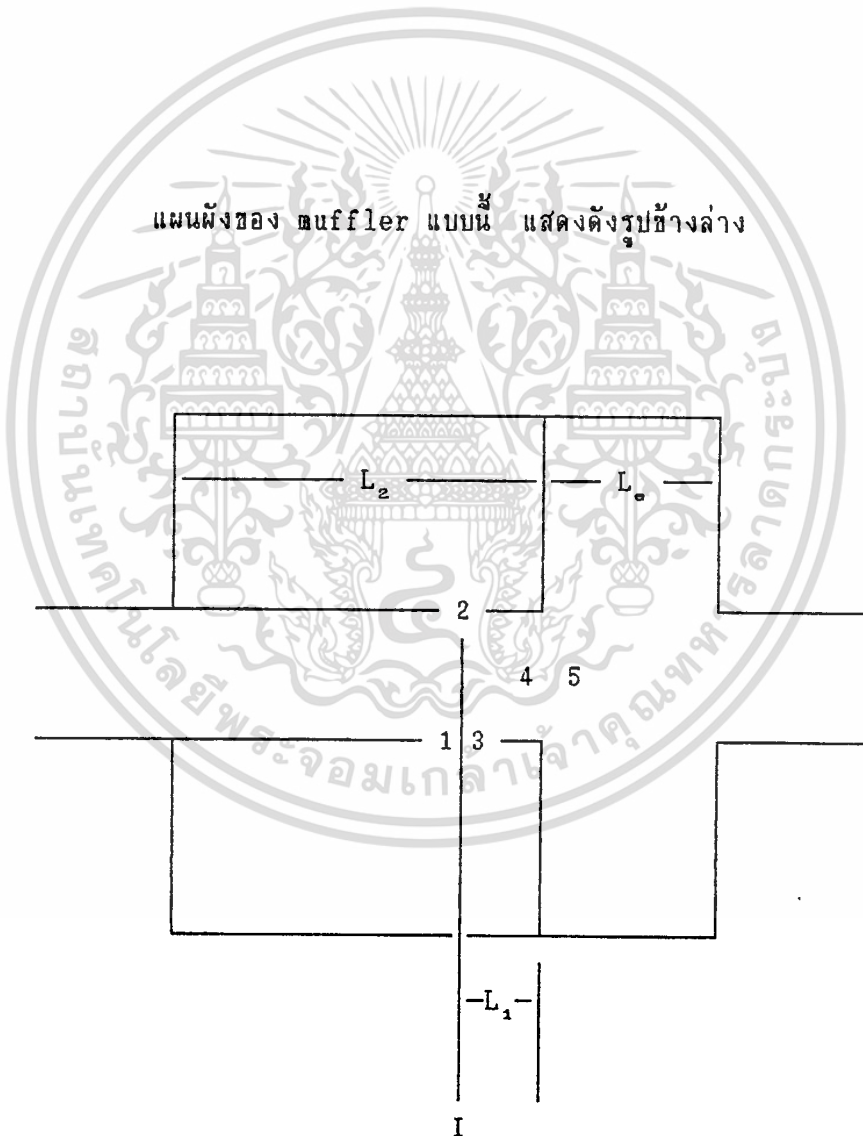
ถ้ามีหลาย element ให้คูณด้วย n (จำนวน element) Multiple-chamber resonator เครื่องลดเสียงแบบนี้ ในการ Derivation สมการ Chamber จะถูกพิจารณาในรูปตัวต้านทาน และที่ระหว่าง resonator แต่ละตัวเสมือนเป็นตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combination

หลังจากศึกษา muffler ชนิดต่างๆ มี 2-3 ชนิดที่ถูกทดสอบ แบบนำมาประกอบกัน มีทั้ง 2 ชนิดมาประกอบกัน และ 2 หรือมากกว่าของขนาดที่แตกต่างกันมาประกอบกัน

A resonator and expansion chamber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขขอบเขตของตำแหน่ง I คือ

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 = A_3 + B_3 \quad \dots\dots(1)$$

$$S_1(A_1 - B_1) = S_2(A_2 - B_2) = S_3(A_3 - B_3) \quad \dots\dots(2)$$

จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$A_1 = (S_2/2S_1)(A_2 - B_2) + A_3 \quad \dots\dots(3)$$

side branch

$$\begin{aligned} Z_2 &= P_2 / I_2 \\ &= [-j\omega(A_2 + B_2)e^{i\omega t}] / [-kS_2(A_2 - B_2)e^{i\omega t}] \\ &= [j\omega(A_2 + B_2)] / [S_2(A_2 - B_2)] \end{aligned}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} A_2 - B_2 &= [j\omega(A_2 + B_2)] / S_2 Z_2 \\ &= [j\omega(A_3 + B_3)] / S_2 Z_2 \quad \dots\dots(4) \end{aligned}$$

แทนสมการ (4) ลงในสมการ (3)

$$A_1 = [j\omega S_2(A_3 + B_3) / 2S_1 S_2 Z_2] + A_3$$

ซึ่ง

$$A_3 = A_4 e^{ik_1 l}$$

$$B_3 = B_4 e^{-ik_1 l}$$

$$j\omega / S_1 = Z_0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\begin{aligned} A_1 &= [1 + (Z_0/2Z_2)]A_4 e^{ik_1 l_1} \\ &= (Z_0/2Z_2)B_4 e^{-k_1 l_1} \end{aligned}$$

ในส่วนของ expansion chamber

$$A_4/A_0 = \cos kl_0 + i((m+1)/m)\sin kl_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$B_4/A_0 = -i/2[(m-1)/m)\sin kl_0] \quad \dots\dots\dots(6)$$

จากสมการ (4), (5) และ (6)

$$\begin{aligned} A_1/A_0 &= \{ \cos kl_0 + (m+1)/m \sin kl_0 - (Z_0/4X_b)(m-1)/m \cos 2kl_1 \sin kl_0 \\ &\quad + i[(1/2)(m+1)/m \sin kl_0 - (Z_0/2X_b) \cos kl_0 + \\ &\quad (Z_0/4X_b)(m-1)/m \sin 2kl_1 \sin kl_0] \} \end{aligned}$$

ค่า Attenuation คือ

$$\begin{aligned} Att &= 10 \log_{10} [A_1/A_0]^2 \\ &= 10 \text{Log}_{10} \{ [\cos kl_0 + (Z_0/4X_b)(m+1)/m \sin kl_0 \\ &\quad - (Z_0/4X_b)(m-1)/m \cos 2kl_1 \sin kl_0]^2 \\ &\quad + [(1/2)(m+1)/m \sin kl_0 - (Z_0/2X_b) \cos kl_0 \\ &\quad + (Z_0/4X_b)(m-1)/m \sin 2kl_1 \sin kl_0]^2 \} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบเครื่องลดเสียง แสดงในรูป 3 ส่วนของท่อระหว่าง loud-speaker ถึง muffler ในรูปที่ 1 เรียกว่า exhaust-pipe ส่วนท่อที่อยู่อีกข้างของ muffler เรียกว่า tail pipe

จุดที่ทำการวัดจะใส่ไมโครโฟนโดยติดไว้ใน exhaust-pipe และ tail-pipe จุดที่วัดนี้จะต้องมีพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากัน เมื่อใส่ไมโครโฟนเข้าไปจะต้องให้มีผลต่อการได้ยินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยต้องปฏิบัติตาม ซึ่งเป็นผลจากการตกกระทบของคลื่นเสียงที่จะเดินทางจาก แหล่งกำเนิดเสียง หรือ loud-speaker ไปยัง muffler และ คลื่นเสียงสะท้อน ที่เดินทางจาก muffler กลับไปยัง loud-speaker โดยที่ความดันของคลื่นเสียงจะแปรตามระยะจัดของ exhaust-pipe

การวัด

จะเลื่อนจุดวัดใน exhaust-pipe และ วัดที่ tail pipe โดยจะวัด 3 ตำแหน่งในช่วงระหว่าง muffler ถึง cotton termination โดยการเลื่อน cotton จนกระทั่งการสะท้อนจาก termination ลดลงจนถึงระดับต่ำสุด การสะท้อนจะจับค่าสัญญาณได้จากความแตกต่างของความดันเสียง ณ ตำแหน่งที่วัด โดยวัดค่าได้มากที่สุดที่ตำแหน่งประมาณ $\pm 3/4$ dB สำหรับความถี่ระหว่าง 120 ถึง 700 รอบ/นาที และ ประมาณ $\pm 1 1/2$ dB สำหรับ 40 ถึง 120 รอบ/นาที ไมโครโฟนที่ใช้ในการวัดระดับความดัน จะสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับความดันเสียง ส่งสัญญาณไฟฟ้าไปให้เครื่องวัดแสดงระดับความดันเสียงออกมาในรูป decibels

$$\text{กำหนด } 20 \log_{10} (P/P_0)$$

ที่ซึ่ง P_0 เป็นระดับความดันมาตรฐาน 0.0002 dyne/cm^2

ใช้ Ascillograph และ Sound Analyzer เป็นเครื่องมือช่วยเซ็ครูปแบบคลื่นของคลื่นเสียงที่จุดวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องลดเสียงแต่ละชนิด จะวัดระดับความดันเสียงที่มากที่สุดที่สามารถจับได้โดยเลื่อนตำแหน่งวัดใน exhaust pipe แล้ววัดระดับความดันเสียงที่จุดวัดทั้ง 3 จุด ใน tail pipe บันทึกข้อมูลจากจุดวัดทั้งสาม แล้วทำการหาค่าโดยต้องไม่มีการสะท้อนของคลื่นใน tail-pipe

นิยาม

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

โดยที่ P_e คือ ความดันคลื่นตกกระทบใน exhaust-pipe

P_{tr} คือ ความดันคลื่นที่ผ่านเข้าไปใน tail-pipe

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

ความดันสูงสุดนี้ จะเป็นการซ้อนกันของคลื่นตกกระทบ และ คลื่นที่สะท้อนจาก muffler ในบางสภาวะ สามารถคำนวณความแตกต่างระหว่าง เสียงที่ลดลงจริง กับ เสียงที่ลดลงที่ได้จากการทดสอบ (ระดับความดันเสียงที่ตกลงมากที่สุด ในช่วงที่เสียงเดินทางจาก exhaust-pipe ถึง tail-pipe) ค่าความแตกต่าง หรือ Error Effect นี้ จะใช้ในการแก้ไขค่าที่วัดได้จากการทดลอง ข้อมูลที่ถูกแก้แล้วจะใช้เปรียบเทียบกับ curves การลดเสียงที่ได้จากการคำนวณ ถึงแม้ว่าจะมีการแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้องยิ่งขึ้นแล้ว แต่ก็ยังเหลือความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งถ้าจะให้ถูกต้องจริงๆ แล้ว จะต้องแบ่ง muffler ออกเป็นส่วนย่อยๆ แล้วทำการคำนวณแต่ละส่วนของ muffler หากมี muffler หลายชนิดแต่ละชนิด จะต้องทำการ derived ใหม่ทุกครั้ง ซึ่งเป็นความยุ่งยากอย่างมาก ดังนั้น จึงได้มีการคิดวิธีประมาณค่า ซึ่งจะสามารถได้ค่าออกมาง่ายกว่า ถึงแม้จะต้องตัดเทอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บางเทอมที่ตามที่จะกล่าวต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติว่าเสียงเกิดจาก จุดต้นกำเนิด (Single point) และ เสียงที่ตกกระทบ เป็น unity ถ้า 5% ของคลื่นตกกระทบ ถูกสะท้อนกลับ ความดันมากที่สุดใน exhaust-pipe จะเกิดที่จุดซึ่งคลื่นตกกระทบ และ คลื่นสะท้อนอยู่ใน phase เดียวกัน คือ 1.05 ดังนั้น ระดับความดันเสียงใน exhaust-pipe จะเป็น $20\log_{10}(1.05/1.00)$ หรือ เท่ากับ 0.41 dB สูงกว่าระดับคลื่นเสียงตกกระทบ และ 95% ของคลื่นตกกระทบจะผ่าน ทะลุ muffler ดังนั้น การลดเสียงจริงจะเป็น $20\log_{10}(1.00/0.95)$ หรือ เท่ากับ 0.44 dB เพราะฉะนั้น ความดันตก (pressure drop) มากที่สุด ที่สามารถวัดได้จากการทดลองจะเป็น $0.41+0.44$ หรือเท่ากับ 0.85 dB โดยในรายงานฉบับนี้จะใช้หลักการนี้ ในการพิจารณา

การรั่วไหลของเสียงเข้าไปใน microphone ที่ tail-pipe ที่จุดวัดจะจำกัด ระดับเสียงที่ต่ำที่สุดที่สามารถวัดได้ เพราะฉะนั้น Transmission Loss ที่มากที่สุดในการวัด สำหรับ muffler ต่างๆ ถูกกำหนดไว้ประมาณ 50 dB

ผลการทดลอง

1. ในการทดลองชุดแรก เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบท่อนแบบลดกับท่อนแบบขยาย ซึ่งสิ่งที่แตกต่างกันของท่อนแบบลดกับท่อนแบบขยายก็คือพื้นที่หน้าตัด (S) ของท่อนนั่นเอง โดยกำหนดค่าให้สภาวะอื่นๆ คือ จำนวนแถวของเรโซเนเตอร์ (m) จำนวนเรโซเนเตอร์ต่อแถว (n) จำนวนรูที่เรโซเนเตอร์ (no) และความเร็วลม (v) เป็นตัวแปรคงที่ โดยมีพื้นที่หน้าตัดเป็นตัวแปรอิสระ และประสิทธิภาพในการลดเสียง (TL) เป็นตัวแปรตาม

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นได้ตามกราฟรูปที่ 1 กับ รูปที่ 2 โดยกราฟรูปที่ 1 แสดงผลการทดลองของท่อนแบบลด ส่วนกราฟรูปที่ 2 แสดงผลการทดลองของท่อนแบบขยาย จากกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของกราฟรูปที่ 1 สูงกว่ากราฟรูปที่ 2 นั่นก็คือประสิทธิภาพในการลดเสียงของท่อนแบบลดดีกว่าท่อนแบบขยาย เพราะท่อนแบบลดมีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าท่อนแบบขยาย และมีค่าสภาพความนำ (Co) มากกว่าท่อนแบบขยาย

2. ในการทดลองชุดที่สอง เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเรโซเนเตอร์ชนิด 5 รู กับชนิด 1 รู ว่าชนิดใดมีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่า โดยให้สภาวะอื่นๆ คงที่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ตามกราฟรูปที่ 3 กับรูปที่ 4 โดยกราฟรูปที่ 3 เป็นกราฟของเรโซเนเตอร์ชนิด 1 รู มีจุดสูงสุดของกราฟสูงกว่ากราฟรูปที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟของเรโซเนเตอร์ชนิด 5 รู นั่นแสดงว่าเรโซเนเตอร์ชนิด 1 รู มีประสิทธิภาพดีกว่าชนิด 5 รู

3. ในการทดลองชุดที่สาม เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่า ๗ ความเร็วลมต่างๆ กันมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดเสียงหรือไม่ โดยให้สภาวะอื่นๆ คงที่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ตามกราฟรูปที่ 5 กับรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่า จุดสูงสุดของกราฟทั้งสอง ซึ่งทดลอง ๗ ความเร็วลมที่ 0 เมตร/วินาที และ 20 เมตร/วินาที ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกันมาก นั่นแสดงว่าความเร็วลมมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดเสียงน้อยมาก

4. ในการทดลองชุดที่สี่ เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบว่า เมื่อจำนวนเรโซเนเตอร์เท่ากัน การต่อเรโซเนเตอร์แบบอนุกรมกับการต่อแบบขนาน ชนิดใดจะให้ประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่า

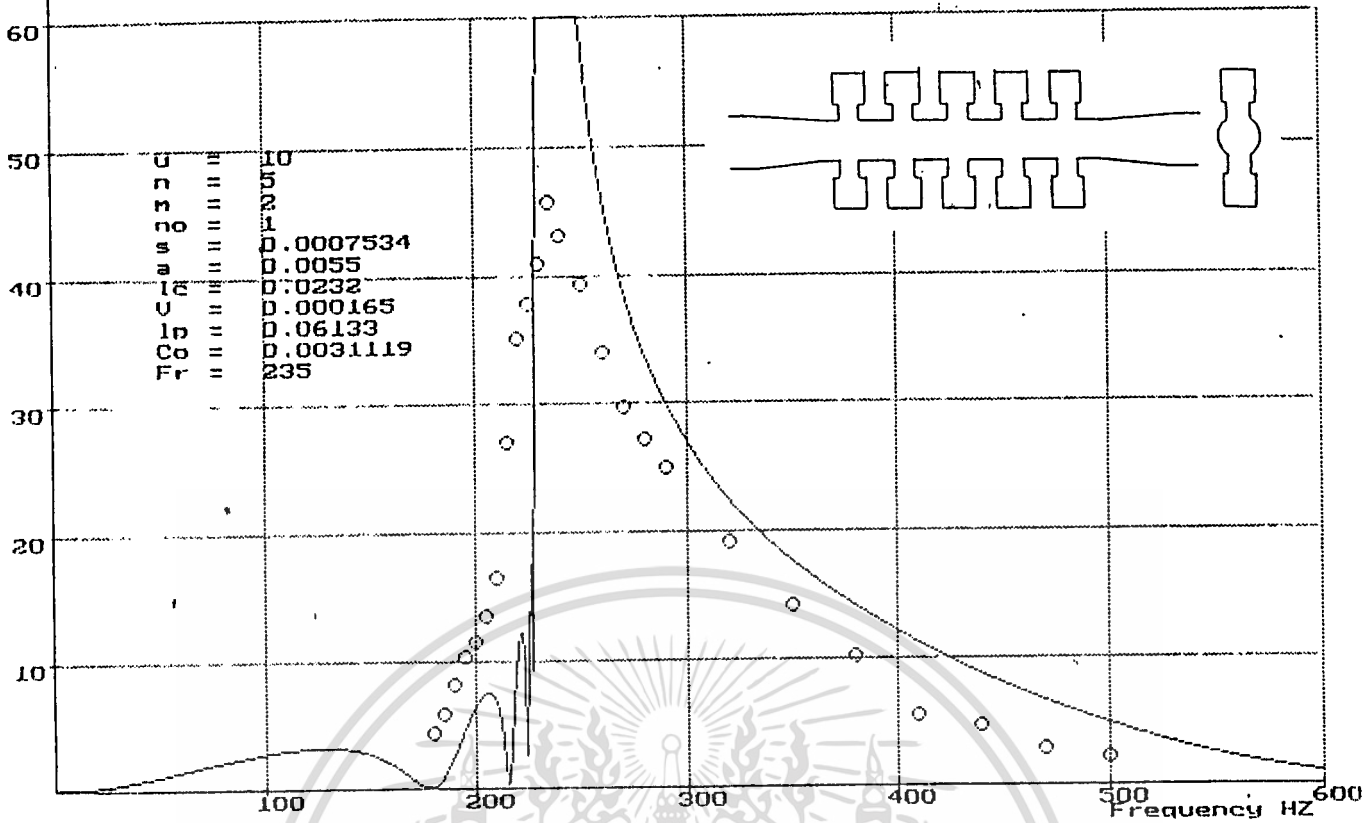
ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ตามกราฟรูปที่ 7 กับรูปที่ 8 พบว่าจุดสูงสุดของกราฟรูปที่ 7

ซึ่งแสดงผลการทดลองของการต่อเรโซเนเตอร์แบบอนุกรมสูงกว่าจุดสูงสุดของกราฟรูปที่ 8

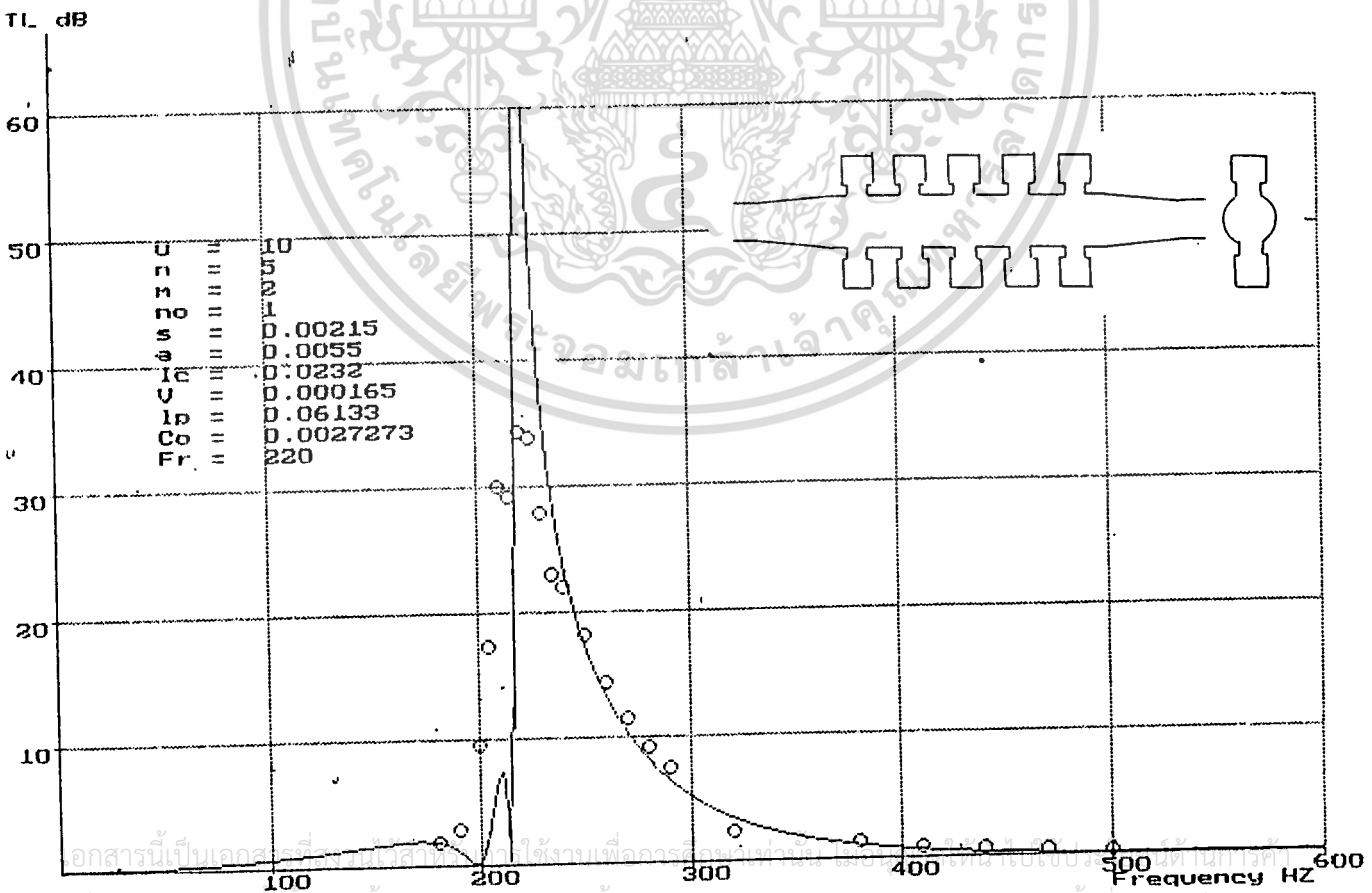
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ซึ่งแสดงผลการทดลองของการต่อเรโซเนเตอร์แบบขนาน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ ไม่มีเหตุแต่โดยตั้งใจของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



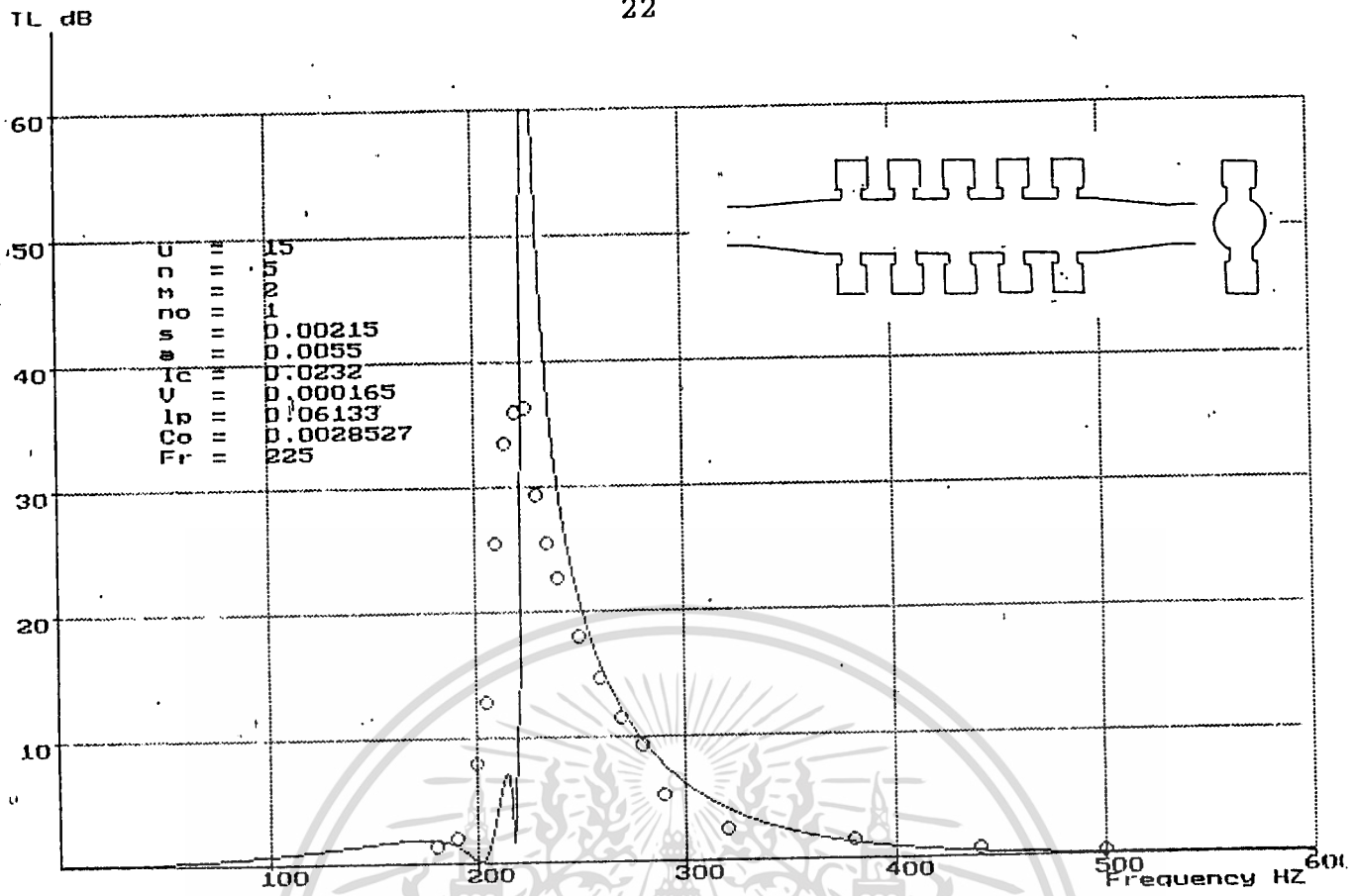
รูปที่ 1



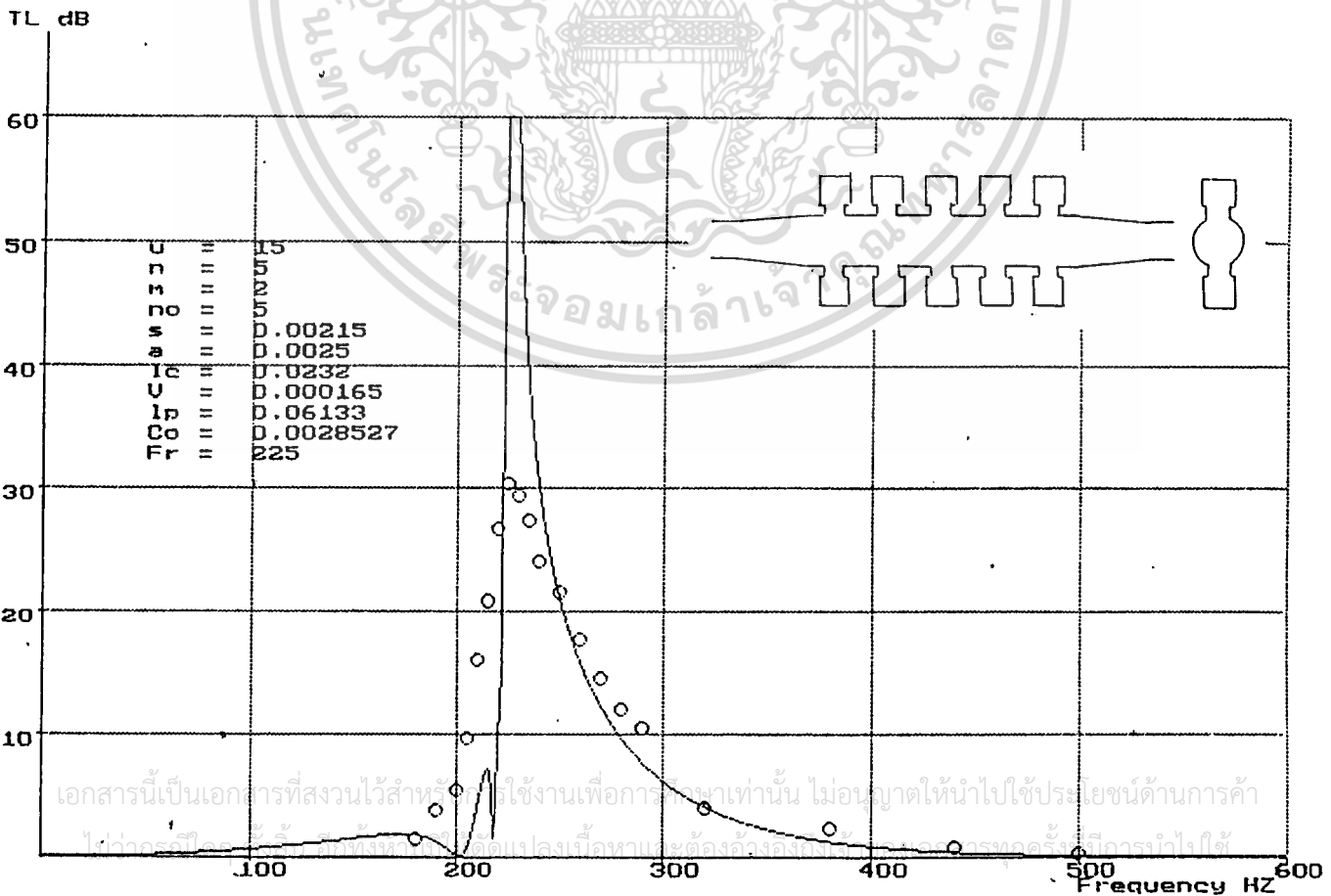
รูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิจัยและพัฒนาที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้าหรือบริการอื่นใดได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

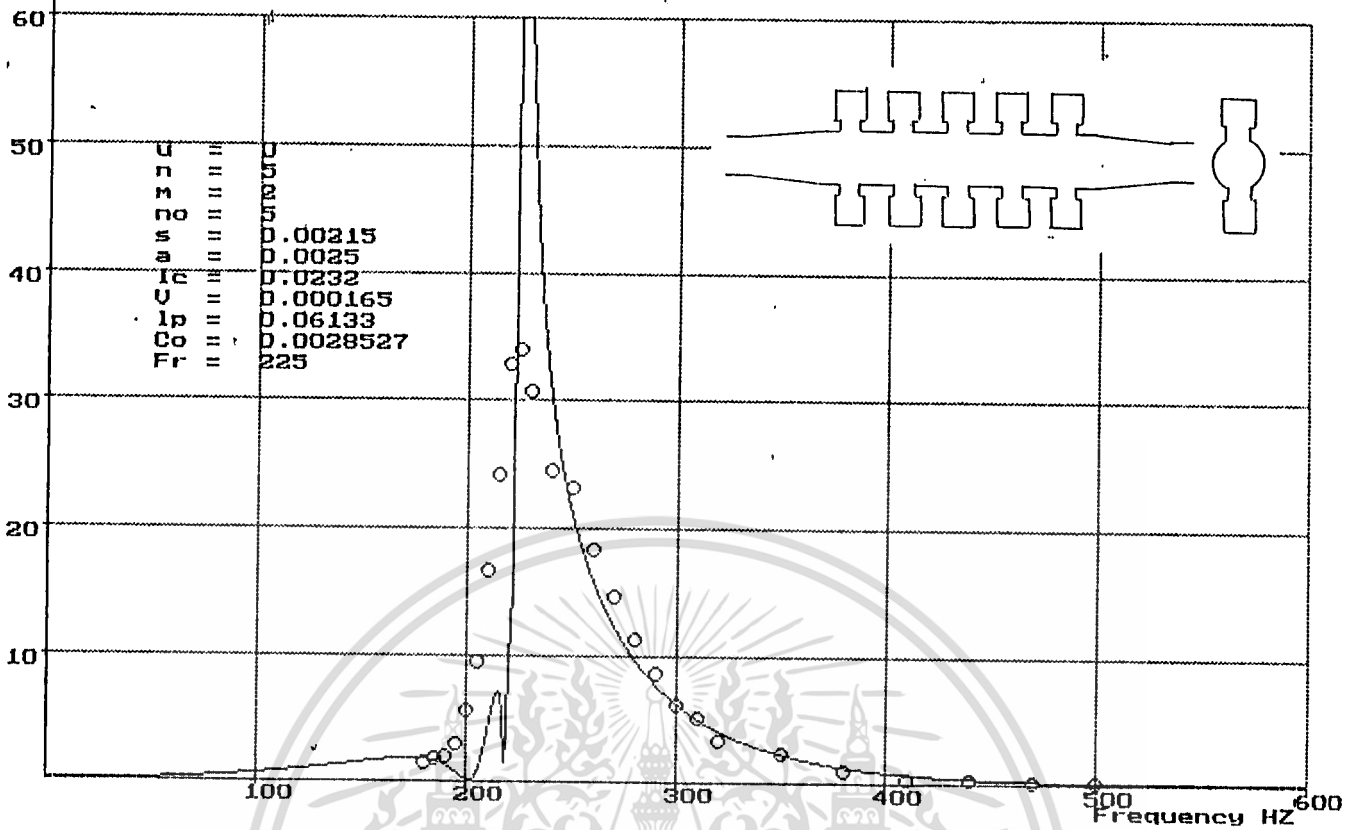


รูปที่ 3

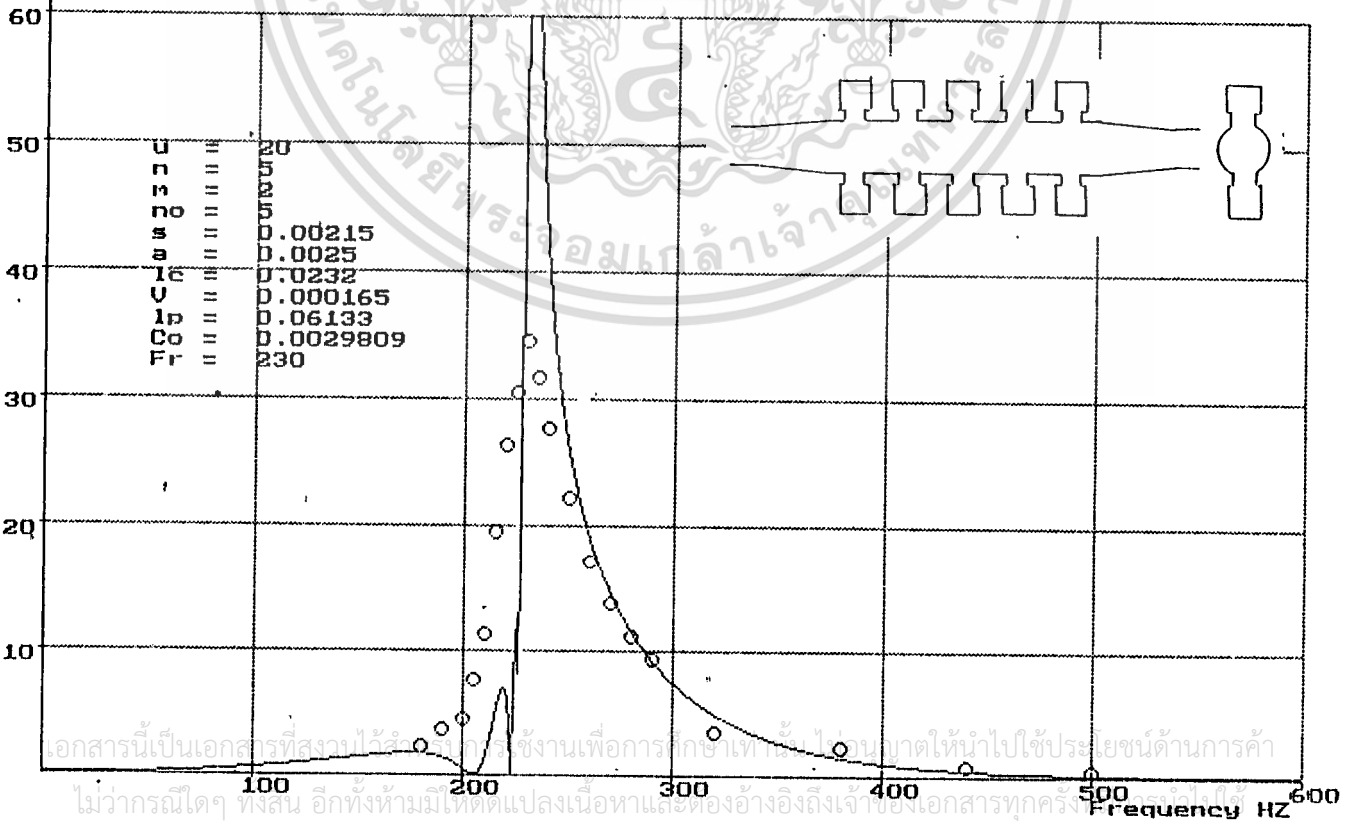


รูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไปด้วยการนี้ทั้งหมดยังคงเป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



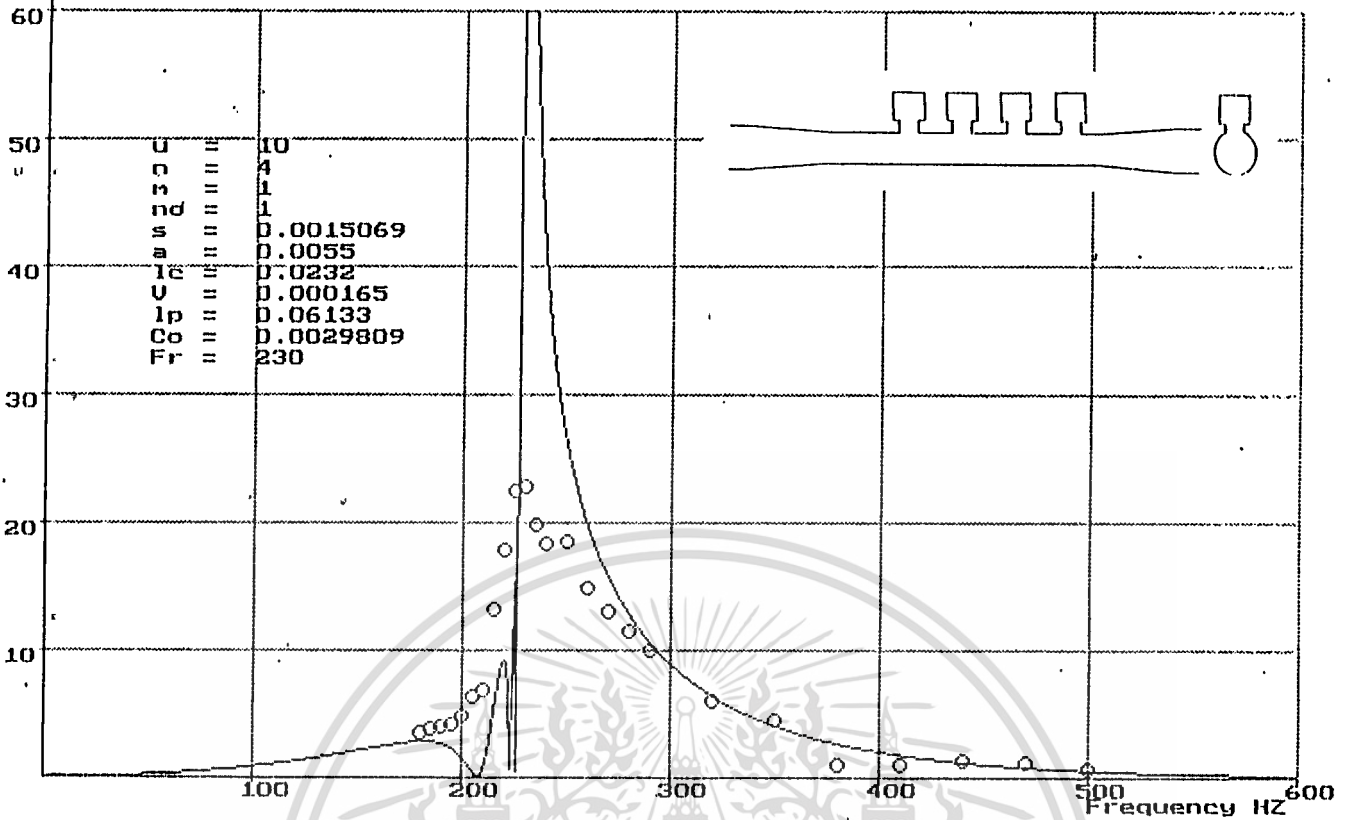
รูปที่ 5



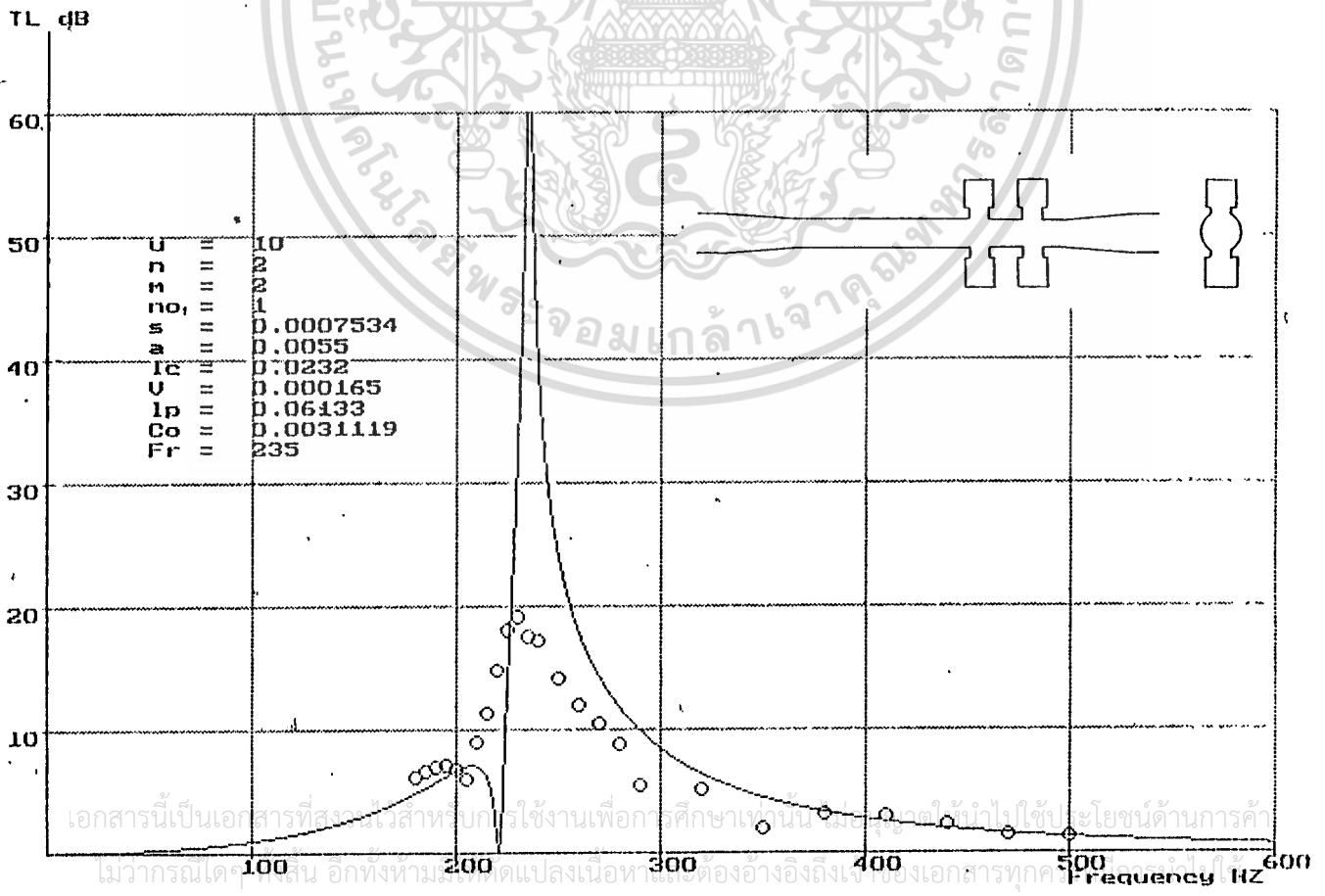
รูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



รูปที่ 7



รูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่จุดประสงค์เพื่อไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ณาการณได้... อื่นๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกค...

TL dB

60

50

40

30

20

10

TC	0.0007534
CH	0.0055
CR	0.0232
CO	0.000165
CT	0.06133
WT	0.0027273
W20	

100

200

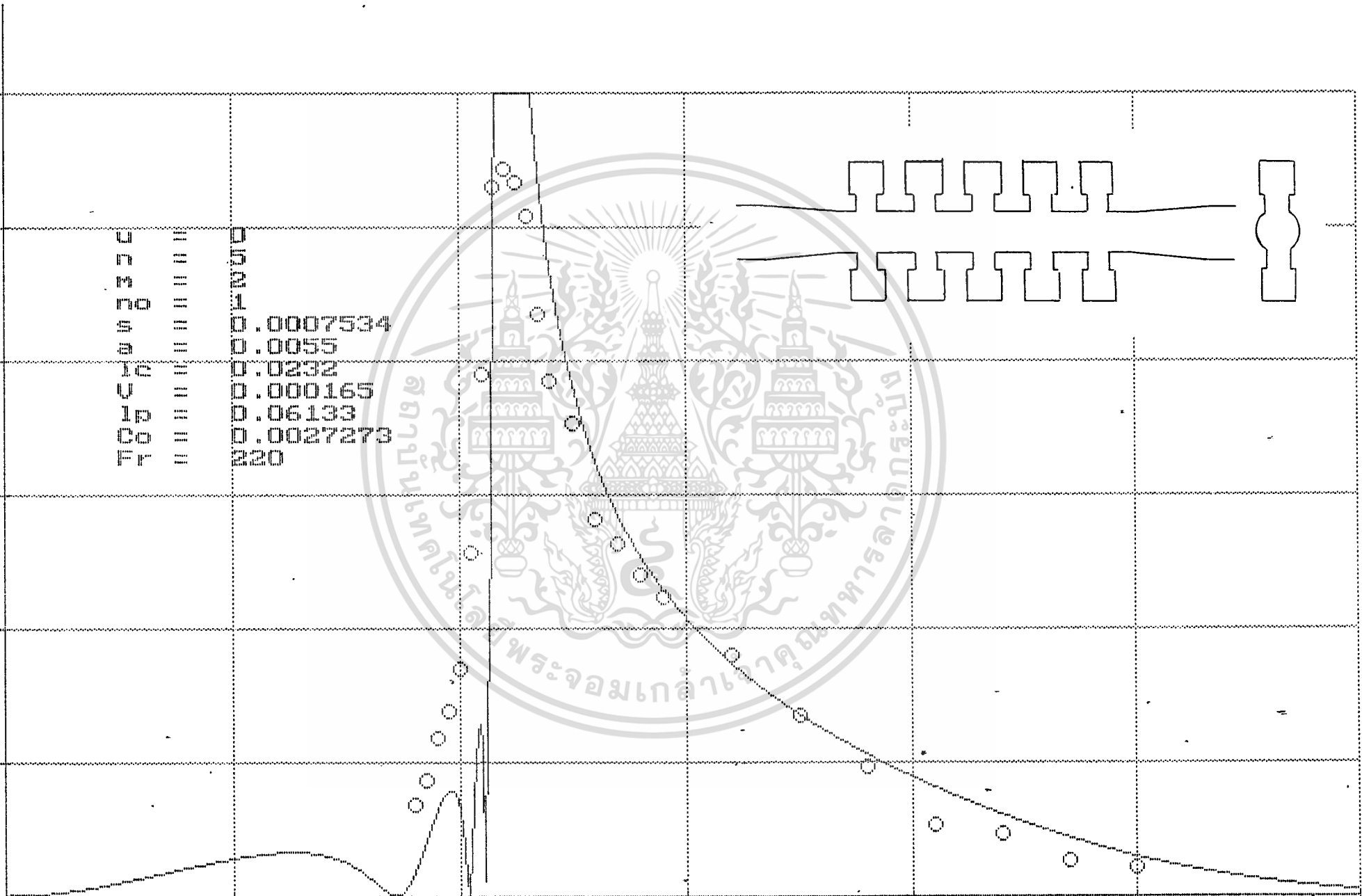
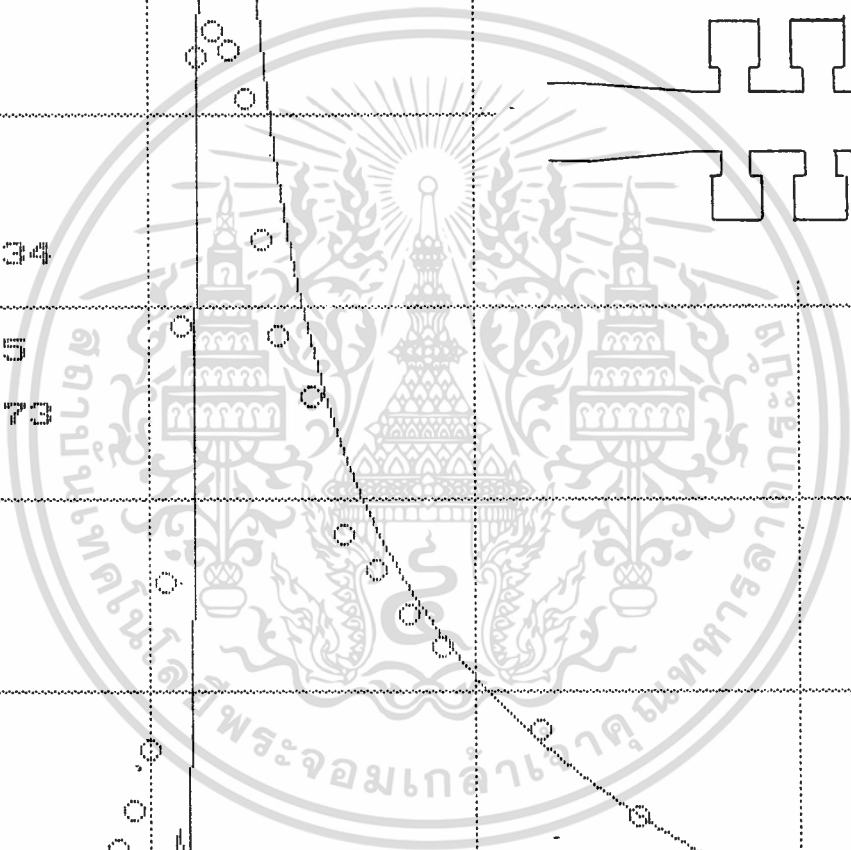
300

400

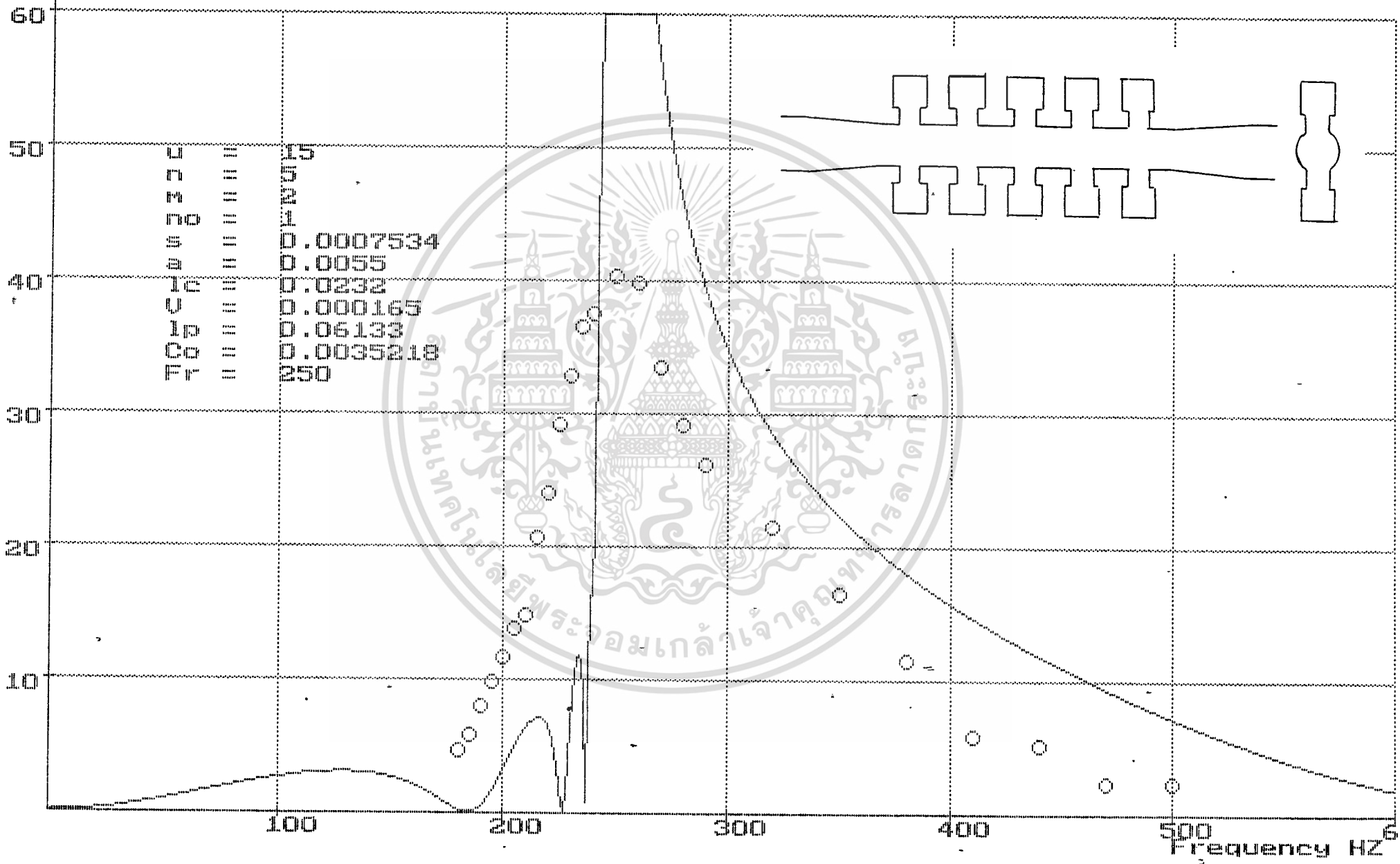
500

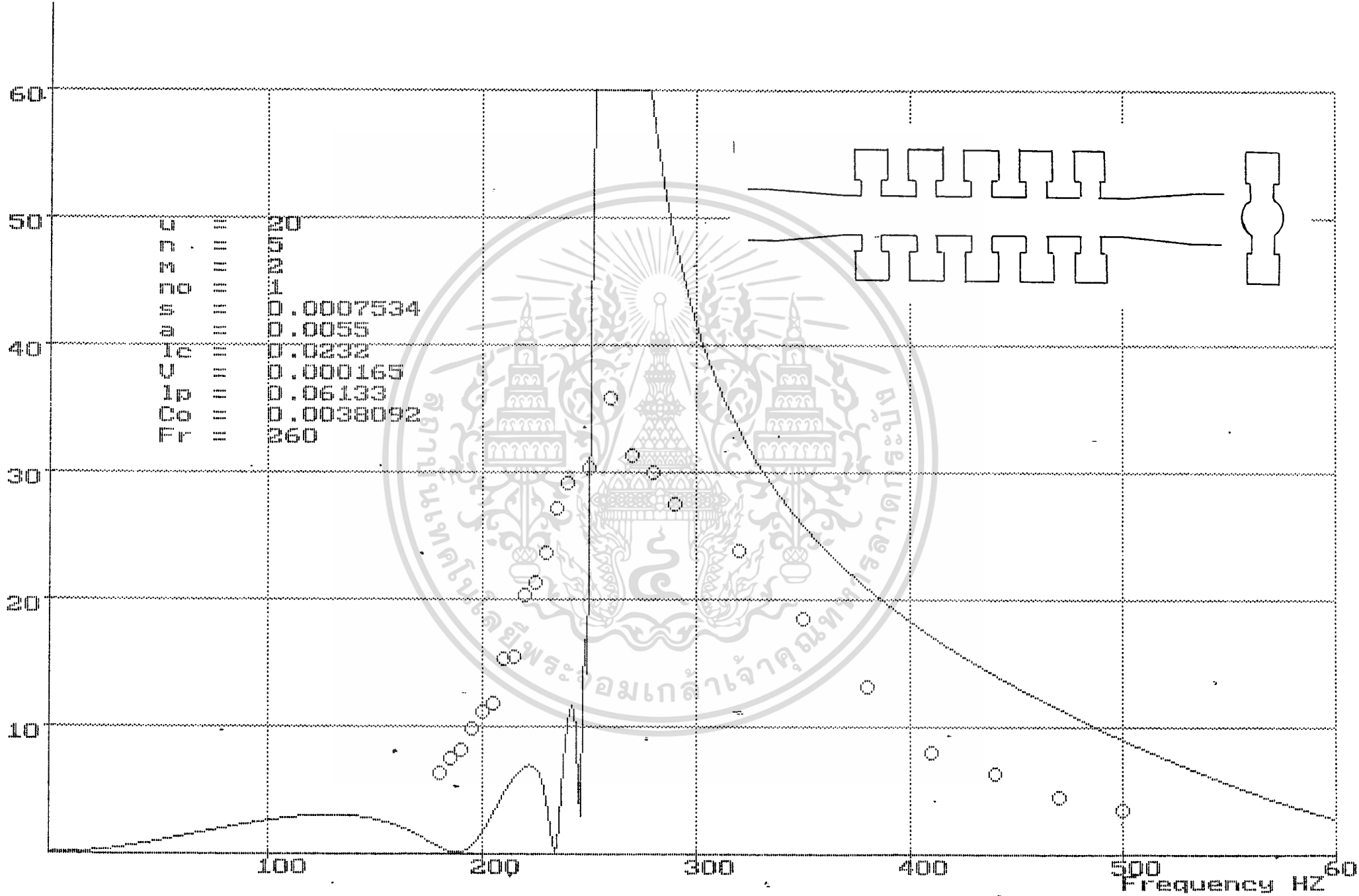
600

Frequency HZ

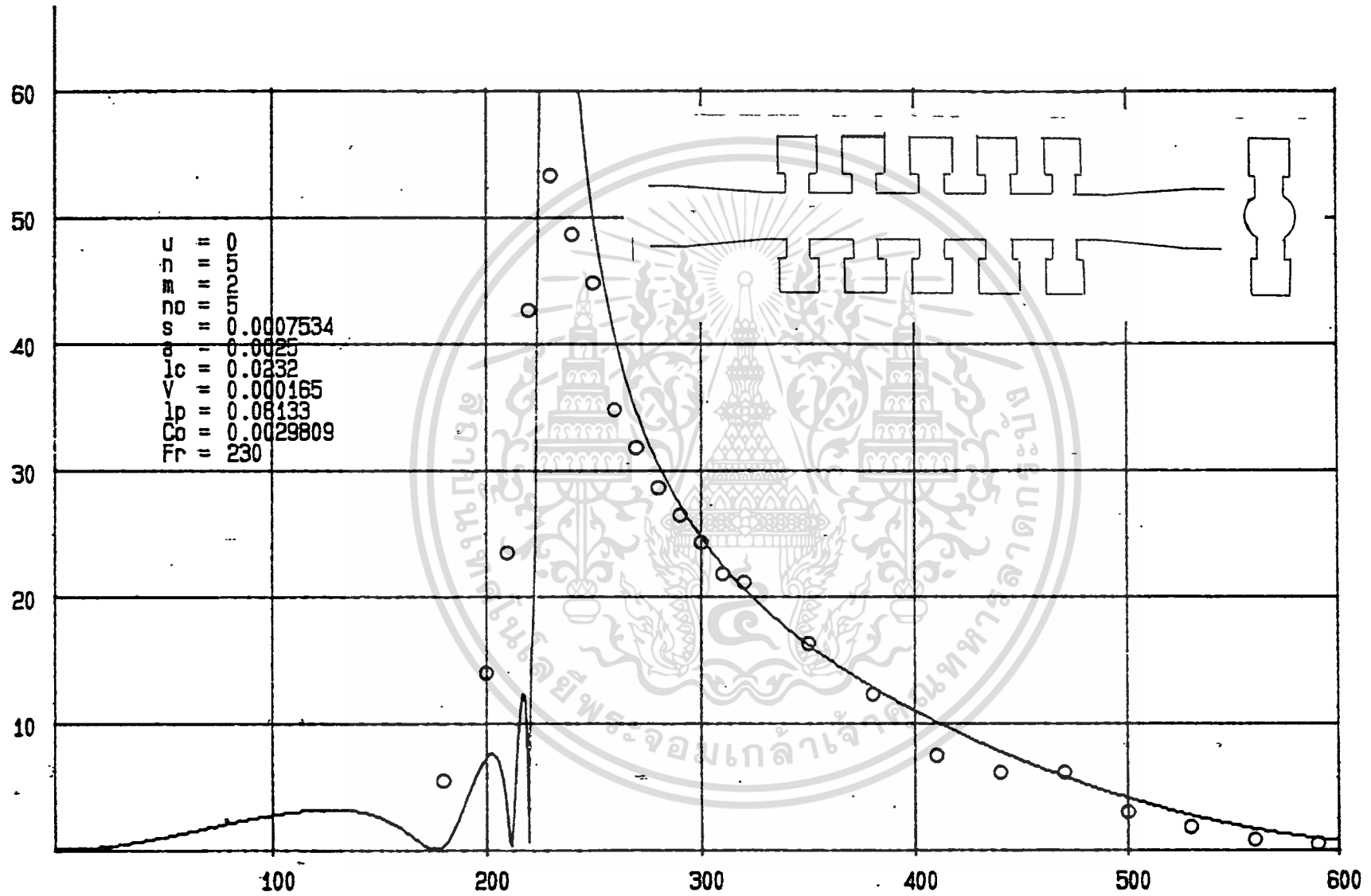


27



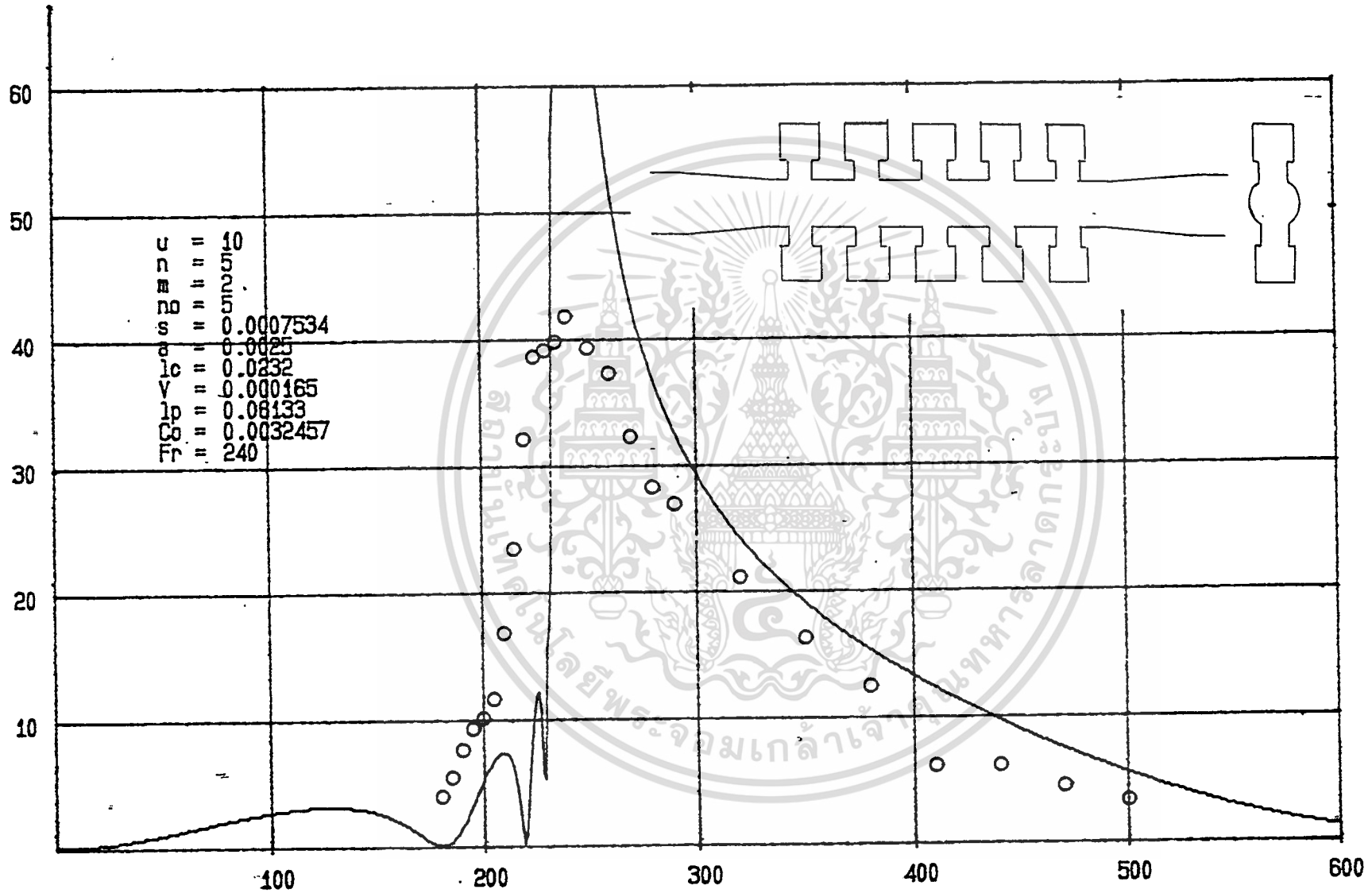


TL dB



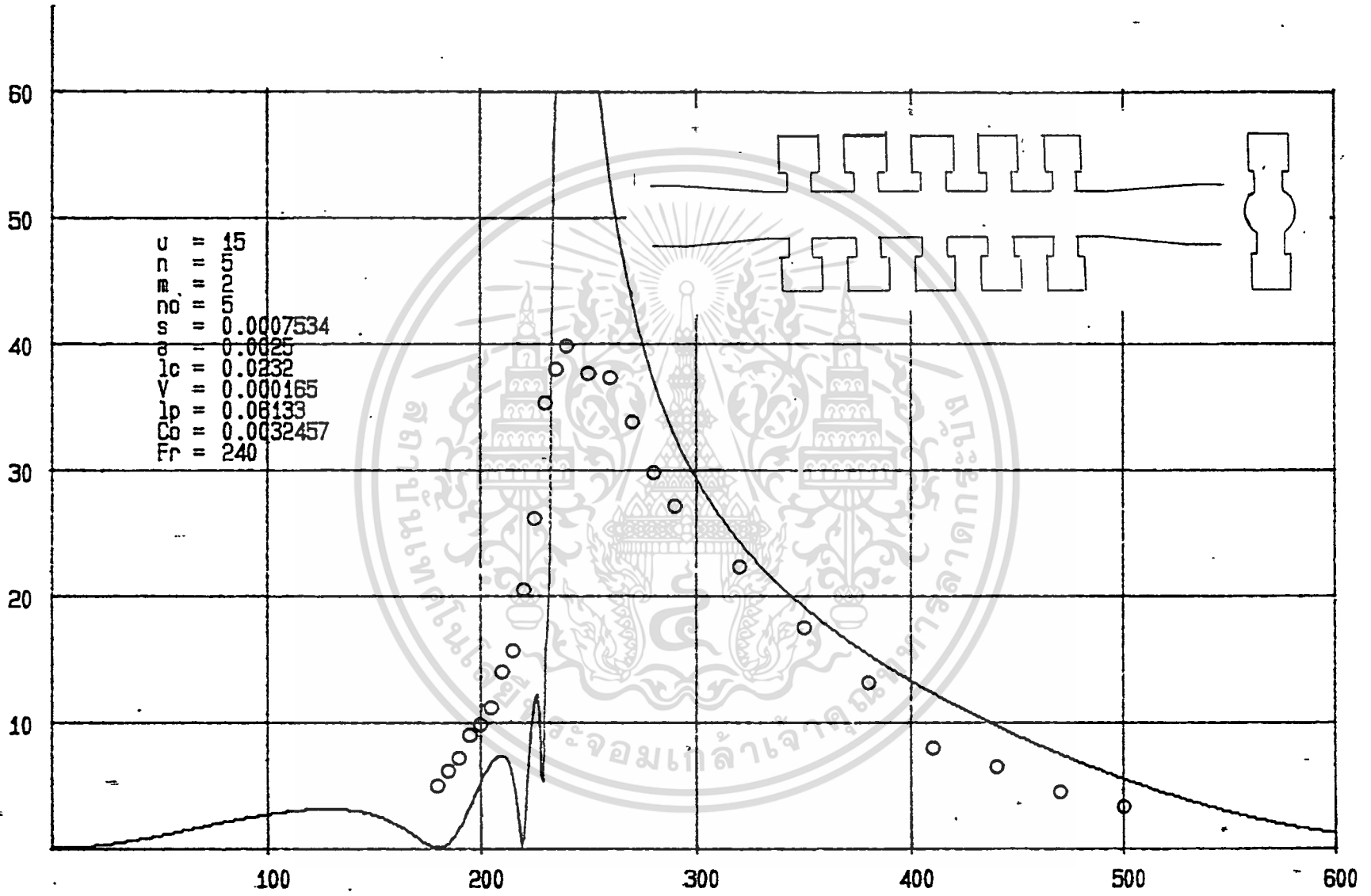
Frequency HZ

TL dB



Frequency HZ

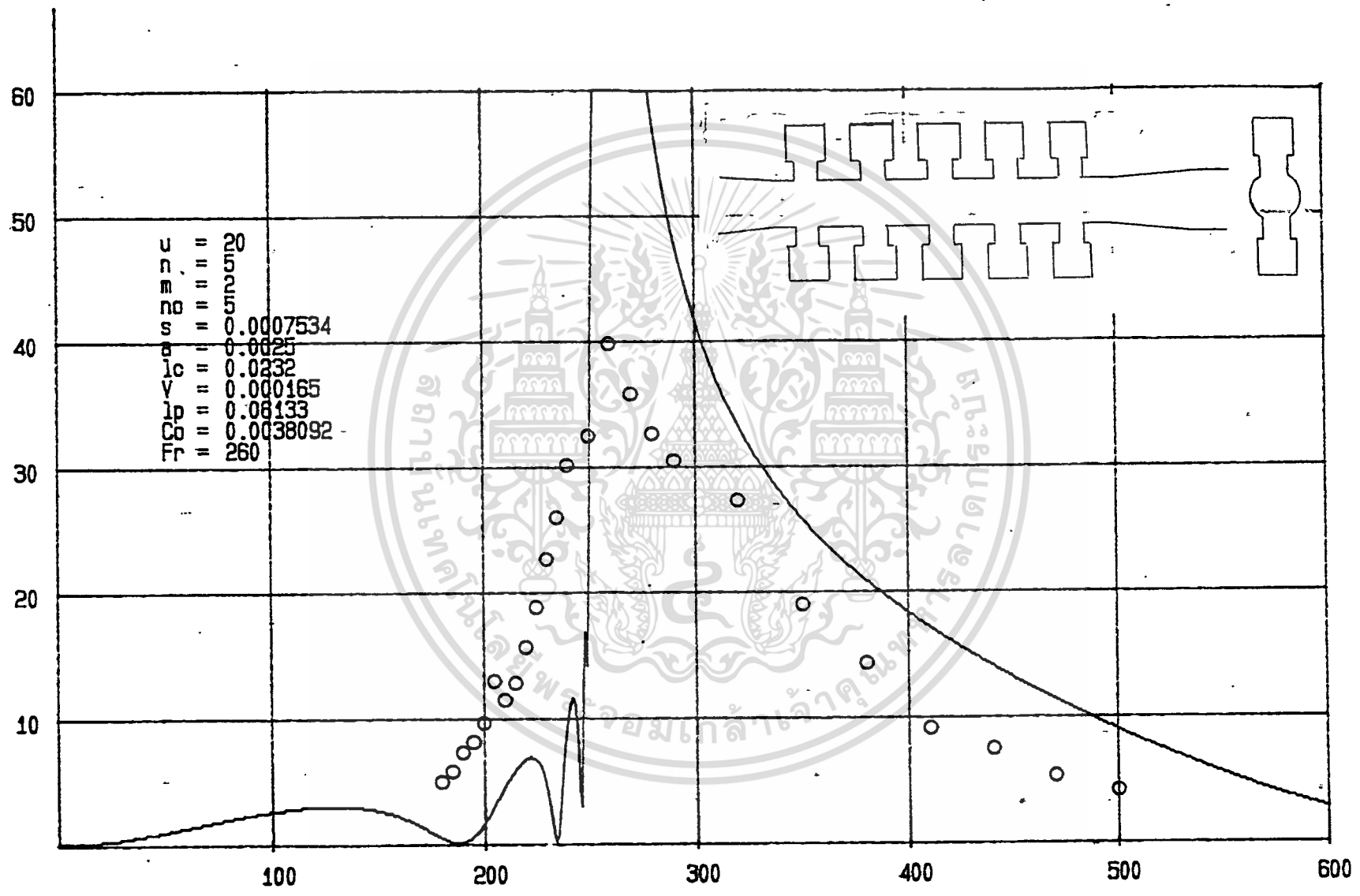
TL dB



31

Frequency HZ

TL dB



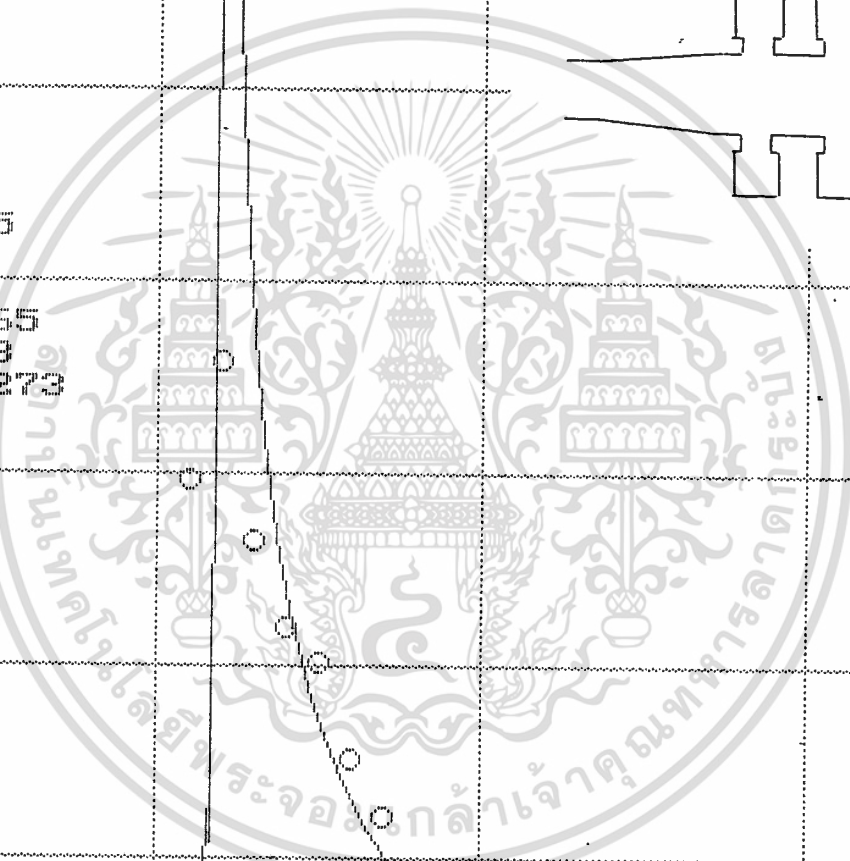
Frequency HZ

32

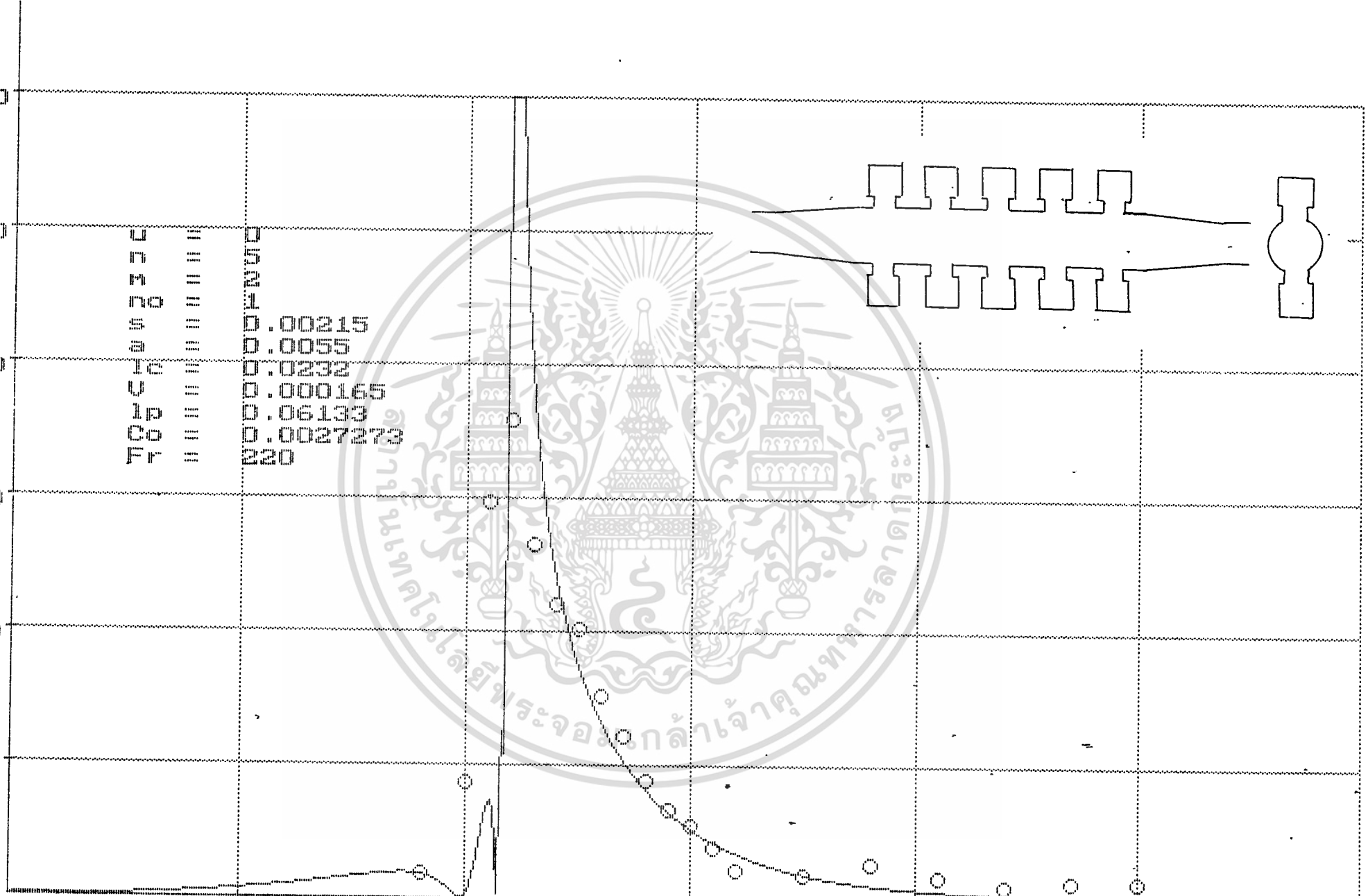
TL dB

60
50
40
30
20
10

704 CH 3336
 707
 0.00215
 0.00555
 0.02332
 0.000165
 0.06133
 0.0027273
 W20



100 200 300 400 500 600 Frequency HZ



TL dB

60

50

40

30

20

10

34

TCW 3335
C 0
Y 0

|||||

FW010

0.00215
0.0055
0.0232
0.000165
0.06133
0.0027273
20

100

200

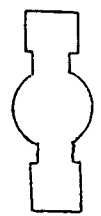
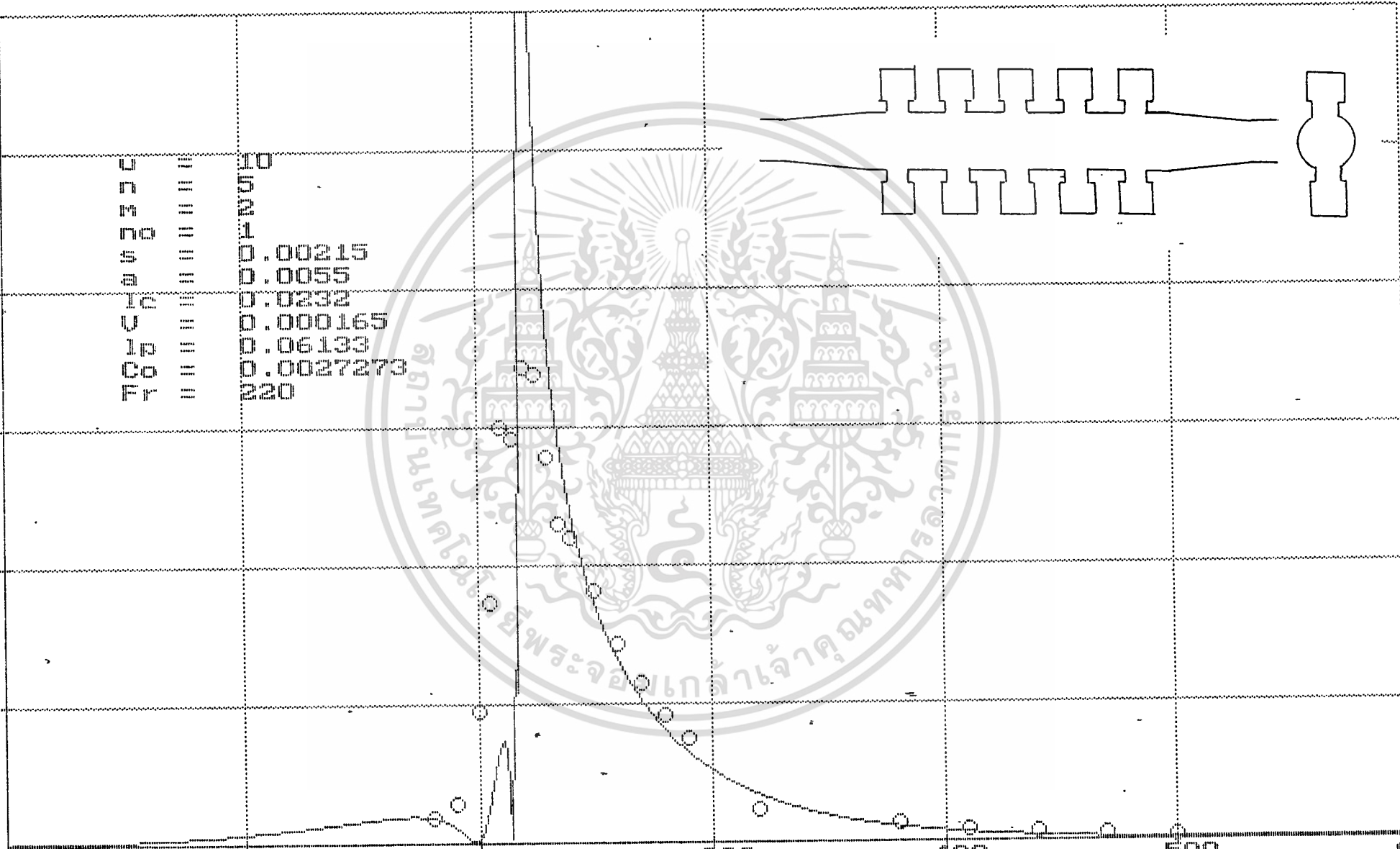
300

400

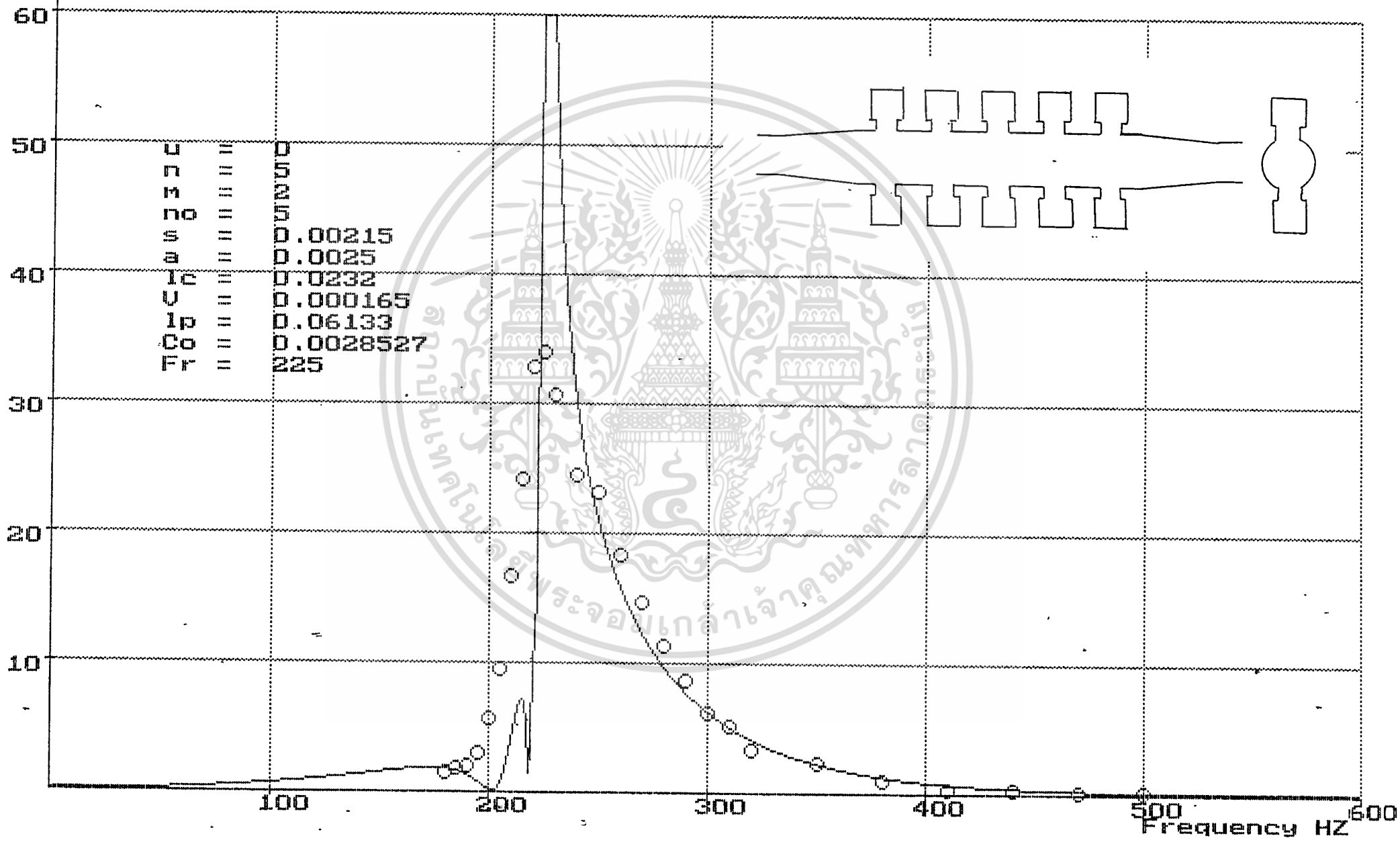
500

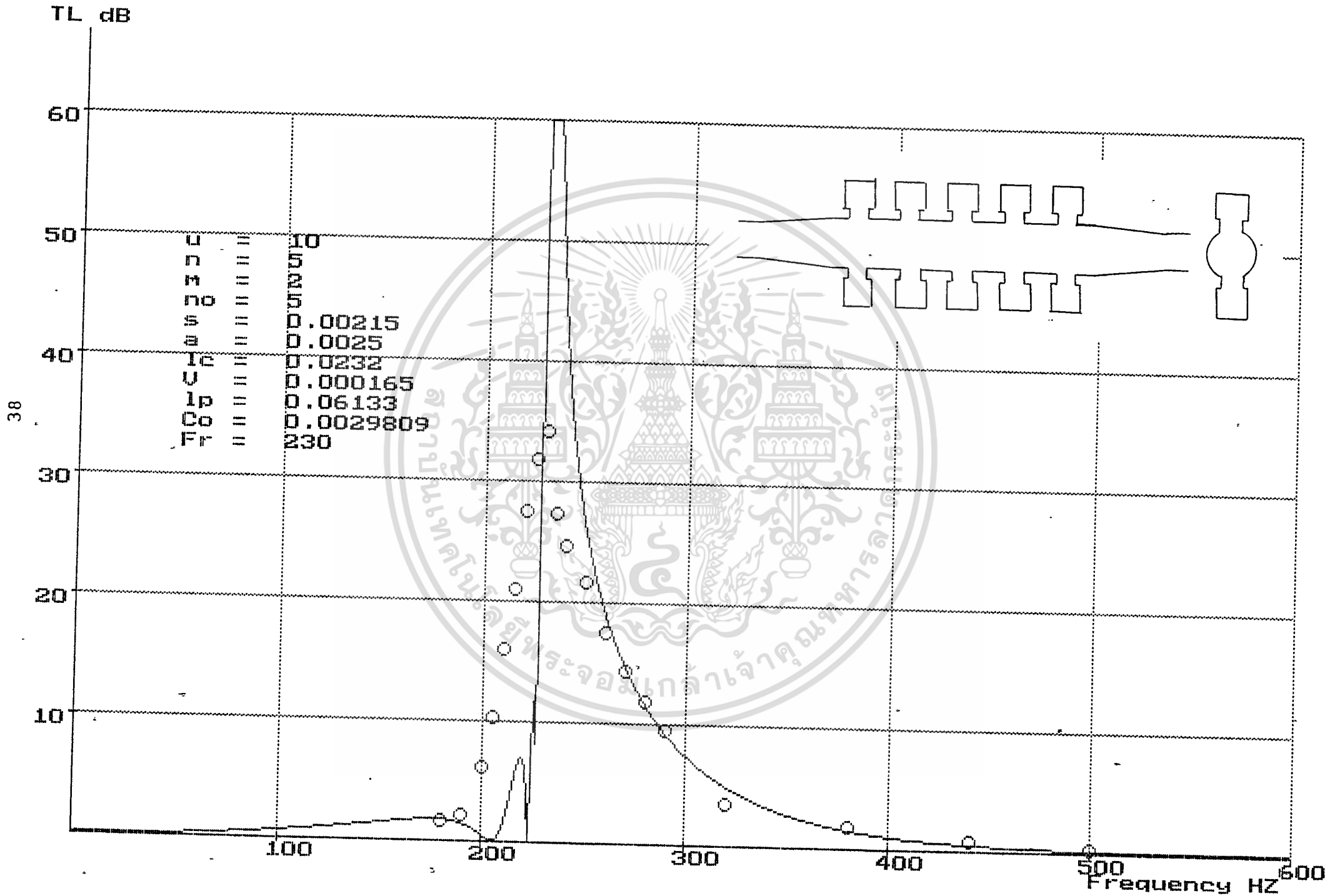
600

Frequency HZ



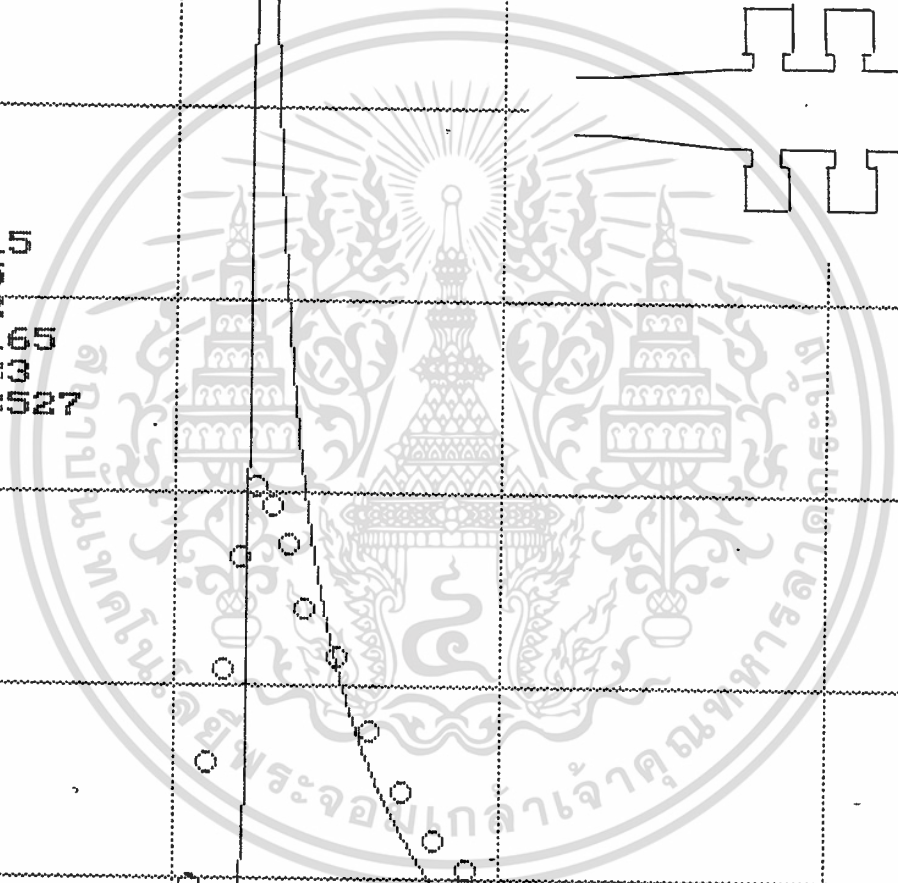
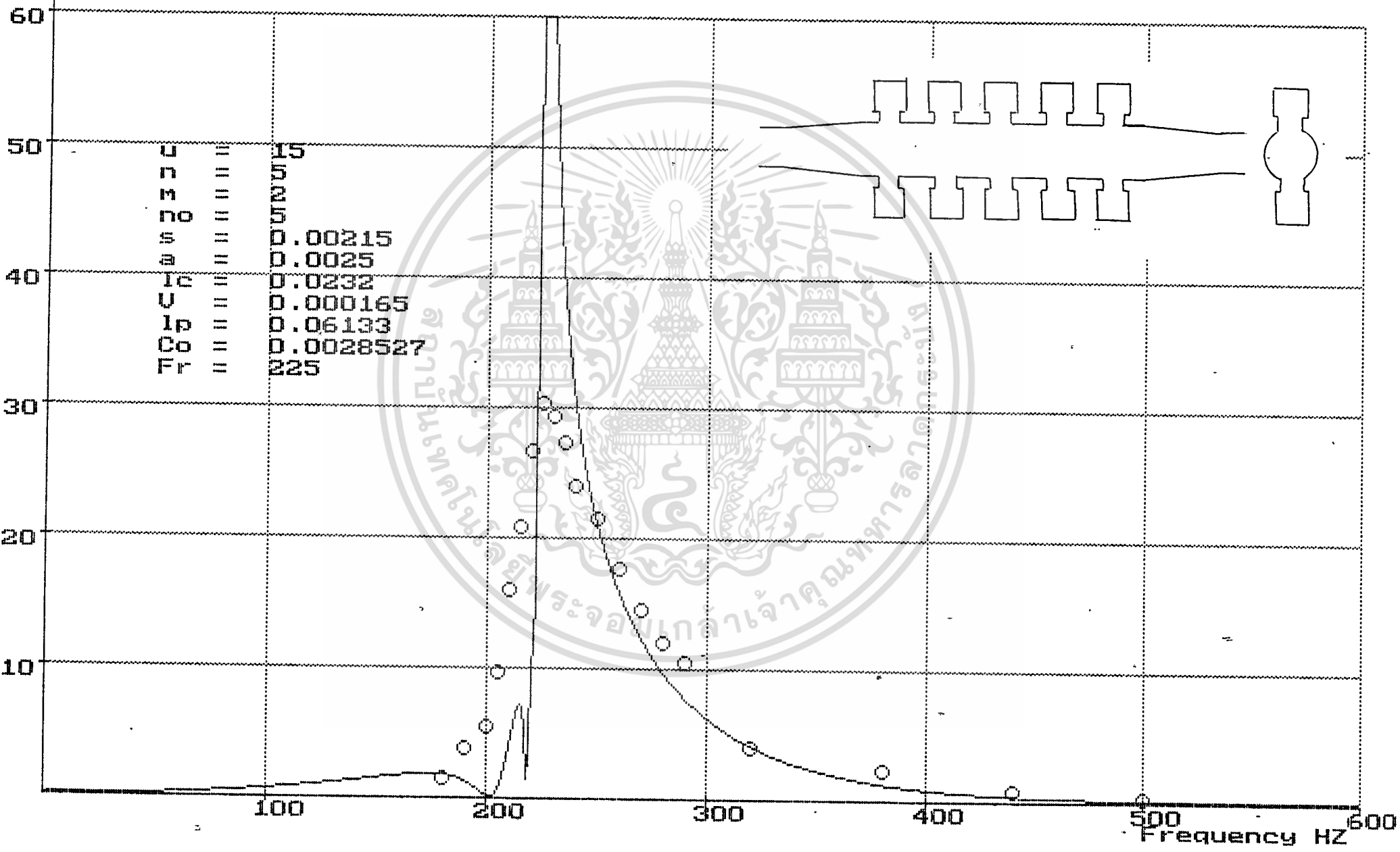
TL dB

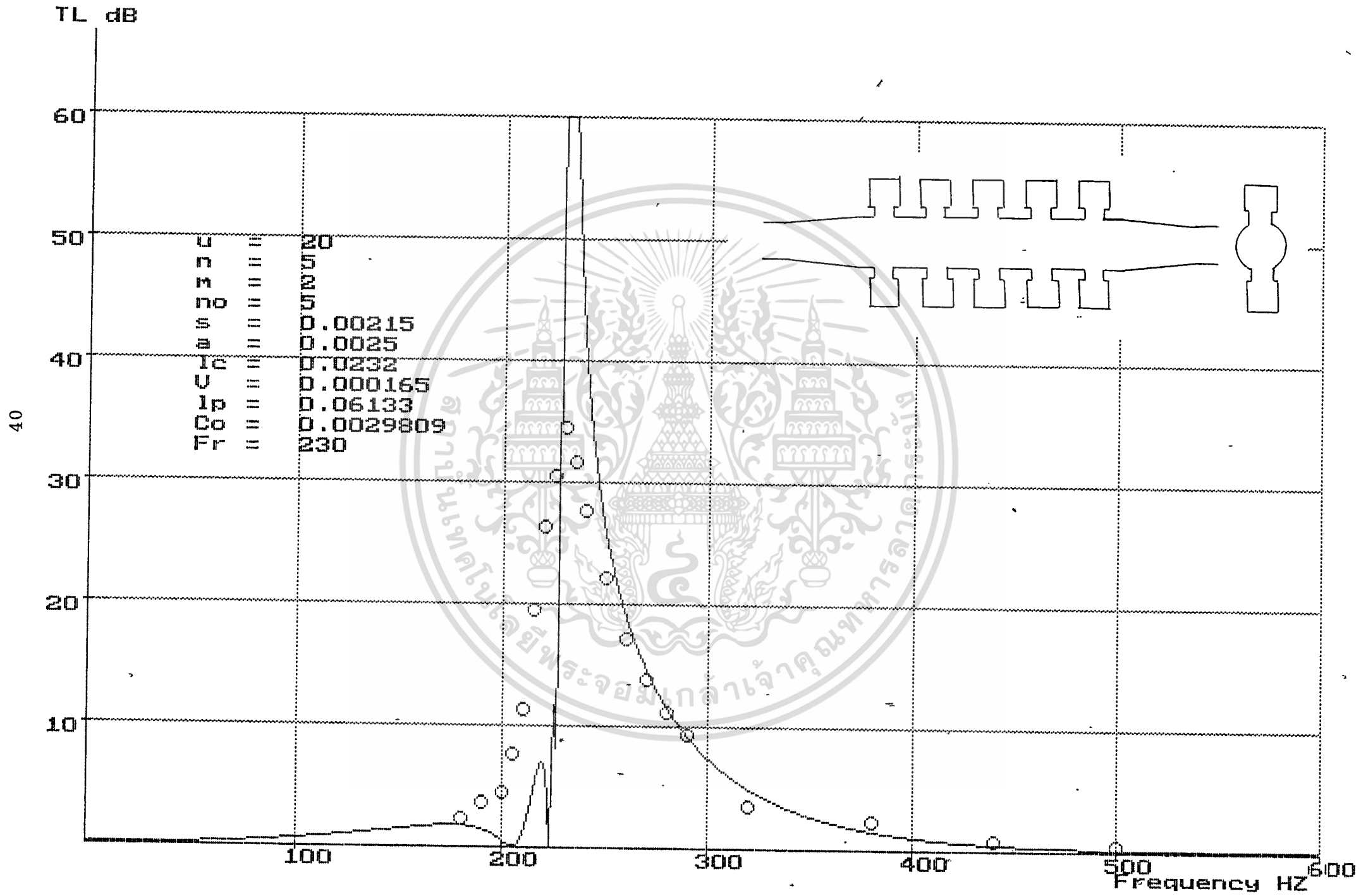




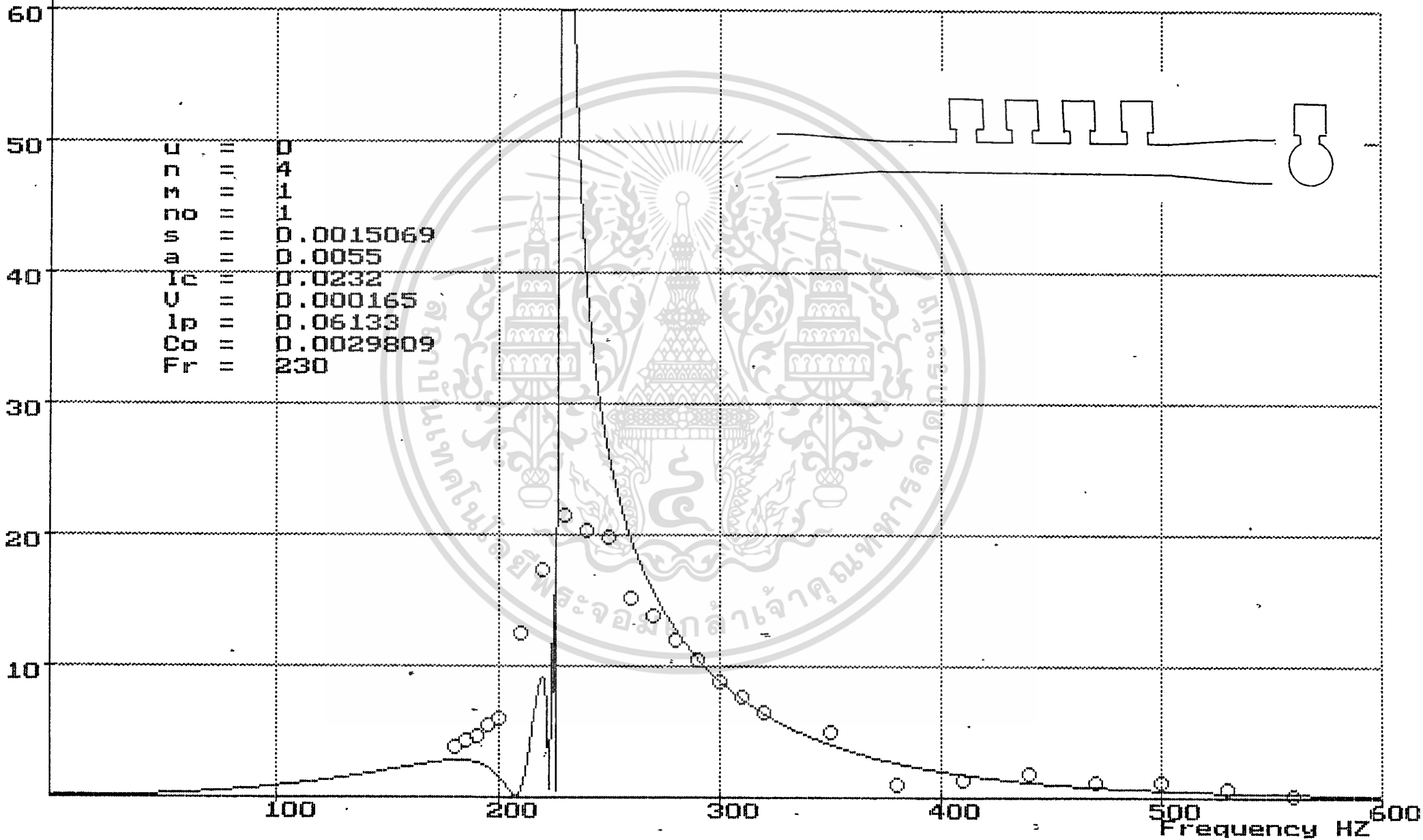
39

TL dB



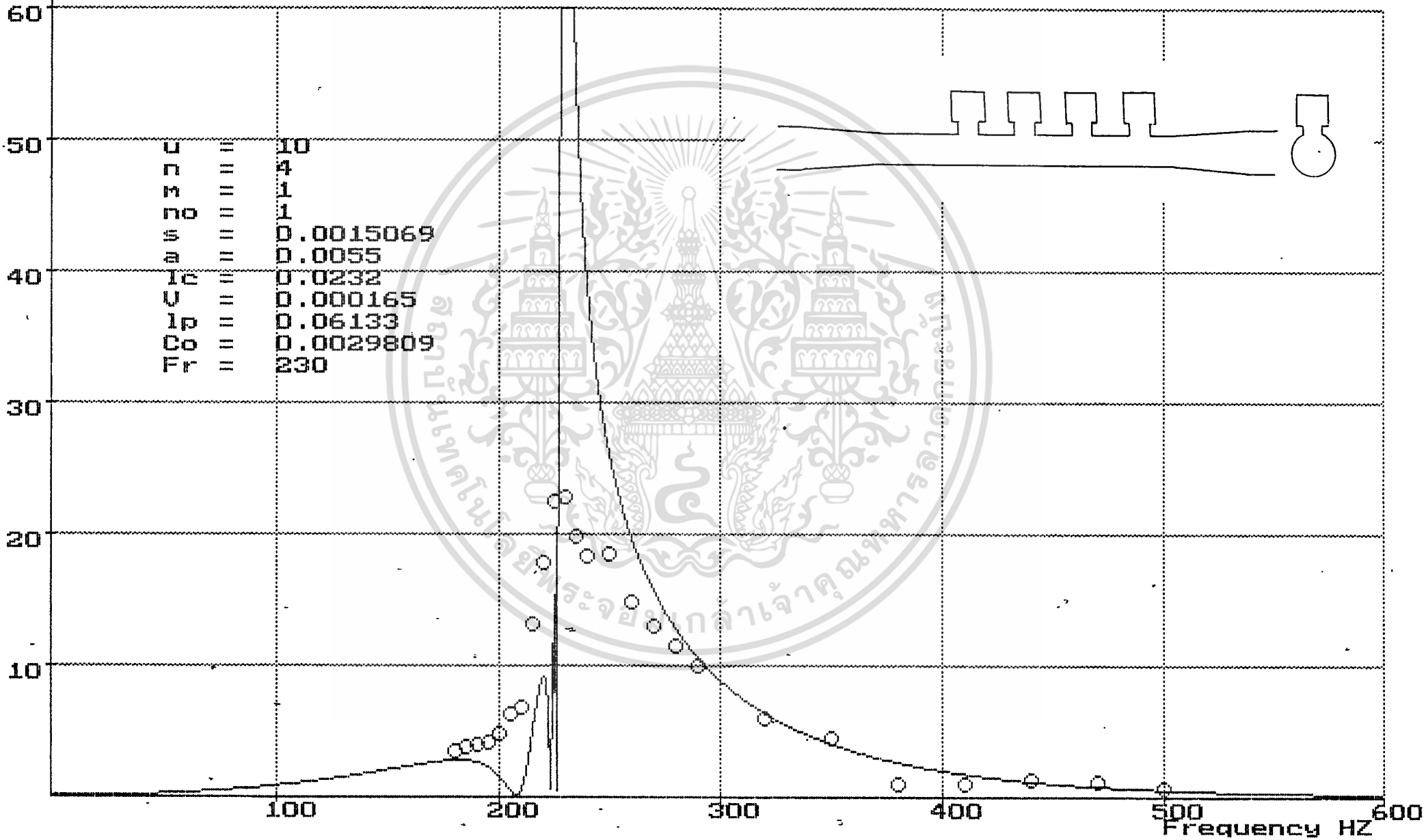


TL. dB

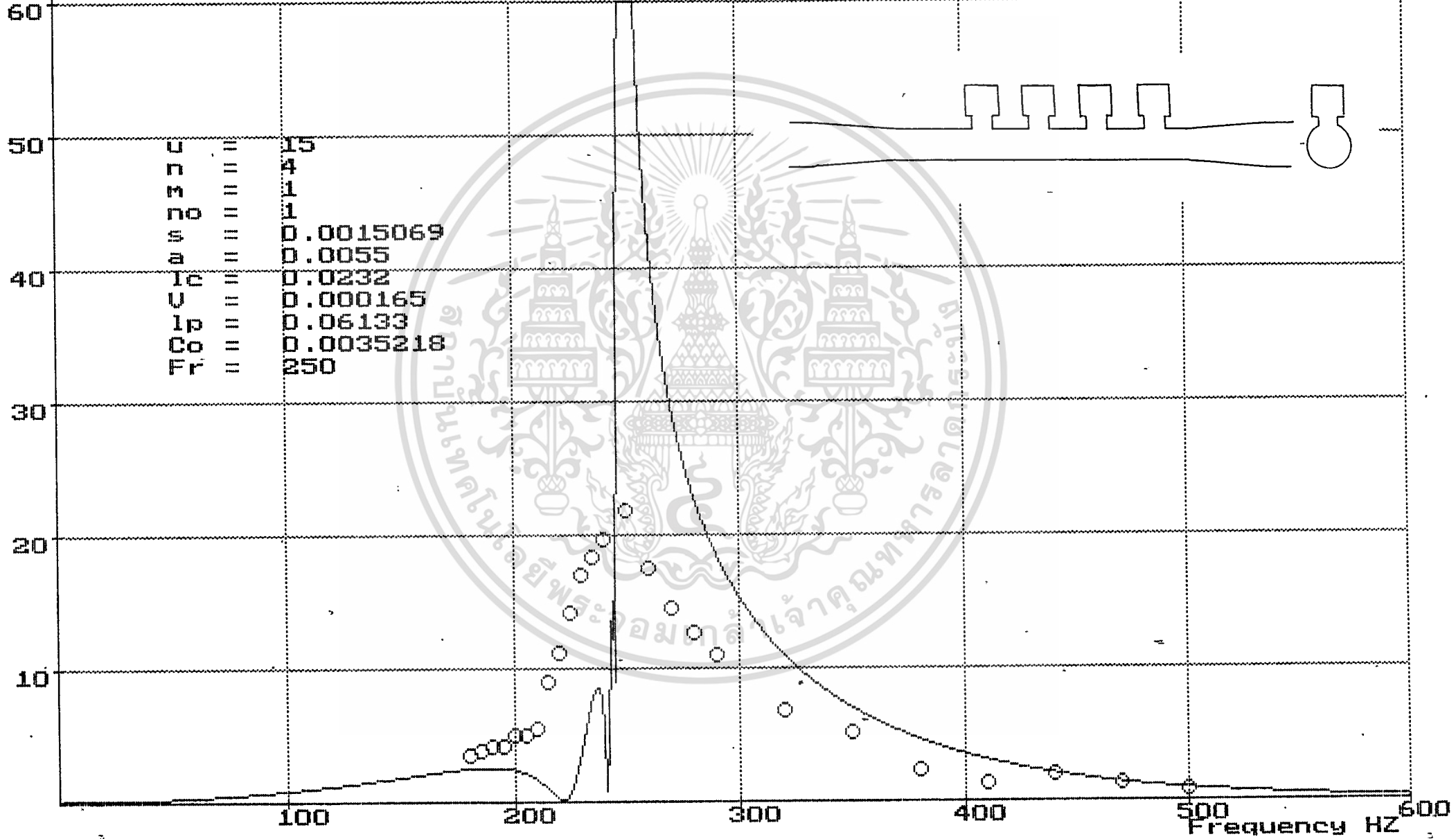


41

TL dB

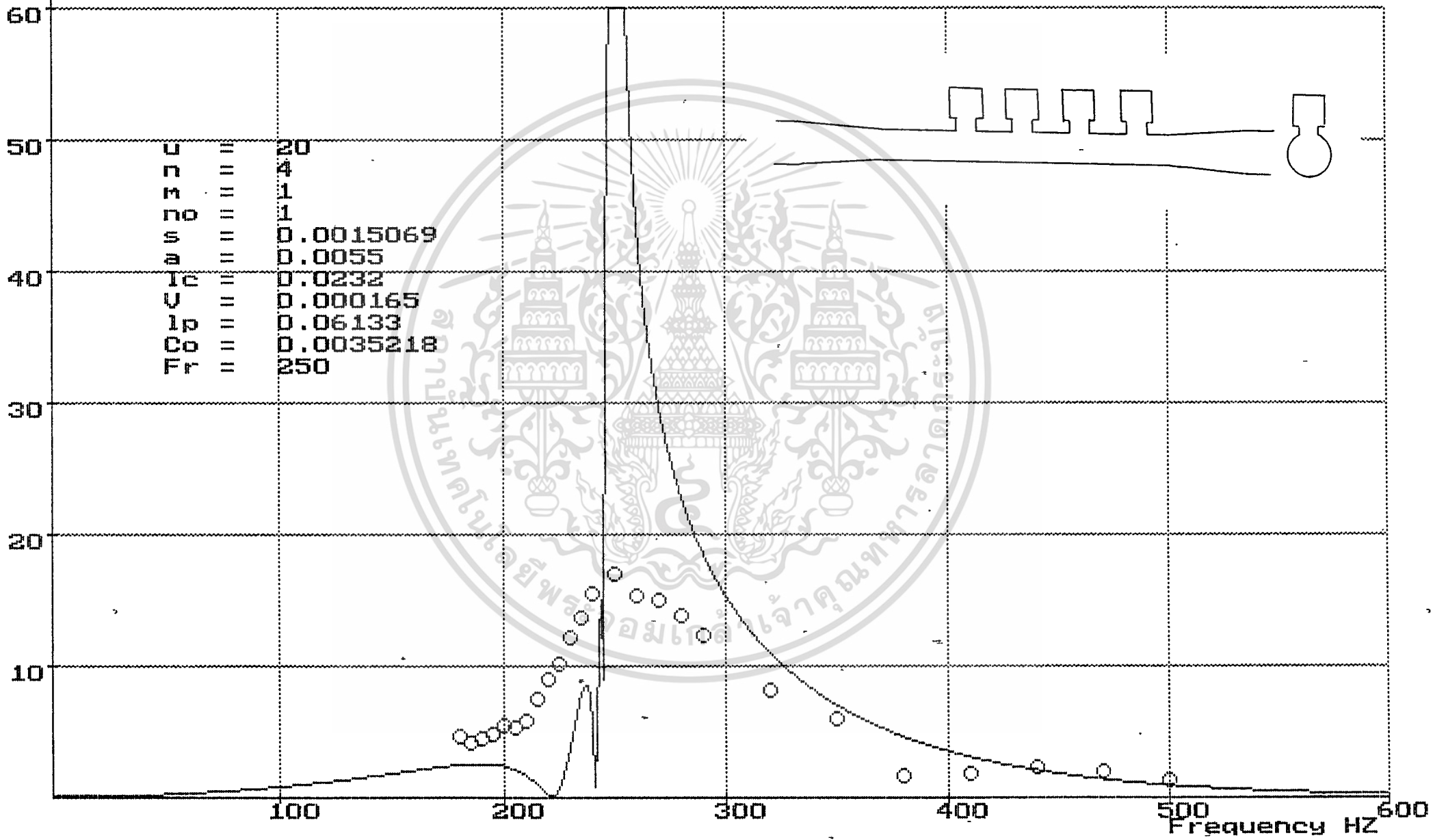


TL dB



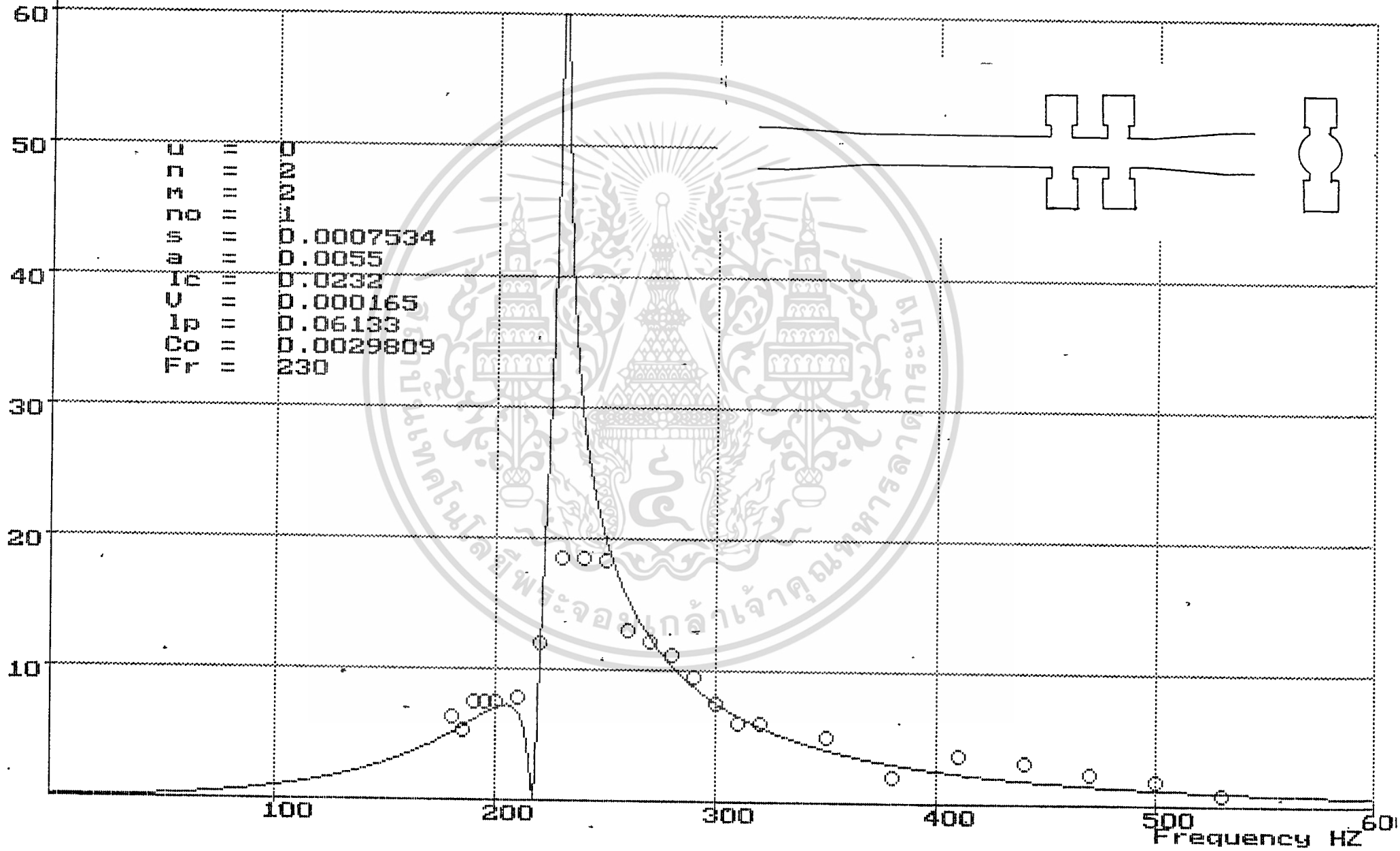
43

TL dB

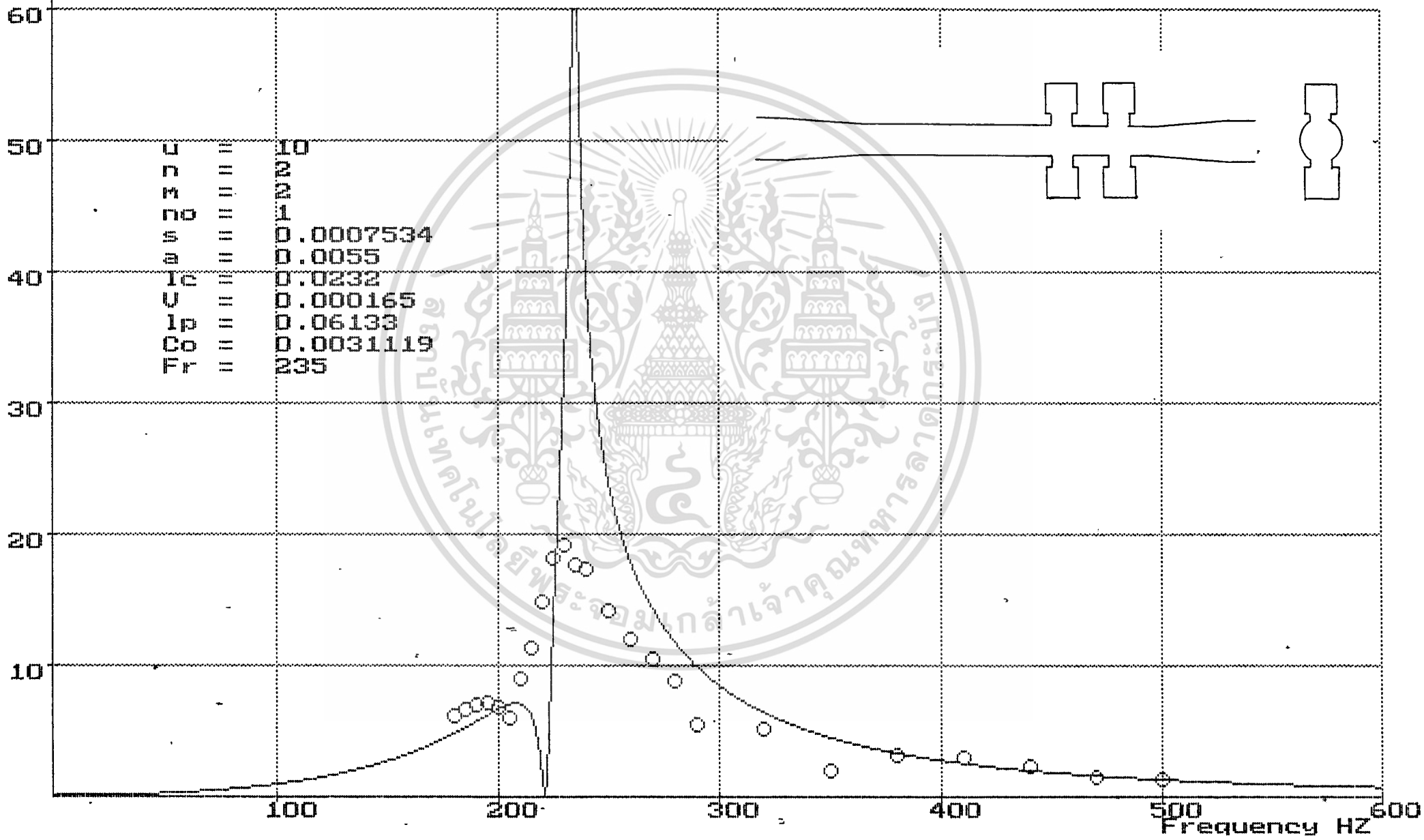


44

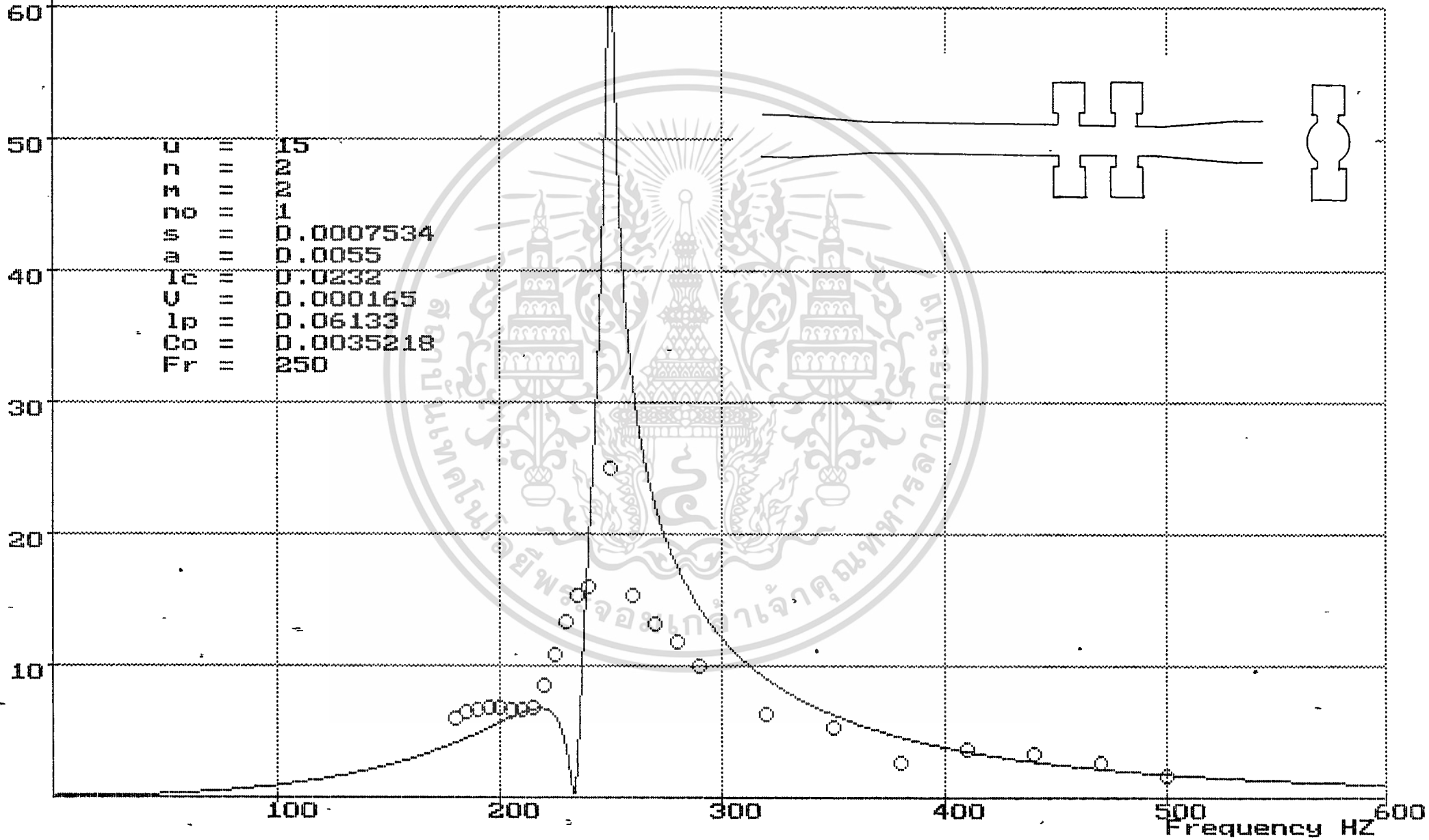
TL dB



TL dB

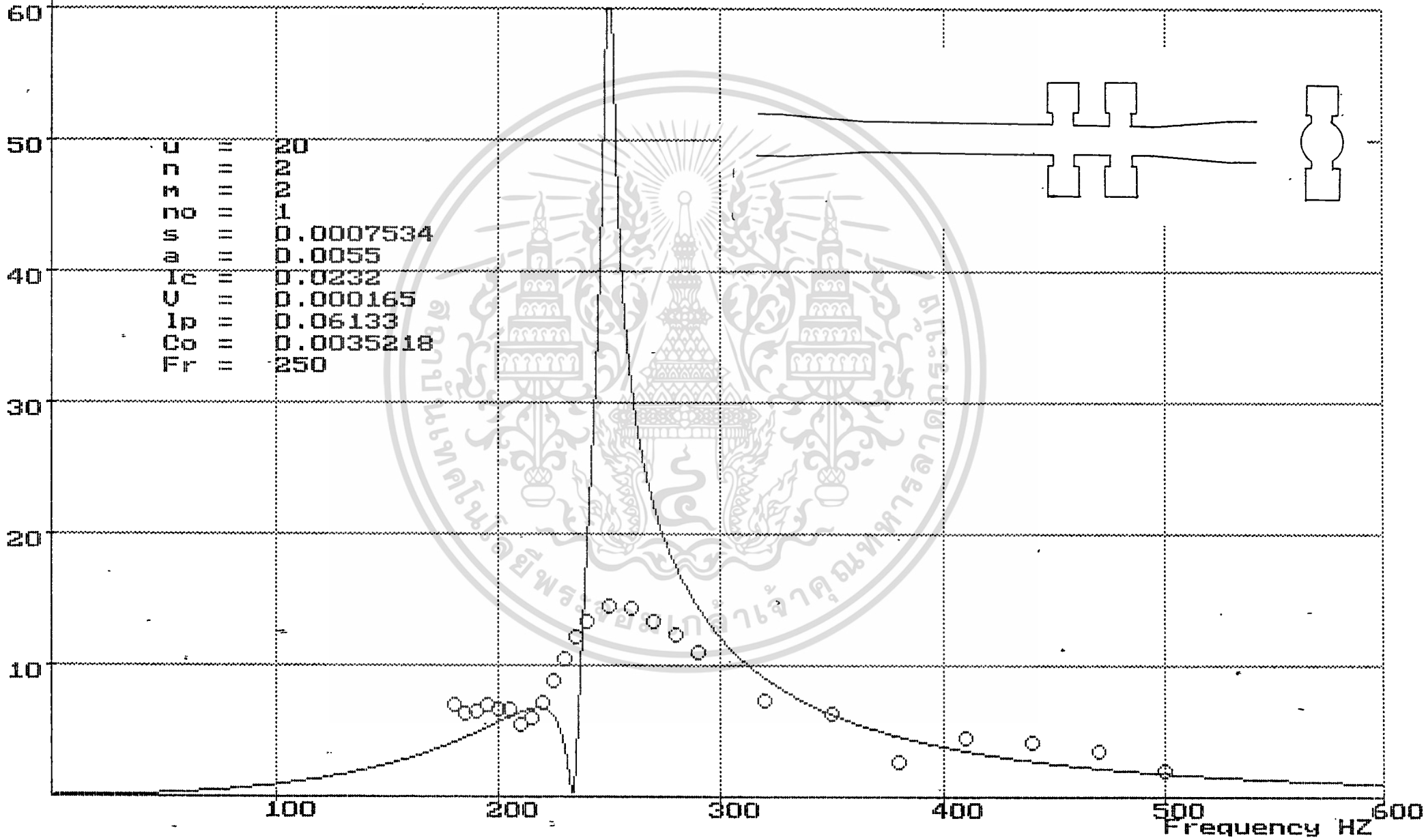


TL dB



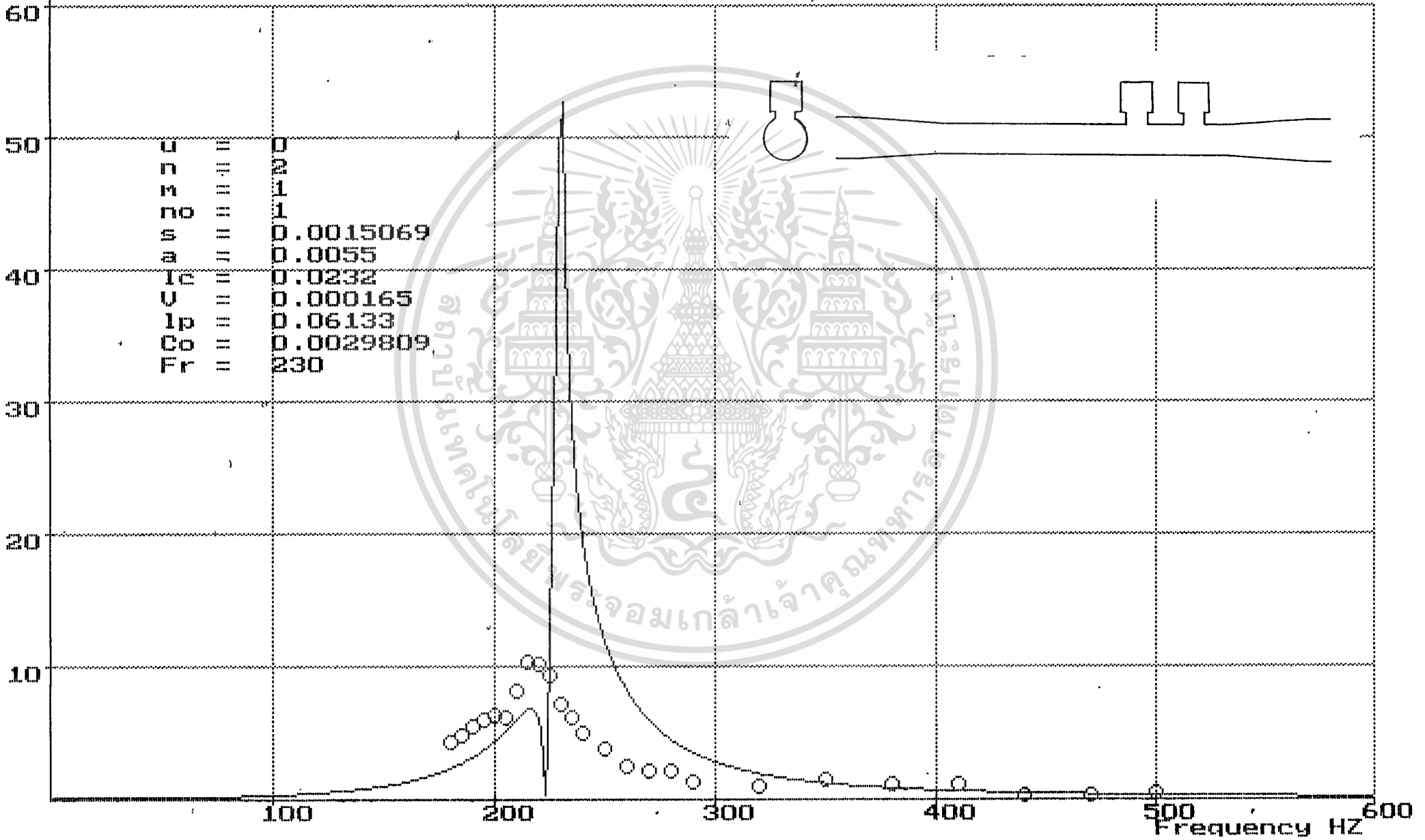
47

TL dB

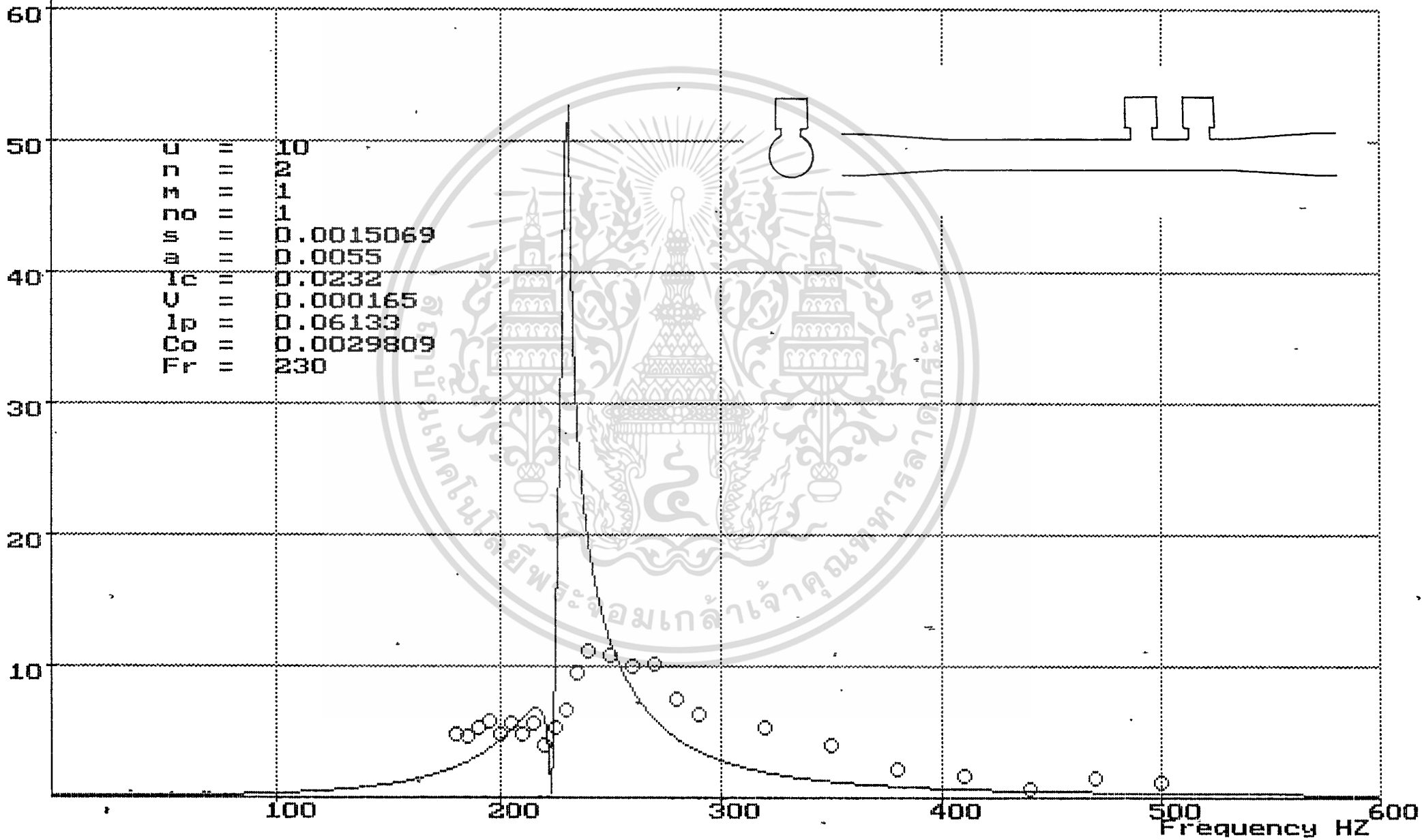


48

TL dB



TL dB



50

100

200

300

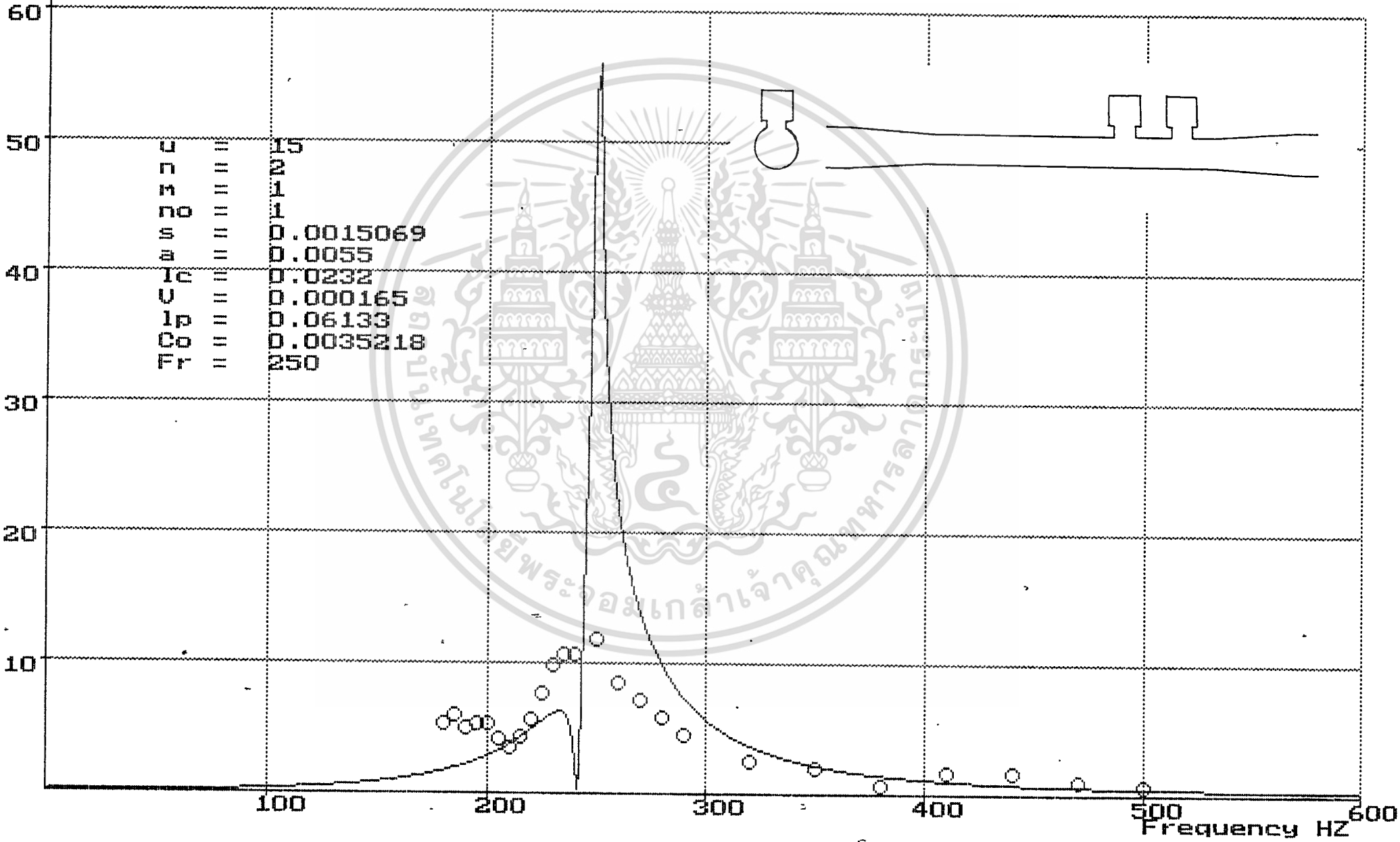
400

500

600

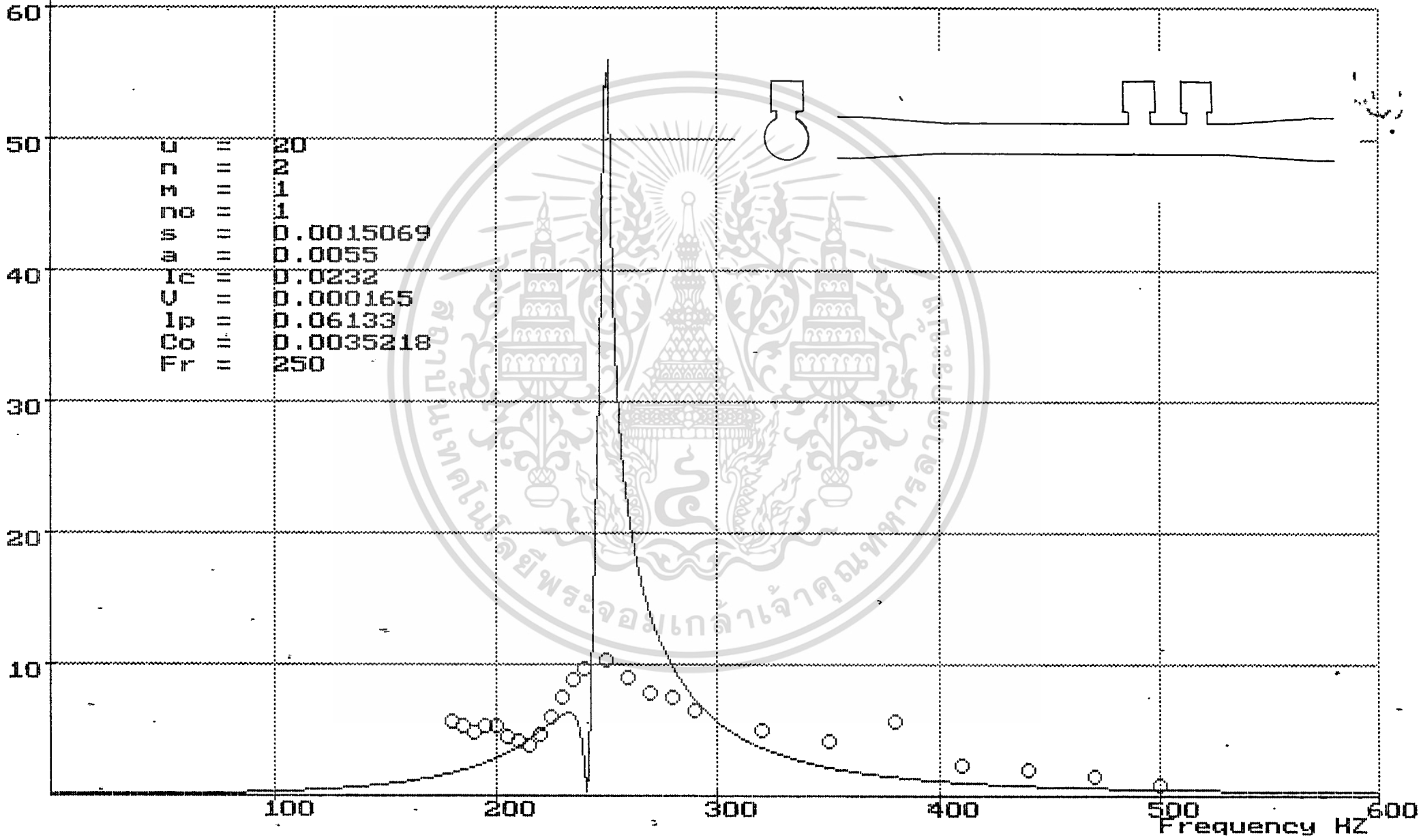
Frequency HZ

TL dB



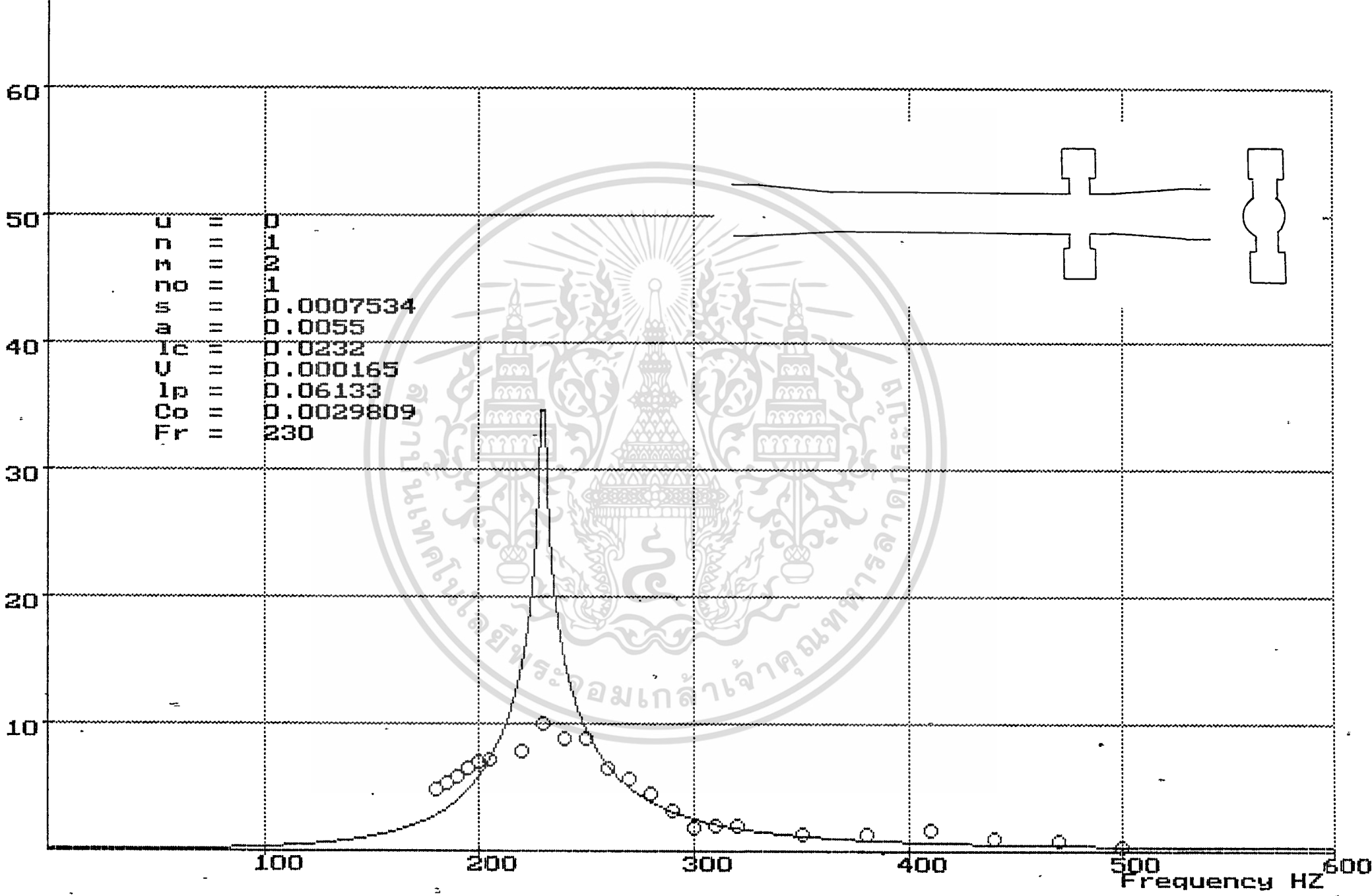
51

TL dB

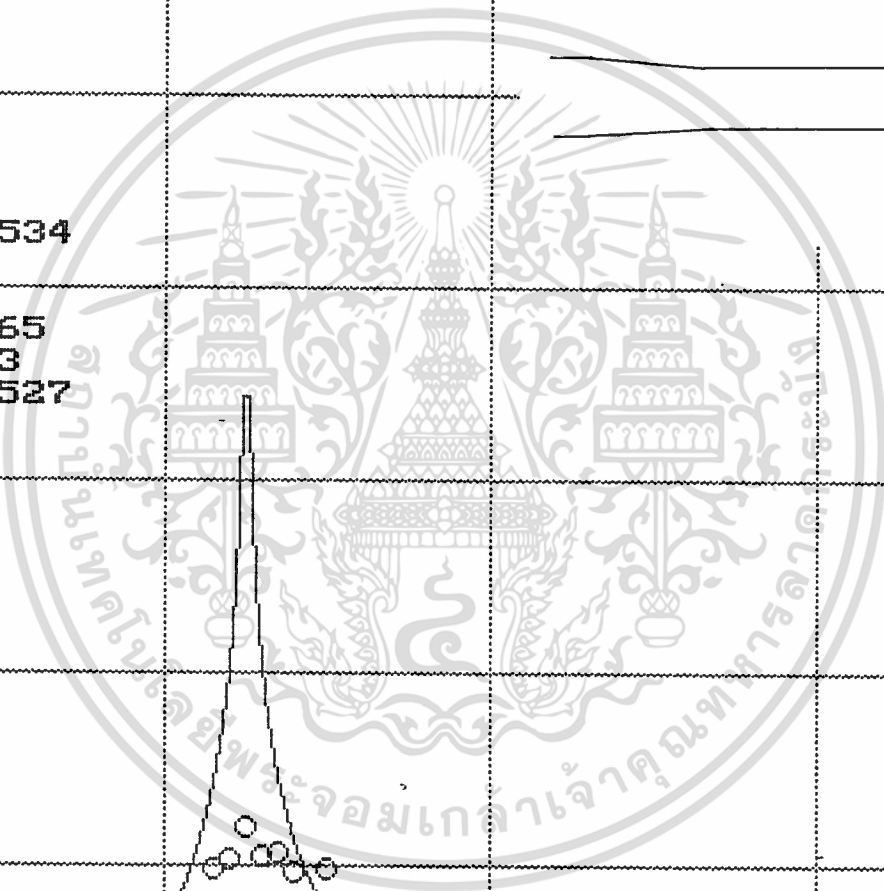
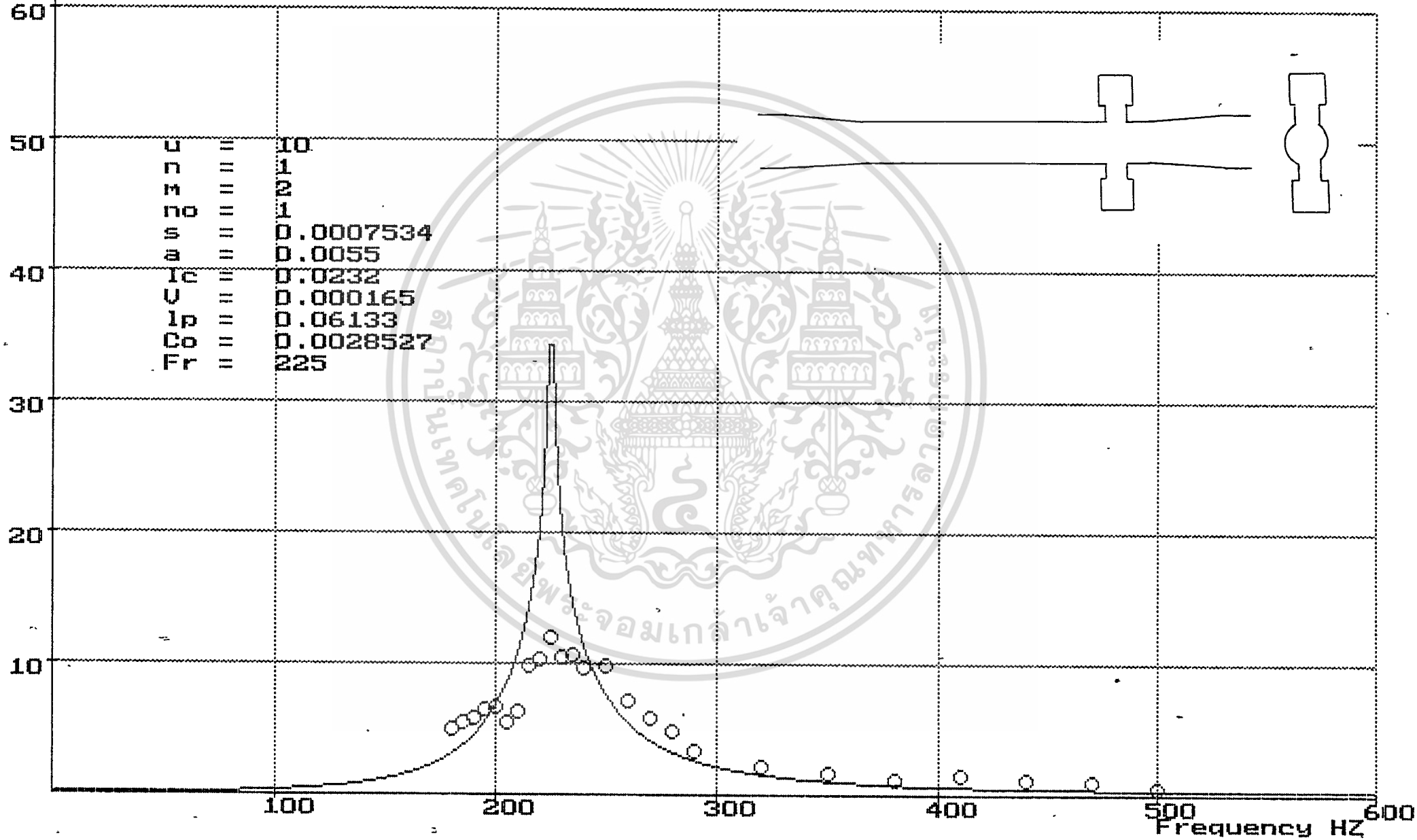


52

TL dB



TL dB



TL dB

60

50

40

30

20

10

U	=	15
ก	=	1
ม	=	2
นบ	=	1
ล	=	0.0007534
อ	=	0.0055
Ip	=	0.0232
U	=	0.000165
Ip	=	0.06133
Co	=	0.0035218
Fr	=	250

100

200

300

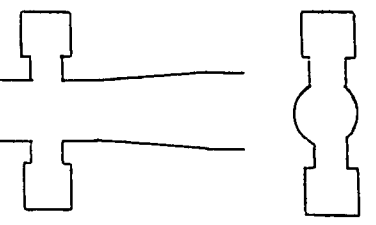
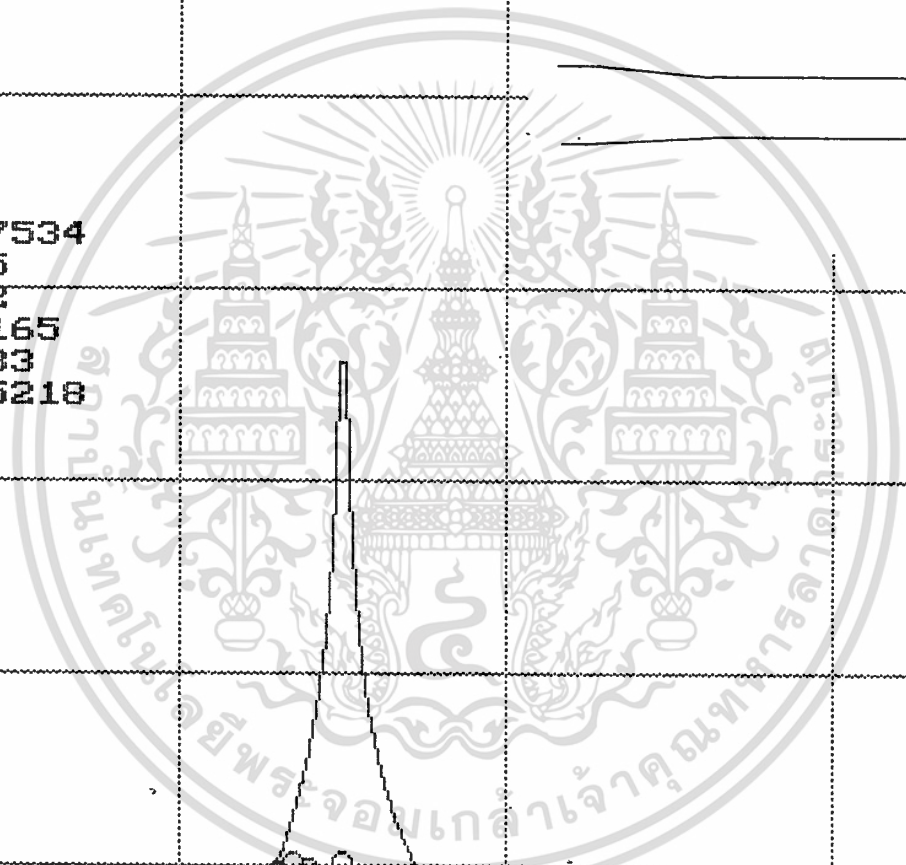
400

500

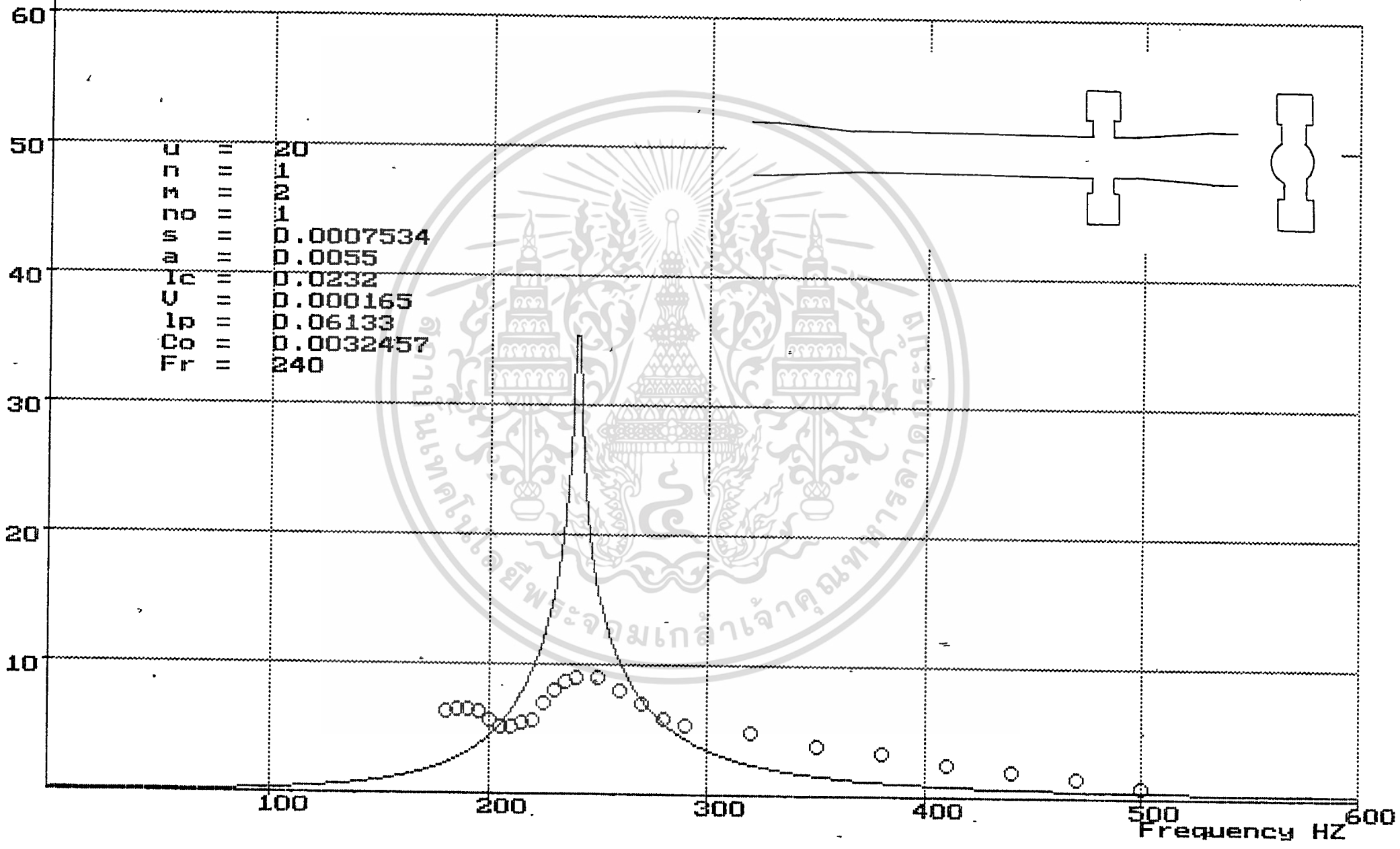
600

Frequency · Hz

55

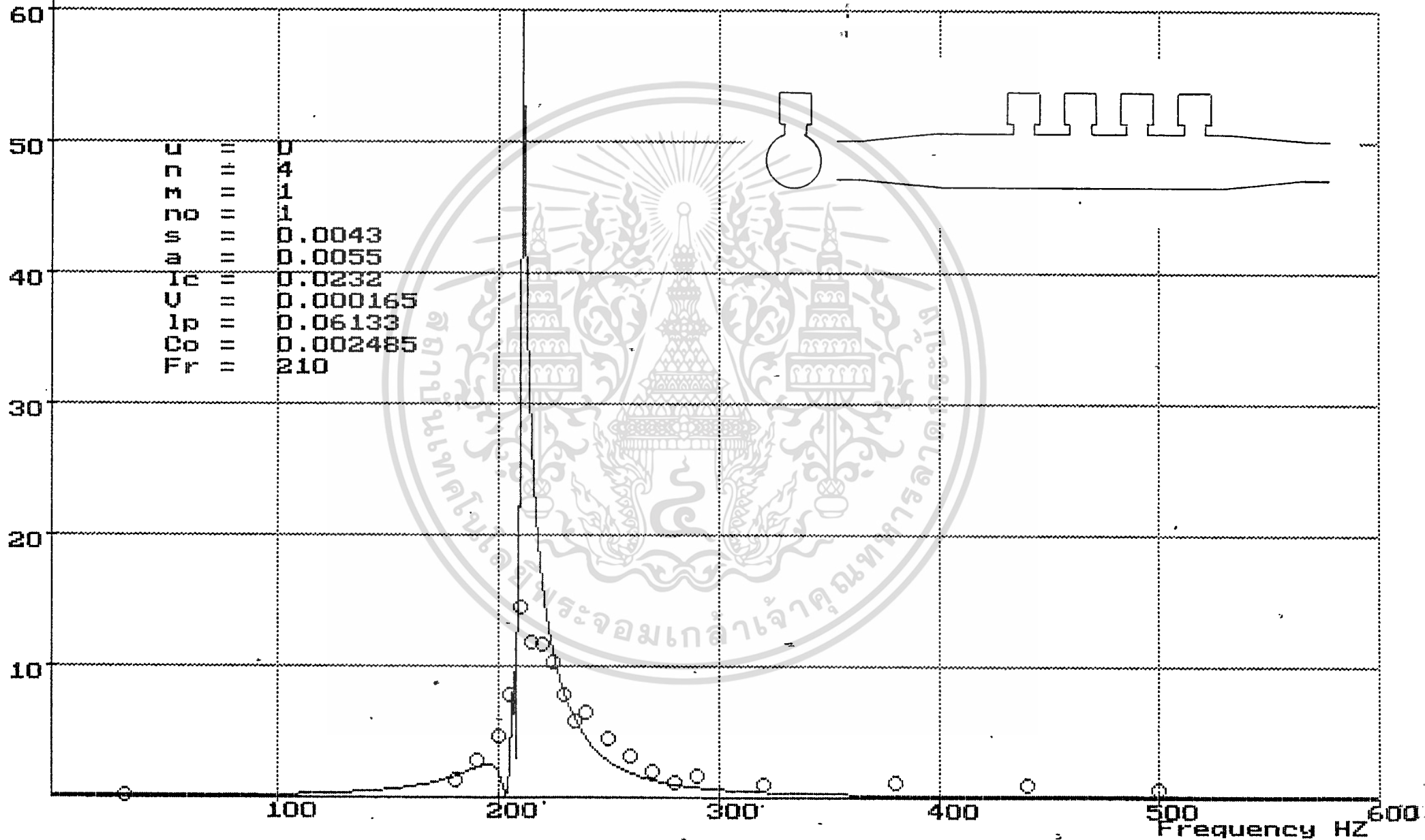


TL dB



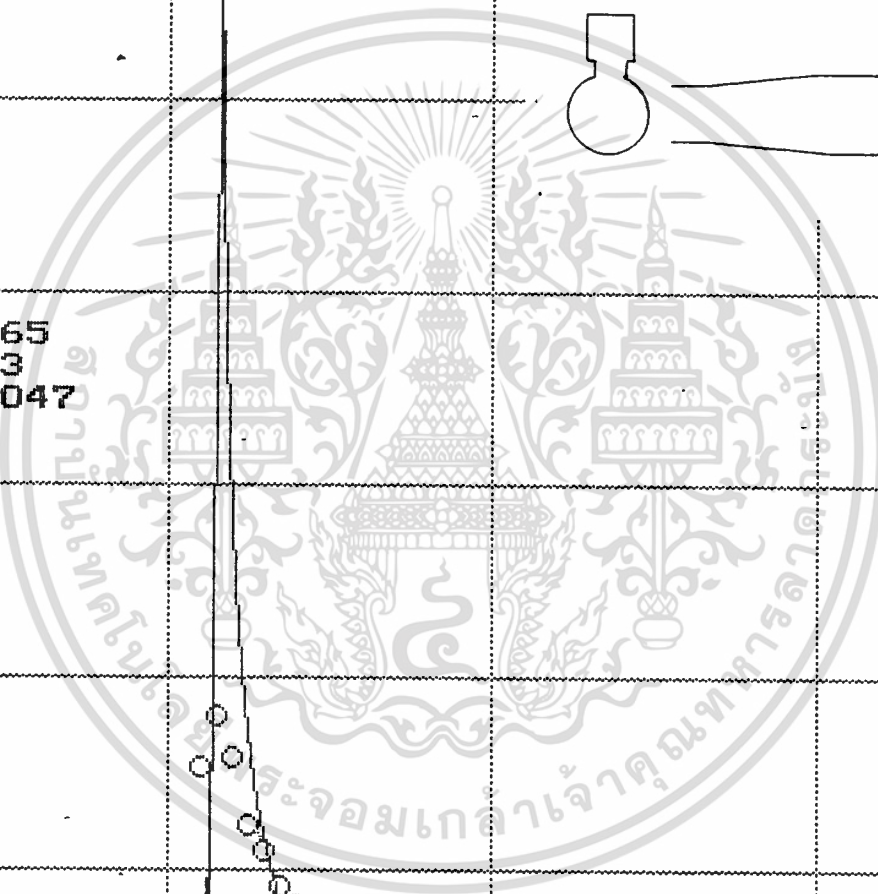
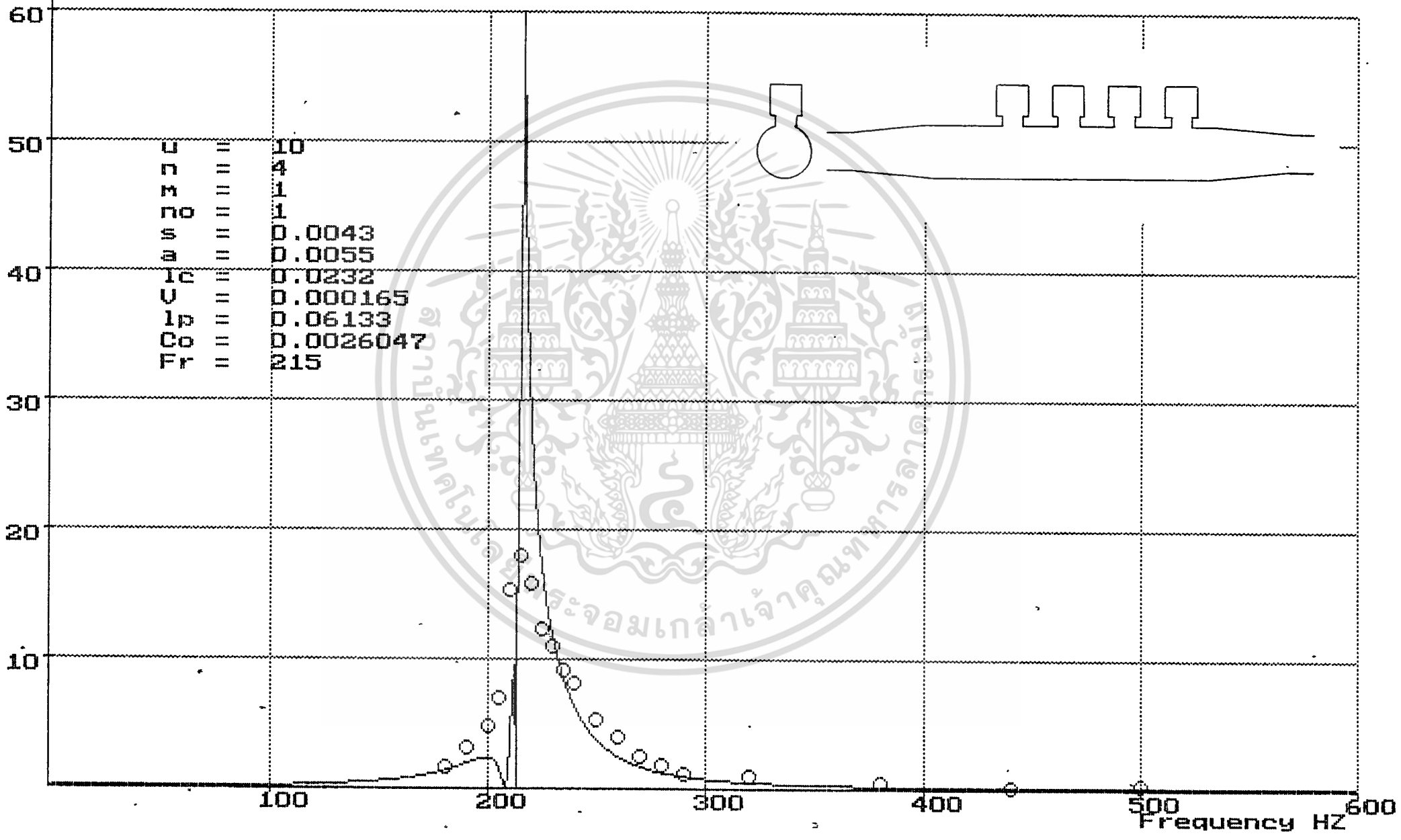
56

TL dB

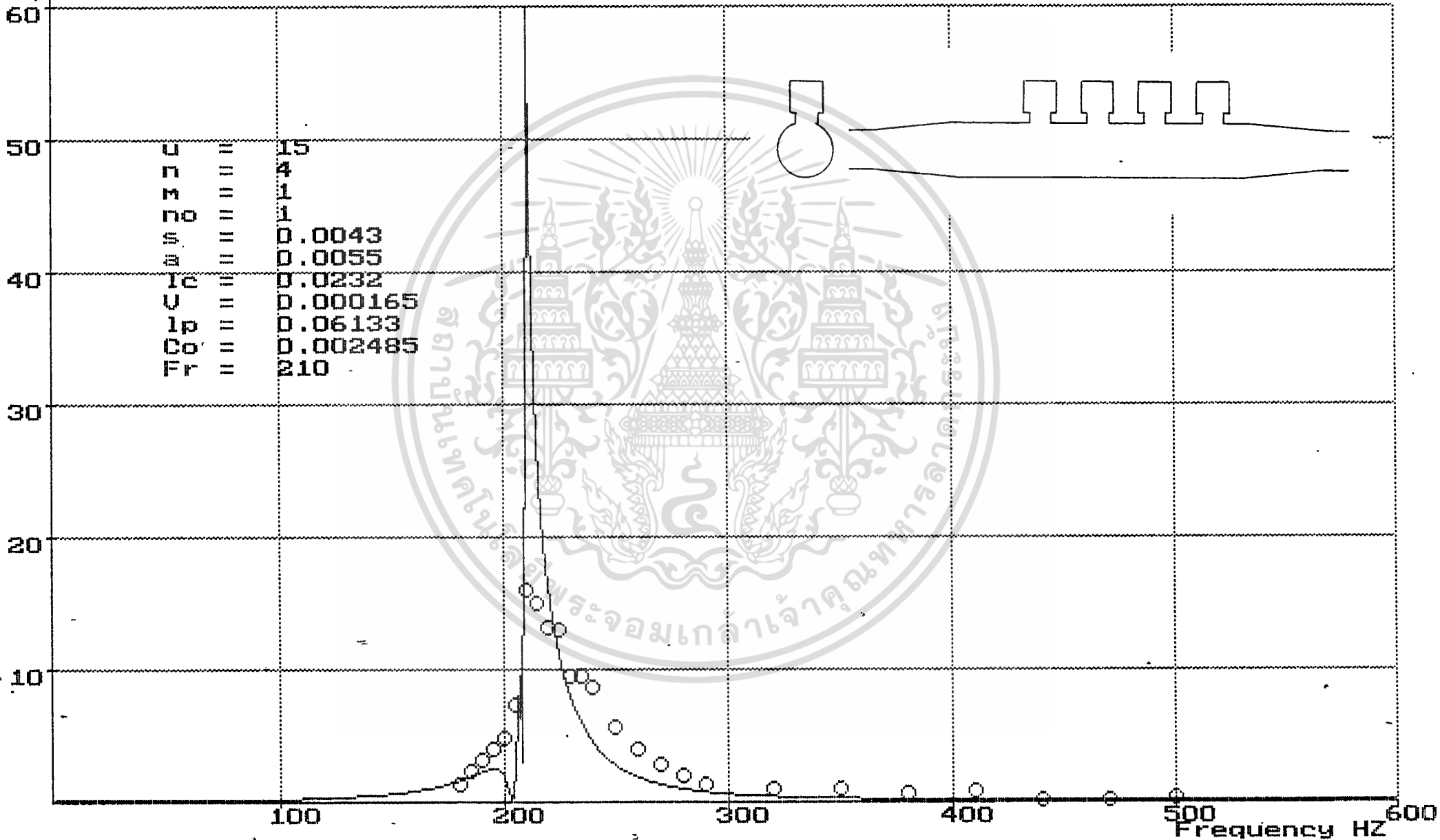


57

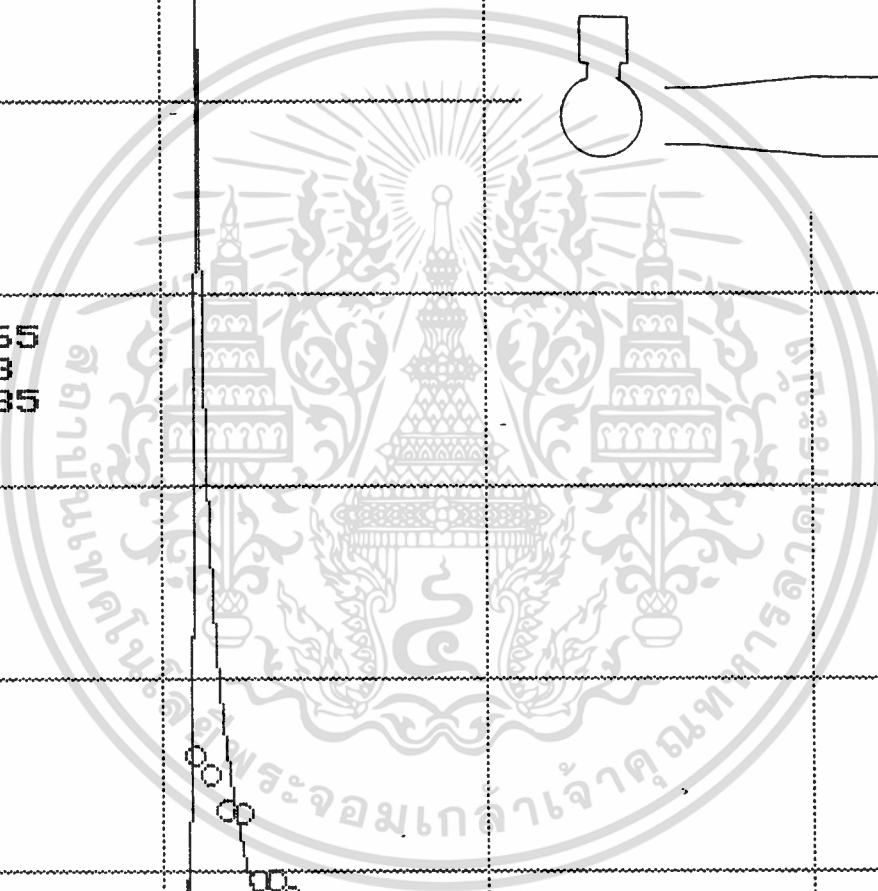
TL dB



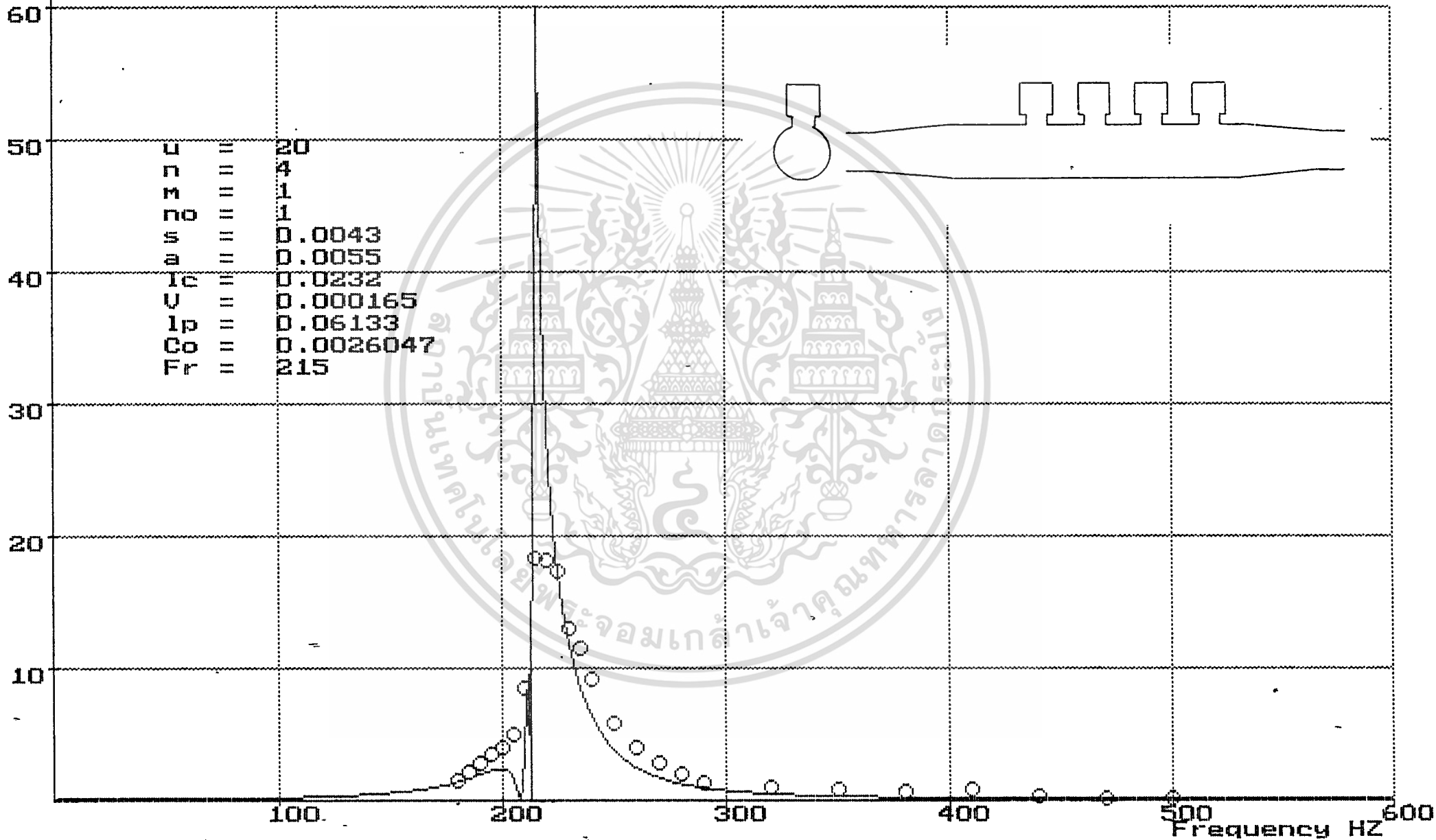
TL dB



59



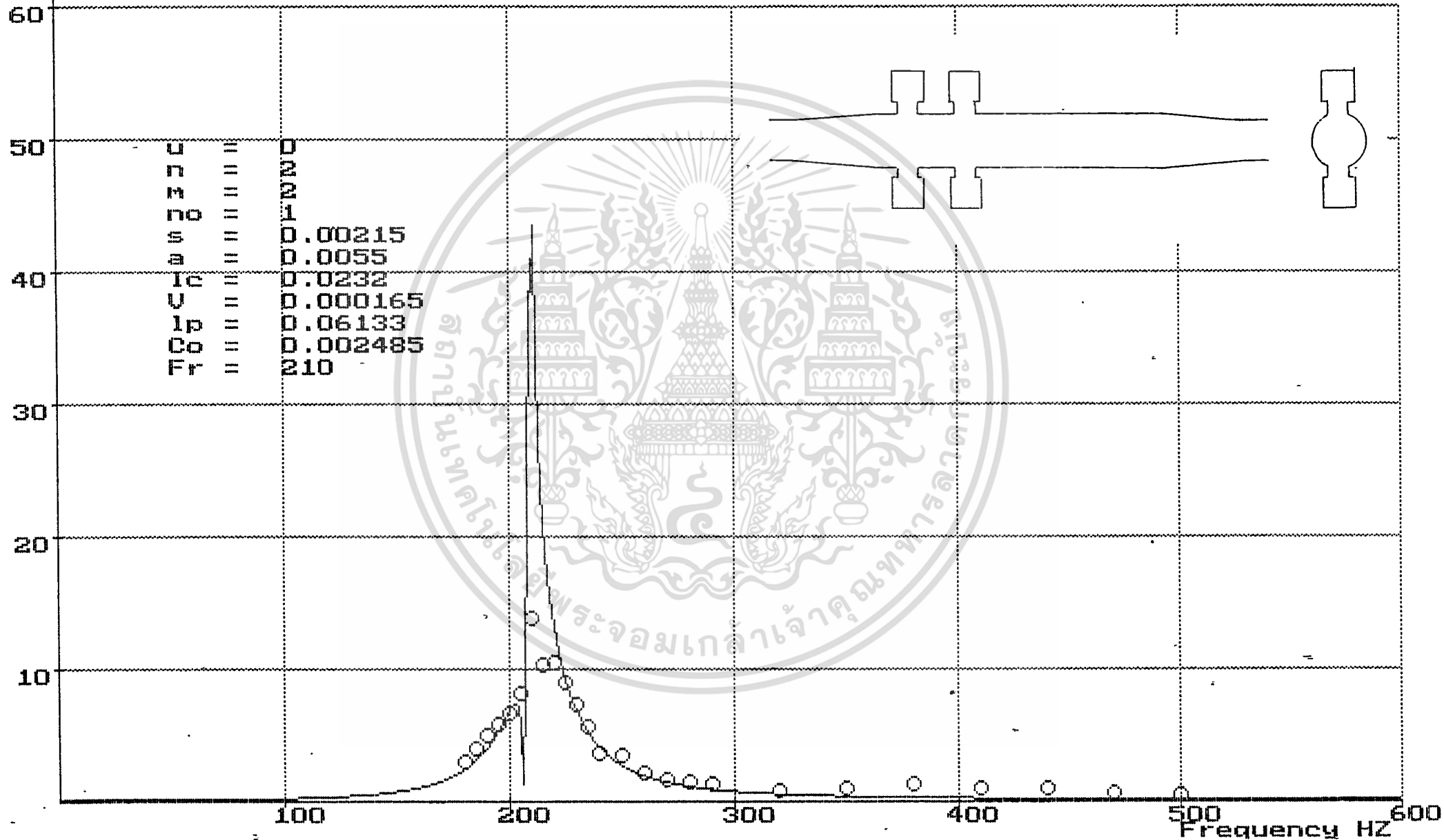
TL dB



60

Frequency HZ

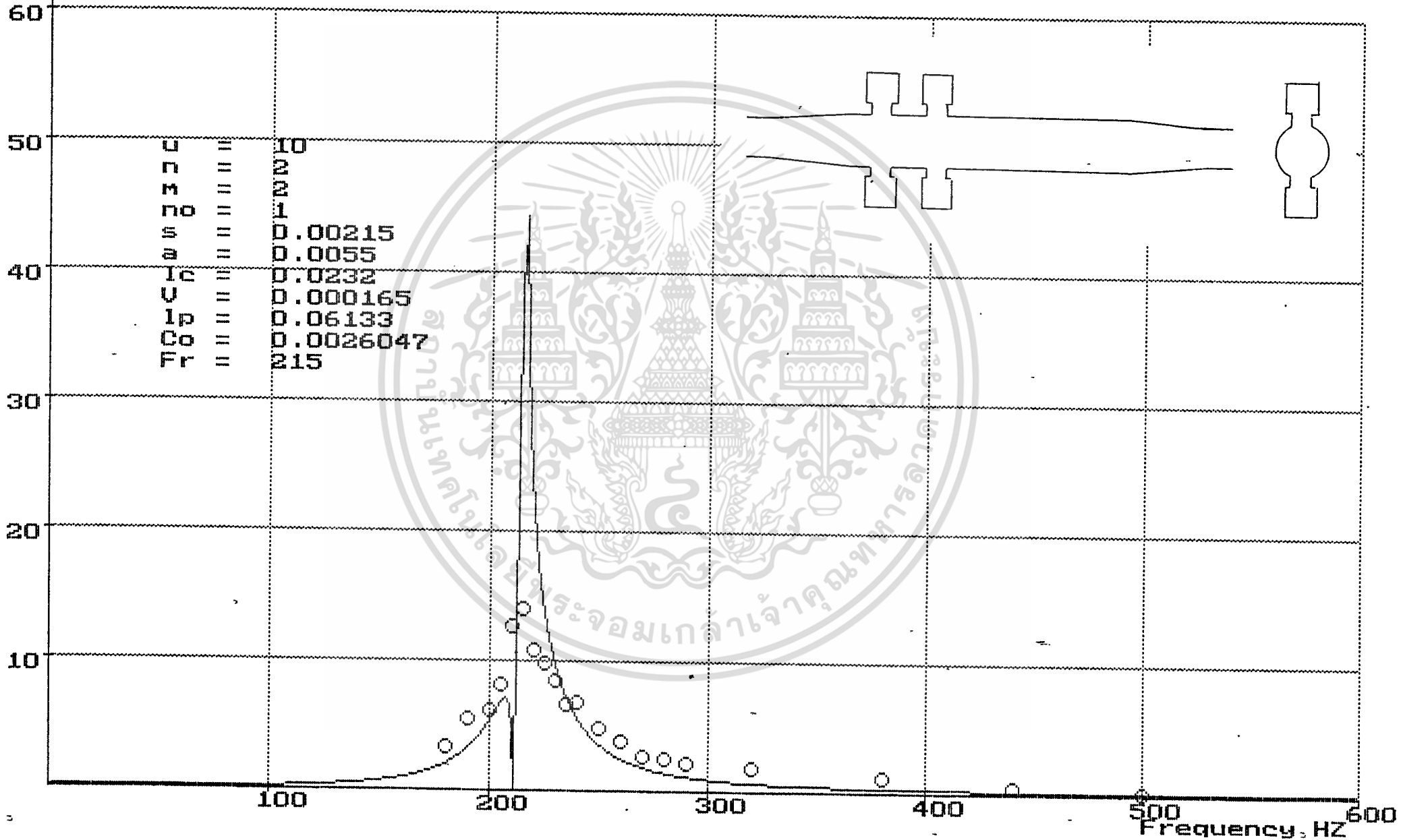
TL dB



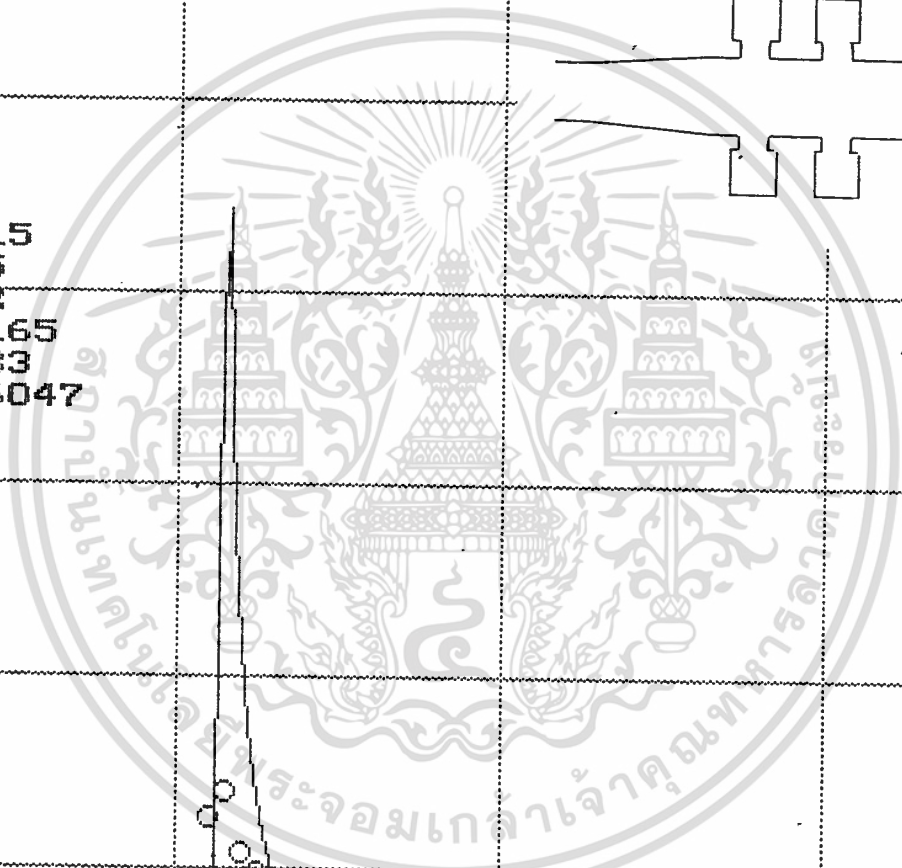
C = 0.00215
D = 0.0055
F = 0.0232
G = 0.000165
H = 0.06133
I = 0.002485
J = 210

161

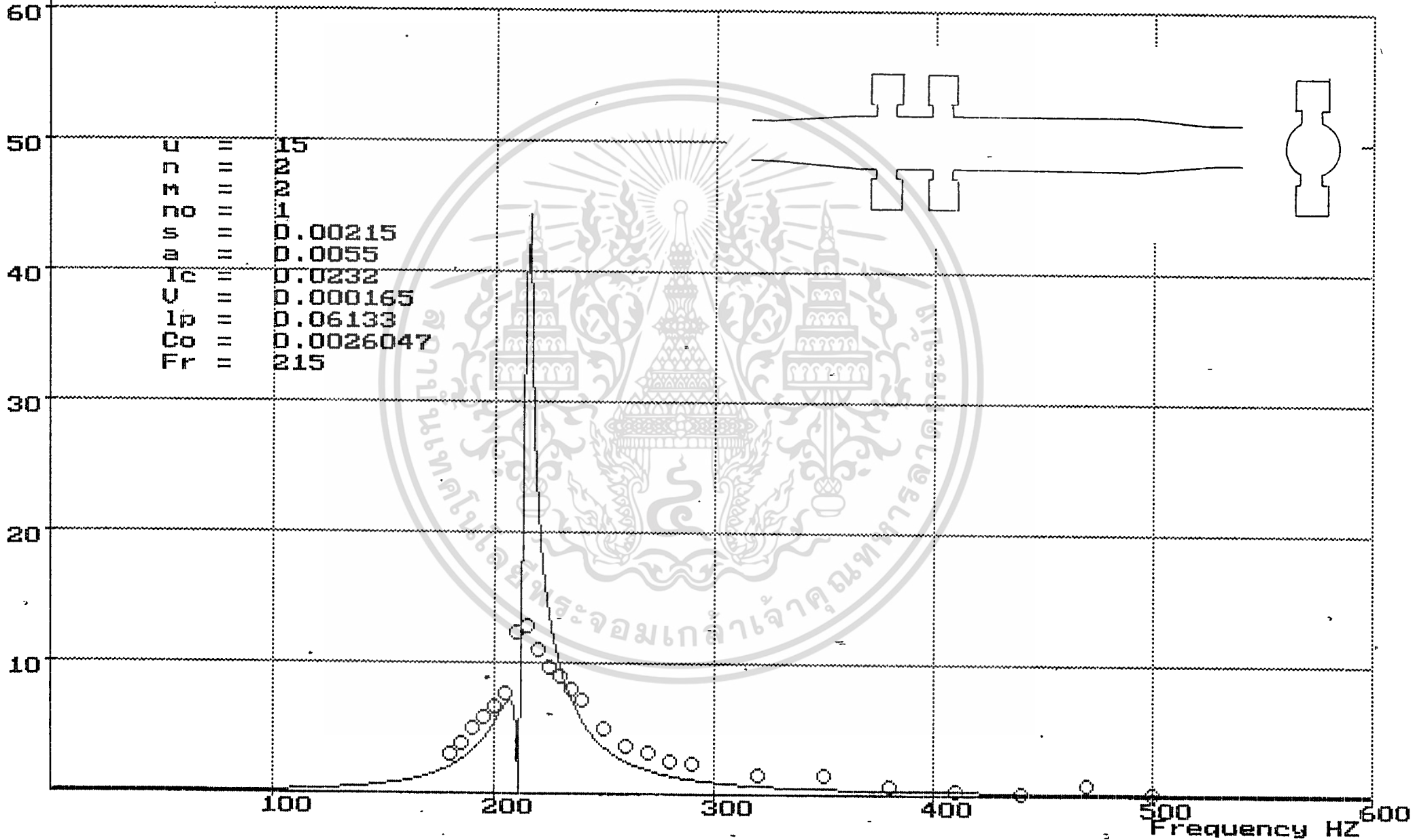
TL dB



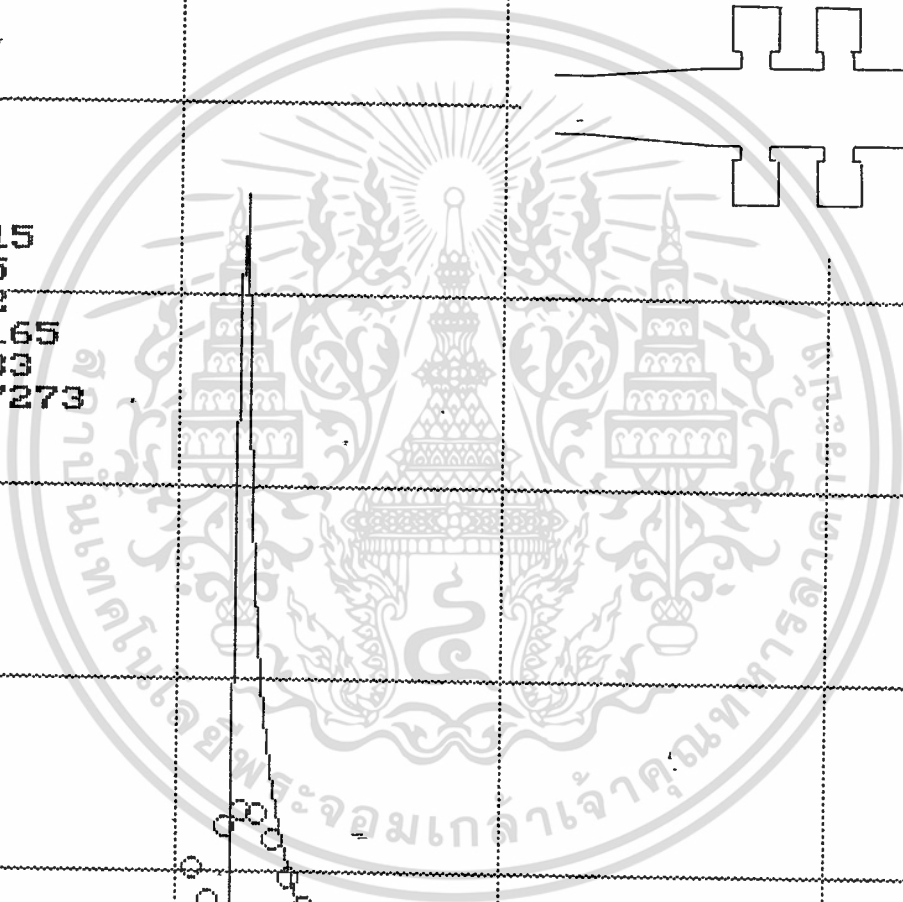
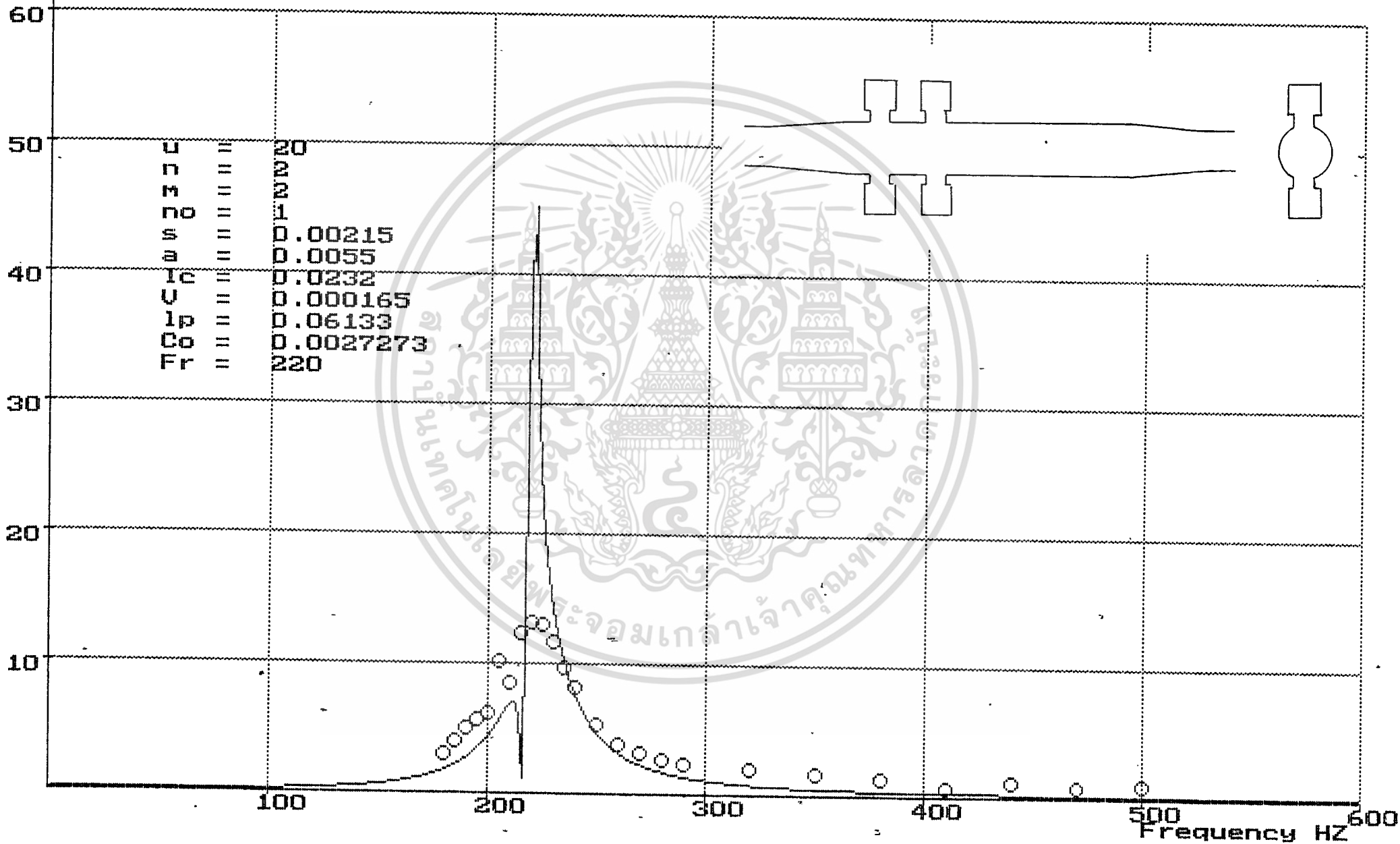
62



TL dB

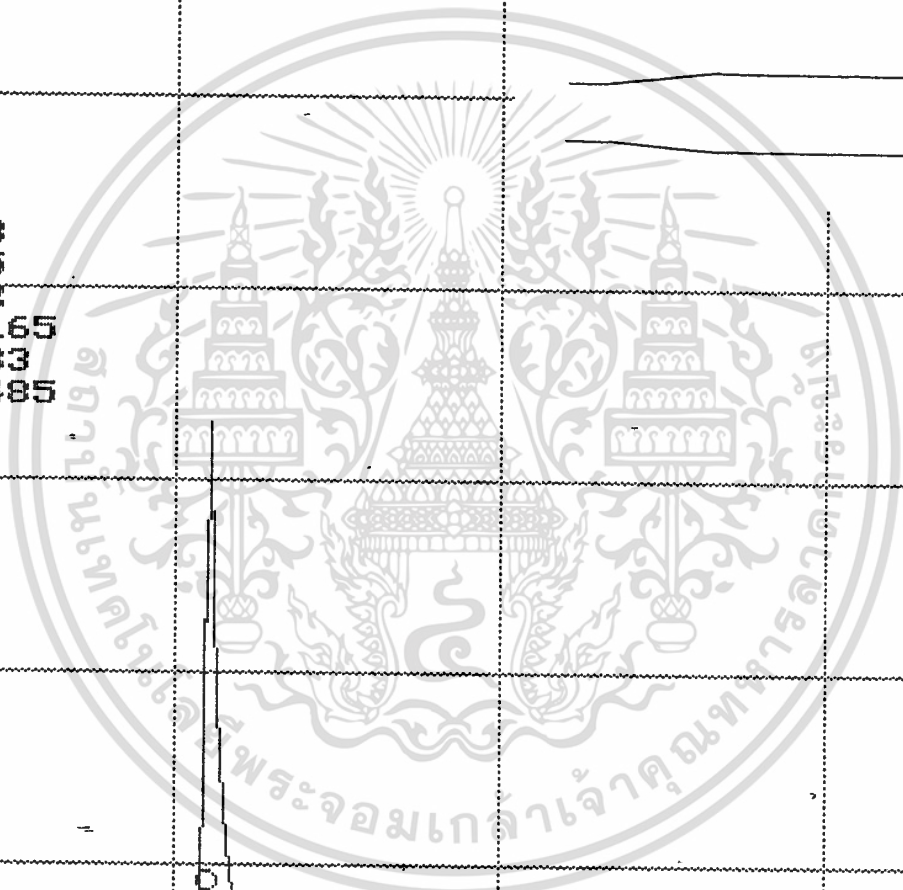
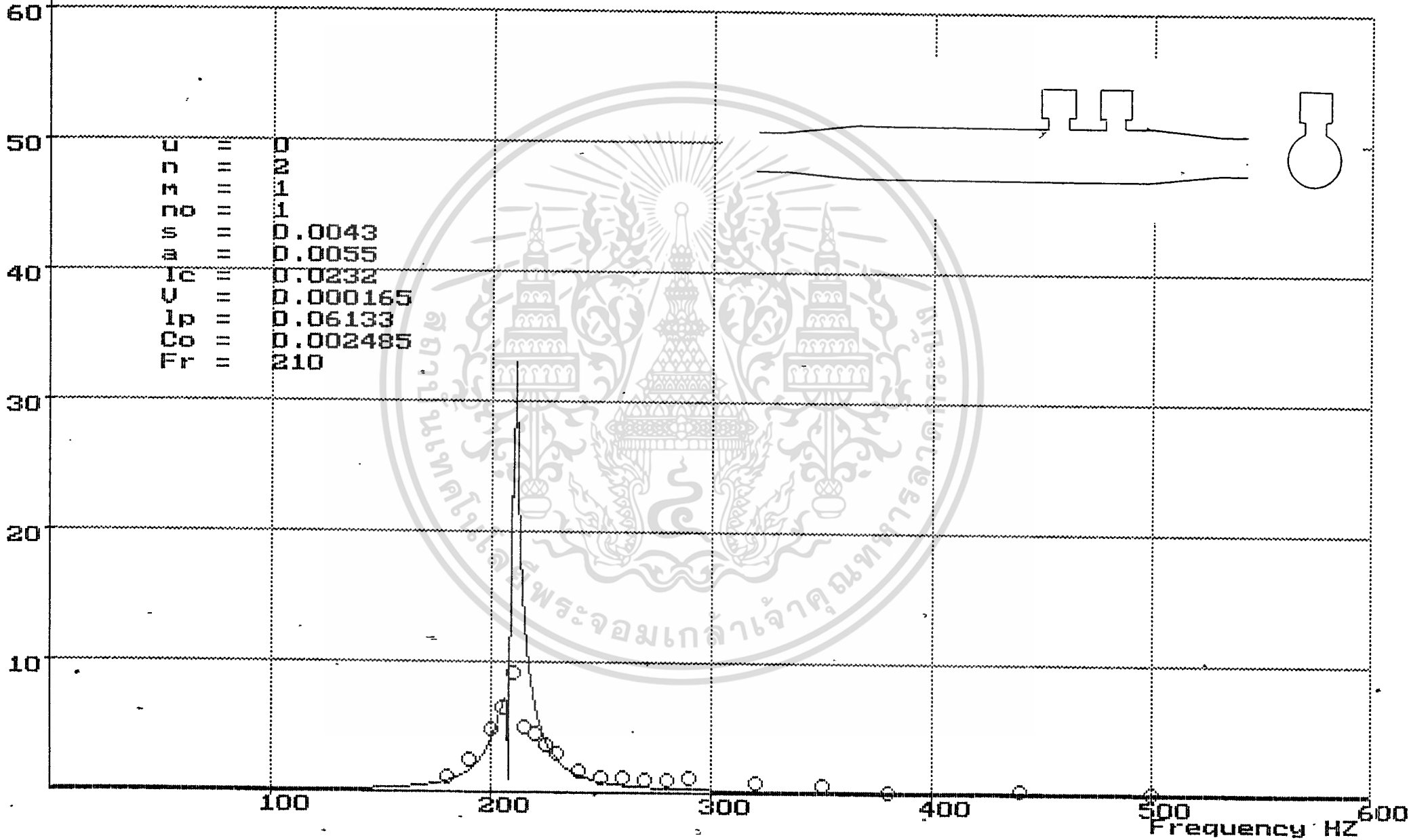


TL dB

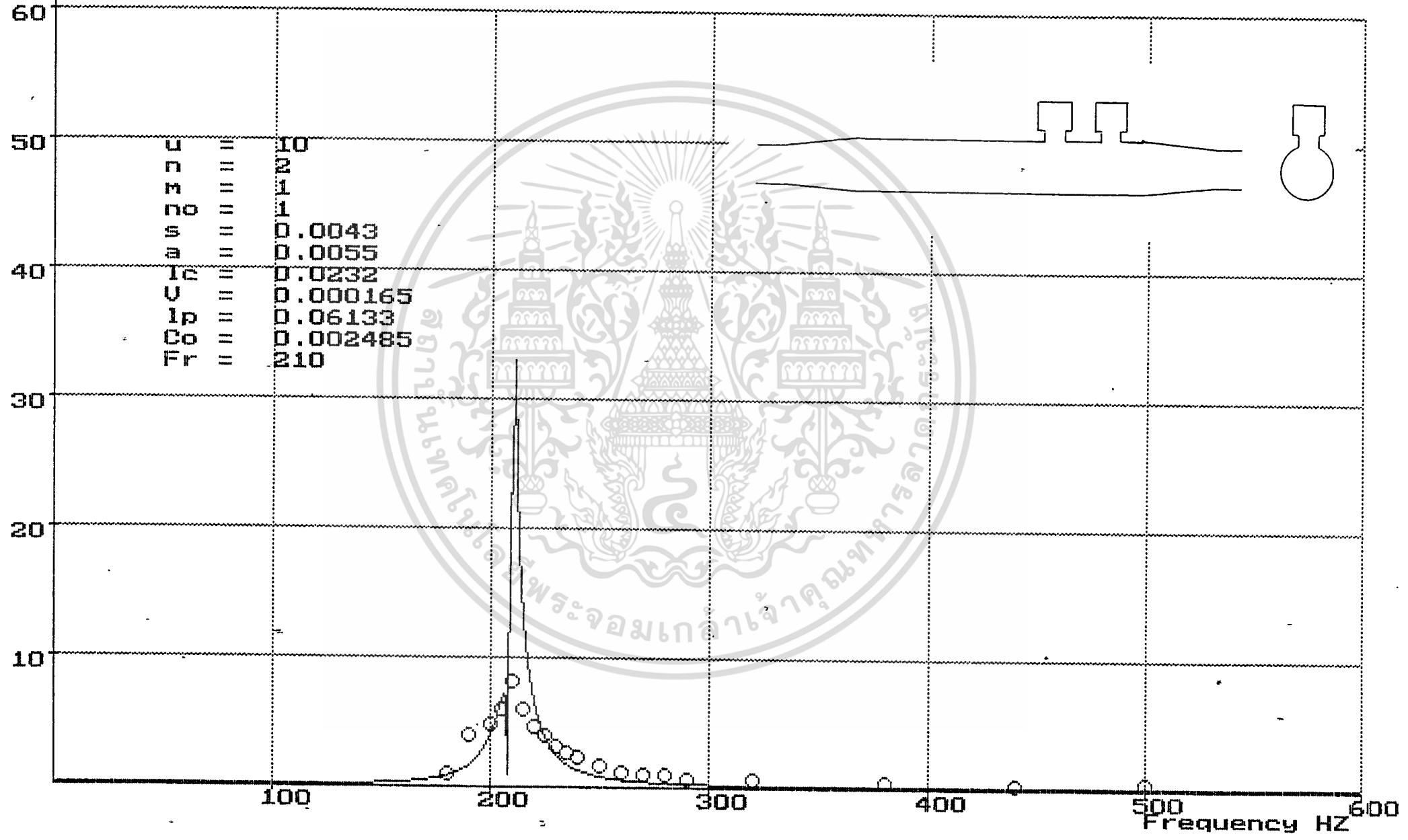


65

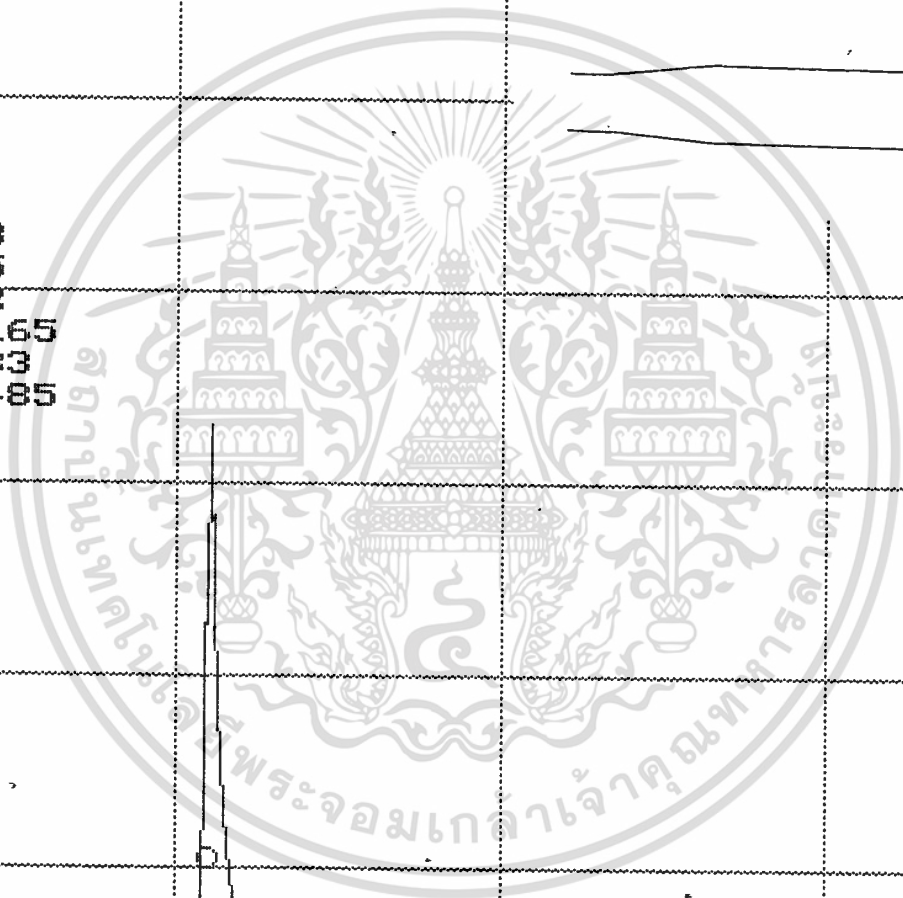
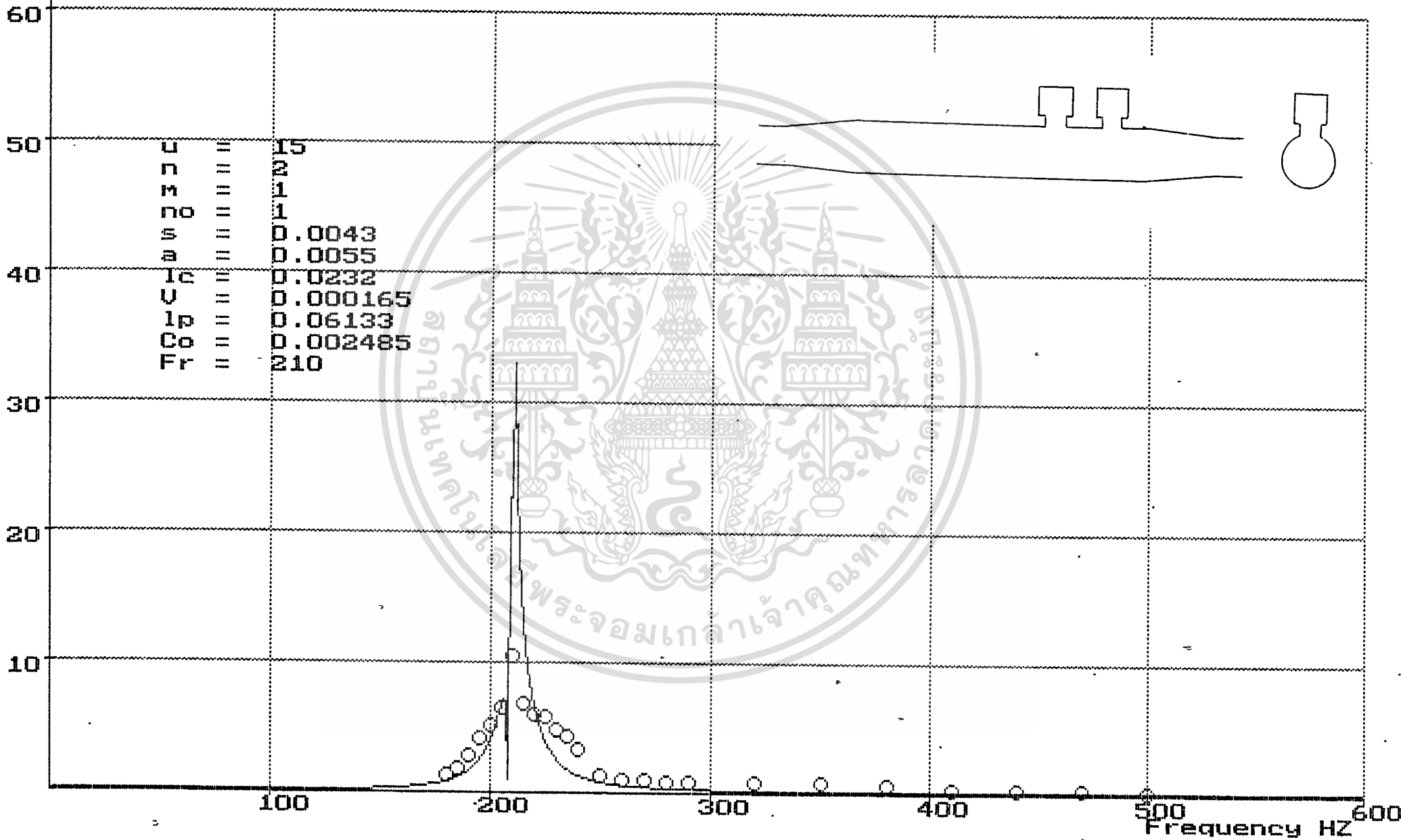
TL dB



TL dB

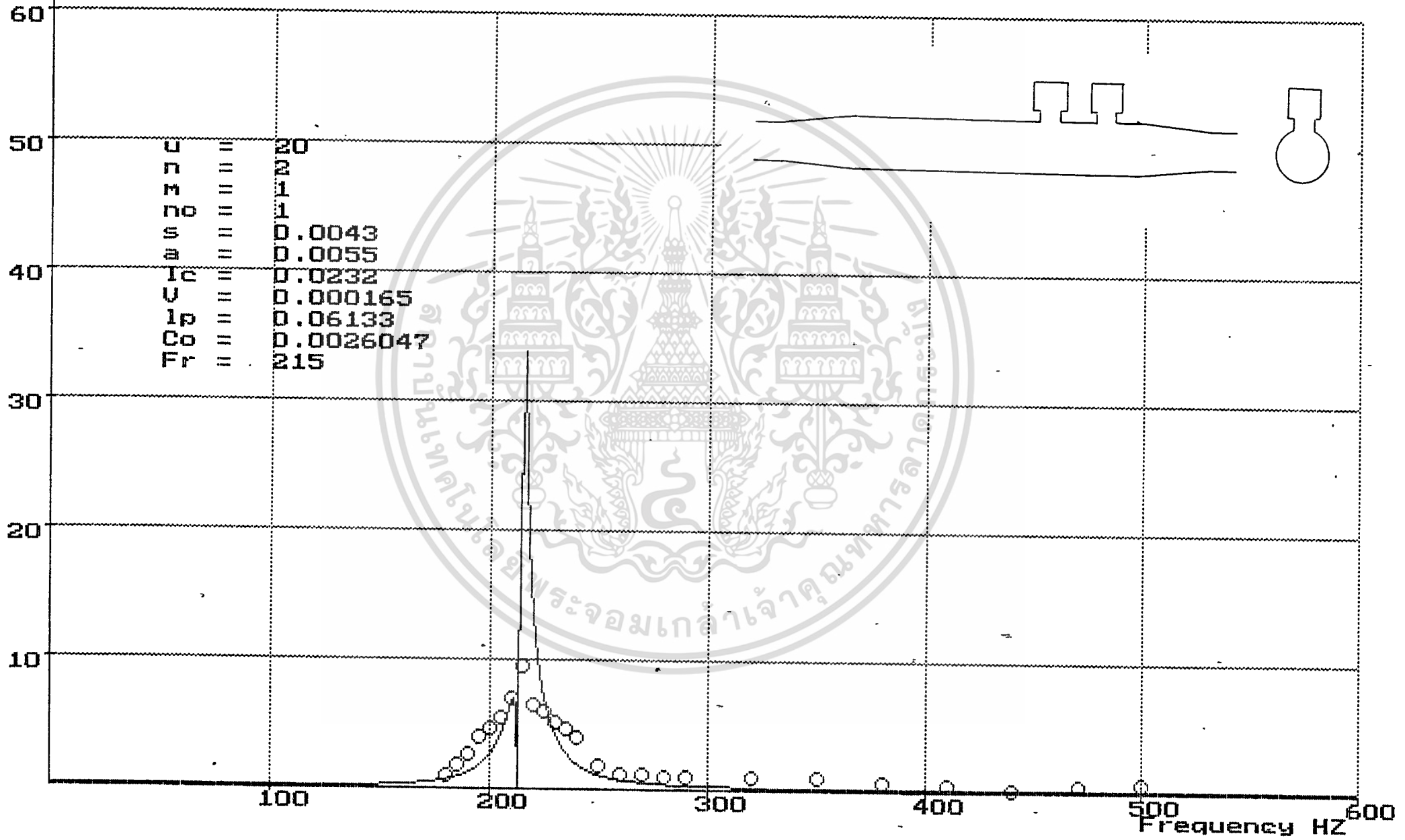


TL dB

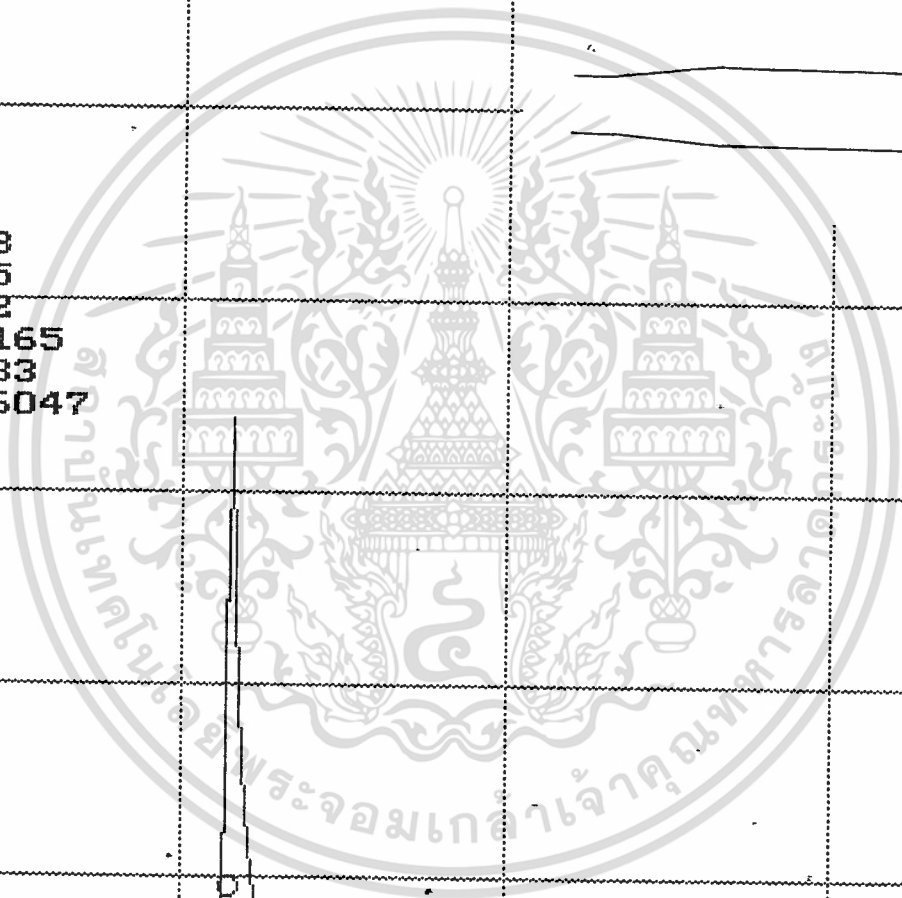


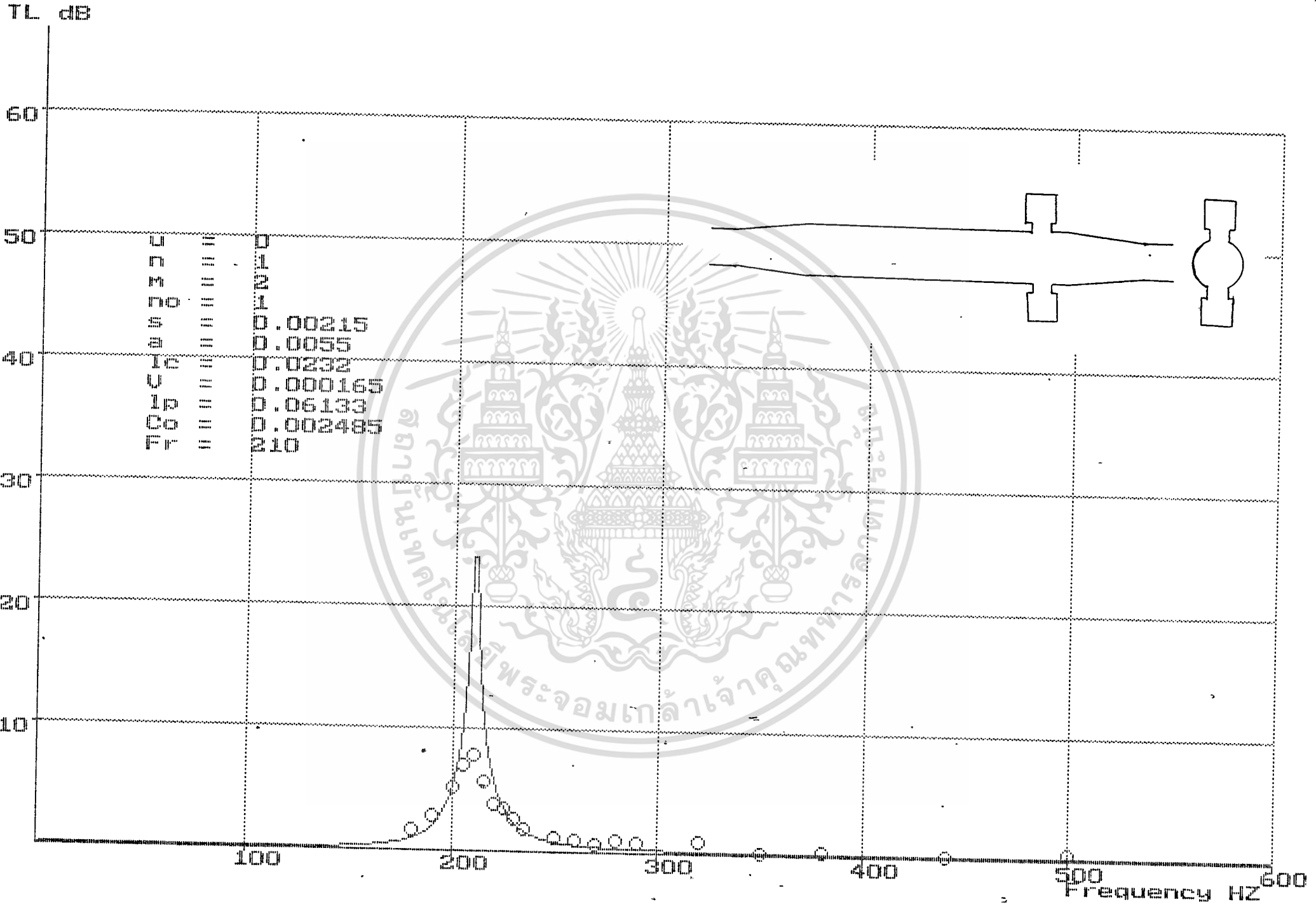
Frequency HZ

TL dB



68





70HCHW3325
 7030

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

|||||

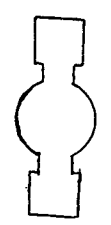
|||||

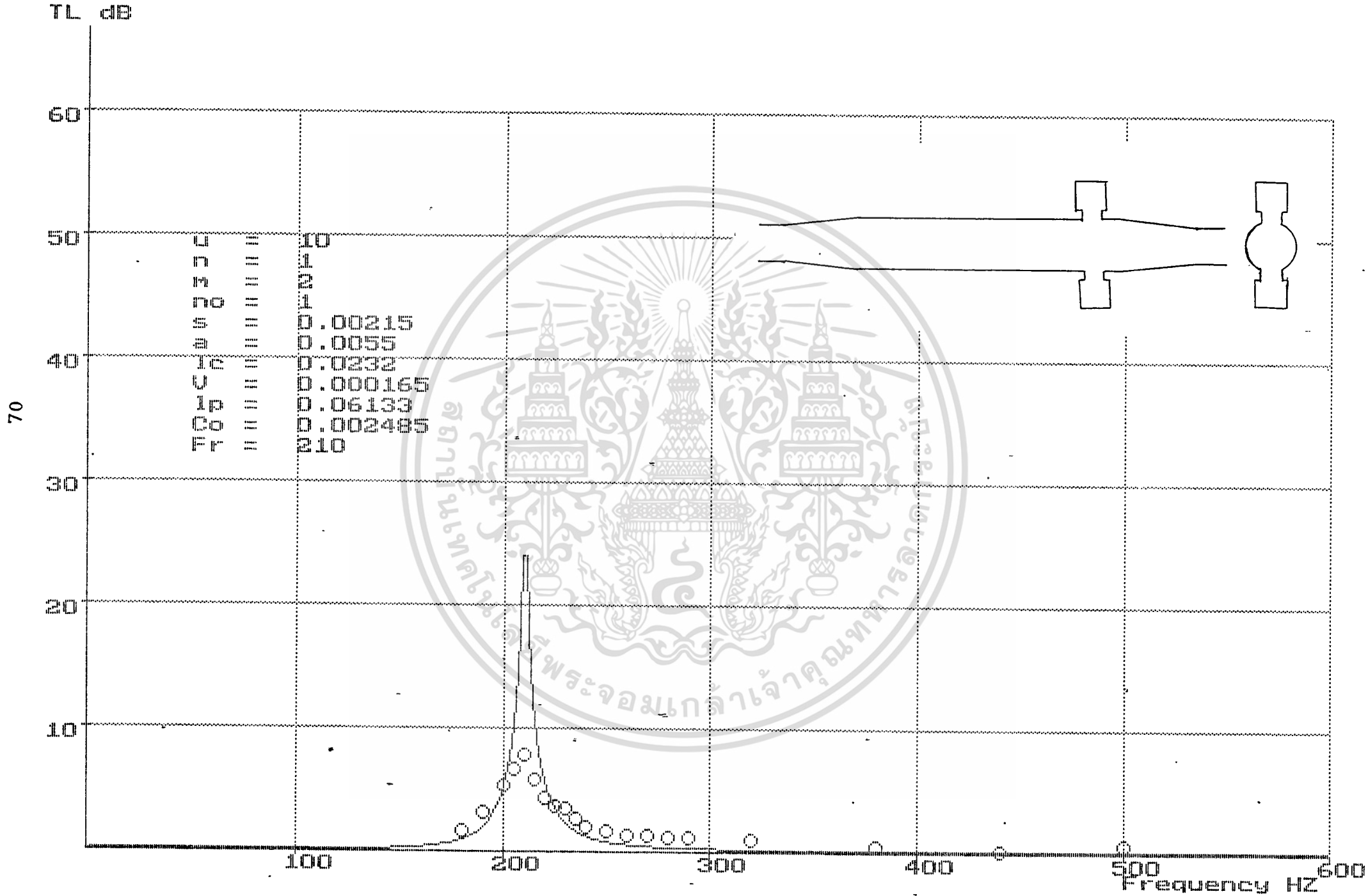
|||||

|||||

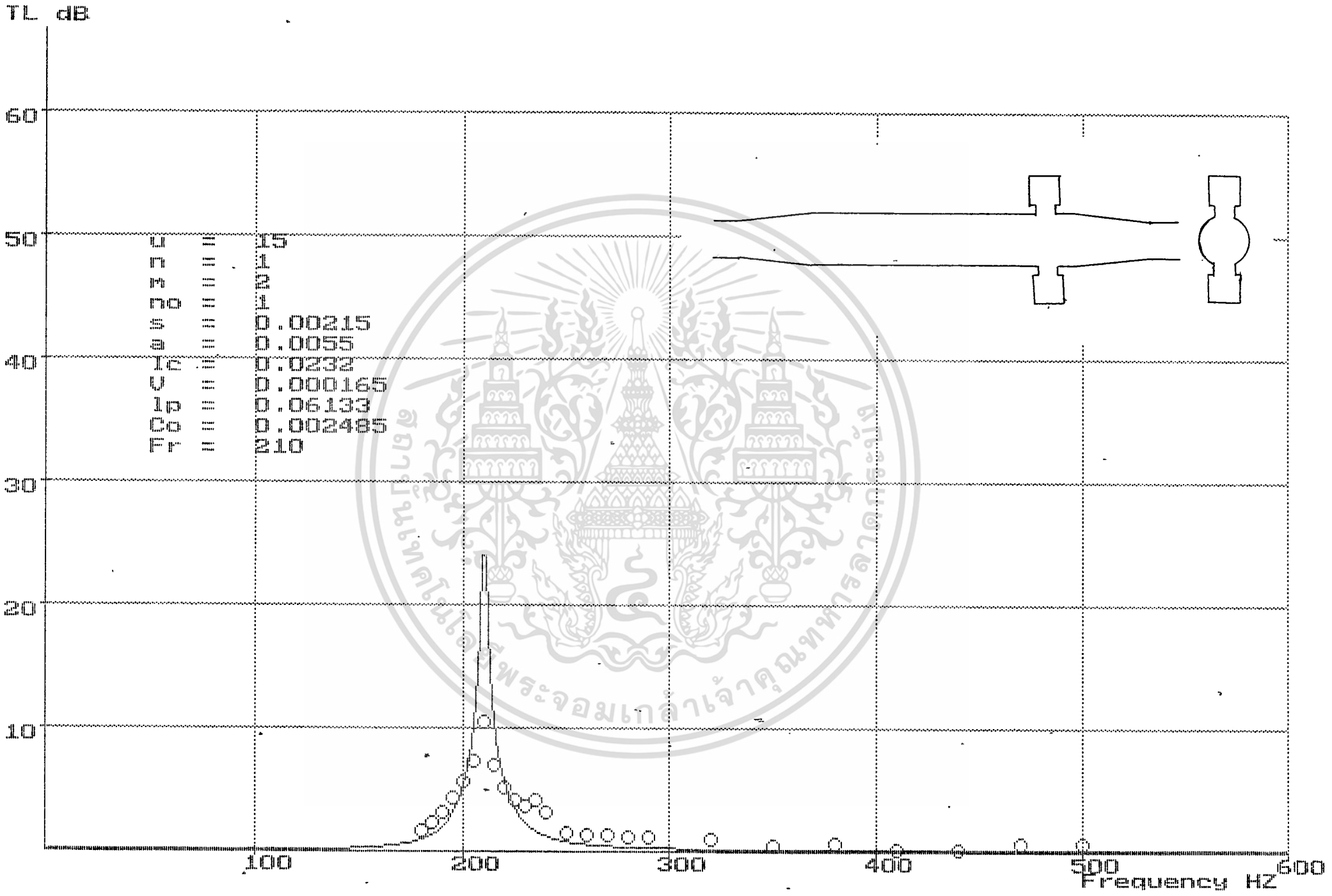
|||||

W.0000165
 W.002485
 W.0000165
 W.002330
 W.0000165
 W.000555
 W.000215





71



สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นที่ยกมาเป็นตัวอย่างและจากผลการทดลองอื่นๆ ที่แสดงไว้นั้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ท่อแบบลดมีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่าท่อแบบขยาย
2. เรโซเนเตอร์ชนิด 1 รู มีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่าเรโซเนเตอร์ชนิดหลายรู เมื่อพื้นที่หน้าตัดของ 1 รู และหลายรู (รวมกัน) เท่ากัน
3. ความเร็วลมมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดเสียงน้อยมากจนสามารถอนุมานได้ว่าไม่มีผลเลย ในย่านความเร็วลม 0 ถึง 20 เมตร/วินาที
4. เมื่อจำนวนเรโซเนเตอร์เท่ากัน การต่อเรโซเนเตอร์แบบอนุกรมมีประสิทธิภาพในการลดเสียงดีกว่าการต่อเรโซเนเตอร์แบบขนาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

- 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_c conductivity of connector between exhaust pipe and chamber, $\pi a^2 / (L_c + \rho a)$
- 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 in a multiple resonator or length of pipe between t of a combination muffler
- L_2 length of resonant chamber
- L_c one-half of effective length of connector betw expansion chamber
- L_p length of expansion chamber
- m expansion ratio ; ratio of chamber cross-sectiona exhaust-pipe cross-sectional area
- p sound pressure
- R resistive component of impedance
- S cross-sectional area
- t time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการ x ใดๆ distance coordinate measured along pipe ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X reactive component of impedance
Z impedance
 Z_0 acoustic resistance of 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
 x instantaneous displacement of a particle of the medium in which a plane acoustic wave is transmitted
 w circular frequency, $2\pi f$

Subscripts:

b branch
i incident wave
re reflected wave
tr transmitted wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ใช้คำนวณหาค่า TL

สำหรับ Helmholtz Resonator 1 ตัว

$$\begin{bmatrix} A_r & B_r \\ C_r & D_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 0 \end{bmatrix}$$

สำหรับ Helmholtz Resonator 2 ตัว

$$\begin{bmatrix} A_r & B_r \\ C_r & D_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_D & b_D \\ c_D & d_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 1 \end{bmatrix}$$

สำหรับ Helmholtz Resonator n ตัว

$$\begin{bmatrix} A_r & B_r \\ C_r & D_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_D & b_D \\ c_D & d_D \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_c & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_o & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

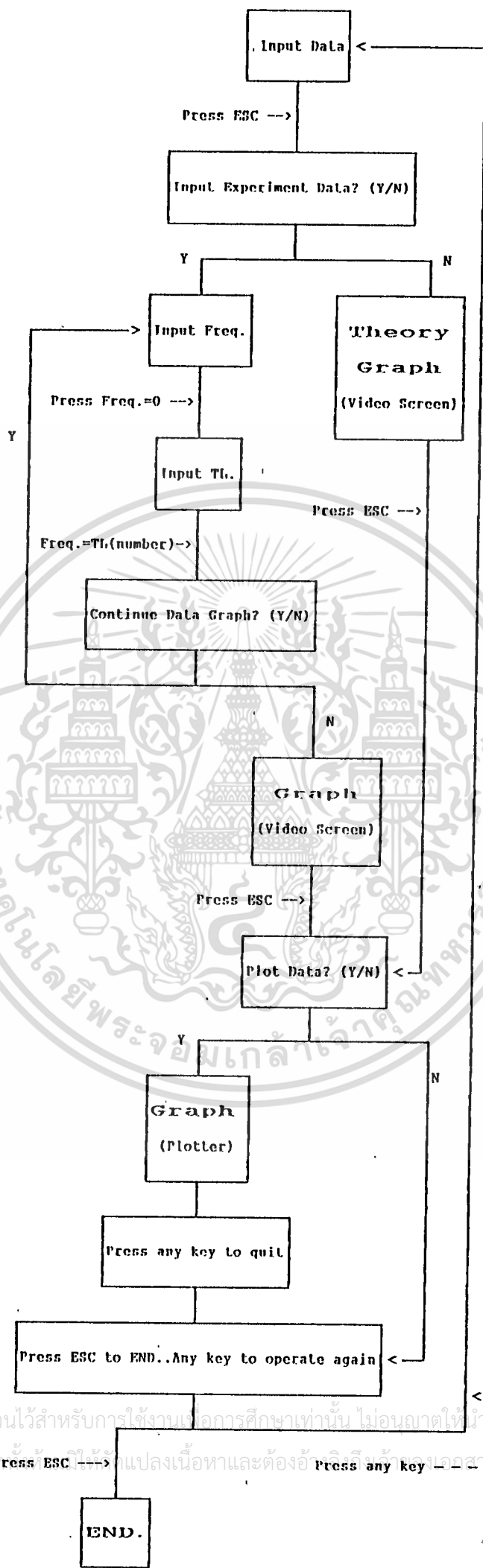
และตัวแปรที่ใช้ในสมการหาค่าการลดของเสียง มีดังนี้

$$\begin{aligned}Z_o &= \rho C/S \\Z_c &= j[(c/c_o)-(c^2/\rho V)] \\C_o &= 2a/[1+2]_o/\pi a] \\a_D &= \cos kl_D \\b_D &= j(\rho c/s)\sin kl_D \\c_{D'} &= j(s/\rho c)\sin kl_D \\d_D &= \cos kl_D \\\rho &= 2\pi f \\k &= 2\pi f/c\end{aligned}$$

นำสมการเหล่านี้ไปเขียนเป็นโปรแกรม



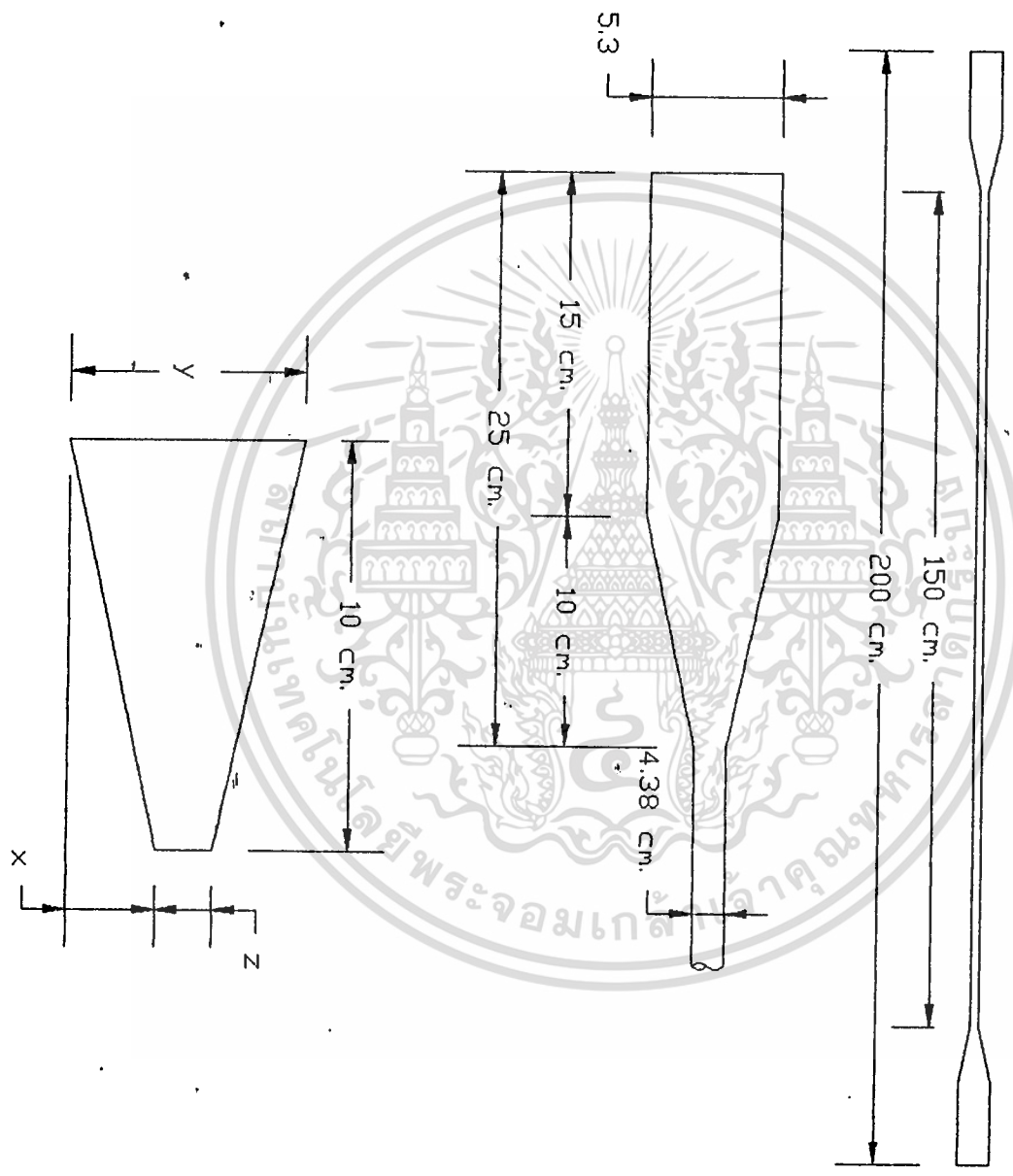
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **Press ESC** เพื่อเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

END.

การสร้างอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 1 ชั้นส่วนที่ 1

เลือกใช้มุม slope ของ Taper = 3 องศา

$$\tan 3' = x/10$$

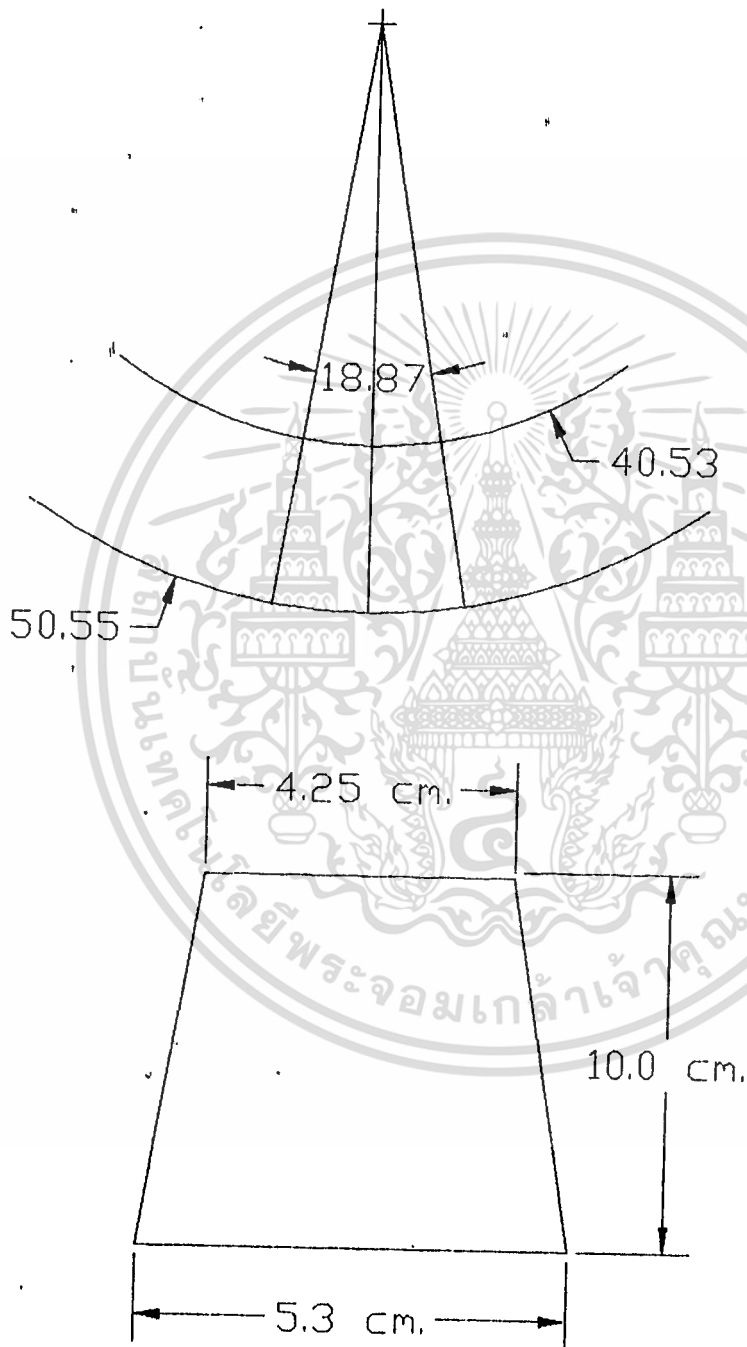
$$\begin{aligned}x &= (10)\tan 3' \\ &= (0.0524)(10) \\ &= 0.524\end{aligned}$$

$$2x = 1.05 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}z &= y - 2x \\ &= 5.3 - 1.05 \\ &= 4.25 \text{ cm.}\end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 1 ชั้นส่วนที่ 2

$$D = 53 \quad \text{mm.}$$

$$d = 42.5 \quad \text{mm.}$$

$$h = 100 \quad \text{mm.}$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{D \cdot h}{D - d} \\ &= \frac{53(100)}{(53 - 42.5)} \\ &= 504.76 \end{aligned}$$

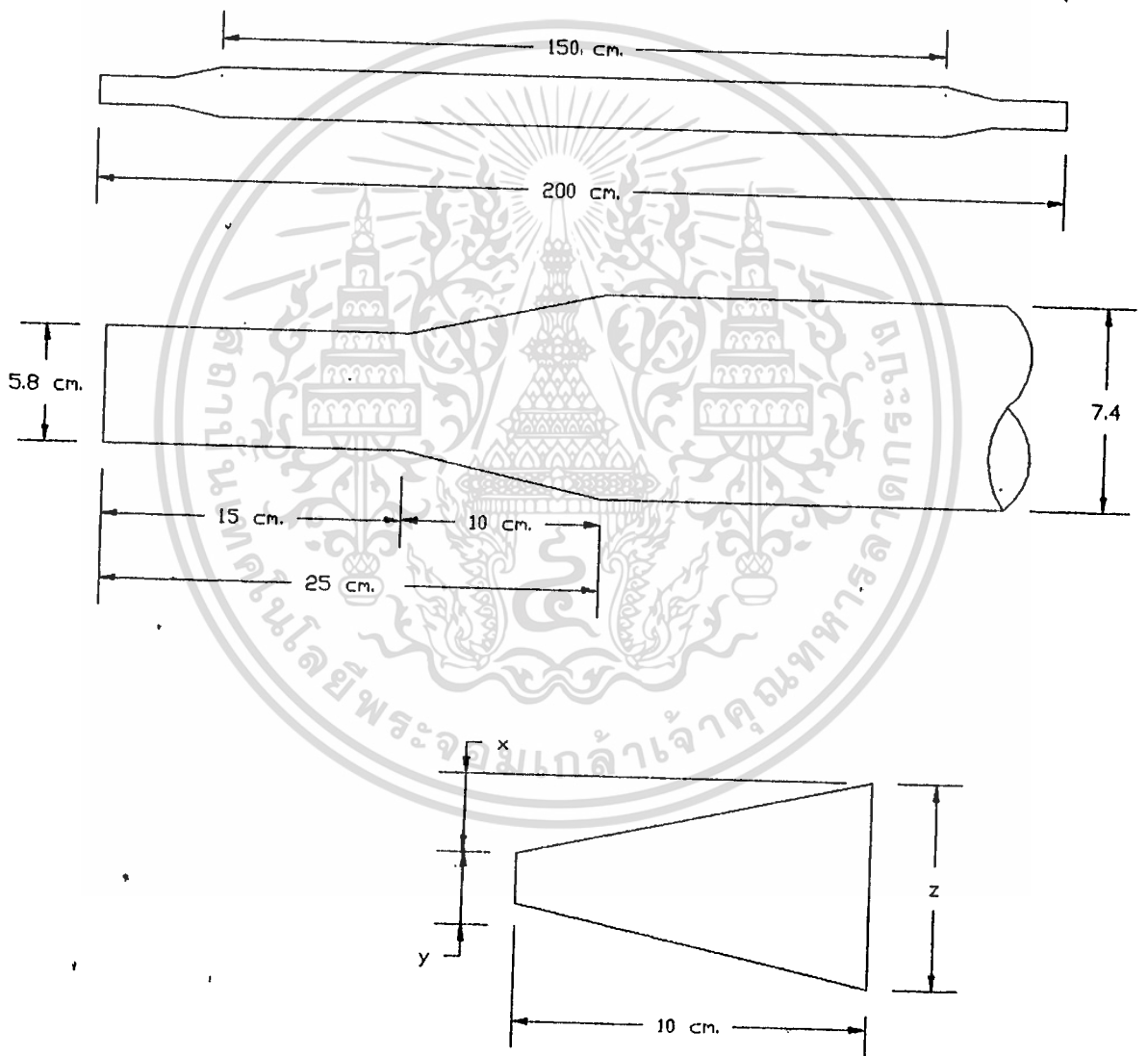
$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + H^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{53}{2}\right)^2 + (504)^2} \\ &= 505.457 \quad \text{mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{d \cdot h}{D - d} \\ &= \frac{42.5(100)}{(53 - 42.5)} \\ &= 404.76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + x^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{42.5}{2}\right)^2 + (404.76)^2} \\ &= 405.319 \quad \text{mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{D \cdot 180^\circ}{L} \\ &= \frac{53}{505.5} \cdot 180^\circ \\ &= 18.87^\circ \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ชิ้นส่วนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 2 ชั้นส่วนที่ 1

เลือกให้มุม slope ของ Taper = 3 องศา

$$\tan 3^\circ = X/20$$

$$x = (20)\tan 3^\circ$$

$$= (0.0524)(20)$$

$$= 1.048$$

$$2x = 2.096 \text{ cm.}$$

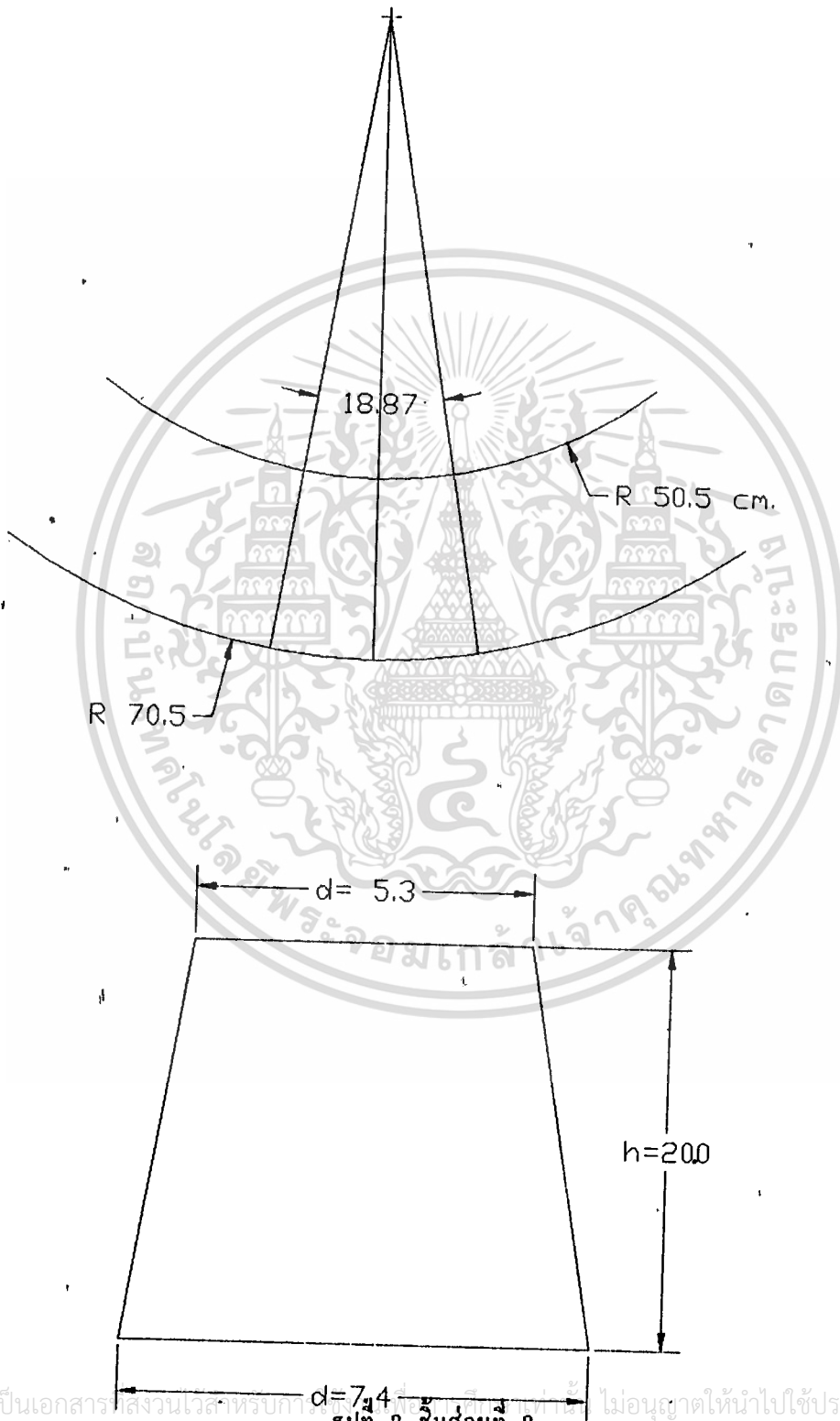
$$z = y + 2x$$

$$= 5.3 + 2.096$$

$$= 7.396 \text{ cm.}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนเวลาหรับการ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2 ชั้นส่วนที่ 2
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = 74 \text{ มม.}$$

$$d = 53 \text{ มม.}$$

$$h = 200 \text{ มม.}$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{D \cdot h}{D - d} \\ &= \frac{74(200)}{(74 - 53)} \\ &= 704.76 \text{ มม.} \end{aligned}$$

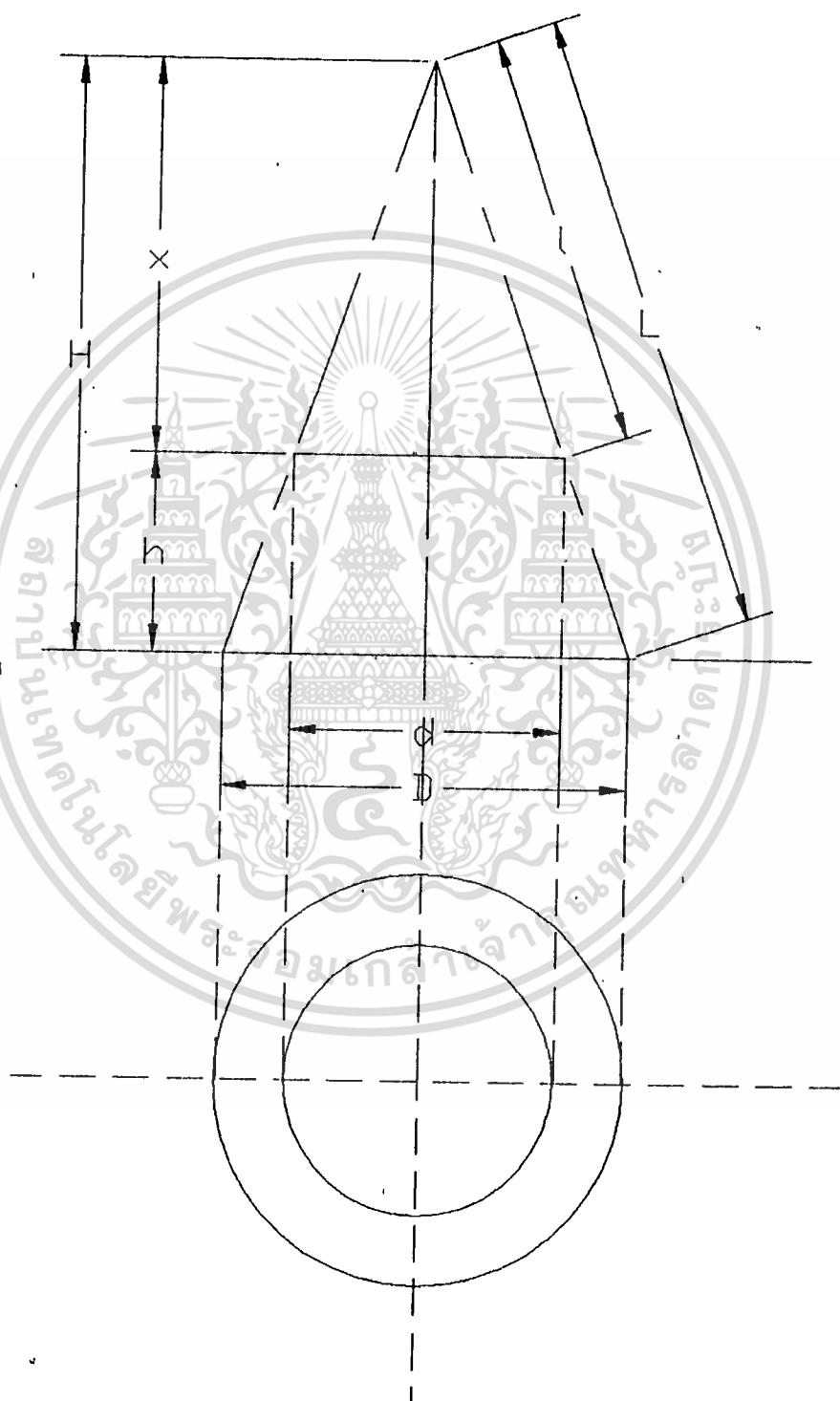
$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + H^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{74}{2}\right)^2 + (704.76)^2} \\ &= 705.732 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{d \cdot h}{D - d} \\ &= \frac{53(200)}{(74 - 53)} \\ &= 504.76 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + x^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{53}{2}\right)^2 + (504.76)^2} \\ &= 505.457 \text{ มม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{D \cdot 180^\circ}{L} \\ &= \frac{74}{705.732} * 180^\circ \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ **รูปที่ 3** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 3

$$L = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + H^2}$$

$$H = \frac{D \cdot h}{D - d}$$

$$l = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + x^2}$$

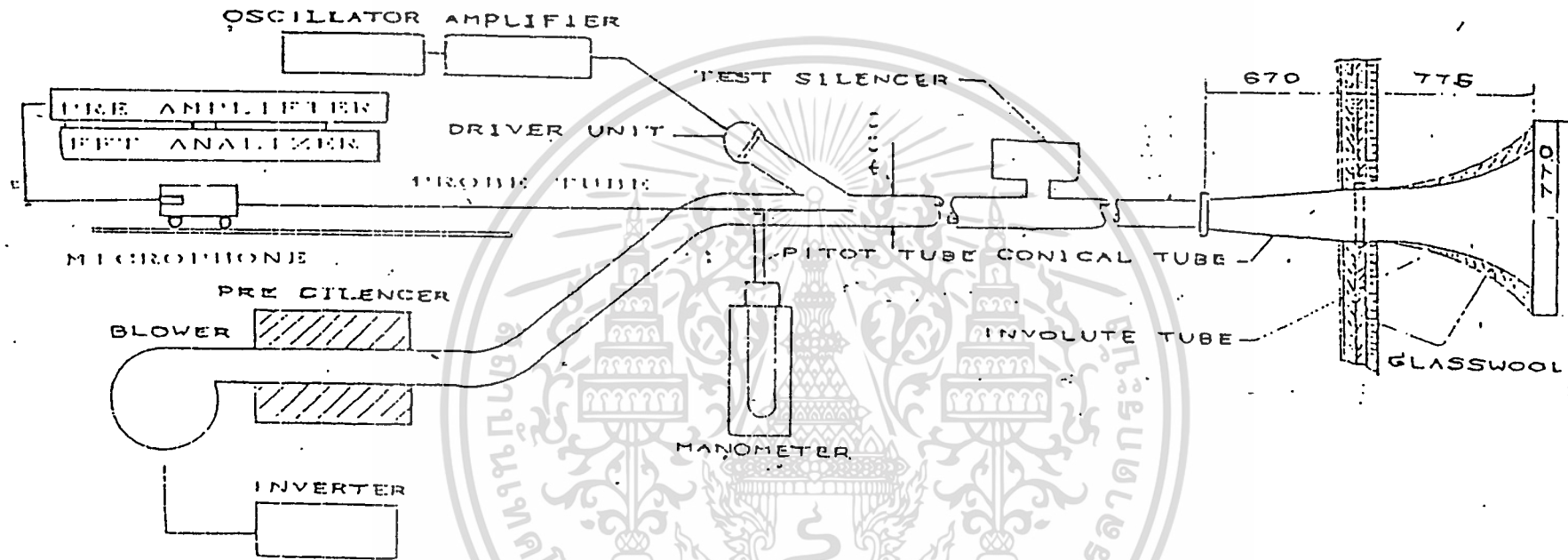
$$x = \frac{d \cdot h}{D - d}$$



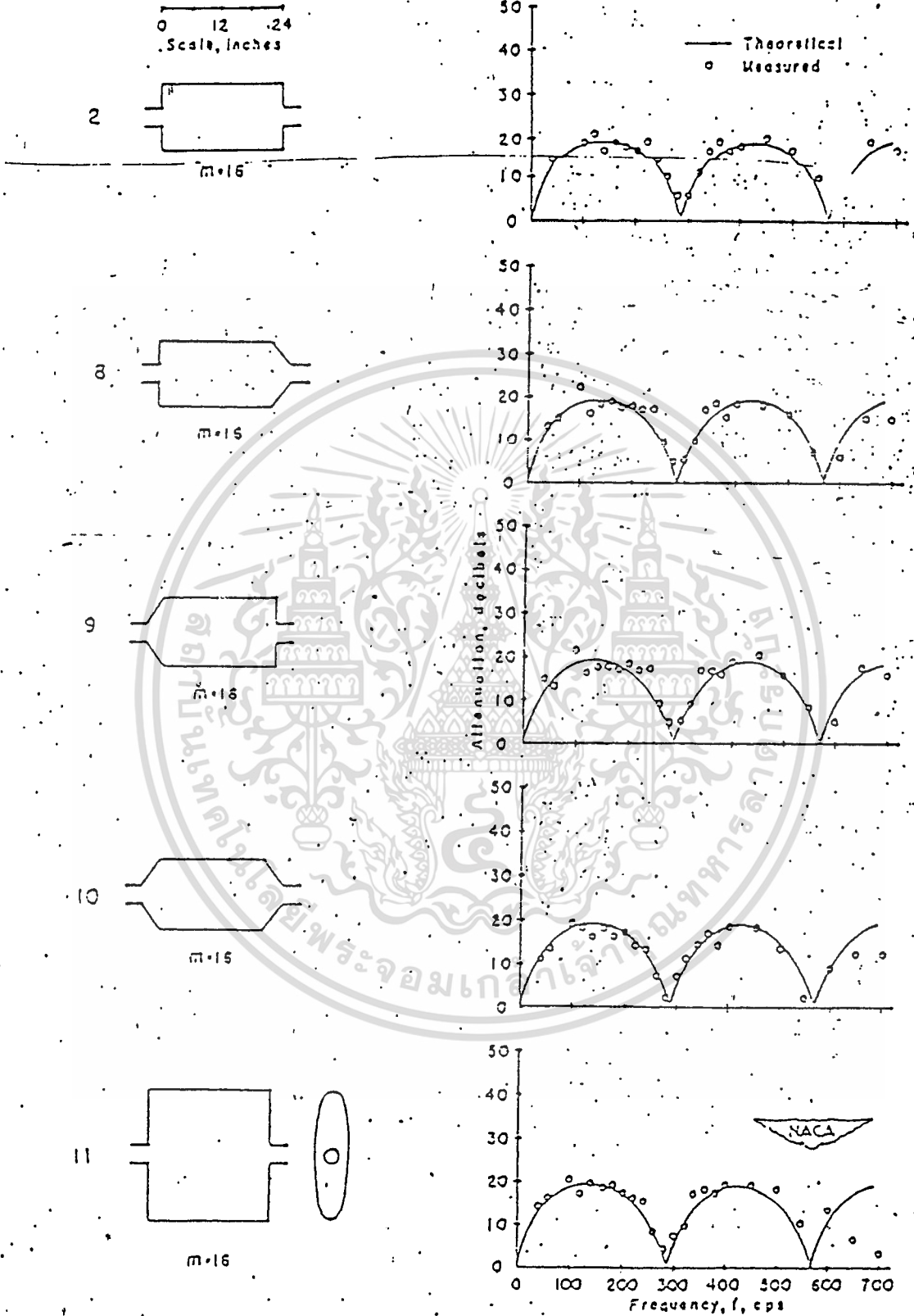
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



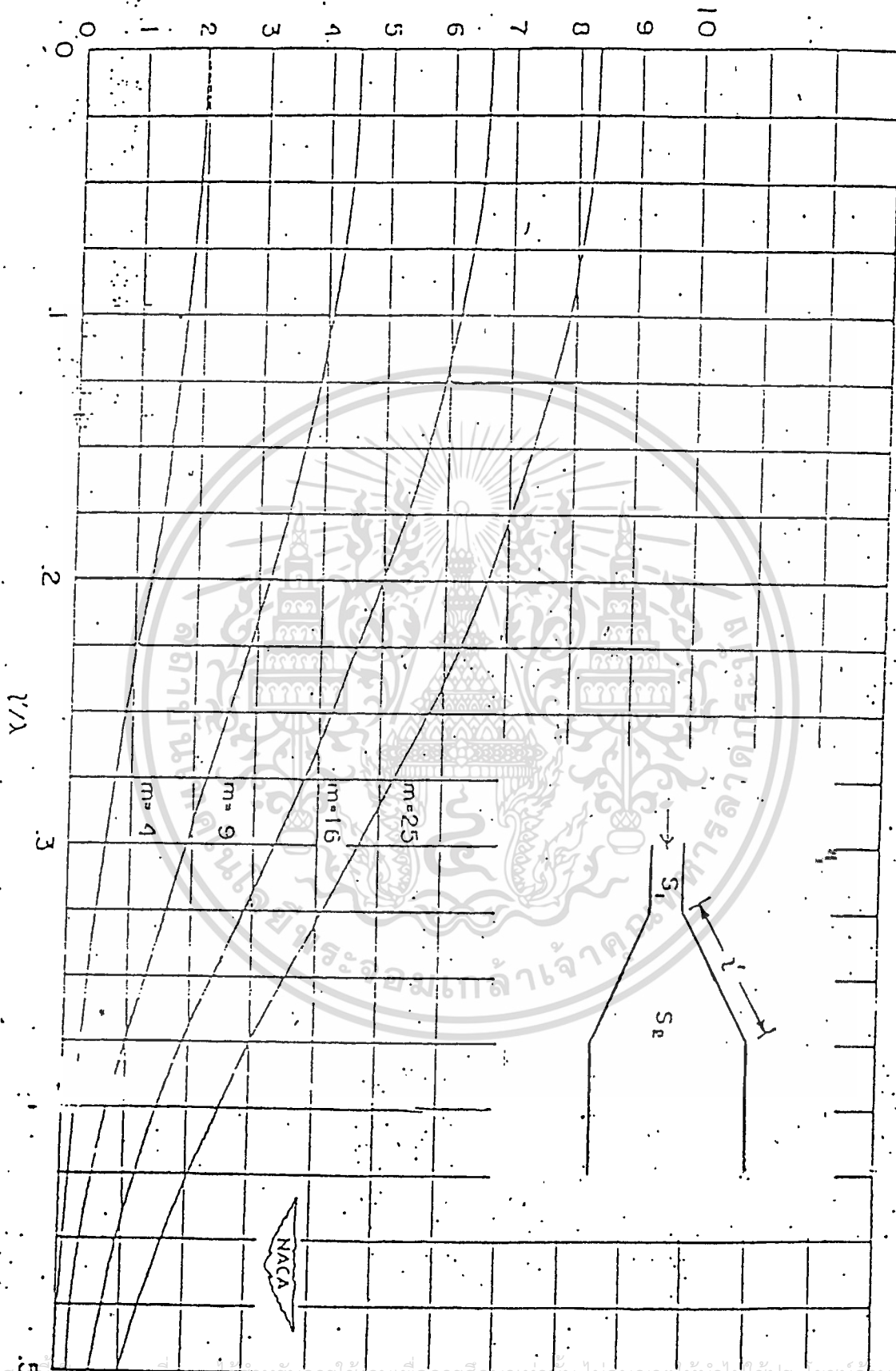
รูปการทดลอง (Schematic diagram of experimental apparatus)



(c) Effect of shape.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

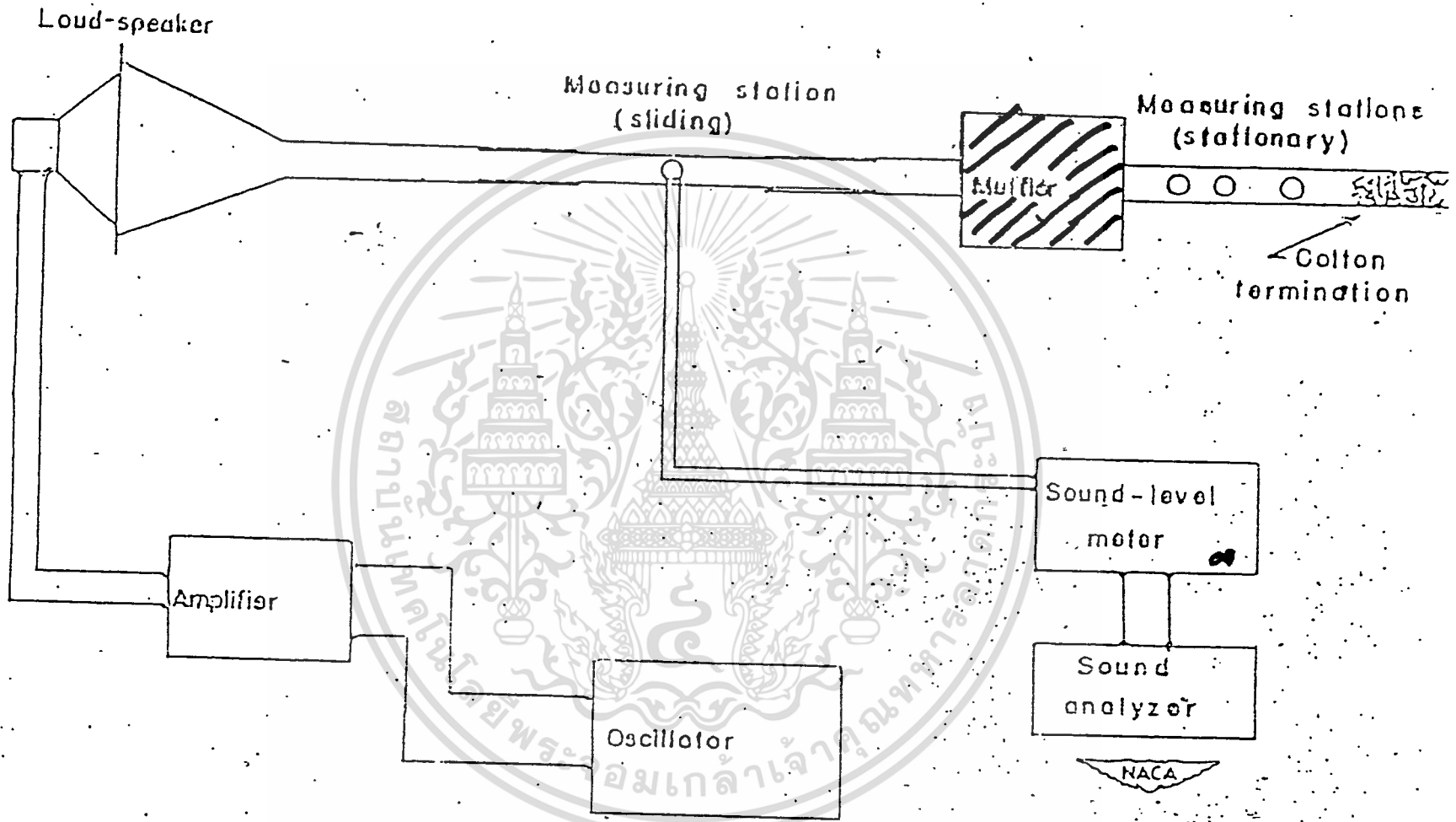
Attenuation, dB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3



Schematic diagram of experimental apparatus.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ จึงขอขอบคุณทุกๆ คน ไว้ ณ ที่นี้ ด้วย

1. ขอขอบคุณอาจารย์ฉัตรเดช สันตุภัก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำรวมทั้งช่วยส่งข้อมูลกรณีในการทำโครงการจากต่างประเทศ
2. ขอขอบคุณพี่บุญชัย ศิลปกิจวงศ์กุล ที่เป็นที่ปรึกษารวม คอยให้คำแนะนำในทุกๆ เรื่อง สำหรับโครงการนี้
3. ขอขอบคุณพี่มณฑา เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำอุปกรณ์การทดลอง
4. ขอขอบคุณพี่โชน ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านโปรแกรม
5. ขอขอบคุณนิภาภรณ์ ศิริพล เพื่อนที่แสนดีที่คอยรับ ส่ง ตอนทำการทดลอง เก็บข้อมูล รวมทั้งช่วย เป็นกำลังใจด้วย
6. ขอขอบคุณ "นุ่น" ที่มาช่วยเฝ้าตัวอาร์ และเป็นกำลังใจ จนงานสำเร็จ
7. ขอขอบคุณตัวเอง ที่ทำโครงการนี้จนสำเร็จลุล่วง

อาทิตย์า ศรีสาศร

อุทัย ประสพโชค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Copens, Jane 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. Stevens , D. moore and
G.M Stokes , " thoretical without Flow , with comments on
Engine-Exhaust Muffler Design " , NACA Rep., No. 1192(1954)
, 827.
4. Department of Mechanical Engineering Tokai University
, " Papers in Tranmission Loss of Expansion-Chamber
silencers with Inserted Tubes and Tapered Sections "

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้