Effect of Flow on Transmission loss characteristics of Helmholtz Type Resonator

Mr. Akradech Sindhuphak*

Mr. Boonchai Silapakijwongkul**

Mr. Shuntro Murakami***

Mr. Minoru Maeda***

Mr. Sunni Hagi***

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงให้เห็นถึงผลของความเร็วลมในท่อต่อเครื่องระงับเสียงแบบHelmholtz จากการทดลอง เมื่อความเร็วในท่อมากกว่า 20 m/s ,Connector length ลดลง, Conductivity เพิ่มขึ้น และเสียงไม่เพียงแต่ลดลง แต่ยังเคลื่อนไปในย่านความถี่สูงด้วย

Abstract

This paper show the effect of mean flow velocity in pipe to the transmission loss of Helmholtz resonator. From the experiments as the mean velocity of flow in pipe is increased more than 20 m/s , connector length decreased , conductivity increased and the transmission loss not only fall but also shifts toword higher frequency region.

* Mechanical Engineering Department,Faculty of Engineering ,King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang.

** Master Degree student Mechanical Eng.Dept. ,Faculty of Eng. ,KingMongkults Institute of Technology Ladkrabang.

*** Mechanical Engineering Dept. , Faculty of Eng. , Tokai University.

1.บทนำ

Helmholtz resonator เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียง เช่นในระบบท่อไอเสียรถยนต์ และในการออกแบบอุปกรณ์ดังกล่าว ต้องใช้ทฤษฎีคำนวนหาค่าการลดเสียงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ Resonance เรียกว่า Transmission loss

การวัดค่า Transmission loss ของเครื่องระงับเสียงแบบ Helmholtz เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องระงับเสียงแบบ Helmholtz จากผลการทดลองเครื่องระงับเสียงที่ปราศจากความเร็วลมในท่อพบว่าค่า Conductivity และขนาดของ Connector length ในเวลาต่อมาก็ได้มีการวิเคราะห์ผลของความเร็วลม ในลักษณะของการทดลองแบบ Single Resonator ซึ่งพบว่าความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่คุณสมบัติของเครื่องระงับเสียงแบบ Helmholtz และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี

2.ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวนหาค่า Transmission loss

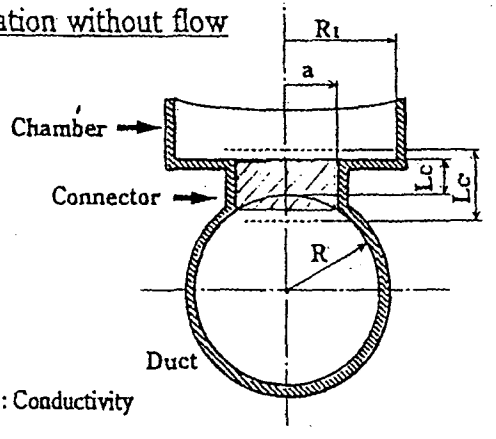
ในการทดลองหาคุณสมบัติของเครื่องระงับเสียงนี้เราใช้เครื่องระงับเสียงเพียง 1 เครื่อง ซึ่งใช้สมการ แสดงค่า Transmission loss จาก Davis' Equation ซึ่งคำนวณโดยใช้ Acoustical effective length (Lc') กรณีไม่มีความเร็วลม และ Actual length(Lc'M) กรณีมีความเร็วลมซึ่งจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยที่สุดก็เท่ากับ Connector length (Lc) และ Conductivity(Co),กรณีไม่มีลม,(CoM),กรณีมีลม และตัวแปรอื่นๆดังสมการข้างล่างนี้

Transmission–loss equation without flow

$$TL=10Log\left|1+\left|\frac{\frac{\sqrt{C_0V}}{2S}}{\frac{f}{f_r}-\frac{f_r}{f}}\right|^2\right|$$

$$f_r=\frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{C_0}{V}}$$

$$C_0=\frac{\pi a^2}{Lc'}=\frac{\pi a^2}{Lc+\beta a}$$



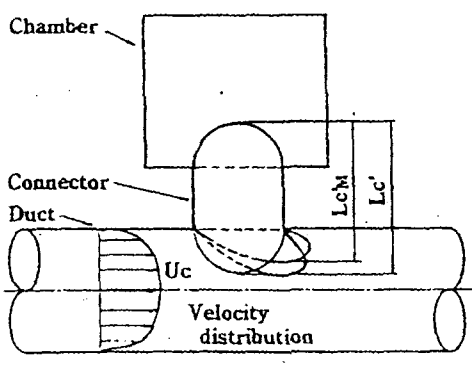
f_r : Resonant frequency , Co : Conductivity
Lc':Acoustical effective length
β : Correction coefficient of connector length

รูปที่ 1 แสดง Connector length และ สมการขณะไม่มีความเร็วลม

Transmission–loss equation with flow

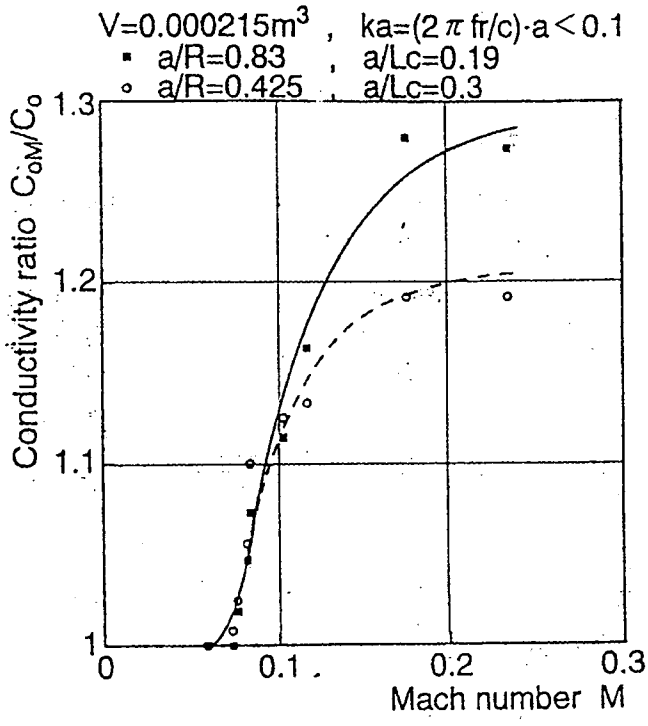
$$TL=10\,Log\left|1+\frac{(1-M^4)^2+\frac{16}{3\pi}\frac{(1-M^2)SM}{N\pi a^2}}{\left(\frac{8}{3\pi}\frac{SM}{N\pi a^2}\right)^2+\left|\frac{2S}{\sqrt{C_{oM}V}}\right|^2\left|\frac{f}{f_r}-\frac{f_r}{f}\right|^2}\right|$$

$$M=\frac{U}{c}\ ,\ \overline{M}=\frac{\overline{U}}{c}\ ,\ \overline{U}=U_c\left\{\frac{2a}{3d}\right\}^{\frac{1}{7}}$$



N : Number of connector, c : Sound velocity
U : Mean flow–velocity , $\overline{U}$: Flow–velocity near connector
Uc : Central flow–velocity, M : Mach number

รูปที่ 2 แสดง Connector length และ สมการขณะมีความเร็วลม

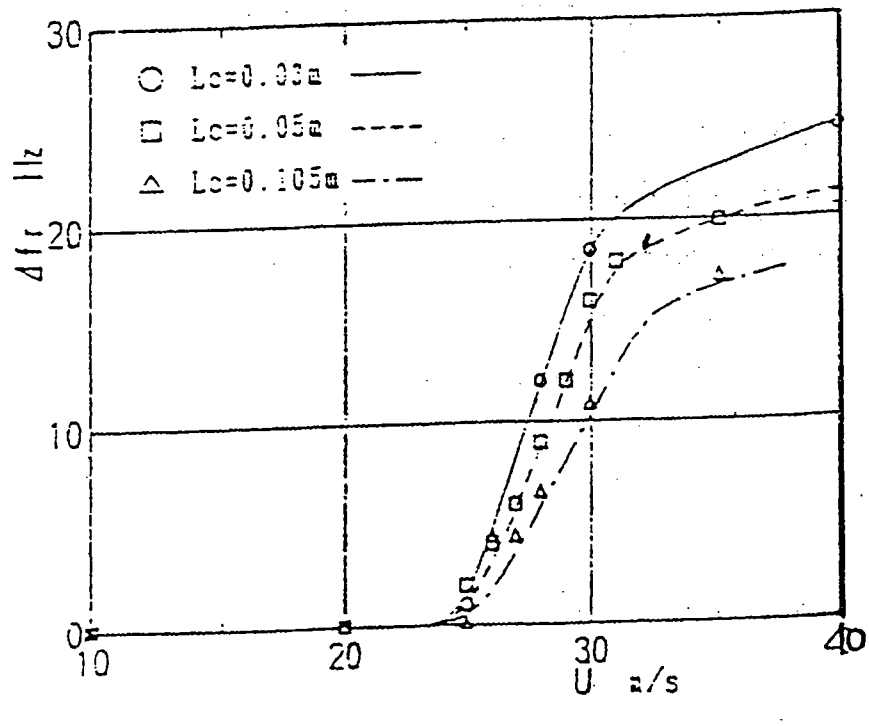


รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับ Conductivity

จากรูปที่ 3 ที่ Lc = 0.05 m. จะได้

$CoM = Co \times 130.3M^3 - 68M^2 + 12.145\,M + 0.448$

$Lc'M = \pi a^2 / CoM$



รูปที่ 4 แสดงการเคลื่อนตัวของความถี่ Resonance กับความเร็วลม

จากรูปที่ 4 ที่ Lc = 0.05 m. จะได้

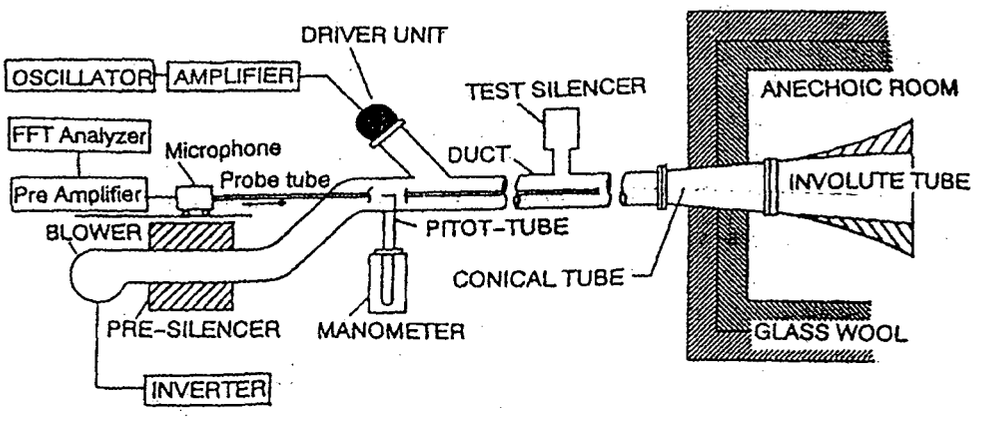
$\Delta fr = 9.14 \times 10^{-3} U^3 - 1.043U^2 + 39.773\,U - 486.59$ ที่ $26 > U < 34$

และ $\Delta fr = 2.083 \times 10^{-3} U^3 - 0.2625U^2 + 11.217\,U - 140.8$ ที่ $U > 34$

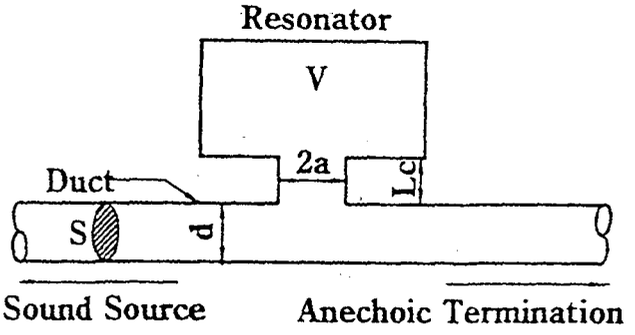
ถ้า U >60 ใช้ค่า U ที่ 60 m/s

3.วิธีการและวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการแสดงค่าต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ



รูปที่ 5 แสดงการต่ออุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบที่ใช้ในการคำนวณของ Resonator

3.1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ท่อเหล็กนำเสียงกลม D = 48 mm. , S = 0.00181 m^2
- เครื่องระงับเสียง(Resonator) 1 pcs

  ปริมาตรของ Resonator V = 0.00022 m^3

  Connector length Lc = 0.05 m

  รัศมี connector a = 0.015 m
- Blower ให้ความเร็วลม 0 - 80 m/s
- Inverter range 0 - 60 Hz
- Driver Unit
- Oscilator ความถี่ 150 - 400 Hz
- Amplifier
- Involute tube
- Connical tube
- Pilot tube วัดความเร็วลมในช่วง10 - 80 m/s
- Manometer

วิธีการทดลอง

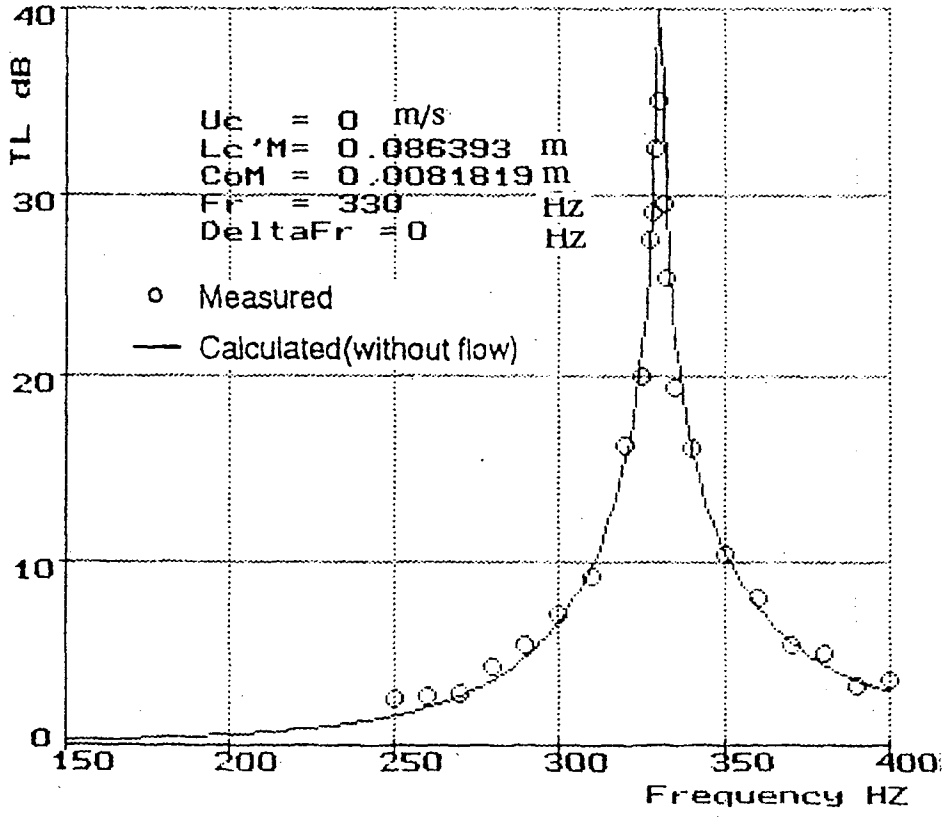
จากรูปที่ 5 เมื่อป้อนสัญญาณความถี่ใดความถี่หนึ่ง จาก Oscilator ผ่าน Amplifier ผ่าน Driver Unit ในระบบท่อ จะมีเสียงที่ความถี่นั้นๆในระบบท่อ เราใช้ไมโครโฟน วัดผ่าน Prov - tube ที่ตำแหน่งสูงสุด เข้าและออกจากตัว Resonator บันทึกผลการทดลอง และเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อยๆ จาก 150 - 400 Hz

4. ผลการทดลอง

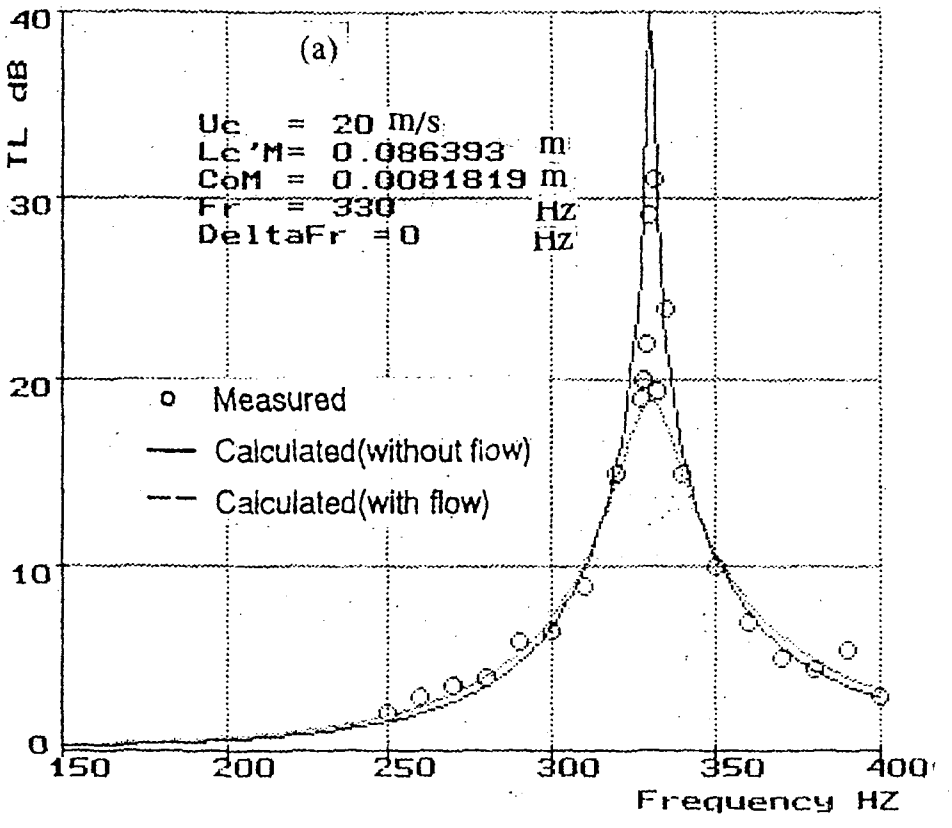
รูปที่ 7 แสดงผลการทดลองของเสียงที่ลดลงของเครื่องระงับเสียงแบบ Helmholtz เมื่อความเร็วลมในท่อ ค่า Conductivity จะมีค่าต่ำสุด ความถี่ที่ได้จากการคำนวนจะทับกัน เพราะ effective length(Lc') เท่ากับ Actual length ($Lc'M$)

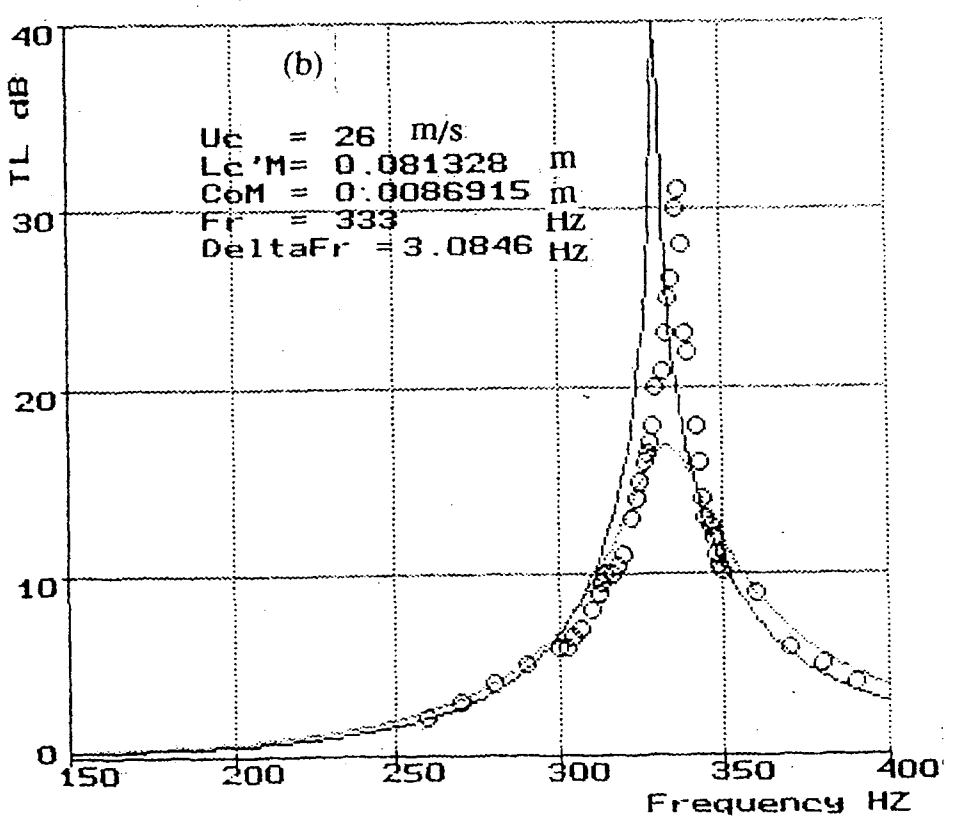
รูปที่ 4 (a) - (f) แสดงลักษณะของเสียงที่ลดของเครื่องระงับเสียงแบบ Helmholtz 1 เครื่องเมื่อมีความเร็วลมในท่อ

จากการทดลอง เมื่อมีความเร็วลมในท่อ 20 m/s จะมีผลน้อยมากต่อ Resonator และ $Lc' = Lc'M$ Peak frequency ไม่เปลี่ยนแปลง ($\Delta fr=0$)แต่เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 26 m/s ถึง 80 m/s จะมีผลต่อ Resonator แบบนี้มาก โดยเฉพาะที่ความเร็วลมสูงๆ เช่น 80 m/s รูป 4 (f) $Lc'M = Lc$ และ Δfr จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นถึง 37.22 Hz

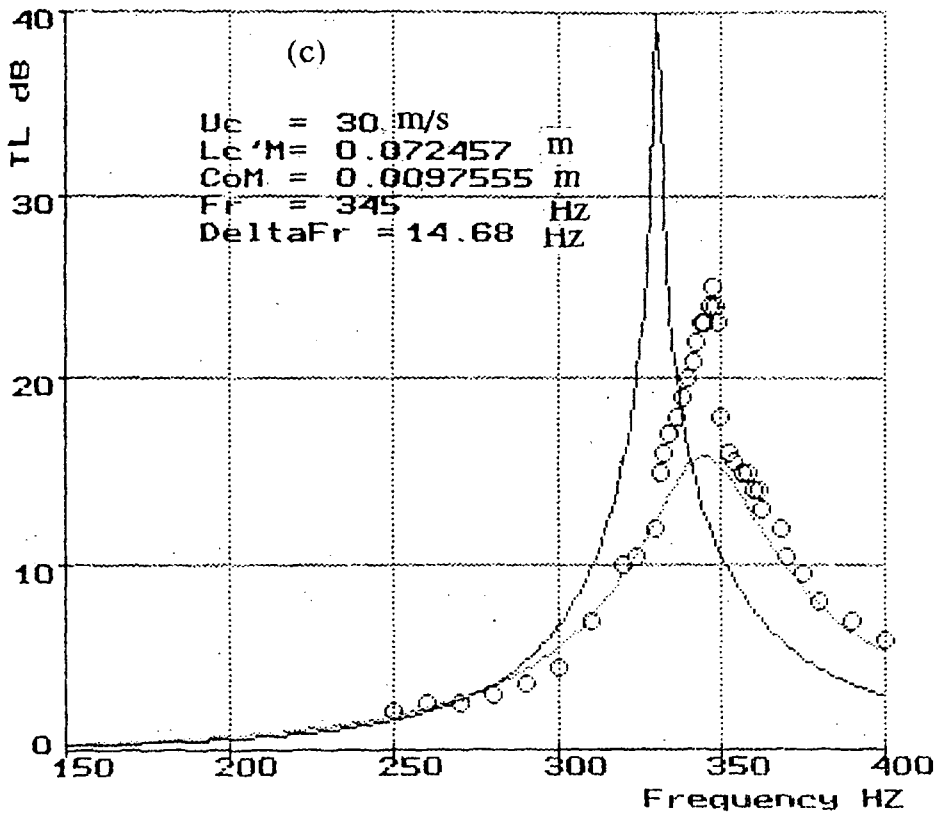


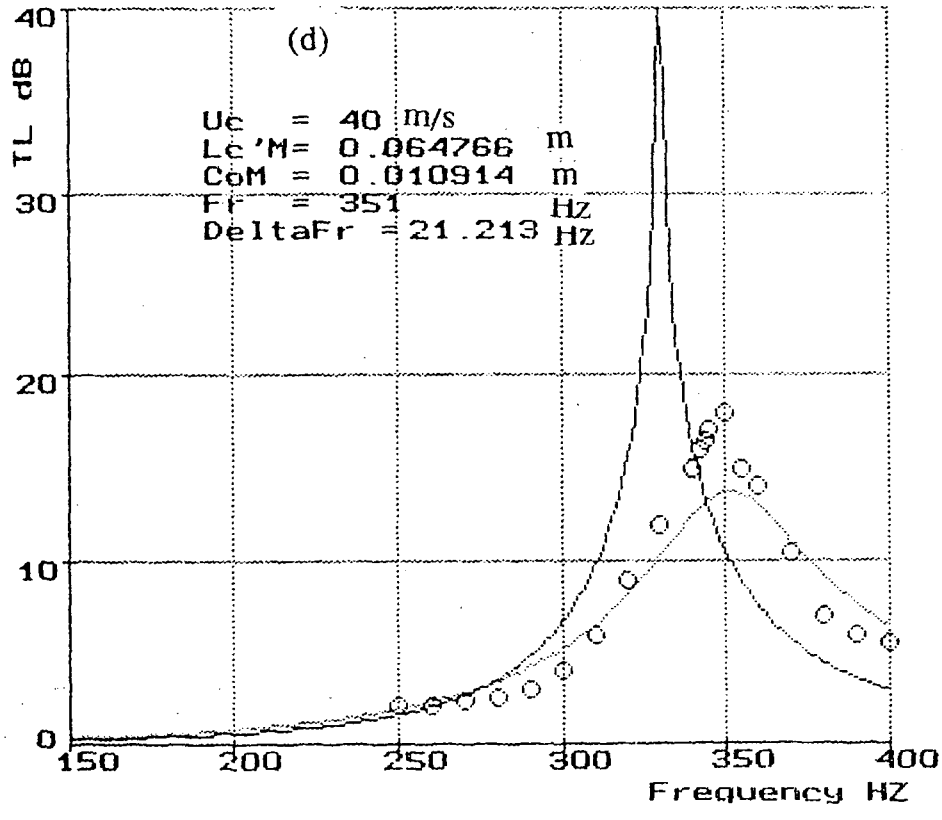
รูปที่ 7 Transmission loss characteristic of single resonator with out flow



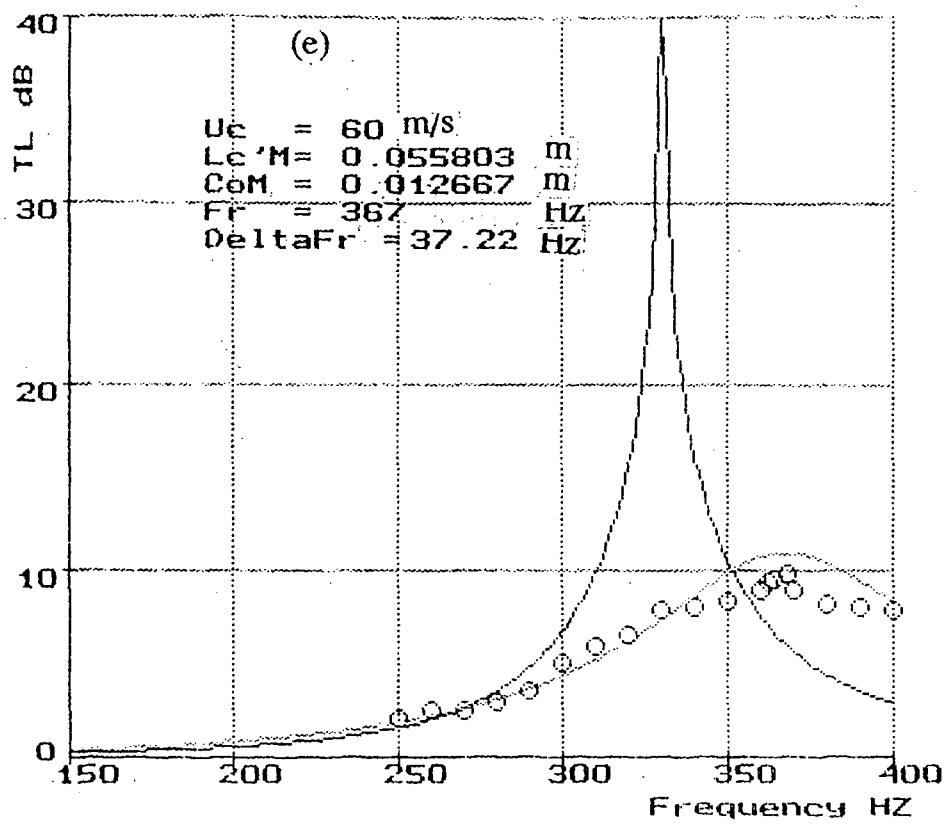


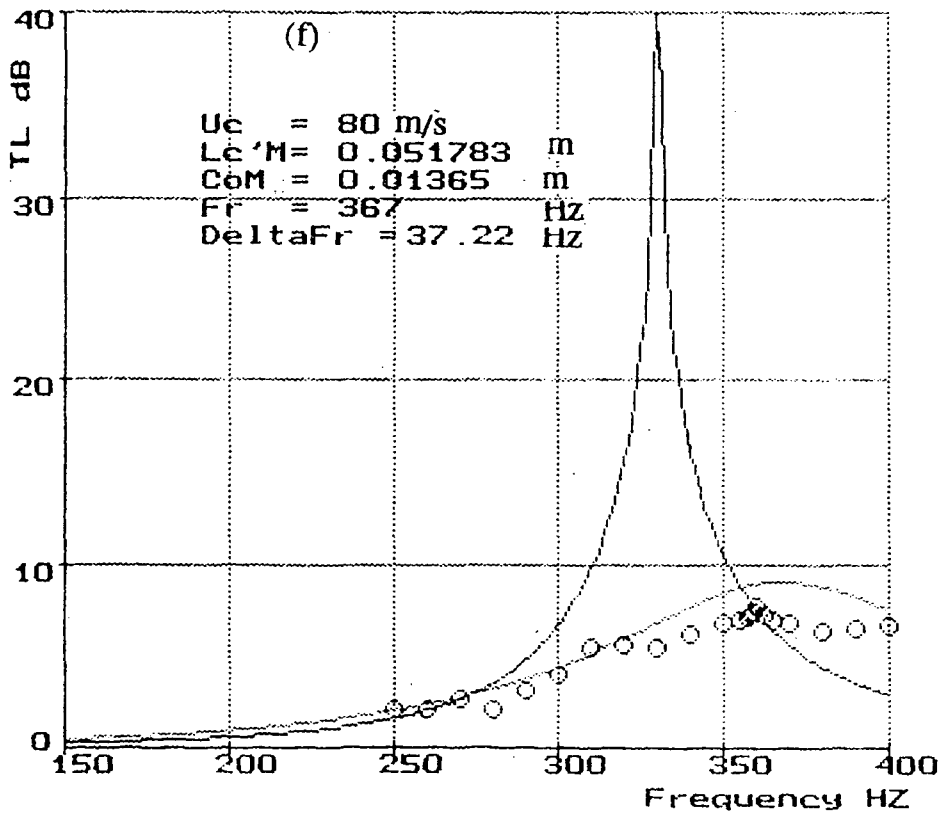
รูปที่ 8(a,b) Transmission loss characteristic of single resonator with flow





รูปที่ 8(c,d) Transmission loss characteristic of single resonator with flow





รูปที่ 8(e,f) Transmission loss characteristic of single resonator with flow

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่า TL. ใน Single Resonator สามารถสรุปผลการทดลองดังนี้

1) ค่า Conductivity(CoM)ขึ้นอยู่กับความเร็วลมตั้งแต่ 26 m/s ขึ้นไป และที่ความเร็วลมสูงขึ้น ค่า CoM จะมากขึ้นด้วย

2) ค่า Actual lengh ($Lc'M$) จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วลมต่ำกว่า 20 m/s และมีค่าเท่ากับ Effective length (Lc') และ ค่า Actual length ($Lc'M$)จะน้อยลงที่ความเร็วลมสูงขึ้น เช่น 80 m/s ค่า $Lc'm = Lc$

3) ค่า Δfr จะมีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วลมสูงขึ้น

4) ค่า TL.ที่คำนวนหาได้จากสมการที่มีความเร็วลม เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงพบว่าค่าที่ได้จากสมการจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง.

Reference

(1) A.Sindhuphak,S. Boonchai ,S.Hagi , S. Murakami, M.Meada, 9 th Mechanical Eng. Symposium(1995)