

## คุณลักษณะของเครื่องลดเสียงแบบ Single Side-Branch (Acoustical Characteristic of Single Side-Branch Resonator)

พงษ์ศักดิ์ คำมูล และ อัครเดช สินธุภัก

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

โทร (02)326-9987 Ext.101 , โทรสาร 02-3269053 , E-mail :kkpongsa@kmitl.ac.th

Pongsak Kummool and Akraddech Sindhuphak

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King-Monkut Institute of technology Ladkabang

Bangkok 10520, Thailand

Tel : (662)326-9987 Ext.101 , Fax : 02-3269053 , E-mail :kkpongsa@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

เสียงเป็นมลภาวะชนิดหนึ่งได้มีการศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับการลดเสียงหลายรูปแบบ Side-Branch resonator เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการลดเสียง ค่าความสามารถในการลดเสียงพิจารณาจากค่า Transmission Loss (TL) การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาหาความสามารถในการลดเสียงจากการใช้ Single Side-branch ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยอาศัยท่อนำคลื่นเสียงระหว่างท่อกลมกับท่อสี่เหลี่ยมเปรียบเทียบกับความถี่ตั้งแต่ 0-3600 Hz ผลจากการทดลองเป็นไปตามผลจากการคำนวณทางทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้นแบบมิติเดียว แต่มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีเล็กน้อย ความยาว รูปทรงของ Side-Branch และชนิดของท่อนำเสียงมีผลต่อการเก็บเสียงที่แตกต่างกัน

### Abstract

Noise is a pollution which has been continuously studied and researched in many methods to reduce it. Side-Branch resonator is one equipment that can be done by analysis of Transmission loss.(TL) This research was done for study the noise reduction by Single Side-Branch which its volume was exchanged and then compared the result at 0-3600 Hz frequency between square and round for the main duct tube. The result is according to The basis one dimension linearized theory and has a little bit smaller value. Length shape of the side-branch and the main duct tube type are effected to the different noise reduction

### 1. บทนำ

ปัญหาเสียงรบกวนที่มีต่อมนุษย์เป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งที่ต้องการการปรับปรุงและแก้ไขให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เสียงรบกวนต่าง ๆ เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลเสียต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก มีผลต่อร่างกาย และจิตใจของมนุษย์ทั้ง

ในทางตรงและทางอ้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดการสูญเสียในการรับฟัง ลดประสิทธิภาพในการทำงาน ทำให้เกิดความรำคาญและความเหนื่อยล้า Side - branch resonator [1] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียงชนิดหนึ่ง หลักการทำงานแบบนี้จะคล้ายกับHelmholtz resonator คือ การสะท้อนคลื่นเสียง ณ จุดนี้ตัว Resonator ติดตั้งอยู่ในท่อนำเสียงหลัก ให้กลับป้อนทางด้านแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับสูงสุด ณ ความถี่ค่าหนึ่ง เราเรียกว่าความถี่กำทอน (Resonance Frequency) ผลที่ได้จากการทดลองของความเข้มเสียงหลังผ่านตัว Side - branch ในท่อนำเสียงหลักด้านตรงข้ามแหล่งกำเนิดเสียง เมื่อเทียบกับความเข้มเสียงก่อนเข้า Side - branch ในด้านแหล่งกำเนิดเสียงเราเรียกว่า Transmission Loss (TL) การศึกษาคุณลักษณะของ Side - branch นี้เราจะมาศึกษาจากค่า Transmission Loss โดยจะศึกษากรณีที่ปริมาตรของเครื่องลดเสียงนี้มีการเปลี่ยนแปลงไป ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยที่ทำวิจัยเกี่ยวกับการลดเสียงที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเช่น Acoustical Performance of Helmholtz's type Resonators [2] ,การศึกษาสมรรถนะของเครื่องลดเสียงชนิดHelmholtz[3],จากการศึกษาพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลกระทบกับค่า Transmission Loss แล้วจึงนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีว่าสอดคล้องกันหรือไม่เพื่อจะได้นำไปพัฒนาการออกแบบ Side - branch ขนาดต่าง ๆ ตามความเหมาะสมที่ย่านความถี่ที่ต้องการ

### 2. ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณ

ในการพิจารณาทางทฤษฎี เสียงได้ถูกสมมุติว่าถูกส่งไปในท่อในสถานะคลื่นมิติเดียว (Plane wave) จนถึงจุดต่อซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของท่อทำให้หน้าคลื่นเปลี่ยนแปลง เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นตกกระทบบางส่วนกลับไปยังแหล่งกำเนิด ส่วนคลื่นที่เหลือจะผ่านทะลุจุดต่อออกไป ค่าการลดเสียง Transmission Loss (TL) ของ Resonator เป็นการประเมินค่าการเก็บเสียงอันเนื่องมาจากอัตราส่วน

ของพลังงาน คลื่นเสียงที่เข้าไปใน Resonator กับพลังงานคลื่นเสียงที่  
ส่งออกมาจาก Resonator

ในการหาสมการ TL กำหนดให้อยู่ในหัวข้อดังนี้ [4]

1. ความดันของเสียงมีค่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความดันเฉลี่ยในระบบ
2. ไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงที่ปลายท่อ
3. Phase of sound wave ที่ผ่านเข้าไปในท่อมืดค่าคงที่
4. ผนังท่อ , ข้อต่อท่อและห้องเก็บเสียงไม่เป็นสื่อในการส่งพลังงานเสียง
5. ไม่คิดผลที่เกิดจากความหนืด

$$TL = 10 \log \frac{\text{Average incident sound power}}{\text{Average transmitted sound power}} \quad (1)$$

$$\text{Average sound pressure} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 S |A|^2$$

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ , kg/m<sup>3</sup>

$C$  = Sound velocity  $\approx 340$  m/s

$\omega$  = Angel frequency , rad/sec (2 $\pi$ f)

$S$  = พื้นที่หน้าตัดของท่อ , m<sup>2</sup>

$A$  = Displacement amplitude

ถ้าสมมุติว่าเสียงที่ลุดระหว่างจุด 2 จุด (1และ2) โดยที่ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อเท่ากันและไม่มีการสะท้อนของเสียงที่ตำแหน่งที่ 2 จากสมการที่ 1 จะได้

$$TL = 10 \log \left| \frac{A1}{A2} \right|^2 \quad (2)$$

สมการ matrix ของท่อตรงที่ไม่มี resonator .



รูปที่ 1 แสดงคุณลักษณะของท่อตรง

$$\begin{bmatrix} p_i' \\ U_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_t' \\ U_t' \end{bmatrix} \quad (3)$$

เพราะว่า  $U_t = 0$  ,  $U_t' = 0$

ดังนั้น  $U_i = C p_t$  และ  $U_i' = C p_t'$

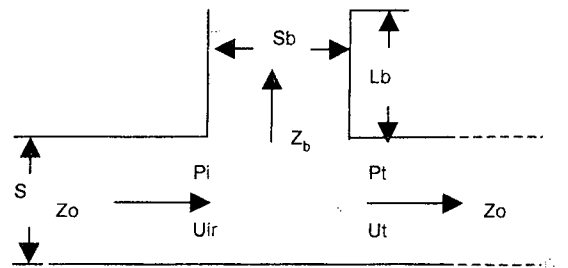
สมมุติให้ Volume Velocity ที่ทางเข้าของท่อมืดค่าคงที่

ดังนั้น จากสมการ (3) จะได้

$$p_t' / p_t = C / C' = C / \left( \frac{2S}{\rho c} \right)$$

$$\therefore TL = 10 \log \left| \frac{\rho c C}{2S} \right|^2 \quad (4)$$

สมการที่ใช้หาค่า TL สำหรับ Side-Branch Resonator  
เป็นการหาค่า "C" ในสมการ Matrix



รูปที่ 2 แสดงคุณลักษณะของ Side-branch Resonator

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_b} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_0} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

เมื่อ A, B, C, D = 4 terminal constant

$$Z_0 = \frac{\rho c}{S}$$

$$Z_b = -j \frac{\rho c}{S_b} \cot K L_b$$

แทนค่า  $Z_0$  ,  $Z_b$  ในสมการ 5 คำนวณค่าคงที่ C ได้

$$C = \frac{2S}{\rho c} + Z_b$$

จาก (4) ค่า Transmission loss คือ

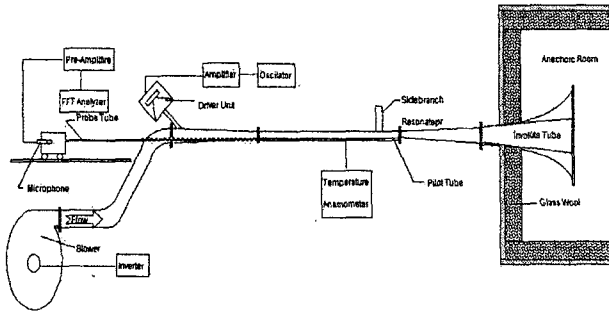
$$TL = 10 \log \left| \frac{C}{2S / \rho c} \right|^2$$

แทนค่า C จะได้

$$TL = 10 \log \left( 1 + \frac{m^2}{4} \tan^2 K L_b \right) \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } m = \frac{(Sb)}{S}$$

### 3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และวิธีทดลอง



รูปที่ 3 แสดงการประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. ท่อนำเสียงหลัก (Main duct) เส้นผ่าศูนย์กลาง = 52 mm.  $A = 0.002123 \text{ m}^2$  ผนังหนา 6 mm. และท่อสี่เหลี่ยมขนาด 46\*46 mm. ,  $A=0.002116 \text{ m}^2$  ผนังหนา 6 mm.
2. ตัวลดเสียงแบบ Side-branch ชนิดกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง = 40.5 mm,  $A = 0.002123 \text{ m}^2$  จำนวน 3 ตัวอย่าง ความยาว 70 ,80 และ 90 mm. ตามลำดับ และ Side-Branch ชนิดสี่เหลี่ยมขนาด 36\*36 mm. จำนวน 3 ตัวอย่าง ความยาว 70 ,80 และ 90 mm. ตามลำดับ
3. เครื่องกำเนิดเสียง เป็นอุปกรณ์กำเนิดเสียงที่สามารถปรับความถี่เสียงได้โดยใช้ Driver unit ซึ่งจะส่งสัญญาณความถี่เสียงเข้าไปในระบบท่อ ซึ่งจะวัดความดังของเสียงโดยใช้ท่อนำเสียง (Probe tube) ที่ต่อเข้ากับไมโครโฟน
4. ไมโครโฟน (Microphone) คืออุปกรณ์ที่เป็นตัววัดหรือจับสัญญาณความถี่ ที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าความถี่เสียง
5. ลำโพง (Driver unit) ของ TOA ขนาด 50 W รุ่น T 60 และ Amplifier ขนาด 200 W
6. Pre - Amplifier ใช้ขยายสัญญาณจากไมโครโฟน
7. Probe - Tube ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 mm ยาว 6 m. พร้อมรถลาก
8. FFT Analyser ของ ONOSOKKI ใช้เป็นเครื่องสำหรับวัดสัญญาณเป็น dB.
9. ห้องเก็บเสียง (Anechoic Room) ห้องเก็บเสียงที่ใช้ในการทดลองจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนเสียง และป้องกันการสะท้อนกลับได้เป็นอย่างดี ลักษณะโครงสร้างของห้องเก็บเสียงนี้จะเป็นห้องที่บุผนังด้วยใยแก้ว (Glass wool) 3 ชั้น ชั้นนอกมีความหนาแน่น 24

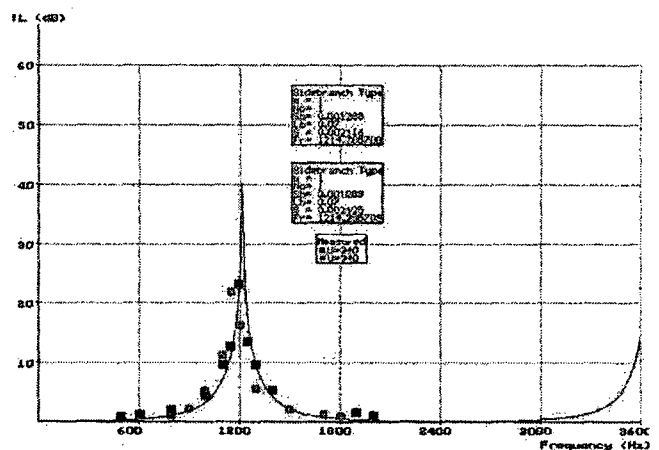
$\text{kg/m}^3$  หนา 15 cm ชั้นในสุดมีความหนาแน่น  $48 \text{ kg/m}^3$  หนา 15 cm ลักษณะเป็นห้องปิดทั้ง 6 ด้าน ขนาด 3x4x3 เมตร

10. ท่อปากแตร (Involute tube) เป็นอุปกรณ์ป้องกันการสะท้อนกลับของเสียงเข้าสู่ท่อนำเสียงหลัก

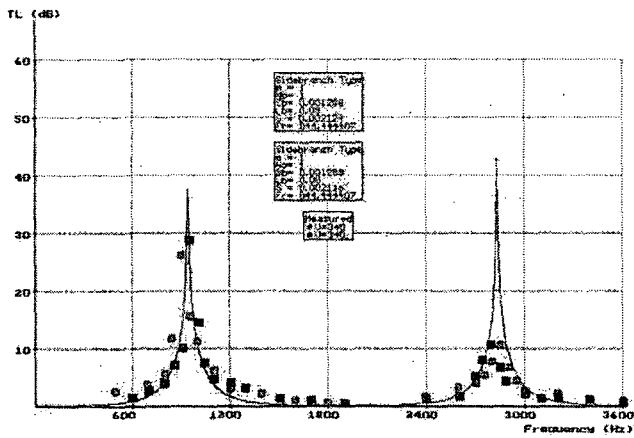
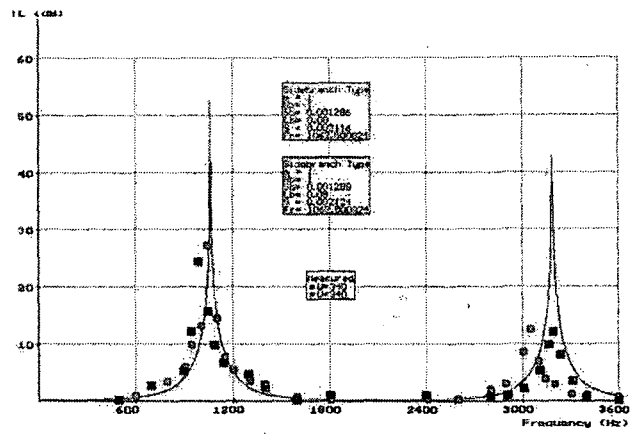
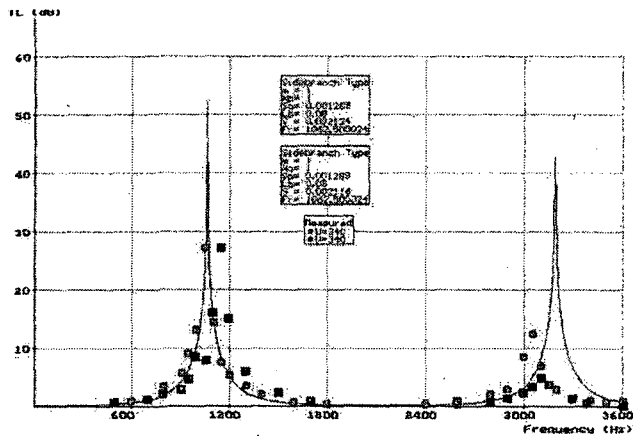
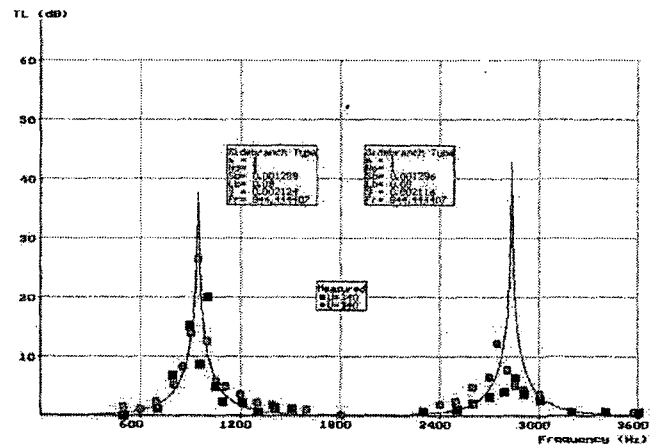
จากรูปที่ 3 เมื่อประกอบอุปกรณ์ชุดทดลองเสร็จแล้วป้อนสัญญาณเสียงจากลำโพงเข้าสู่ท่อนำเสียง ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง แล้วเราจะใช้ไมโครโฟนวัดความเข้มเสียง (dB) ผ่านทาง Probe Tube โดยวัดค่าความเข้มเสียงสูงสุดที่อ่านได้จาก FFT ทั้งก่อนเข้าและหลังจากตัว Side - branch แล้วบันทึกค่าการทดลองไว้ แล้วเปลี่ยนค่าความถี่ไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 3600 Hz. แต่เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองนี้ยังมีความผิดพลาดอยู่ เพราะผลจากการตกกระทบของคลื่นที่ทางด้านหน้า Side Branch ดังนั้นจึงต้องหาค่าผลต่างที่ทดลองได้ไปแก้ไขให้ถูกต้อง โดยเปรียบเทียบค่าตามทฤษฎีของ David Curve แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟร่วมกับกราฟทฤษฎี

### 4. ผลการทดลอง

แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบลักษณะเครื่องลดเสียง บนท่อนำเสียงกลมและท่อสี่เหลี่ยมกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ Side Branch เมื่อพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน จะพบว่าถ้าปริมาตรเพิ่มขึ้นค่าของการลดเสียงจะอยู่ในย่านความถี่ต่ำและความกว้างที่ฐาน (Band width) ของช่วงการลดเสียงจะแคบ เมื่อปริมาตรของ Side- Branch ลดลง ค่าของการลดเสียงจะอยู่ในย่านความถี่สูงและตามความกว้างของฐาน (Ban width) ของช่วงการลดเสียงจะกว้างขึ้นและยังแสดงให้เห็นถึงค่าการลดเสียง จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีแล้วผลที่ได้จะสอดคล้องกัน แต่มีค่าต่ำกว่าทฤษฎีเล็กน้อยจากรูปที่ 4 a,b,c เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง Side- Branch ชนิดกลมขนาด  $A=0.001289 \text{ m}^2$  ความยาว 0.07,0.08,0.09m. ที่ใช้ท่อนำเสียงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 52 mm. และนำมาเปรียบเทียบกับ ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาด 46\*46 mm. จะเห็นว่าการใช้ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยมจะเก็บเสียงได้ดีกว่า

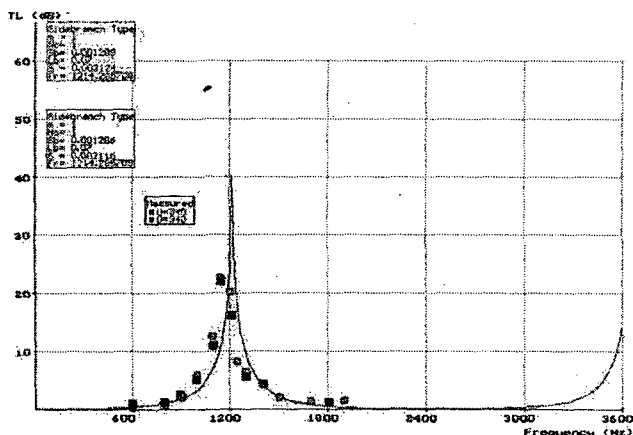
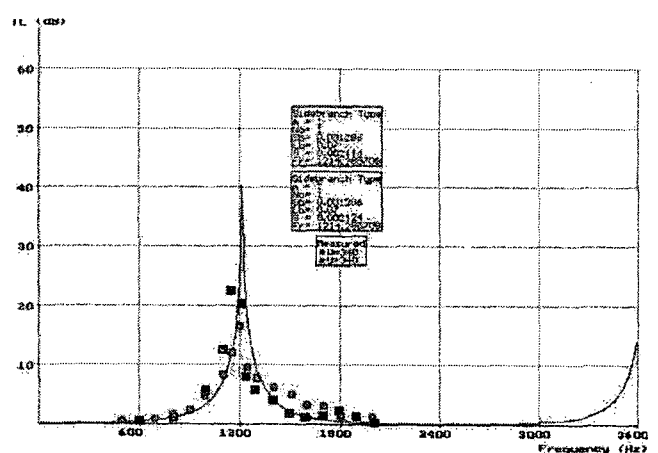


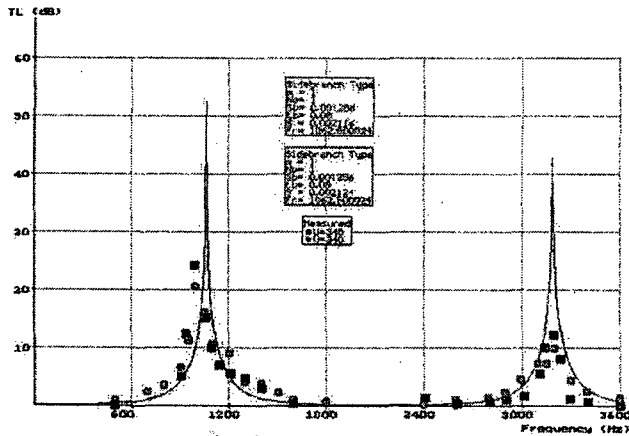
รูปที่ 4a Lb = 0.07 m.

รูปที่ 4b  $L_b = 0.08$  m.รูปที่ 5b  $L_b = 0.09$  m.รูปที่ 4c  $L_b = 0.09$  m.รูปที่ 5c  $L_b = 0.09$  m.

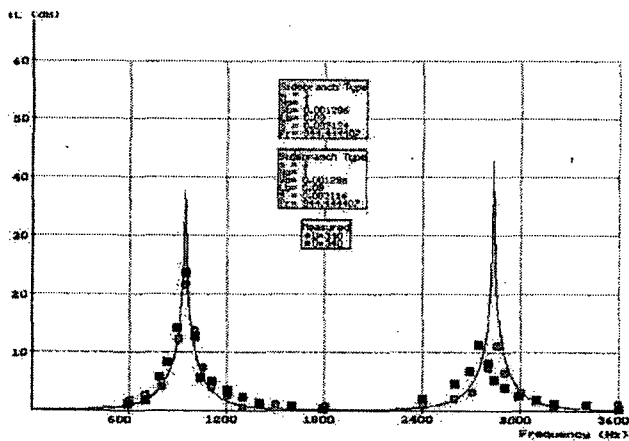
จากรูปที่ 5 a,b,c การเปรียบเทียบระหว่าง Side- Branch ชนิด กลมขนาด  $A = 0.001289 \text{ m}^2$  ความยาว 0.07,0.08,0.09 m. ที่ใช้ท่อนำเสียงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm.  $A = 0.002123 \text{ m}^2$  นำมา เปรียบเทียบกับ Side- Branch ชนิดสี่เหลี่ยมขนาด  $A = 0.001296 \text{ m}^2$  ที่ใช้ กับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาด  $46 \times 46 \text{ mm}$ .  $A = 0.002116 \text{ m}^2$  จะเห็นว่า Side Branch ชนิดกลม ที่ใช้ท่อนำเสียงกลมจะเก็บเสียงได้ดี กว่าเล็กน้อย

รูปที่ 6 a,b,c เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง Side Branch ชนิดสี่เหลี่ยม ขนาด  $A = 0.001296 \text{ m}^2$  ที่ใช้ท่อนำเสียงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 52 mm. นำมาเปรียบเทียบกับ Side- Branch สี่เหลี่ยม ขนาด  $A = 0.001296 \text{ m}^2$  ที่ใช้ กับท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ขนาด  $46 \times 46 \text{ mm}$ . จะเห็นว่า Side- Branch ชนิด สี่เหลี่ยม ที่ใช้ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม จะเก็บเสียงได้ดีกว่าเล็กน้อย

รูปที่ 5a  $L_b = 0.09$  m.รูปที่ 6a  $L_b = 0.09$  m.



รูปที่ 6b Lb = 0.09 m.



รูปที่ 6c Lb = 0.09 m.

- = ท่อนำเสียงกลม
- = ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม
- = เส้นกราฟทางทฤษฎี

##### 5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. เมื่อเปรียบเทียบผลของเครื่องลดเสียงชนิด Side- Branch กับ ทฤษฎีการลดเสียงของ Side- Branch จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกันแต่มีประสิทธิภาพการเก็บเสียงต่ำกว่าทฤษฎีเล็กน้อย
2. Side- Branch ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน แต่ความยาวต่างกันจะมีการเก็บเสียงได้ดีในช่วงความถี่ที่ต่างกันและช่วงความกว้างฐาน (Band width) ในการเก็บเสียงก็จะไม่เท่ากัน
3. เมื่อ Side- Branch มีขนาดยาวจะทำให้สามารถเก็บเสียงได้น้อยลง แต่จะเก็บเสียงได้ในหลายย่านความถี่
4. กรณี Side Branch กลม ท่อนำเสียงกลมกับ Side Branch กลม ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมจะเก็บเสียงได้ดีกว่าเล็กน้อย แต่กรณี Side- Branch กลม ท่อนำเสียงกลมกับ Side- Branch สี่เหลี่ยม ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ท่อนำเสียงชนิดกลมจะเก็บเสียงได้ดีกว่าเล็กน้อย และถ้า กรณี Side- Branch เป็นสี่เหลี่ยม ท่อนำเสียงกลมกับ Side Branch กลม ท่อนำเสียงสี่เหลี่ยม ท่อนำเสียงชนิดสี่เหลี่ยมจะเก็บเสียงได้ดีกว่าเล็กน้อย

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] Lawanee E. Kinsler, Austin R. Frey B.Copen, Jame V. Saanders "Fundamentals of acoustics" Second Edition, John Wiley & Son Inc. New York, 1962.
- [2] Sindhuphak, S. Hagi, S Murakami, M. Meada, T. Iijima "Acoustical Performance of Helmholtz's type Resonators" 8<sup>th</sup> Mechanical Eng. Symposium (1993) pp. 178-184
- [3] บุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542
- [4] D.D Davis, Jr, G.L Steven, D. moore and G.M Storke, "Theoretical and measuted attenuatooon of mufflers at room temperature without flow, with comment on engine-exhaust muffler design." NACA Technical Note 2893.1954PP.41-111.