

ผลกระทบพฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงความถี่สูง แบบเฮล์มโฮลทซ์

Effect of Acoustical Characteristic of Helmholtz Resonator at High Frequency

รัฐพล นวมพิพัฒน์ อัครเดช สิบบุษย์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงถึงผลกระทบพฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียงแบบเฮล์มโฮลทซ์ที่สามารถปรับปริมาตรได้ซึ่งนำมาติดตั้งกับผนังท่อกลม เพื่อหาค่าการลดเสียงในช่วงความถี่ต่างๆ ในการทดลองนี้จะมีทั้งแบบมีกับไม่มีความเร็วของลมในท่อกลมที่อุณหภูมิห้อง โดยนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณทฤษฎีพื้นฐานเชิงเส้นแบบมิติเดียว ผลจากการทดลองที่

ได้มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี กล่าวคือ 1) การเพิ่มความยาวของคอคอนเป็นผลทำให้อุปกรณ์เปลี่ยนไปลดเสียงได้ดีที่ย่านความถี่ที่สูงขึ้น 2) ที่ความยาวของคอคอนเท่ากันอุปกรณ์ที่มีปริมาตรมากกว่าจะสามารถลดเสียงได้ดีที่ความถี่ต่ำกว่าแต่ช่วงความถี่ในการลดเสียงกว้างขึ้น

Abstract

This article shows noise reduction characteristic of an adjustable volume Helmholtz Resonator that is connected to a round duct wall in order to find the value of the noise attenuation for particular frequencies. Experiment with and without flow in a round duct at room temperature has been performed and the result was compared with the value calculated from one dimension linearized theory.

The results from experiment show good agreement with theory. They are: 1) An additional lengths of the connect length causes Helmholtz Resonator to reduces noise at high frequency range and 2) For the same length of connect length, Helmholtz Resonator with higher volume can reduce noise at lower frequency but the range of frequency are wider.

1. บทนำ

เสียงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคของตัวกลางที่มีการสั่นสะเทือน และจะเคลื่อนที่เป็นลูกคลื่น เสียงรบกวน (noise) มักจะเป็นเสียงที่มีน้ำเสียงซ้ำๆ กัน เช่น เสียงของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ เสียงของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดการรบกวนต่อมนุษย์ ซึ่งมีผลได้ทั้ง

ทางด้านร่างกายและจิตใจ ในบทความนี้มุ่งหวังจะทดลองหาวิธีลดเสียงรบกวน (noise reduction) ในท่อกลมโดยใช้ Helmholtz Resonator ศึกษาในการลดเสียงที่ความถี่ที่แตกต่างกัน Helmholtz Resonator เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาลดเสียงรบกวนในระบบท่อ ซึ่งประยุกต์วัสดุในการออกแบบและพื้นที่ในการติดตั้งซึ่งจากการศึกษาใน

RECEIVED 20 JULY, 2001

ACCEPTED 29 OCTOBER, 2001

การลดเสียงได้จำลองระบบท่อ

2. ทฤษฎีการคำนวณ

ในการพิจารณาทางทฤษฎี อ้างถึง One-dimensional sound waves ส่งผ่านระบบท่อ ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด (Cross Section Area) ซึ่งเงื่อนไขในการเคลื่อนที่ของเสียงมีอยู่สองเงื่อนไข คือ ประการแรกเงื่อนไขของความดัน และประการที่สองเงื่อนไขของความเร็ว เมื่อความเร็วคือ Particle Velocity time ของ Cross - Sectional Area กับการพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันเสียงสะท้อน

$$Z = \frac{\text{Pressure}}{\text{Volume Velocity}} = \frac{P}{U}$$

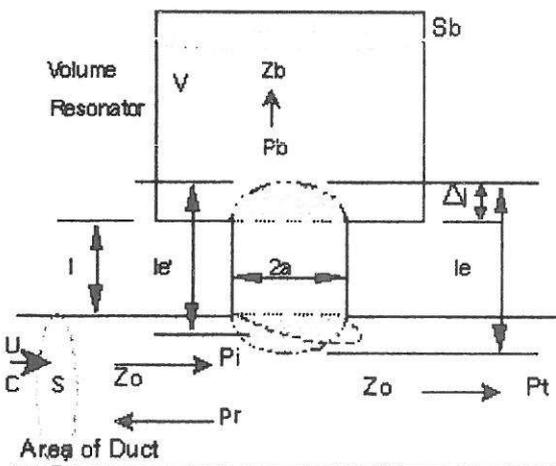
$$= \frac{p}{s \cdot u} = \frac{z}{s} \quad (1)$$

เนื่องจากต้องขึ้นอยู่กับ Cross-Sectional Area ดังนั้น Total Acoustic power จึงมีความสำคัญมาก Power ที่ประกอบอยู่ใน Plane Wave จะเป็น

$$W = I \times S = (P^2 / \rho_0 c) \times S = P^2 / Z_0 \quad (2)$$

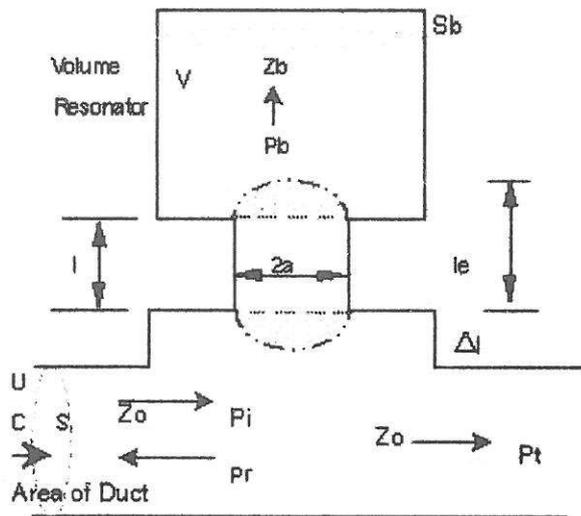
2.1 Helmholtz Resonator

Helmholtz Resonator จะประกอบด้วย Volume โดยเชื่อมต่อระหว่างท่อกลมเล็กๆเข้ากับท่อ ที่มีความยาว 1 เมื่อมีความดันเสียง และความเร็วลมจะทำให้ Connector Length เปลี่ยนไปเป็น l_e



รูปที่ 1 รูปแสดง Helmholtz Resonator

เนื่องจากคลื่นเสียงมีความดันและความเร็วค่า Connection Length มีความยาว 1 จะมีค่าความยาวเปลี่ยนไปเป็น l_e ส่งผลให้ย่านความถี่ในการลดเสียงต่ำลง การทดลองจึงได้ออกแบบให้มีการเพิ่มคอที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดของท่อนำเสียงให้มีความยาวเท่ากับค่า Δl เชื่อมระหว่าง Connector Length กับท่อนำเสียง ซึ่งจะส่งผลให้ค่า Peak Frequency สูงขึ้น



รูปที่ 2 Helmholtz Resonator แบบมีคอคอด

จากรูปที่ 1 ในการศึกษาวิจัย เราพิจารณาผลกระทบของ Helmholtz Resonator ที่ความหน่วง $Z = R + iX$

2.2 ความต่อเนื่องของความดัน

$$P_i + P_r = P_b = P_t \quad (3)$$

2.3 ความต่อเนื่องของความเร็ว

$$U_i + U_r = U_b = U_t \quad (4)$$

และ

$$P_i = Z_0 U_i = \frac{\rho_0 c}{S_0} U_i = A_1^{out} \quad (5)$$

$$P_r = Z_0 U_r = \frac{\rho_0 c}{S_0} U_r = B_1^{out} \quad (6)$$

$$P_t = Z_0 U_t = \frac{\rho_0 c}{S_0} U_t = A_2^{out} \quad (7)$$

$$P_b = Z_b U_b = \frac{\rho_0 c}{S_b} U_b = A_b^{out} \quad (8)$$

โดยที่

Pi คือ ความดันเสียงที่เข้าข้างหน้า Resonator

Pr คือ ความดันเสียงสะท้อนกลับайд้านหน้า Resonator

Pt คือ ความดันเสียงที่ผ่านไปด้านหลัง Resonator

Pb คือ ความดันเสียงที่เข้าตัว Resonator

U คือ ความเร็วลม

Zo คือ Characteristic Impedance ของท่อ ในเทอมของ ความดันและความเร็ว

Zb คือ Characteristic Impedance ของ Resonator

จากสมการ 5-8 จะได้

$$U_i S_o - U_r S_o = U_b S_o + U_t S_o \quad (9)$$

$$\frac{1}{Z_o} (P_i - P_r) = \frac{1}{Z_b} P_b + \frac{1}{Z_o} P_t$$

$$= \left[\frac{P_i}{Z_o} - \frac{P_r}{Z_o} \right] = \left[\frac{P_b}{Z_b} + \frac{P_t}{Z_o} \right] \quad (10)$$

ซึ่ง $P_b = P_t$ และสมการ $3 \times 1/Z_o + (10)$ จะเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\frac{1}{Z_o} P_i + \frac{1}{Z_o} P_r = \frac{1}{Z_o} P_t \quad (11)$$

$$\frac{1}{Z_o} P_i - \frac{1}{Z_o} P_r = \left[\frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_o} \right] P_t \quad (12)$$

$$\frac{2}{Z_o} P_i = \left[\frac{1}{Z_b} + \frac{2}{Z_o} \right] P_t \quad (13)$$

$$\frac{P_i}{P_t} = \frac{Z_o}{2} \left[\frac{1}{Z_b} + \frac{2}{Z_o} \right] = 1 + \frac{Z_o}{2Z_b}$$

$$= 1 + \left[\frac{\rho_o c}{2 \frac{\rho_o c}{S_o}} \right]$$

และ $Z_b = R_b + iX_b$

$$= 1 + \frac{Z_o}{2(R_b + iX_b)} = 1 + \frac{Z_o(R_b - iX_b)}{2(R_b^2 + X_b^2)}$$

$$= 1 + \left[\frac{Z_o R_b}{2(R_b^2 + iX_b^2)} \right] + i \left[\frac{-Z_o X_b}{2(R_b^2 + X_b^2)} \right] \quad (14)$$

$$TL = 10 \log \left[\frac{P_i}{P_t} \right]^2$$

$$= 10 \log \left[1 + \left[\frac{Z_o R_b}{2(R_b^2 + iX_b^2)} \right] + i \left[\frac{-Z_o X_b}{2(R_b^2 + X_b^2)} \right] \right]^2 \quad (15)$$

$$TL = 10 \log$$

$$\left[\frac{4(R_b^2 + X_b^2)^2 + 4(R_b^2 + X_b^2)Z_o R_b + Z_o^2 R_b^2 + Z_o^2 X_b^2}{4(R_b^2 + X_b^2)^2} \right]$$

$$TL = 10 \log \left[\frac{(R_b + Z_o/2)^2 + X_b^2}{(R_b^2 + X_b^2)} \right] \quad (16)$$

ดังนั้นสมการ Transmission Loss without flow จะได้

$$TL = 10 \log \left[1 + \frac{Z_o^2}{4X_b^2} \right] \quad (17)$$

และสมการ Transmission Loss without flow หาได้จาก

$$TL = 10 \log \left[\frac{\left[M(1+M)^2 \left[\frac{X^2}{Z_o} \right] - \frac{(1-M)^2}{4} \left[\frac{X}{Z_o} \right]^2 \right]}{\left[4M^2 + \left[\frac{X^2}{Z_o} \right]^2 \right]} \right] \quad (18)$$

เมื่อ M คือ Mach Number = V / C

$$\frac{X_b}{Z_o} = S_o \left[\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f} \right] \sqrt{\frac{l_e}{S.V}} \quad (19)$$

และความถี่ resonance คือ

$$f_r = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V.l_e}}$$

และ $l_e = 1 + \beta d$

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

เมื่อ β คือ coefficient ของ Connector Length

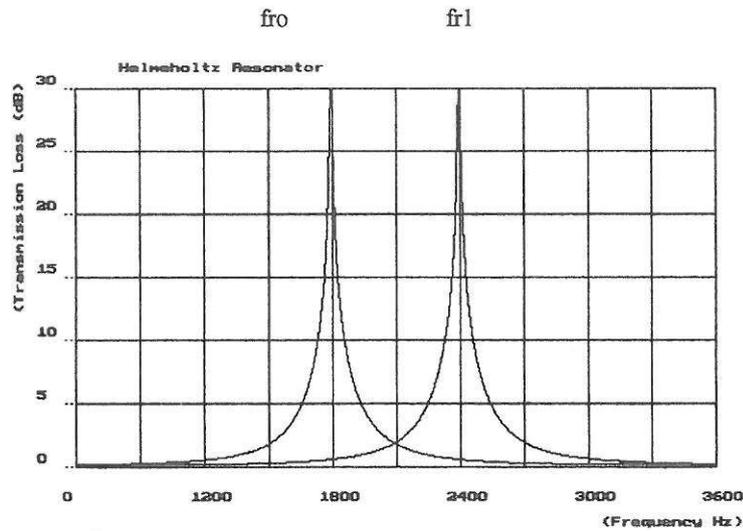
C คือ Sound Velocity

S คือ Cross - Sectional Area ของ Ducts

V คือ Volume ของ Resonator

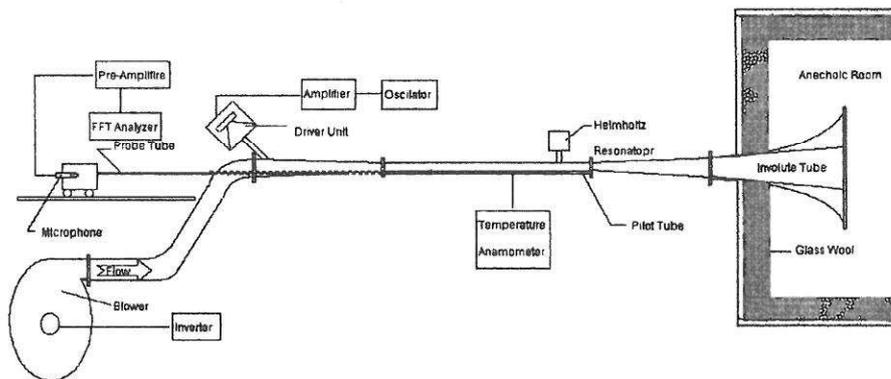
l_e คือ effective Length ของ Connector

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ Resonator



รูปที่ 3 แสดงผลของความถี่ที่ทำการแก้ไข โดยการเพิ่มคอ คอด ทำให้ย่านความถี่สูงขึ้น

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 อุปกรณ์ทดลองสำหรับ With Flow and Without Flow

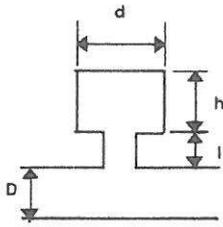
4. วิธีการทดลอง

จากรูปที่ 4 เราเปิดสัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง คือ Oscillator เข้าสู่ Amplifier ขยายสัญญาณเสียงเข้าสู่ชุด Drive Unit ส่งคลื่นเสียงไปในระบบท่อ จากนั้นใช้ Microphone วัดสัญญาณเสียงที่ผ่าน Probe-tube ณ ตำแหน่งด้านหน้าและหลังของ Resonator โดยบันทึกผลที่อ่านค่าได้จาก FFT Analyzer ซึ่งจะแปลงสัญญาณความดันเสียง ซึ่งจะบันทึกผลเป็นหน่วยเดซิเบล (dB) และทำการเปลี่ยนค่าความถี่ที่ Oscillator หลายๆความถี่ และความเร็วลมหลายๆค่า จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาปรับแก้โดยใช้

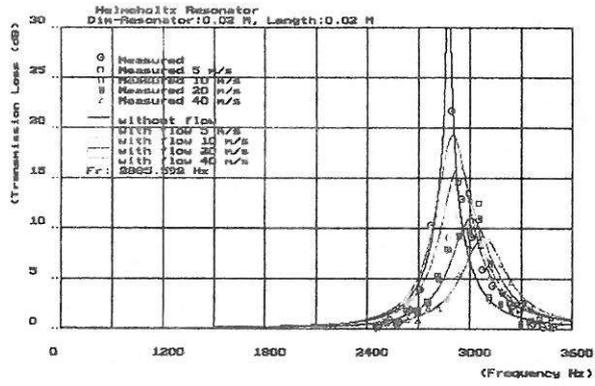
ทฤษฎีของ Davis Curve เมื่อได้ค่าของข้อมูลที่ถูกต้องแล้ว จึงนำข้อมูล TL ที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟโดยเปรียบเทียบกับ ทฤษฎี Transmission Loss (TL)

5. ผลการทดลอง

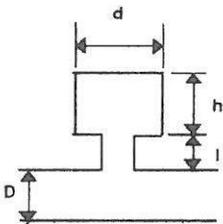
รูปที่ 5,6,7,8,9,10 แสดงผลการทดลองพฤติกรรมการลดเสียงของอุปกรณ์ลดเสียง Helmholtz Resonator แบบต่างๆ ซึ่งใช้ท่อนำเสียงแบบกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 m.



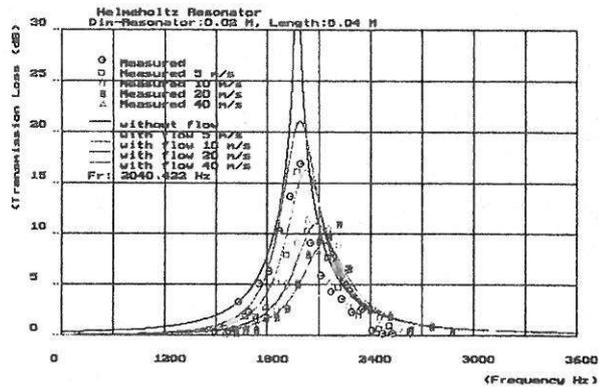
D = dia 0.025 m
 d = dia 0.02 m.
 h = 0.02 m.
 l = 0.02 m.
 u = 0,5,10,20,40 m/s.



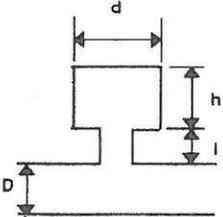
รูปที่ 5 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow สามารถลดเสียงความถี่ 2885.59 Hz



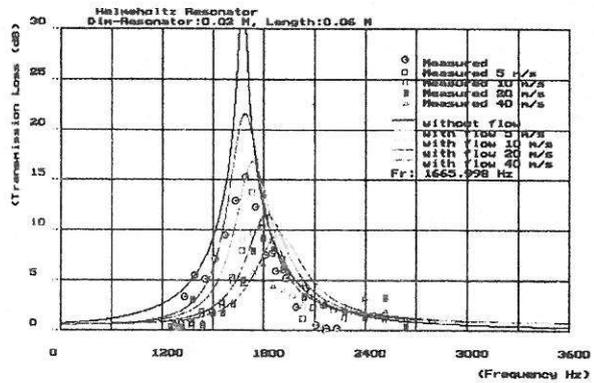
D = dia 0.025 m.
 d = dia 0.02 m.
 h = 0.04 m.
 l = 0.02 m.
 u = 0,5,10,20,40 m/s.



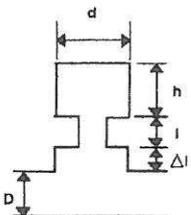
รูปที่ 6 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow สามารถลดเสียงความถี่ 2040.42 Hz



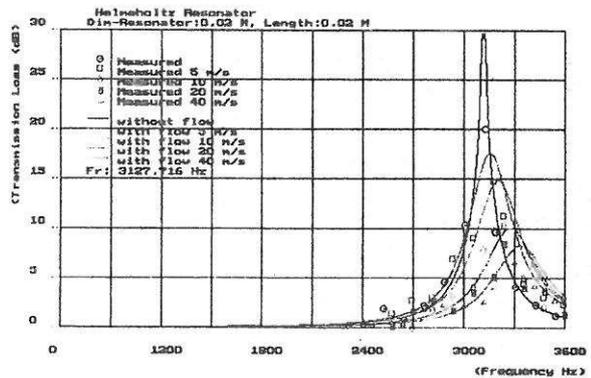
D = dia 0.025 m
 d = dia 0.02 m.
 h = 0.06 m.
 l = 0.02 m.
 u = 0,5,10,20,40 m/s.



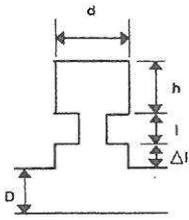
รูปที่ 7 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow สามารถลดเสียงความถี่ 1666.00 Hz



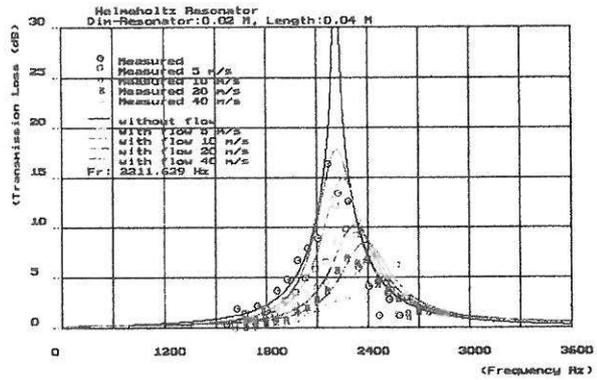
D = dia 0.025 m.
 d = dia 0.02 m.
 h = 0.02 m.
 l = 0.02 m. , Δl = 0.0042 m.
 u = 0,5,10,20,40 m/s.



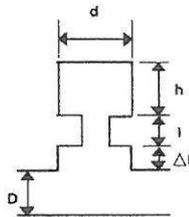
รูปที่ 8 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow แบบมีคอค สามารถลดเสียงความถี่ 3127.72 Hz



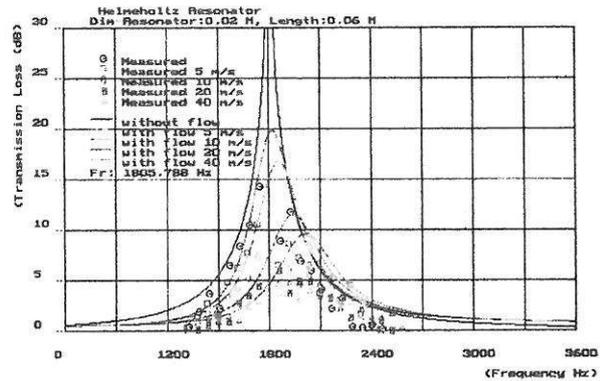
D = dia 0.025 m.
 d = dia 0.02 m
 h = 0.04 m
 l = 0.02 m , Δl = 0.0012 m
 u = 0.5, 10, 20, 40 m/s.



รูปที่ 9 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow แบบมีคอ สามารถลดเสียงความถี่ 2211.63 Hz



D = dia 0.025 m.
 d = dia 0.02 m
 h = 0.06 m.
 l = 0.02 m , Δl = 0.0042 m
 u = 0.5, 10, 20, 40 m/s.



รูปที่ 10 แสดงผลของอุปกรณ์ลดเสียง With flow และ Without flow แบบมีคอ สามารถลดเสียงความถี่ 1805.79 Hz

จากรูปที่ 5,6,7 แสดงผลของ Helmholtz Resonator พบว่าที่ ปริมาณน้อยสามารถลดเสียงที่ความถี่สูงปริมาณมาก สามารถลดเสียงที่ความถี่ต่ำ และมีความเร็วมากขึ้นการลด เสียงจะน้อยลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Transmission Loss และรูปที่ 8,9,10 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคอให้อุปกรณ์ สามารถทำให้ลดเสียงที่ความถี่สูงขึ้น

6. สรุปผลการทดลอง

การวิจัยเรื่องผลกระทบพฤติกรรมของเครื่องลดเสียง แบบความถี่สูงแบบ Helmholtz Resonator สามารถสรุปผล ได้ ดังนี้

- 6.1 ผลของการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี Transmission Loss ว่า Helmholtz Resonator ที่ปริมาตรต่างกันสามารถลด เสียงที่ความถี่ต่างกัน
- 6.2 การเพิ่มคอทำให้ ค่า Peak Frequency สูงขึ้น
- 6.3 เมื่อความเร็วลมมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการลด เสียงลดลง

6.4 ปริมาตรของ Helmholtz Resonator เพิ่มขึ้นทำให้ค่า Peak Frequency ลดลง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] บุญชัย ศิลปกิจวงษ์กุล “ สมรรถนะของเครื่องลดเสียง ชนิด HELMHOLTZ “ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุนทหารลาดกระบัง, 2542

[2] L. L. Beranek, “ Noise Reduction ”, McGraw – Hill Book Company, Co., Inc, 1960

[3] D. D. Davis, G. L. Stevens, D. Moore and G. M. Stokes, “ Theoretical and measured attenuation of mufflers at room temperature without flow, with comments on engine exhaust muffler design”, NACA Technical Note, 2893, 1954, pp.1-111

[4] D. A. Bies and C. H. Hansen “ Engineering Noise Control ” E&FN Spon an Imprint of Chapman & Hall, 1996