

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14
2 – 3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนวาเทล เชียงใหม่

การลดทอนเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลโดยใช้แหล่ง กำเนิดเสียงควบคุม

Active Noise Reduction of Low Frequency in Duct Flows Using a Single Monopole Source

อัศรเดช สินธุภักดิ์ ,ทวี เทศเจริญ และ บัญชา วิเชียรชม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 02- 7392393 ,โทรสาร 02- 326-9053 ,E-Mail : ksakrade@kmitl.ac.th

Akradech Sindhuphak ,Thavee Teschareon and Bancha wichianchom

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang
Bangkok 10520, Thailand

Tel : 02- 7392393 ,Fax : 02- 326-9053

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการศึกษาการลดเสียงรบกวนย่านความถี่ต่ำในท่อนำคลื่นเสียงที่มีอากาศไหลด้วยความเร็วไม่เกิน 40 m/s ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการวัดระดับความดังของเสียงในท่อที่ความถี่ต่างๆก่อน แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับระดับความดังของเสียงรบกวนเมื่อใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้แหล่งกำเนิดเสียงแหล่งเดียวกัน จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระดับความดังของเสียงรบกวนที่มีความถี่ในช่วง 100 ถึง 600 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 20 ถึง 25 dB

Abstract

This paper describes the study of active noise control using a single monopole source based on very low frequency in duct with flow not more than 40 m/s at room temperature. In this study, at first we measured noise intensity at each specific frequency. Then the feedforward controller is designed by using the time delay basis. Experiments are carried out using the

designed controller. The experimental results shown that noise reduction about 20 to 25 dB obtain over the frequency range from 100 Hz to 600 Hz.

1. บทนำ

การลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมใช้หลักการของการทับซ้อนกันของคลื่นเสียง(superimposing sound wave)ตั้งแต่สองขบวนขึ้นไปโดยมีการออกแบบระบบควบคุมที่แตกต่างกันออกไปหลายวิธีเช่นระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า(feedforward controller)และระบบควบคุมแบบป้อนกลับ(feedback controller)แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งระบบควบคุมจะเป็นแบบปรับตั้งได้(adaptive control system) อย่างไรก็ตามในระบบควบคุมเพื่อลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าในปัจจุบันมักจะใช้ระบบควบคุมแบบดิจิทัลโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมซึ่งสามารถลดทอนระดับเสียงรบกวนลงได้ประมาณ 15 dB สำหรับความถี่เสียงรบกวนในช่วง 100 ถึง

500 Hz [1] แต่เนื่องจากเสียงรบกวนที่ไหลในท่อนำเสียงมักจะเป็นเสียงรบกวนที่มีลักษณะสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ระบบควบคุมเสียงรบกวนที่ปรับตั้งได้โดยใช้ระบบควบคุมที่ง่ายและไม่ซับซ้อนโดยอาศัยหลักการการเลื่อนเฟสของคลื่นเสียงแทนการใช้หลักการหน่วงเวลาที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งหัวใจหลักของระบบนี้อยู่ที่การออกแบบชุดไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว (unidirectional microphone) ทั้งนี้เพื่อให้ไมโครโฟนที่ใช้ตรวจจับสัญญาณเสียงรบกวนตรวจจับเฉพาะเสียงรบกวนจริงๆ เท่านั้นไม่ให้ไปตรวจจับเสียงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมที่สร้างขึ้นด้วย ซึ่งจากระบบควบคุมที่สร้างขึ้นพบว่าสามารถลดทอนระดับเสียงรบกวนลงได้ประมาณ 20 ถึง 25 dB

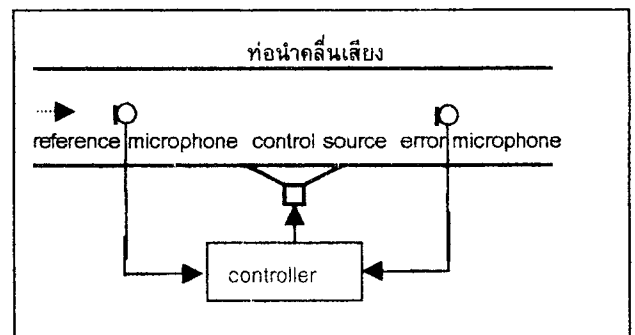
2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 กลไกการลดทอนเสียงรบกวน

กลไกที่ทำให้เกิดการลดทอนเสียงรบกวนลงได้ประกอบด้วย 3 กลไกที่อาจจะเกิดขึ้นเพียงกลไกเดียวหรือเกิดร่วมกันไปพร้อมๆ กันก็ได้คือ 1.กลไกการหักล้างกันของสนามเสียง 2.กลไกการลดความสามารถในการกำเนิดเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนให้ต่ำลง 3.กลไกการดูดกลืนคลื่นเสียงโดยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม แต่กลไกหลักที่สำคัญในการลดทอนเสียงรบกวนในท่อนำคลื่นเสียงแบบหนึ่งมิตินี้คือกลไกที่สองซึ่งอาศัยหลักการที่ว่า ถ้าเราสามารถสร้างสนามเสียงควบคุมทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมดให้มีเฟสต่างกัน 180 องศา กับสนามเสียงรบกวนแล้วจะทำให้การแผ่คลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถูกกำจัดออกไป สิ่งที่น่าสนใจที่เกิดขึ้นก็คือว่าพลังงานของคลื่นเสียงรบกวนหายไปไหน ซึ่งคำตอบก็คือกลไกการควบคุมเสียงรบกวนแบบนี้ การหักล้างไม่ได้เกิดขึ้นจริง เพียงแต่ว่าสนามเสียงที่ถูกสร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมจะมีผลทำให้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอยู่ในสภาวะปลดภาระ(unload)ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ค่าความต้านทานในการแผ่คลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้มันแผ่คลื่นเสียงรบกวนได้น้อยลง ซึ่งในกรณีนี้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมจะทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการแผ่กำลังคลื่นเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนโดยการสร้างค่าความต้านทานการแผ่คลื่นเสียงชนิดรีแอคทีฟเกือบทั้งหมดโดยมีค่าความต้านทานชนิดค่าจริงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.1 ระบบควบคุมการลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าดังแสดงในรูปที่ 1 นั้นเป็นระบบควบคุมที่ใช้กันมากในการลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุม โดยระบบควบคุมแบบนี้จะต้องทำการวัดสิ่งรบกวน(disturbance)ที่เกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปสังเคราะห์สัญญาณควบคุมเพื่อส่งไปขับแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งการควบคุมชนิดนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมเพื่อลดทอนเสียงรบกวนทั้งแบบเป็นคาบ(periodic noise)และไม่เป็นคาบ(random noise)ในท่อนำคลื่นเสียง ในทางปฏิบัติระบบควบคุมนี้จะสามารถปรับตั้งได้เพื่อความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของคลื่นเสียง และรวมทั้งความสกรปรกของอุปกรณ์ที่ใช้วัดเสียง เป็นต้น



รูปที่ 1 ระบบลดทอนเสียงรบกวนด้วยแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมชนิดป้อนไปข้างหน้า

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าในการควบคุมแบบนี้สัญญาณอ้างอิง(reference signal)จะได้มาจากไมโครโฟนที่วางในท่อนำคลื่นเหนือ(upstream)ของแหล่งกำเนิดเสียงควบคุมซึ่งลักษณะการวางไมโครโฟนแบบนี้จะทำให้สัญญาณขาเข้าของระบบควบคุมมีค่าผิดพลาดไปจากความเป็นจริง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียวหรือด้วยการใช้ลำโพงแบบคู่หรือแบบหลายตัว และใช้การปรับตั้งชดเชยตามลักษณะเฉพาะนั้นๆ ตามคำแนะนำของ La Fontaine et al.(1985)[3] นอกจากนั้นไมโครโฟนวัดค่าความผิดพลาด(error microphone)ที่ติดตั้งอยู่ในระบบควบคุมนี้มักจะใช้สำหรับการลดผลกระทบจากเสียงรบกวนที่มาจากภายนอกท่อนำเสียงเท่านั้น[3]

2.2 ความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง (acoustic impedance)

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงระนาบ (plain wave) ในท่อนำคลื่นเสียง ถ้ากำหนดให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในทิศทาง $+x$ แล้วค่าอัตราส่วนระหว่างความดันของคลื่นเสียงต่อความเร็วของอนุภาคจะนิยามว่าเป็นค่าลักษณะจำเพาะของความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง $\rho_0 c$ ของตัวกลางเมื่อ ρ_0 คือความหนาแน่นของอากาศที่เป็นตัวกลางของคลื่นเสียงนั้น ดังนั้นเราสามารถหาค่าความต้านทานต่อการแผ่กระจายของคลื่นเสียง Z ที่หน้าตัด S ใดๆภายในท่อนำเสียงได้จากสมการ

$$Z = p/U = p/S \cdot u = \rho_0 c/S \quad (1)$$

เมื่อ p คือค่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียง, U คือความเร็วเชิงปริมาตรของตัวกลาง (อากาศ) ภายในท่อนำคลื่นเสียง, u คือความเร็วเชิงอนุภาคของตัวกลางและ c คือความเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ เนื่องจากว่า acoustic impedance ขึ้นอยู่กับพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อนำคลื่นเสียง ดังนั้นทำให้กำลังของเสียงทั้งหมด (total acoustic power) มีความสำคัญมากกว่าความเข้มของเสียง (acoustic intensity) โดยที่กำลังของเสียงในการนี้ของคลื่นเสียงระนาบ (plain wave) คือ

$$W_s = I_s \cdot S = \frac{p^2}{\rho_0 c} \cdot S = \frac{p^2}{Z_0} \quad (2)$$

2.3 การสะท้อนของคลื่นเสียงในท่อนำคลื่นเสียง

ถ้ามีคลื่นเสียงขบวนเดียวเดินทางไปในทิศทาง $+x$ ผ่านท่อนำคลื่นเสียงที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ S แล้ว acoustic impedance ของคลื่นเสียงนั้นคือ $\rho_0 c/S$ ถ้าสมมุติว่าในขณะนี้มีมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นในท่อยกตัวอย่างเช่นมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไปแล้วโดยปรกติจะทำให้ส่วนหนึ่งของคลื่นเสียงที่ตกกระทบเกิดการสะท้อนกลับและ acoustic impedance ของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับนี้คือ $-\rho_0 c/S$ ความดันและความเร็วเชิงปริมาตรของคลื่นทั้งสองคือ

$$p_i = A e^{j(\omega t - kx)} \quad ; \quad U_i = \frac{p_i}{\rho_0 c/S} \quad (3)$$

$$p_r = B e^{j(\omega t + kx)} \quad ; \quad U_r = \frac{-p_r}{\rho_0 c/S} \quad (4)$$

จากคลื่นเสียงทั้งสองจะได้ acoustic impedance รวมที่จุด x ใดๆคือ

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{p_i + p_r}{U_i + U_r} = \frac{\rho_0 c \cdot \frac{p_i + p_r}{S}}{\frac{p_i}{\rho_0 c/S} - \frac{p_r}{\rho_0 c/S}} \\ &= \frac{\rho_0 c}{S} \cdot \frac{A e^{-jkx} + B e^{jkx}}{A e^{-jkx} - B e^{jkx}} \end{aligned} \quad (5)$$

เนื่องจากต้องมีความต่อเนื่องทั้งความดันและความเร็วเชิงปริมาตร ดังนั้น acoustic impedance จะต้องมีความต่อเนื่องที่ทุกๆจุดในท่อนำเสียงด้วยเพราะฉะนั้นถ้าเราทราบค่า acoustic impedance ที่จุดใดจุดหนึ่งแล้วเราก็สามารถหาค่า Z_x ในสมการ (5) ได้เพื่อความสะดวกเราจะสมมุติว่าเราทราบค่า acoustic impedance ที่จุด $x=0$ มีค่าเท่ากับ Z_0 แล้วจะได้

$$Z_0 = \frac{\rho_0 c}{S} \cdot \frac{A + B}{A - B} \quad (6)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{B}{A} = \frac{Z_0 - \rho_0 c/S}{Z_0 + \rho_0 c/S} \quad (7)$$

2.4 เสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศในท่อนำคลื่นเสียง

ความไม่ต่อเนื่องใดๆที่เกิดขึ้นในท่อนำคลื่นเสียงจะทำให้เกิดการรบกวนต่ออากาศที่ไหลในท่อนี้ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นด้วย ยกตัวอย่างเช่นเสียงรบกวนที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านท่อโค้งและมีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามถ้าอากาศไหลในท่อด้วยความเร็วต่ำแล้วเสียงรบกวนก็เกิดขึ้นน้อยมาก แต่จากการศึกษาพบว่าเสียงรบกวนจะมีความรุนแรงขึ้นโดยแปรผันตรงกับเลขมัค (mach number) ยกกำลังสามและความเร็วของกระแสอากาศอิสระ (free stream) ยกกำลังห้า นั่นคือถ้าอากาศไหลในท่อด้วยความเร็วสูงแล้วเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจะมีมาก

เกินกว่าอุปกรณ์ลดทอนเสียงรบกวนจะควบคุมได้ ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลในท่อคือ $\rho(\text{kg/m}^3)$, พื้นที่หน้าตัดของท่อ $A(\text{m}^2)$, และความเร็วของกระแสอากาศอิสระ $U(\text{m/s})$ แล้วกำลังของกระแสอากาศ L_{ws} เมื่ออ้างอิงกับค่า 10^{-12} W คือ

$$L_{ws} = 30\log_{10}U + 10\log_{10}A + 10\log_{10}\rho + 117 \text{ (dB)} \quad (8)$$

ถ้ากำหนดให้ H คือความกว้างของท่อโค้งและพิจารณาความถี่เสียงแบบ octave band เราจะได้ตัวเลขไม่มีมิติที่เรียกว่า Strouhal number ซึ่งนิยามขึ้นมาในเทอมของความถี่กึ่งกลางของ octave band $f_0(\text{Hz})$ และความเร็วกระแสอากาศอิสระ $U(\text{m/s})$ และค่า H ดังนี้คือ

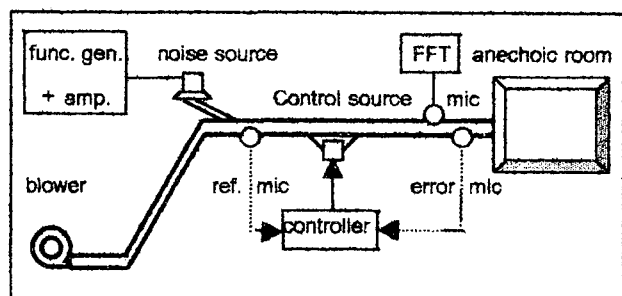
$$N_s = f_0 H / U \quad (9)$$

และข้อมูลจากการทดลองของกำลังของเสียง L_{wb} ที่เกิดจากท่อโค้งที่ไม่มีการใส่ใบเปี่ยงเบนทิศทางลม(turning vane)สอดคล้องกันกับสมการที่ได้จากการทดลองนี้คือ

$$L_{wb} - L_{ws} = -10\log_{10}[1 + 0.165N_s^2] + 30\log_{10}U - 103 \text{ (dB)} \quad (10)$$

เมื่อ L_{wb} คือ octave band sound power level และ N_s คือ Strouhal number ซึ่งสอดคล้องกันกับความถี่กึ่งกลางของ octave band นั้นๆ เทอมทางขวามือของสมการที่(10) สามารถเปรียบได้ตัววัดประสิทธิภาพของการเปลี่ยนจากกำลังของกระแสอากาศไปเป็นกำลังของเสียงรบกวน

3. การจัดวางอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ทดลอง

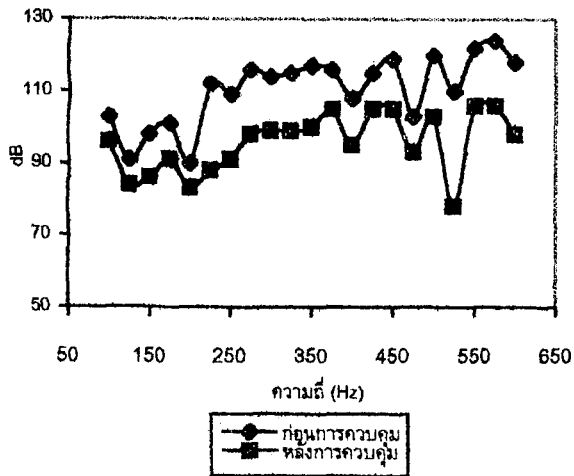
อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย 1.ท่อนำเสียงชนิดท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 47x47 มม.ยาว 4 เมตร 2. ลำโพงขนาด 50 w จำนวน 2 ตัว 3.ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่ประกอบด้วยส่วนของวงจรไมโครโฟนชนิดรับเสียงในทิศทางเดียว, วงจรเลื่อนเฟสและวงจรควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ 4. พัดลมที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ 5.เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT 6.เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปซายน์ (function generator) 7.power amplifier ขนาด 50 w จำนวน 2 เครื่อง 8.pitot tube เพื่อใช้วัดค่าความเร็วอากาศ

4. วิธีการทดลอง

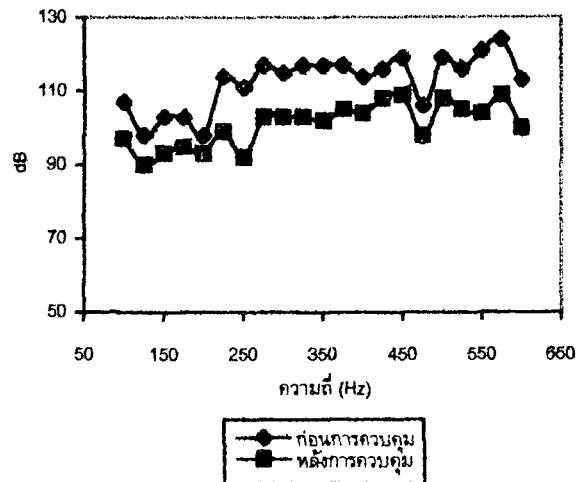
1. จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ 2 แล้วเปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปซายน์ตั้งความถี่ที่ 100 Hz ผ่านเครื่องขยายสัญญาณเสียงขนาด 50 w ไปขับลำโพงที่จำลองเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน(noise source)แล้วอ่านค่าระดับความดังของเสียง (dB) จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT บันทึกค่าที่ได้
2. เปิดสวิตช์ให้ชุดควบคุมเสียงรบกวนทำงานแล้วอ่านค่าระดับความดังของเสียง (dB) จากเครื่อง FFT บันทึกค่าที่ได้
3. ปิดสวิตช์ชุดควบคุมเสียงรบกวนไม่ใหทำงานแล้วเพิ่มความถี่สัญญาณเสียงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงขึ้นทีละ 12.5 Hz เป็น 112.5 Hz แล้วอ่านค่าที่ได้จากเครื่อง FFT บันทึกค่าที่ได้
4. แล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่
5. ทำขั้นตอนที่ 3 และ 2 ตามลำดับวนซ้ำไปเรื่อยๆจนได้ค่าความถี่สุดท้ายเท่ากับ 600 Hz
6. เดินพัดลมและปรับความเร็วรอบเพื่อให้อากาศที่ไหลในท่อมีความเร็วเท่ากับ 5m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอน 1 ถึง 5 ใหม่
7. เพิ่มความเร็วอากาศที่ไหลในท่อขึ้นทีละ 5 m/s เป็น 10 m/s , 15 m/s , 20 m/s , 25 m/s , 30 m/s , 35 m/s , และ 40 m/s แล้วกลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ใหม่
8. นำผลการทดลองที่ได้ทั้งก่อนและหลังจากระบบควบคุมเสียงรบกวนมาเขียนกราฟในแต่ละค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อเพื่อดูผลที่ได้จากการลดทอนเสียงรบกวน

5. ผลการทดลอง

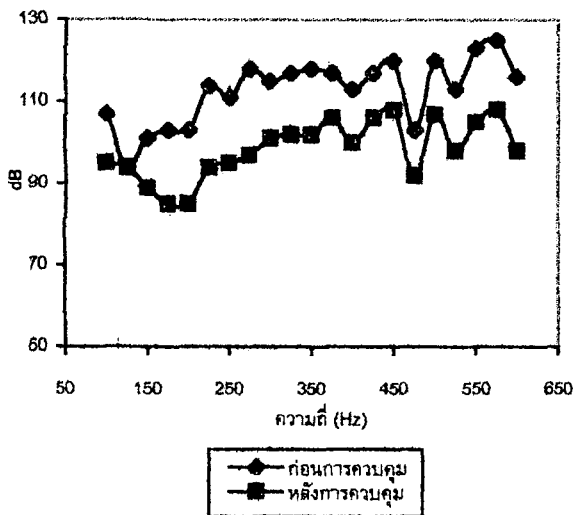
ผลการทดลองจะแสดงในรูปภาพในแต่ละค่าของความเร็วอากาศที่ไหลในท่อดังนี้



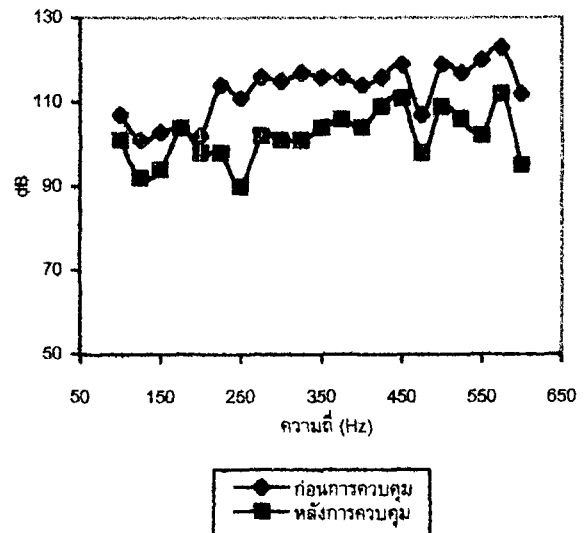
รูปที่ 3 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 0 m/s



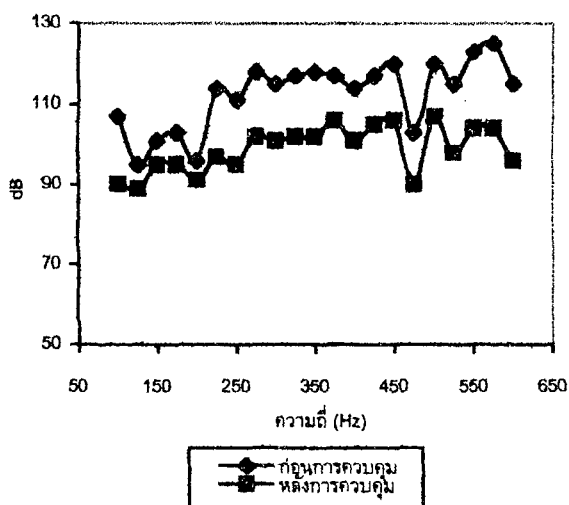
รูปที่ 6 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 15 m/s



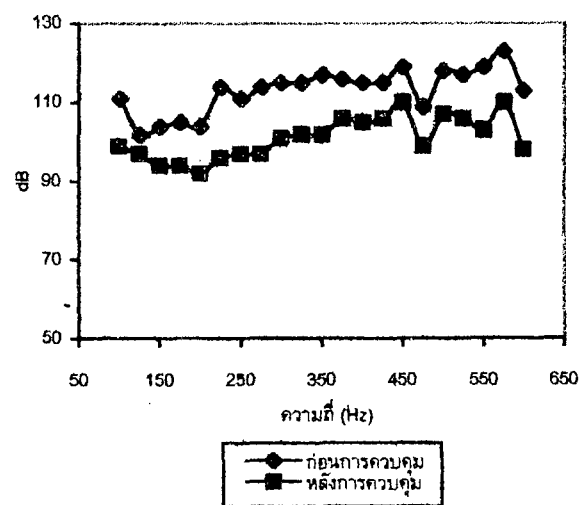
รูปที่ 4 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 5 m/s



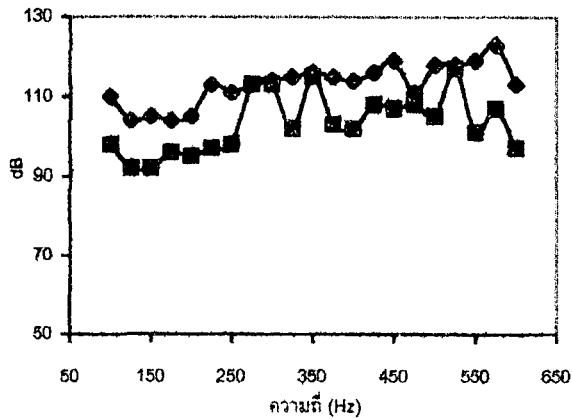
รูปที่ 7 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 20 m/s



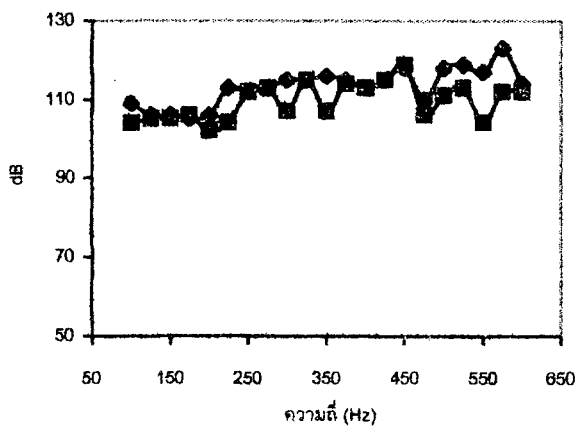
รูปที่ 5 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 10 m/s



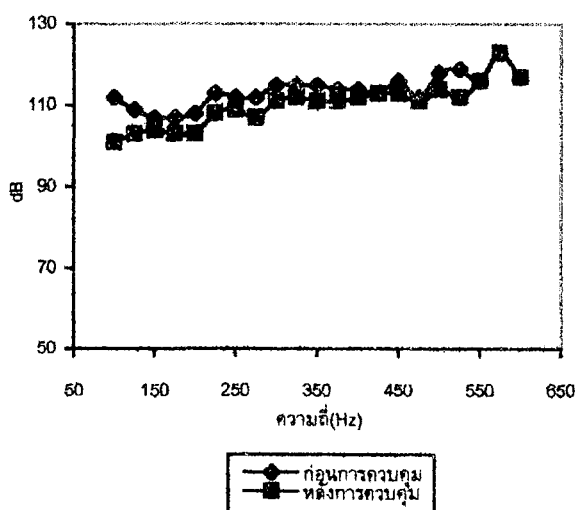
รูปที่ 8 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 25 m/s



รูปที่ 9 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 30 m/s



รูปที่ 10 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 35 m/s



รูปที่ 11 กรณีที่ความเร็วอากาศในท่อเท่ากับ 40 m/s

6.วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่แสดงในกราฟรูปที่ 3 ถึง 11 จะพบว่า การลดทอนเสียงรบกวนที่มีลักษณะสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลามากนัก โดยการใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าที่ออกแบบขึ้นโดยอาศัยหลักการของการเลื่อนเฟสของคลื่นเสียงรบกวนที่ตรวจจับได้โดยไม่กระทบกับสัญญาณเสียงในทิศทางเดียวกันมีประสิทธิภาพในการลดทอนเสียงรบกวนลงได้ถึง 20 – 25 dB ในช่วงที่ความเร็วของอากาศในท่อนำคลื่นเสียงไม่เกิน 25 m/s เมื่อความเร็วของอากาศมีค่ามากกว่า 25 m/s ขึ้นไปแล้วจะพบว่าค่าระดับความดังของเสียง (dB) ที่อ่านได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบ FFT จะมีการแกว่งกวัดมากและค่าสูงสุด-ต่ำสุดของการแกว่งกวัดทั้งก่อนและหลังใช้ระบบควบคุมจะมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าเมื่ออากาศไหลด้วยความเร็วสูงแล้วจะก่อให้เกิดเสียงรบกวน เนื่องจากการไหลผ่านส่วนโค้งของท่อซึ่งท่อนำเสียงที่ใช้ในการทดลองนี้มีบริเวณส่วนโค้งของท่อถึง 8 จุดด้วยกันซึ่งโดยปรกติแล้วพบว่าเมื่ออากาศในท่อกมีความเร็วสูงกว่า 10 m/s ขึ้นไปก็ก่อให้เกิดเสียงรบกวนที่รุนแรงจนอุปกรณ์ลดทอนเสียงแบบเชิงกล (resonator) ธรรมดาไม่สามารถจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ[1] ดังนั้นจะเห็นว่าข้อดีของการใช้แหล่งกำเนิดเสียงควบคุมในการลดทอนระดับความดังของเสียงรบกวนนั้นประการหนึ่งก็คือสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าจะมีอากาศไหลในท่อนำเสียงด้วยความเร็วสูงถึง 25 m/s นอกจากนั้นความสามารถในการลดทอนเสียงรบกวนในย่านความถี่ต่ำก็มีลักษณะสม่ำเสมอตลอดย่านความถี่ที่ทดลองด้วย

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] David A. Bies and Colin H. Hansen ,Engineering Noise Control Theory and Practice ,(1996) ,E&FN Spon ,London ,UK
- [2] Lawrence E.Kinsler ,Austin R.Frey ,Fundamentals of Acoustics ,(1962) ,second edition ,John Wiley & Sons Inc. ,New York
- [3] M.O.Tokhi ,R.R.Leitch ,Active Noise Control ,(1992) Clarendon Press ,Oxford
- [4] R.D.Ford ,Introduction to Acoustics ,(1970) ,Elsevier Publishing Company Limited ,New York