The Journal of Applied Science **Vol. 17 No. 1: 1-14 [2018]**
วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ doi: 10.14416/j.appsci.2018.05.004
ISSN 1513-7805 Printed in Thailand ISSN 2586-9663 (Online)

Research Article

การศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟระหว่างแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบป้อนกลับ

Comparative study of active noise control between feedforward and feedback control

ศุภฤกษ์ จันทร์ศุภเสน[1]*

Suparoek Junsupasen[1]*

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

[1]Department of Instrumentation and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800

***E-mail**: suparoek.j@eng.kmutnb.ac.th

Received: 29/03/2018; Accepted: 15/05/2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทีฟแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบป้อนกลับ เพื่อนำไปใช้ลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม จากผลการทดลองพบว่าระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า สามารถลดระดับเสียงได้มากที่สุดถึง 20.4 dB ที่ 80Hz ในขณะที่ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั้นสามารถลดระดับเสียงได้มากที่สุด 15 dB ที่ 63Hz ซึ่งน้อยกว่าแบบป้อนไปข้างหน้า 5.4 dB ส่วนที่ย่านความถี่ 80 Hz ที่เป็นเป้าหมายของการวิจัยระบบควบคุมเสียงแบบป้อนกลับสามารถลดเสียงได้ 14.5 dB ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีการทั้งสองแบบไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ มีการอภิปรายถึงการประยุกต์ใช้และข้อจำกัดของการวิจัยในครั้งนี้

คำสำคัญ: การควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟ, การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า, การควบคุมแบบป้อนกลับ

Abstract

The purpose of this research was to compare the feedforward active noise control and feedback active noise control using to reduce noise in industrial plants. The results showed that the feedforward control system could reduce 20.4 dB at 80 Hz whereas the feedback control system could reduce the sound level to 15 dB at 63Hz. The target band of the research feedback control system at 80 Hz could reduce noise 14.5 dB, which was satisfactory. Thus, both methods could be used in industrial plants. Applications and limitations for this research were also discussed.

Keywords: active noise control, feedforward control system, feedback control system

บทนำ

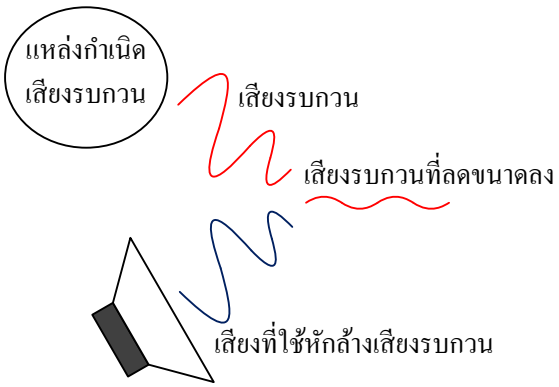
เสียงรบกวนเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ มีการศึกษาค้นคว้ามากมายที่ระบุว่าเสียงรบกวนสามารถนำไปสู่ปัญหาสุขภาพหลาย ๆ อย่าง เช่น ความดันโลหิตสูง ระบบหัวใจ สภาวะทางจิตใจ การรบกวนการนอนหลับ เป็นต้น (Rylander, 2004) ซึ่งสิ่งบ่งชี้ทั้งหลายเหล่านี้เป็นเหตุทำให้มีค่าใช้จ่ายในการรักษามากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะผู้ใช้แรงงานในโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่ง จากการค้นคว้าพบว่าเสียงรบกวนสามารถเกิดขึ้นจากหลายรูปแบบจากทั้งการทำงานด้วยมือหรือจากเครื่องจักร เช่น การก่อสร้าง การจราจร งานในโรงงาน เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพชีวิตที่ลดลง

ในการลดเสียงรบกวนนั้นโดยทั่วไปจะใช้วิธีการลดเสียงรบกวนแบบแพสซิฟ (passive) ซึ่งเป็นการใช้วัสดุดูดซับเสียงหรือใช้อุปกรณ์ครอบแหล่งกำเนิดเสียงเพื่อลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น แต่วิธีการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับเสียงความถี่ต่ำ เนื่องจากเสียงความถี่ต่ำมีความยาวคลื่นมาก ดังนั้นจะต้องวัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนามากจึงจะสามารถลดเสียงความถี่ต่ำได้ เช่น หากต้องการลดเสียงรบกวนความถี่ต่ำที่มีความถี่ 40Hz จะต้องใช้วัสดุดูดซับเสียงที่มีความหนาถึง 8.575 เมตร (จากสูตร $\lambda=c/f$ เมื่อ λ คือความยาวของคลื่น, c คือความเร็วของวิ่งในอากาศที่มีอุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C มีค่าเท่ากับ 343 m/s และ f คือความถี่) ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากและไม่สามารถทำได้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่มีขนาดใหญ่ วิธีการลดเสียงรบกวนความถี่ต่ำที่เหมาะสมคือการลดเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟ (active) มีหลักการคือจะใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์สร้างคลื่นเสียงที่มีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นเสียงรบกวน 180 องศาผ่านออกมาทางลำโพง เพื่อนำมาหักล้างกัน ผลที่ได้คือเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดจะมีขนาดลดลง หลักการทำงานของการควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟจะแสดงดังรูปที่ 1

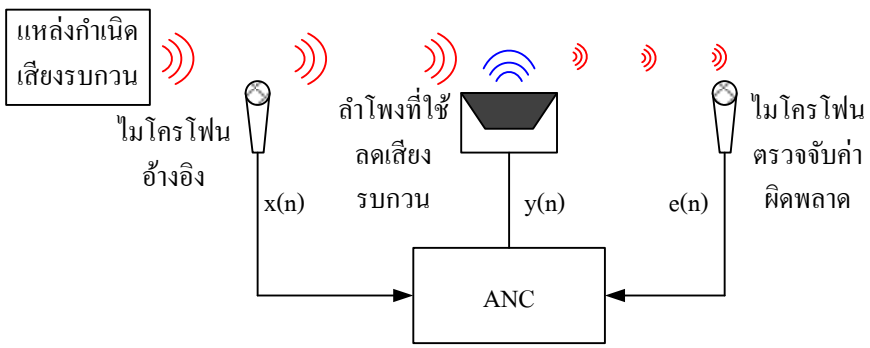
สำหรับการลดเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟสามารถแบ่งได้สองวิธีการคือ การใช้วิธีการแบบป้อนไปข้างหน้า (feedforward) และวิธีการแบบป้อนกลับ (feedback) โดยวิธีการป้อนไปข้างหน้าจะใช้ไมโครโฟนอ้างอิง (reference

doi: 10.14416/j.appsci.2018.05.004

microphone) รับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียง x(n) แล้วนำมาประมวลผลในชุดการประมวลสัญญาณดิจิทัล (digital signal processing: DSP) ซึ่งอยู่ในอุปกรณ์ควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟ (active noise control: ANC) จากนั้นจึงส่งสัญญาณที่มีเฟสตรงกันข้ามกับสัญญาณเสียงรบกวน 180 องศา ผ่านไปยังลำโพง y(n) และใช้ไมโครโฟนตรวจจับค่าผิดพลาด (error microphone) e(n) เป็นจุดรับเสียงที่เกิดขึ้นหลังจากการหักล้างกันเพื่อนำไปประมวลผล โดยจะให้ค่าผิดพลาดลดลงมากที่สุด (Kuo & Morgan,1999) ดังแสดงในรูปที่ 2

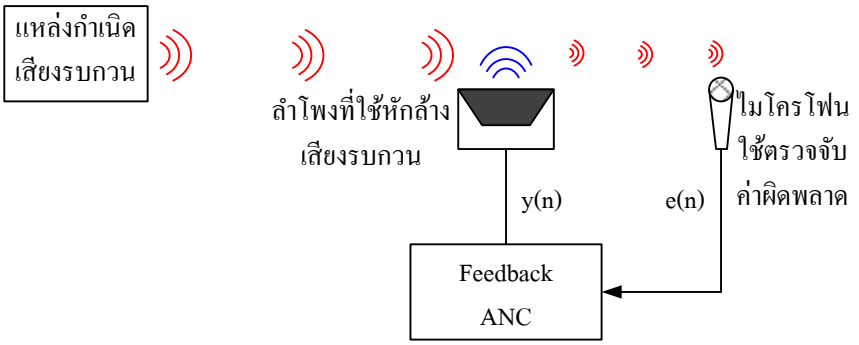


รูปที่ 1. หลักการทำงานของการควบคุมเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟ



รูปที่ 2. การควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบป้อนไปข้างหน้า

วิธีการควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนกลับจะมีเพียงไมโครโฟนตรวจจับค่าผิดพลาดเท่านั้น (รูปที่ 3) ซึ่งวิธีการนี้เหมาะกับการควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบที่ไม่สามารถวัดสัญญาณของแหล่งกำเนิดเสียงความถี่ต่ำได้โดยตรงและเหมาะกับเสียงความถี่ต่ำที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่เล็กน้อย



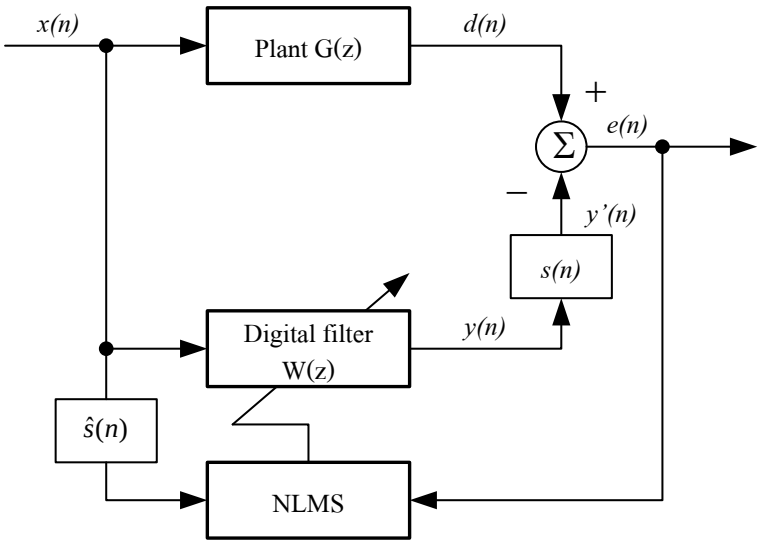
รูปที่ 3. การควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบป้อนกลับ

จากการศึกษาเกี่ยวกับเสียงรบกวนในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานผลิตพลาสติก พบว่าเสียงที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ก่อให้เกิดเสียงรบกวนที่มีค่าระดับความดันของเสียงมาก จะอยู่ที่ความถี่ 86 Hz (Peter, 2017) ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาวิธีการลดเสียงรบกวนที่ความถี่นี้ เนื่องจากหากสามารถลดเสียงรบกวนที่ความถี่นี้ได้ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับช่วงความถี่อื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกันได้ และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟ พบว่าเป็นการลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในเครื่องเป่าลมเย็นและท่อโดยใช้ขั้นตอนวิธี (algorithm) ชนิด FXLMS (Kuersirikul, 2001; Nimdum & Kuntanapreeda, 2001) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบลดเสียงรบกวนแบบแอ็กทิฟที่ใช้กับพื้นที่ภายในห้องปฏิบัติการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่เปิดโล่งต่อไป โดยมีข้อแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวที่มีการใช้บอร์ด TMS320 ในการประมวลผล ซึ่งข้อจำกัดของบอร์ดนี้คือใช้ได้เฉพาะกับ Windows XP งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้บอร์ด DE1-SoC ซึ่งสามารถใช้กับ Windows 10 ซึ่งมีความสะดวกในการพัฒนาภายใต้สภาวะแวดล้อมปัจจุบัน

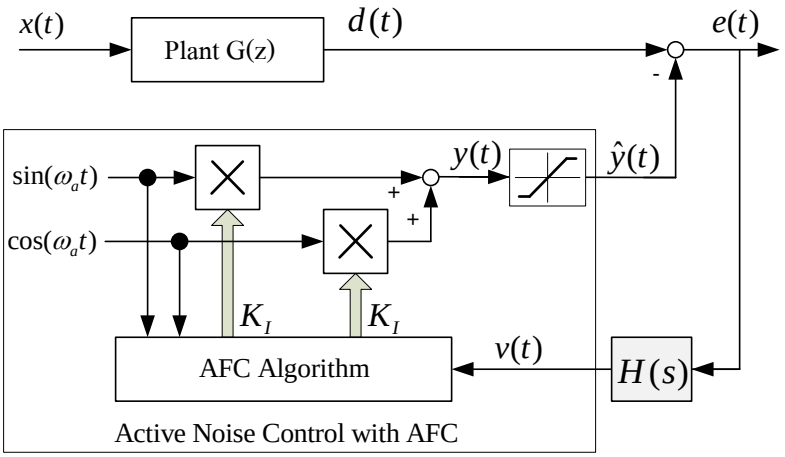
สำหรับขั้นตอนวิธีที่เลือกใช้สำหรับการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าคือ Filtered-X NLMS โดยมีลักษณะโครงสร้างของขั้นตอนวิธี ดังรูปที่ 4 x(n) คือ สัญญาณของเสียงรบกวนที่เข้ามา, Plant G(z) คือเส้นทางเดินของเสียงผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ , $\hat{S}$(n) คือsecondary path ซึ่งเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ชดเชยการหน่วงเวลาของ s(n) , Digital filter มีหน้าที่สร้างสัญญาณที่มีเฟสตรงกันข้ามกับสัญญาณของเสียงรบกวน, ส่วน NLMS มีหน้าที่ปรับค่าตัวแปรที่เหมาะสมให้กับ Digital filter , s(n) คือค่าฟังก์ชั่นของอุปกรณ์ประกอบเช่น เครื่องขยายเสียง ลำโพงเป็นต้น

ส่วนขั้นตอนวิธีที่ใช้สำหรับการควบคุมแบบป้อนกลับคือ adaptive feed forward cancellation (AFC) ลักษณะโครงสร้างขั้นตอนวิธีแสดงไว้ดังรูปที่ 5 สัญญาณ e(t) จะถูกตรวจจับผ่าน Error Microphone ซึ่งมีค่าฟังก์ชั่นเท่ากับ H(s) เข้าไปเป็น สัญญาณ v(t) เพื่อนำไปคูณกับค่า $\sin(\omega_a t)$ และ $\cos(\omega_a t)$ จะได้สัญญาณที่มีค่ากลับเฟสกับสัญญาณของเสียงรบกวน180 องศา y(t) แล้วนำมาคูณกับค่า K_l ซึ่งเป็นค่า learning rate โดยความเร็วในการลดเสียงรบกวนของ AFC จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการปรับค่านี้ หลังจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกไปทางลำโพง

เพื่อหักล้างกับเสียงรบกวน แล้วใช้ Error Microphone รับสัญญาณเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์วนไปเรื่อย ๆ จนสามารถลดเสียงรบกวนให้ได้มากที่สุด โดยวิธีการนี้ได้มีการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยจำลองสถานการณ์แล้ว พบว่าสามารถนำมาใช้ทดลองจริงได้ (Junsupasen et al., 2015)



รูปที่ 4. ขั้นตอนวิธีของระบบ Filtered-X NLMS



รูปที่ 5. ขั้นตอนวิธีของระบบ คือ adaptive feed forward cancellation (AFC)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1.1 คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการโปรแกรมการทำงานของบอร์ด DE1-SoC เพื่อให้บอร์ดสามารถทำการประมวลผลและทำการสื่อสารกับฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ และยังทำหน้าที่สร้างสัญญาณเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทดลอง

1.2 บอร์ด DE1-SoC ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณของเสียงรบกวนที่ส่งเข้ามาโดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแบบแอนะล็อก (analog) ให้เป็นสัญญาณแบบดิจิทัล (digital) เพื่อให้บอร์ดสามารถทำการประมวลผลและสร้างสัญญาณที่มีเฟสตรงกันข้ามกับสัญญาณเสียงรบกวน 180 องศา แล้วทำการแปลงสัญญาณแบบดิจิตอลเป็นอนาล็อกเพื่อส่งไปขยายสัญญาณที่เพาเวอร์แอมป์แล้วส่งต่อไปยังลำโพงต่อไป

1.3 มิกเซอร์ (mixer) ทำหน้าที่ในการควบคุมสัญญาณเสียงต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Alto PROFESSIONAL Zephyr ZMX862 และ NTS mx-600

1.4 ไมโครโฟนทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครโฟน superlux PRA118S Shotgun เป็นไมโครโฟนอ้างอิง และไมโครโฟน Superlux ECM 999 เป็นไมโครโฟนตรวจจับค่าผิดพลาด

1.5 เพาเวอร์แอมป์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ได้ออกไปยังลำโพง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เพาเวอร์แอมป์ คลาส H ขนาด 1200W

1.6 ลำโพงทำหน้าที่ปล่อยคลื่นเสียงออกมา โดยผู้วิจัยจะใช้ลำโพง Subwoofer ขนาด1200W สองตู้ โดยตู้แรกทำหน้าที่ปล่อยเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงออกมา ส่วนอีกหนึ่งตู้ทำหน้าที่ปล่อยเสียงที่มีเฟสตรงกันข้ามกับแหล่งกำเนิดเสียงออกมา

1.7 อุปกรณ์วิเคราะห์ความถี่เสียง ใช้ Brüel & Kjær 2250-Light-G4

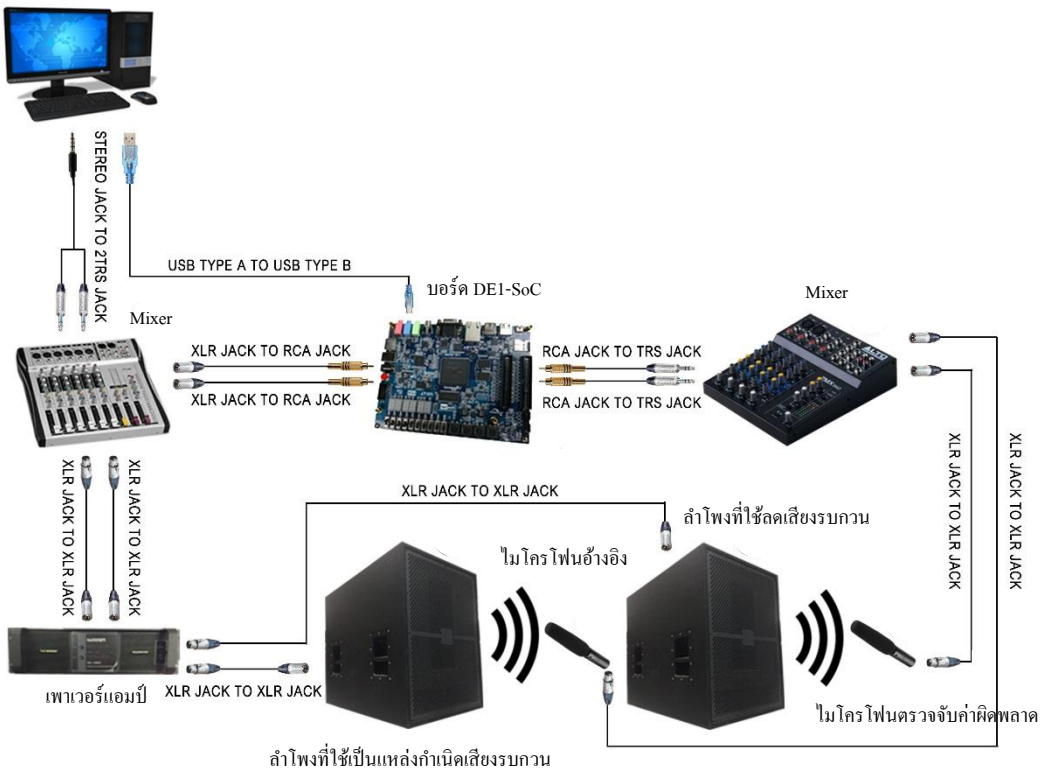
2. วิธีการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

2.1 การทดลองการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า โดยใช้ขั้นตอนวิธี Filtered-X NLMS

2.1.1 เชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยสายสัญญาณต่าง ๆ ดังรูปที่ 6

2.1.2 จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ดังรูปที่ 7 โดยระยะการจัดวางไมโครโฟนอ้างอิงกับหน้าลำโพงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนอยู่ที่ 10 ซม. ส่วนระยะจากหน้าลำโพงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถึงหน้าลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่ที่ 120 ซม. โดยลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่เยื้องกับหน้าลำโพงแหล่งกำเนิดเสียง 30 ซม. และระยะจากไมโครโฟนตรวจจับค่าผิดพลาดถึงหน้าลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่ที่ 15 ซม. สาเหตุในการเลือกระยะการจัดวางไมโครโฟนนี้นั้น เนื่องจากผู้วิจัยได้ทดลองที่ระยะต่างๆแล้วปรากฏว่าที่ระยะ 15 ซม.สามารถลดเสียงได้มากที่สุดจึงเลือกที่ระยะนี้

doi: 10.14416/j.appsci.2018.05.004



รูปที่ 6. ลักษณะการต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

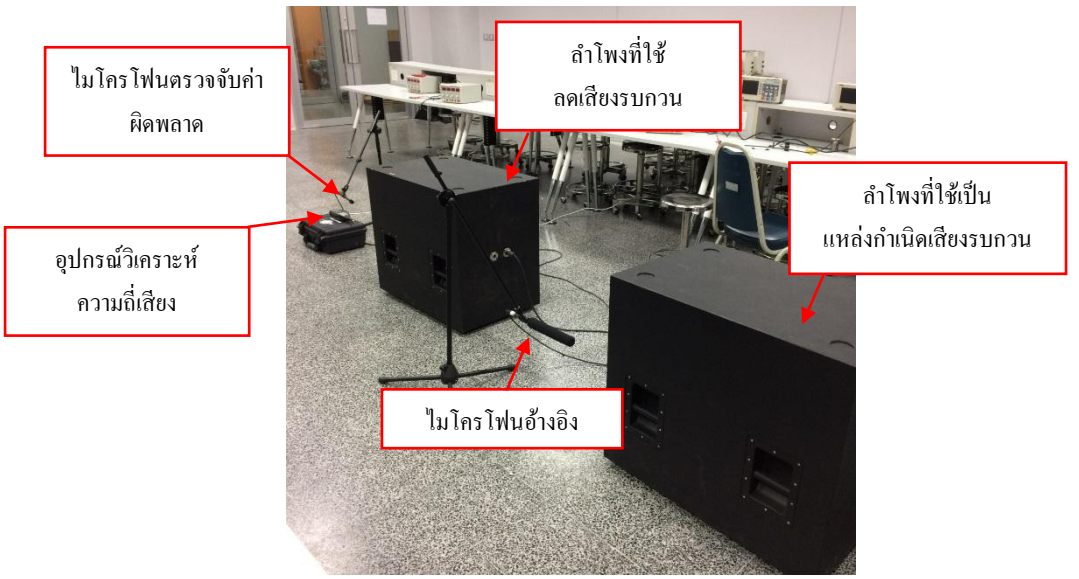
2.1.3 ทำการทดลองโดยจ่ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 86 Hz แล้วบันทึกผลจากการวิเคราะห์ความถี่เสียงที่ได้ก่อนและหลังเปิดระบบการควบคุมเสียงแบบป้อนไปข้างหน้าโดยไม่มีการเคลื่อนย้ายลำโพงทั้งสองตัว

2.2 การออกแบบการทดลองการควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนวิธี AFC

2.2.1 เชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วยสายสัญญาณต่าง ๆ ดังรูปที่ 8

2.2.2 จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ดังรูปที่ 9 โดยระยะจากหน้าลำโพงแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถึงหน้าลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่ที่ 120 ซม. โดยลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่เยื้องกับหน้าลำโพงแหล่งกำเนิดเสียง 30 ซม. และระยะจากไมโครโฟนตรวจจับค่าผิดพลาดถึงหน้าลำโพงที่ใช้ลดเสียงรบกวนอยู่ที่ 90 ซม. สาเหตุในการเลือกระยะการจัดวางไมโครโฟนนี้นั้น เนื่องจากผู้วิจัยได้ทดลองที่ระยะต่างๆแล้วปรากฏว่าที่ระยะ 90 ซม.สามารถลดเสียงได้มากที่สุดจึงเลือกที่ระยะนี้

2.2.3 ทำการทดลองโดยจ่ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 86 Hz แล้วบันทึกผลจากการวิเคราะห์ความถี่เสียงที่ได้ก่อนและหลังเปิดระบบการควบคุมเสียงแบบป้อนกลับโดยไม่มีการเคลื่อนย้ายลำโพงทั้งสองตัว



รูปที่ 7. ลักษณะการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์เพื่อทดลองระบบควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนไปข้างหน้า

ผลการทดลอง

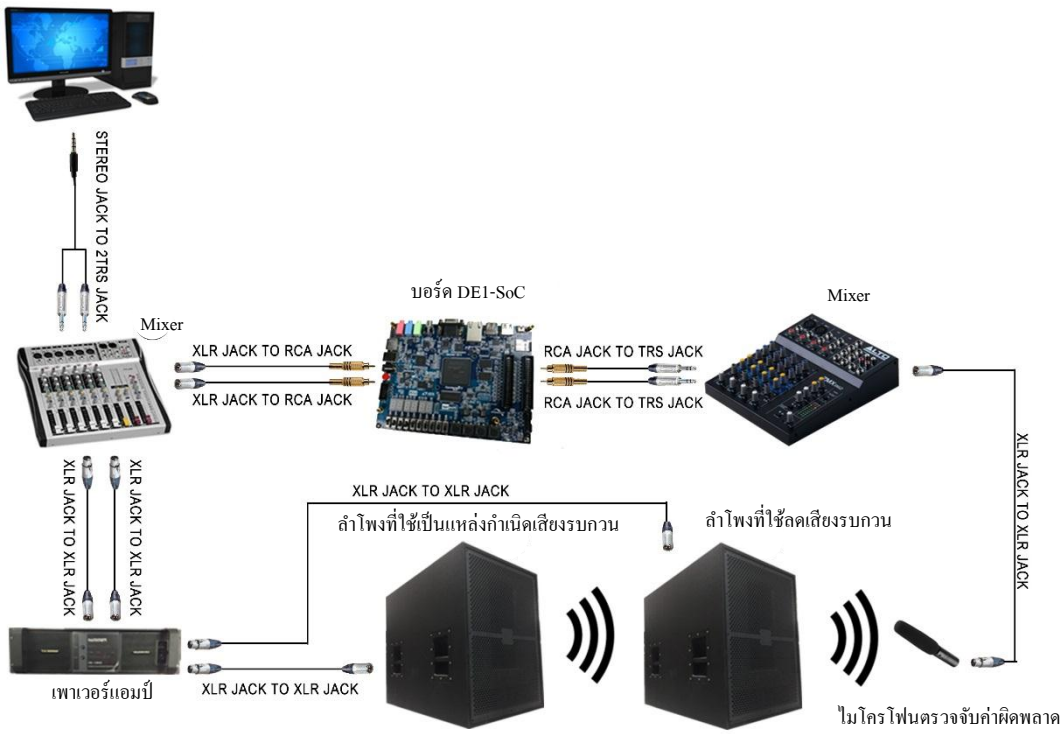
1. การทดลองการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

จากตารางที่ 1 พบว่าระบบควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบป้อนไปข้างหน้าสามารถทำการลดระดับเสียงความถี่ต่ำได้ดีที่สุดที่ย่านความถี่ 80 Hz สามารถลดเสียงได้มากที่สุดถึง 20.4 dB ซึ่งตรงอยู่ในย่านความถี่ที่สัญญาณรบกวนของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่คือ 86 Hz (เนื่องจากเครื่องมือวิเคราะห์ความถี่เสียงเป็นแบบ 1/3 octave band จึงไม่สามารถแสดงค่าระดับเสียงที่ความถี่ 86 ได้โดยตรง) รองลงมาคือที่ความถี่ 100 Hz ลดได้ 20.2 dB ส่วนย่านความถี่ที่ลดเสียงความถี่ต่ำได้น้อยที่สุดคือที่ 50 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้เพียง 8.3 dB

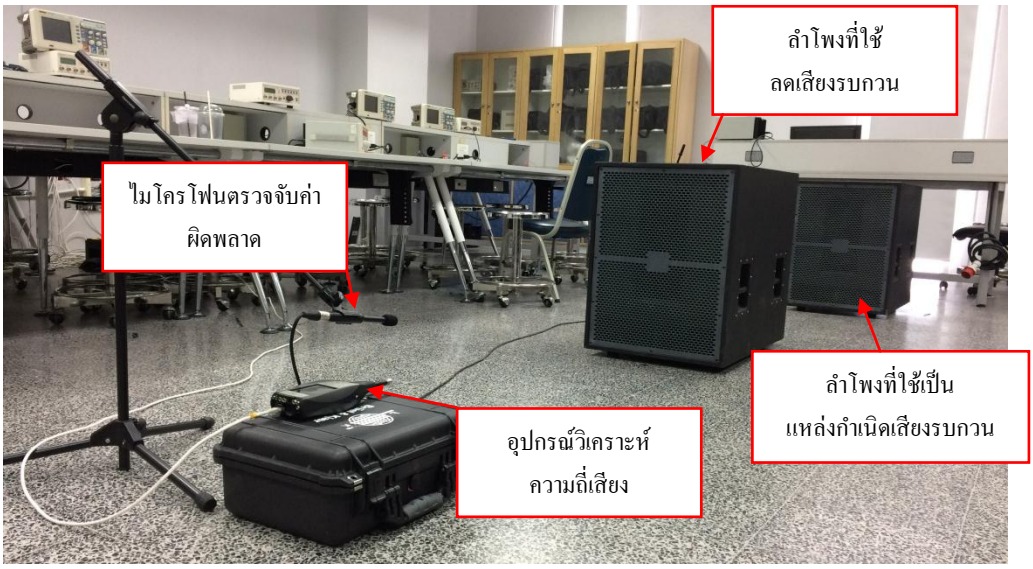
เมื่อพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ A ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าสามารถลดเสียงลงได้ถึง 15.5 dB กราฟแสดงผลจากการวิเคราะห์เสียงที่ความถี่ต่างๆเมื่อเปิดและปิดระบบควบคุมเสียงแบบป้อนไปข้างหน้าแสดงในรูปที่ 10

จากผลจากการวิเคราะห์เสียงที่ความถี่ต่างๆ ดังรูปที่ 11 พบว่า ที่ความถี่ต่ำมาก เช่น ที่ 12.5 Hz , 20 Hz หรือ 31.5 Hz เมื่อเปิดระบบควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบป้อนไปข้างหน้าแล้วมีระดับเสียงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งนี้อาจเกิดเนื่องมาจากลำโพงที่ใช้ไม่สามารถสร้างเสียงที่มีความถี่ต่ำมาก ๆได้ ส่วนที่ความถี่ 50 Hz, 63 Hz , 80 Hz , 100 Hz และ 125 Hz หลังเปิดใช้งานระบบแล้ว ระบบสามารถควบคุมเสียงรบกวนได้ดี ส่วนในความถี่ที่สูงขึ้นไปบางความถี่ เช่นที่ 250 Hz และ 400 Hz พบว่าเมื่อเปิดใช้งานแล้วมีระดับเสียงเพิ่มขึ้น สาเหตุอาจเกิดจากจากการสะท้อนของเสียงจากผนังห้อง

doi: 10.14416/j.appsci.2018.05.004



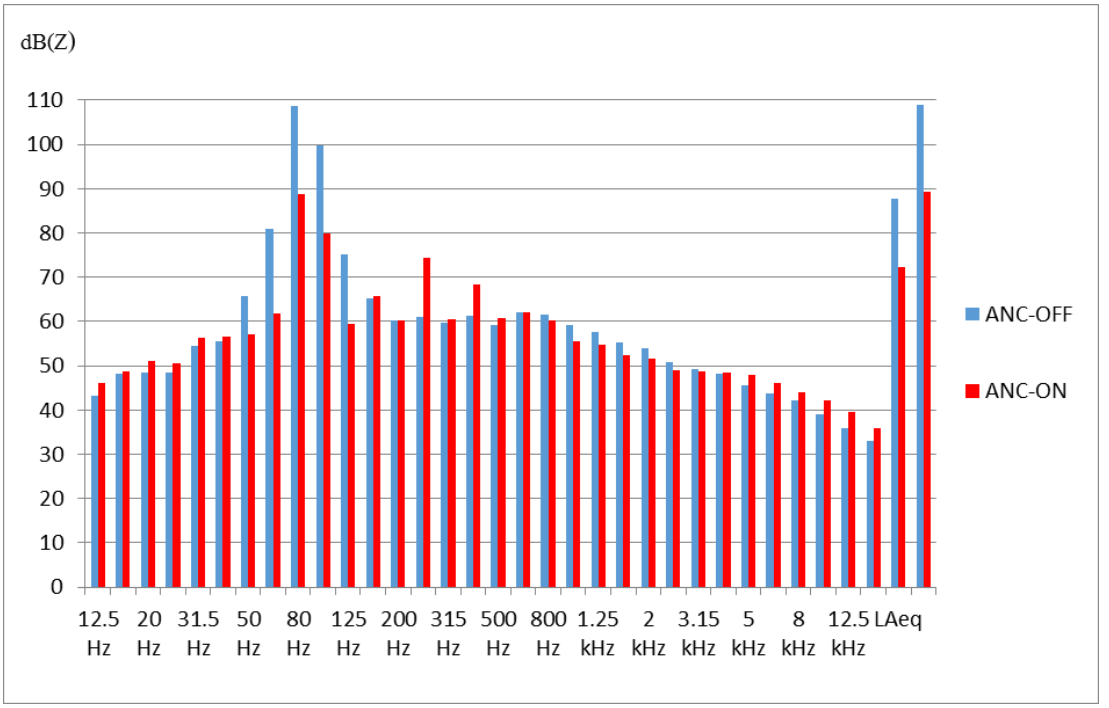
รูปที่ 8. ลักษณะการต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองการควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 9. ลักษณะการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์เพื่อทดลองระบบควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนกลับ

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบค่าระดับเสียงจากการวัดระดับเสียงในที่ความถี่ต่างๆ โดยพิจารณาทั้งเฉพาะย่านความถี่และตลอดทั้งย่านความถี่ของการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

วิธีการวัดเสียง	ความถี่	ระดับเสียง		ระดับเสียงที่ลดลง
		ANC OFF	ANC ON	
แบบพิจารณาเฉพาะย่านความถี่ SPL dB(Z)	50 Hz	65.5 dB(Z)	57.2 dB(Z)	8.3 dB
	63 Hz	81.1 dB(Z)	61.2 dB(Z)	19.9 dB
	80 Hz	108.5 dB(Z)	88.1 dB(Z)	20.4 dB
	100 Hz	100.1 dB(Z)	79.9 dB(Z)	20.2 dB
	125 Hz	75.3 dB(Z)	59.4 dB(Z)	15.9 dB
แบบพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักแบบ A dB(A)	86Hz	87.7 dB(A)	72.2 dB(A)	15.5 dB



รูปที่ 10. แสดงผลจากการวิเคราะห์เสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ในสภาวะที่ทำการเปิดระบบ และทำการปิดระบบ ควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนไปข้างหน้า เมื่อป้อนสัญญาณเข้าแหล่งกำเนิดเสียงที่ความถี่ 86 Hz

2. การทดลองการควบคุมแบบป้อนกลับ

จากตารางที่ 2 พบว่าระบบควบคุมเสียงความถี่ต่ำแบบป้อนกลับสามารถทำการลดระดับเสียงความถี่ต่ำได้ดีที่สุดที่ย่านความถี่ 63 Hz ซึ่งสามารถลดเสียงได้มากที่สุด 15 dB รองลงมาคือที่ความถี่ 80 Hz และ100 Hz ลดได้เท่ากันคือ 14.5 dB ส่วนย่านความถี่ที่ลดเสียงความถี่ต่ำได้น้อยที่สุดคือที่ 50 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้เพียง 10.4 dB เมื่อพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ A ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถลดเสียงลงได้ถึง 13.9 dB กราฟแสดงผลจากการวิเคราะห์เสียงที่ความถี่ต่างๆ เมื่อเปิดและปิดระบบควบคุมเสียงแบบป้อนกลับแสดงในรูปที่ 11

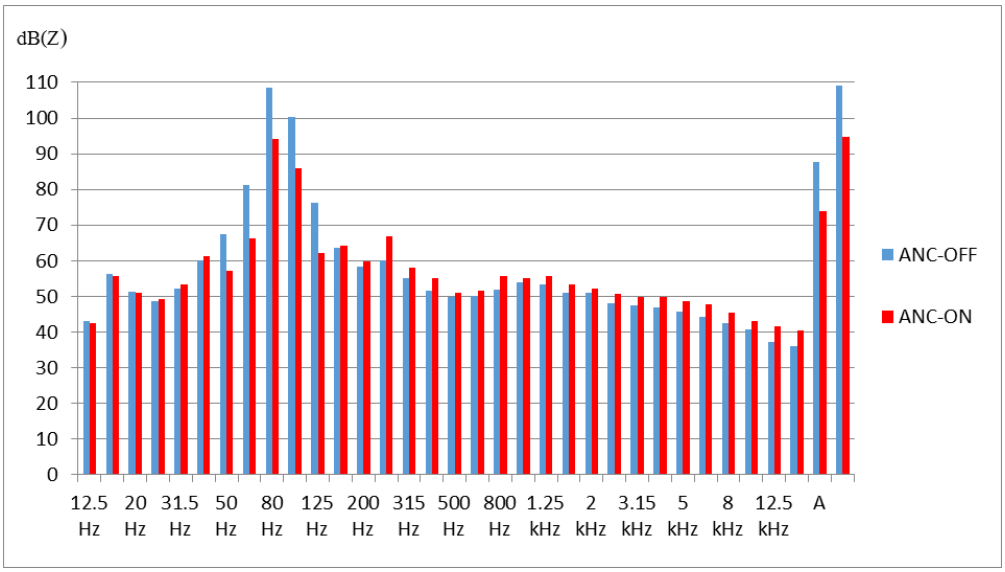
ตารางที่ 2. เปรียบเทียบค่าระดับเสียงจากการวัดระดับเสียงในที่ความถี่ต่างๆ โดยพิจารณาทั้งเฉพาะย่านความถี่และตลอดย่านความถี่ของการควบคุมแบบป้อนกลับ

วิธีการวัดเสียง	ความถี่	ระดับเสียง		ระดับเสียงที่ลดลง
		ANC OFF	ANC ON	
แบบพิจารณาเฉพาะย่านความถี่ SPL dB(Z)	50 Hz	67.5 dB(Z)	57.1 dB(Z)	10.4 dB
	63 Hz	81.2 dB(Z)	66.2 dB(Z)	15 dB
	80 Hz	108.5 dB(Z)	94 dB(Z)	14.5 dB
	100 Hz	100.3 dB(Z)	85.8 dB(Z)	14.5 dB
	125 Hz	76.3 dB(Z)	62.2 dB(Z)	14.1 dB
แบบพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักแบบ A dB(A)	86Hz	87.8 dB(A)	73.9 dB(A)	13.9 dB

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกบอร์ด DE1-SoC มาใช้ในการประมวลผล เนื่องจากบอร์ดนี้มีสะดวกในการพัฒนาภายใต้สภาพแวดล้อมปัจจุบันที่มีการใช้ Windows 10 เมื่อเทียบกับบอร์ด TMS320C ที่ต้องใช้งานกับ Windows XP ที่ถูกนำไปใช้กับหลายงานวิจัยที่ผ่านมา (Nimdum & Kuntanapreeda, 2001; Thassanamethin & Srekitsuwan, 2008) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้บอร์ด DE1-SoC ประมวลผลสำหรับระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า สามารถทำการลดระดับเสียงได้มากที่สุดถึง 20.4 dB ที่ย่านความถี่ 80 Hz ซึ่งเป็นย่านความถี่เป้าหมายของการวิจัย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟแจกแจงความถี่ของแบบป้อนไปข้างหน้าพบว่ามีบางความถี่ที่เมื่อเปิดระบบแล้วเสียงเพิ่มขึ้นกว่าเดิม เช่นที่ย่านความถี่ 250 Hz และที่ 400 Hz ซึ่งอาจเกิดจากการสะท้อนของเสียงในห้อง เมื่อพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ A ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าสามารถลด

เสียงลงได้ถึง 15.5 dB เมื่อเทียบกับการศึกษาเชิงทดลองการลดระดับเสียงรบกวนด้วยวิธี FXLMS (Kuntanapreeda & Srekitsuwan, 2001) ซึ่งใช้หลักการควบคุมเป็นแบบป้อนไปข้างหน้าเช่นเดียวกัน สามารถลดเสียงรบกวนได้ 20-30 dB ที่ความถี่ 200 และ 300 Hz พบว่างานวิจัยดังกล่าวสามารถลดระดับเสียงรบกวนได้มากกว่างานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งควบคุมเสียงได้ยากกว่าการทดลองในท่อ



รูปที่ 11. แสดงผลจากการวิเคราะห์เสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ในสภาวะที่ทำการเปิดระบบ และทำการปิดระบบ ANC เมื่อป้อนสัญญาณเข้าแหล่งกำเนิดเสียงที่ความถี่ 86 Hz ในการควบคุมแบบป้อนกลับ

ส่วนระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั้นสามารถทำการลดระดับเสียงได้ดีที่สุดที่ความถี่ 63 Hz ซึ่งสามารถลดเสียงได้ 15 dB(Z) ซึ่งน้อยกว่าแบบป้อนไปข้างหน้า 5.4 dB ส่วนที่ย่านความถี่ 80 Hz ซึ่งเป็นเป้าหมายของการวิจัย ระบบควบคุมเสียงแบบป้อนกลับสามารถลดเสียงได้ 14.5 dB ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ และเมื่อพิจารณาตลอดทั้งย่านความถี่โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบ A ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถลดเสียงลงได้ 13.9 dB ซึ่งน้อยกว่าแบบป้อนไปข้างหน้า 1.6 dB เมื่อเทียบกับผลการวิจัยเรื่องการควบคุมเสียงรบกวนแบบป้อนกลับด้วยกฎ FXLMS (Nimdum & Kuntanapreeda, 2001) ซึ่งใช้หลักการควบคุมเป็นแบบป้อนกลับเช่นเดียวกัน สามารถลดเสียงรบกวนได้ 25-35 dB ที่ความถี่ 220 และ 240 Hz พบว่างานวิจัยดังกล่าวสามารถลดเสียงรบกวนได้มากกว่างานวิจัยนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งควบคุมเสียงได้ยากกว่าการทดลองในท่อ

เมื่อเปรียบกันระหว่างการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าและแบบป้อนกลับ ถึงแม้ว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะสามารถลดเสียงรบกวนความถี่ต่ำได้น้อยกว่าแบบป้อนไปข้างหน้า แต่ข้อดีของระบบควบคุมแบบป้อนกลับคือระบบจะมีเสถียรภาพดีกว่าคือเมื่อเกิดการสั่นสะเทือนของไมโครโฟนหรือมีลมพัดเข้าไมโครโฟนจะไม่มีปัญหากับระบบมากนักเนื่องจากไม่มี secondary path (Junsupasen et al., 2018) จึงเป็นไปได้ที่สามารถนำทั้งสองวิธีการไปทดลองใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาตราจารย์ ดร.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตรและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส ผ่องญาติ ที่ให้ความรู้ในด้านวิศวกรรม ขอขอบคุณ นายวรุต ชุมวรฐายี และนายเทพากร สิทธิวันชัย นักวิจัยรุ่นใหม่ที่ช่วยให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบคุณ นายณัฐวุฒิ อัครเนตร และนายธนโชติ ไตรพลรัตน ที่ช่วยในด้านการทดลองต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

Junsupasen, S., Pongyart, W., Yodpijit, N. (2015). *Adaptive Feedforward Cancellation (AFC) in Sound Fields: Computer-Based Approach for Active Noise Control (ANC)*, pp. 902-906, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, 18-20 March 2015, The Royal Garden Hotel, Kowloon, Hong Kong.

Junsupasen, S., Pongyart, W., Jongprasithporn, M., Yodpijit, N. (2018). Low frequency noise reduction with active noise control in laboratory settings. *KMUTNB: International Journal of Applied Science and Technology, 11*(1), 39-44. http//dx.doi.org/10.14416/jijast.2018.01.002

Kuersirikul, S. (2001). *Noise reduction of a fan coil unit by active control* (M.E. thesis). Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)

Kuntanapreeda, S. & Srekitsuwan, S. (2001) Experimental studies of noise attenuation using FXLMS method. *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 11*(1), 33-36. (in Thai)

Kuo, S. M. & Morgan, D. R. (1999) Active noise control: a tutorial review. *Proceedings of the IEEE, 87*, 943-973.

Messner, W. & Bodson, M. (1994) Design of adaptive feedforward controllers using internal model equivalence. *American Control Conference, 2,* 1619-1623.

Nimdum, P. & Kuntanapreeda, S. (2001). *Feedback noise control using FXLMS rule*, pp. 108-112, In The 15th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 28-30 November 2001, Srinakharinwirot University, Bangkok. (in Thai)

Peter, B. (2017) *Noise in the Plastics Processing Industry: A Practical Guide.* pp. 219**.** Shawbury, UK: Smithers Rapra Technology.

Rylander, R. (2004). Physiological aspects of noise-induced stress and annoyance. *Journal of Sound and Vibration, 277*(3), 471-478. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.03.008

Thassanamethin T. & Srekitsuwan S. (2008). *Active Noise Control Using Frequency Splitting Techniques* , pp. 346-351, In The 22th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 15-17 October 2008, Thammasat University, Bangkok. (in Thai)