ศึกษาการลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายตัวโดยวิธีอะเดปทีฟฟีดแบค

A STUDY OF ADAPTIVE FEED BACK NOISE REDUCTION CONTROL FROM MULTIPLE SOUND SOURCES

มานพ ปานะโปย
MANOP PANAPOY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-200-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาการลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายตัวโดยวิธีอเดปทีฟฟีดแบค

A STUDY OF ADAPTIVE FEED BACK NOISE REDUCTION CONTROL FROM MULTIPLE SOUND SOURCES

T045879

มาณพ ปานะโปย

MANOP PANAPOY

เลขหมู่.......................
เลขทะเบียน.... 45879
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2546

.b..............................
.i...............................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-200-7

A STUDY OF ADAPTIVE FEED BACK NOISE REDUCTION CONTROL FROM MULTIPLE SOUND SOURCES

MANOP PANAPOY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

ISBN 974-324-200-7

COPYRIGHT 2003
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ศึกษาการลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายตัวโดยวิธีอเดปทีฟฟีดแบค

A STUDY OF ADAPTIVE FEED BACK NOISE REDUCTION CONTROL FROM MULTIPLE SOUND SOURCES

ชื่อนักศึกษา นายมาณพ ปานะโปย

รหัสประจำตัว 41062023

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ทวี เทศเจริญ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.อัคระเดช สินธุภัค

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	
ผศ.มิ่ง	โลกิจแสงทอง	
รศ.อัคระเดช	สินธุภัค	
รศ.ทวี	เทศเจริญ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 27 ธันวาคม 2545 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-402)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่....๒๐....**เดือน**....มกราคม....**พ.ศ.**....๒๕๔๖....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศึกษาการลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายตัวโดยวิธีอเดปทีฟฟีดแบค
นักศึกษา	นายมาณพ ปานะโปย
รหัสประจำตัว	41062023
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ร.ศ. ทวี เทศเจริญ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ร.ศ. อัครเดช สินธุภัค

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนหลายตัว (Multiple Noise Source) โดยวิธีอเดปทีฟฟีดแบคคอนโทรล (Adaptive Feedback Control) ซึ่งใช้ชุดประมวลผลแบบดิจิตอลเบอร์ TMS320C50 เป็นตัวควบคุม โดยใช้หลักการของ FIR และกฎการปรับตัวเองแบบ FXLMS Algorithm เพื่อสร้างสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงที่ถูกสร้างขึ้นนี้ (Secondary Noise) จะนำไปหักล้างกับเสียงรบกวน (Primary Noise) ที่บริเวณจุดสังเกต หรือที่ตำแหน่งไมโครโฟน โดยสัญญาณเสียงที่นำไปหักล้างกับเสียงรบกวนมีความถี่ และอัมปลิจูดเท่ากับเสียงรบกวน แต่มีเฟสต่างกัน 180^0

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาการหักล้างเสียงรบกวนที่มีความถี่ 100 Hz ถึง 1000 Hz ในห้องป้องกันเสียงขนาด 1.5 x 3.0 x 1.5 m^3 ที่มีความถี่คงที่สม่ำเสมอ และมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 2, 3 และ 4 ตำแหน่ง โดยมีแหล่งกำเนิดหักล้างเสียงรบกวนเพียง 1 ตำแหน่ง จากผลการทดลองพบว่า ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดหักล้างเสียงรบกวนกับไมโครโฟนที่ 20 และ 30 cm สามารถหักล้างเสียงได้ดีที่สุด และเสียงที่มีความถี่ต่ำๆ สามารถหักล้างเสียงได้ดีกว่าเสียงที่มีความถี่สูง ๆ

Thesis Title	A Study of Adaptive Feed Back Noise Reduction Control from Multiple Sound Sources
Student	Mr. Manop Panapoy
Student ID.	41062023
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanic Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Thavee Teschareon
Co-Advisor	Assoc. Prof. Akradech Sindhuphak

ABSTRACT

In this work, adaptive feedback control was implemented for the noise cancellation from multiple primary sources. This system contains TMS320C50 DSP board, which is the controller using FIR and adaptive FXLMS algorithm to generate acoustic signal (Secondary Noise). Frequency and amplitude of the generated acoustic signal are equal to those of primary noise but the phase is different to 180^0.

Noise wave cancellation was investigated in the frequency range from 100 Hz to 1000 Hz in the acoustic room 1.5 x 3.0 x 1.5 m^3 in dimension. Primary noise sources contain 2, 3 and 4 locations while secondary source was located in one position. The experiment results show that the distances between the secondary source and microphone at 20 and 30 cm. gave the highest noise cancellation . In addition, the cancellation of noise at low frequencies was higher than that at high frequencies.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาทั้งทางด้านทฤษฎี และทางปฏิบัติจาก รศ.อัครเดช สินธุภัค และรศ. ทวี เทศเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดาของข้าพเจ้าที่คอยเป็นทั้งกำลังใจ และทุนทรัพย์ รวมทั้ง อาจารย์ บุศรินทร์ ปานะโปย ที่คอยตรวจสอบรูปเล่ม และช่วยเหลือในงานวิจัยนี้

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

มาณพ ปานะโปย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนะนำวิทยานิพนธ์	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ทฤษฎีการควบคุมเสียงแบบ ANC	7
3.1 ตัวกรองสัญญาณแบบดิจิตอล	8
3.2 อัลกอริทึม	11
3.3 การควบคุมเสียงแบบป้อนไปข้างหน้า	16
3.4 การควบคุมเสียงแบบย้อนกลับ	18
บทที่ 4 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง	24
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลงการลดเสียง	24
4.2 การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล TMS320C50	26
บทที่ 5 วิธีการทดลอง และการเขียนโปรแกรมการลดเสียง	31
5.1 วิธีทดลอง	31
5.2 วิธีการเขียนโปรแกรมการลดเสียงโดยใช้ FXLMS AlgorithmสำหรับTMS320C50	31
5.3 การเขียนโปรแกรม Assembler	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 วิเคราะห์ และผลการทดลอง 35

6.1 ผลของระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone ที่มีต่อการลดเสียง 37

6.1.1 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง 37

6.1.2 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 3 ตำแหน่ง 41

6.1.3 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 2 ตำแหน่ง 45

6.2 ผลของการลดเสียงรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ 50

6.3 การลดเสียงรบกวนจากเครื่องปรับอากาศ 56

บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 60

7.1 สรุปผลการทดลอง 60

7.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป 61

เอกสารอ้างอิง 62

ภาคผนวก 63

ก. โปรแกรมเขียนการลดเสียงแบบ Feedback ANCโดยใช้ FXLMS Algorithm สำหรับ TMS320C50 64

ข. โปรแกรมเขียนคำสั่งเชื่อมข้อมูล 78

ประวัติผู้เขียน 79

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 130.0 Hz โดยมีระยะห่างของ

Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm 40

6.2 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 167.5 Hz โดยมีระยะห่างของ

Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm 44

6.3 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 127.5 Hz โดยมีระยะห่างของ

Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm 48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การหักล้างเสียงโดยวิธี Active Noise Control	1
1.2 การลดเสียงในท่อโดยใช้เทคนิค Single – Channel Feedforward ANC	2
1.3 การลดเสียงในท่อโดยใช้เทคนิค Single – Channel Feedback ANC	3
3.1 ระบบประมวลสัญญาณแบบดิจิตอลพื้นฐาน	7
3.2 องค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ที่ใช้ในตัวกรองแบบดิจิตอล (a) ตัวคูณ (b) ตัวหน่วง และ (c) ตัวบวก	8
3.3 โครงสร้างของตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR	10
3.4 แผนผังการลดเสียงโดยใช้ Algorithm แบบ LMS	11
3.5 แผนผังการลดเสียงแบบ Algorithm แบบ FXLMS	13
3.6 การหาค่าของ $\hat{S}(z)$ โดยใช้วิธี Off-line Modeling	15
3.7 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Broadband Feedforward Control	16
3.8 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Narrowband Feedforward Control	17
3.9 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Multiple - Channel ANC	18
3.10 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Feedback Control	18
3.11 แผนผังโครงสร้างการลดเสียงแบบ Feedback Control	19
3.12 แผนผังการสมมติค่าของ $d(n)$ และ $\hat{S}(z)$	21
3.13 แผนผังโครงสร้างการลดเสียงโดยใช้ FXLMS Algorithm แบบ Feedback Control	21
3.14 แผนผังของ Feedback ANC ซึ่งจัดให้มีรูปแบบเหมือนกับ Feedforward ANC	22
4.1 แผนผังอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียง	24
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียงที่อยู่ด้านนอกห้องป้องกันเสียง	25
4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียงที่อยู่ด้านในห้องป้องกันเสียง	25
4.4 ส่วนประกอบสำคัญของบอร์ด TMS320C50	27
4.5 แผนผังการสร้างโปรแกรมโดยใช้ DSK Code	28
4.6 แผนผังการสร้างโปรแกรมใช้งาน	29
6.1 ระดับเสียงรบกวนที่ถูกสร้างขึ้นจาก Function Generator ในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz	35
6.2 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 cm	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.3 ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้างในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz 37

6.4 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm 38

6.5 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm 39

6.6 ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้างในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz 41

6.7 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm 42

6.8 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm 43

6.9 ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้างในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz 45

6.10 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm 46

6.11 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm 47

6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงรบกวนที่หักล้าง กับระยะห่าง Secondary Noise Source กับ Microphone (S) 49

6.13 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 170.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 50

6.14 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 250.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 51

6.15 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 410.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 52

6.16 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 732.5 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 53

6.17 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 850.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 54

6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับเสียงรบกวนโดยมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง และมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 cm 55

6.19 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ Low (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 56

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.20 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ Medium (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 57

6.21 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ High (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง 58

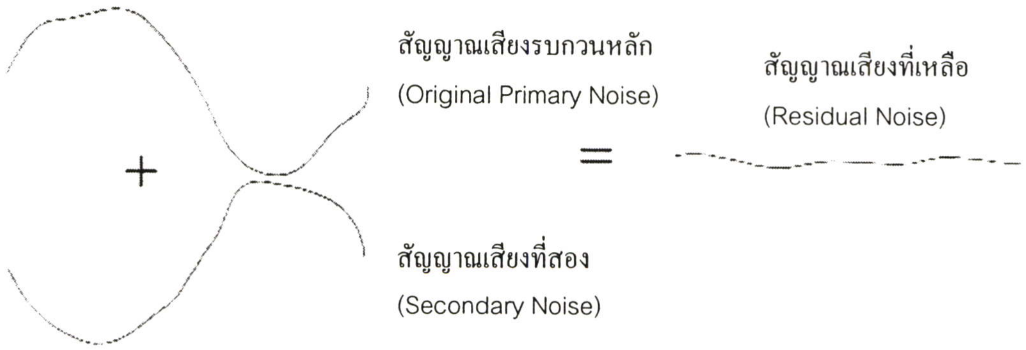
บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนะนำวิทยานิพนธ์

เสียงที่ดังเกินไปจัดเป็นมลพิษอย่างหนึ่ง มลพิษทางเสียงนี้มีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางร่างกาย และจิตใจ สำหรับผลกระทบทางร่างกาย คือ ผลต่อระบบประสาทการได้ยิน ส่วนผลทางด้านจิตใจ คือ ทำให้จิตใจหงุดหงิด เสียสมาธิ ซึ่งอาจส่งผลต่องานในขณะที่กระทำอยู่ เป็นต้น ปัญหามลพิษทางเสียงนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากปริมาณรถยนต์ หรือโรงงาน ที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ในปัจจุบันการแก้ปัญหาในการลดเสียงจึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก การลด หรือควบคุมระดับเสียงรบกวนสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ

- การควบคุมเสียงแบบ Passive [1] เป็นการควบคุมโดยอาศัยวัสดุในการดูดซับเสียง หรืออุปกรณ์ในการป้องกันเสียง การใช้วัสดุดูดซับเสียงที่แหล่งกำเนิดเป็นการทำให้พลังงานของคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียงลดลง ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการควบคุมระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีขนาดใหญ่ และมีการเคลื่อนไหว การควบคุมโดยวิธีนี้จะมีราคาแพง ส่วนการใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียงที่คนฟังจะเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด แต่จะทำให้ผู้ใช้เกิดความรำคาญ นอกจากนี้ระดับเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมก็ยังคงเท่าเดิม

- การควบคุมเสียงแบบ Active (Active Noise Control (ANC)) [2] เป็นการลดเสียงโดยอาศัยแหล่งกำเนิดเสียงที่สอง (Secondary Noise) ไปหักล้างเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงหลัก (Original Primary Noise) โดยแหล่งกำเนิดเสียงที่สองมีความถี่ และอัมปลิจูดเท่ากับแหล่งกำเนิดเสียงหลัก แต่มีเฟส (Phase) ตรงข้ามดังในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 การหักล้างเสียงโดยวิธี Active Noise Control

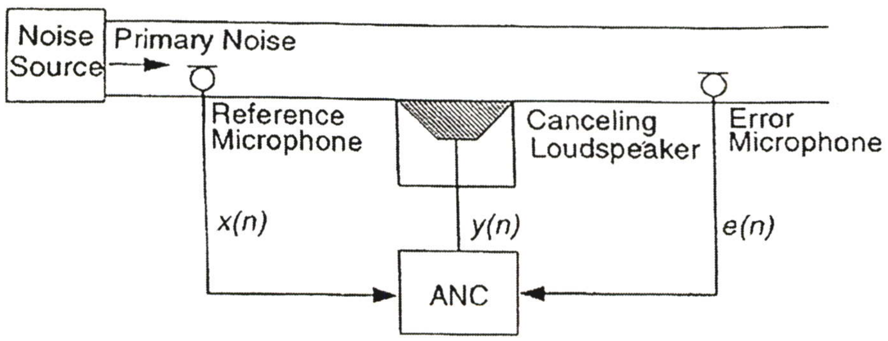
จากรูปที่ 1.1 หลักการหักล้างเสียงแบบ ANC ขึ้นอยู่กับพื้นฐานการซ้อนทับตำแหน่งกันของ Primary กับ Secondary Source เรียกว่า Superposition ดังนั้นประสิทธิภาพการหักล้างเสียงขึ้นอยู่กับค่าความถูกต้องของค่าอัมปลิจูด และเฟสของแหล่งกำเนิดเสียงที่จะนำไปหักล้างการหักล้างเสียงแบบ ANC จากหลักการที่กล่าวข้างต้นไม่มีความยุ่งยาก แต่ความจริงมีความสลับซับซ้อน เนื่องจากจะต้องคำนึงถึงรายละเอียดเกี่ยวกับพฤติกรรมของเสียงเช่น การเปลี่ยนแปลงของเสียงขณะเดินทาง เวลาในการเดินทาง การแทรกสอด และการหักเห เป็นต้น

ข้อดีของระบบการหักล้างเสียงแบบ ANC คือ การหักล้างเสียงมีประสิทธิภาพดีที่ความถี่ต่ำ ๆ ซึ่งวิธีการควบคุมเสียงแบบ Passive นั้นทำได้ผลไม่ดีนัก การหักล้างเสียงแบบ ANC ได้ถูกคิดค้นมานานกว่า 60 ปี และจดสิทธิบัตรครั้งแรกโดย Lueg [3] ซึ่งใช้อุปกรณ์ในการลดเสียงคือไมโครโฟน และชุดขับลำโพงอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างแหล่งเสียงในการหักล้าง แต่ในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมาการการลดเสียงของ ANC เพิ่งได้รับความนิยม เนื่องจากความก้าวหน้าทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะ Digital Signal Processing (DSP) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบสำหรับการคำนวณได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การควบคุมเสียงสามารถทำแบบ Real Time ได้

1.1.1 ระบบการลดเสียงแบบ ANC

การลดเสียงแบบ ANC สามารถแบ่งออกตามระบบการควบคุมเป็น 2 ระบบ คือ แบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward ANC) และแบบป้อนกลับ (Feedback ANC)

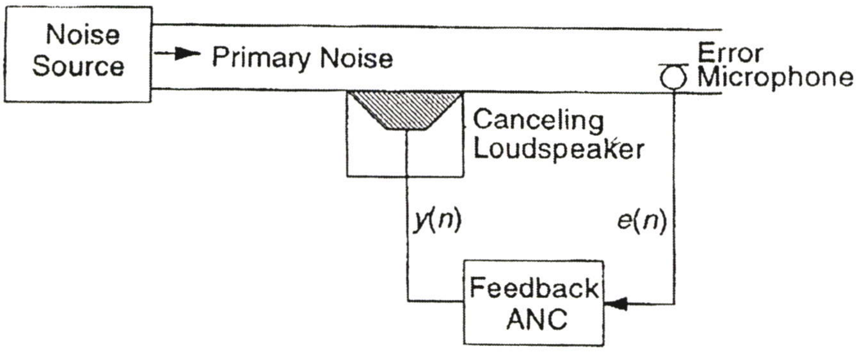
- การลดเสียงแบบ Feedforward ANC โดยทั่วไปจะมีอุปกรณ์ในการวัดสัญญาณเสียงล่วงหน้าก่อน ซึ่งเสียงนี้จะเป็นสัญญาณอ้างอิง โดยนำสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณที่ใส่เข้าไปให้ตัวควบคุม และทำการคำนวณค่าสัญญาณเสียงโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณค่าที่ผิดพลาดดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การลดเสียงในท่อโดยใช้เทคนิค Single-Channel Feedforward ANC

การลดเสียงโดยวิธีนี้มีข้อดีคือสัญญาณเสียงอ้างอิงคงที่ทำให้เกิดความเสถียรในการหักล้างเสียง การลดเสียงในรูปที่ 1.2 เป็นการลดเสียงโดยคิดว่าเสียงมี 1 มิติ (Single Channel) แต่ถ้าการลดเสียงในห้องไม่สามารถคิดว่าเสียงมีเพียงมิติเดียวได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีสัญญาณอ้างอิงมากกว่า 1สัญญาณ (Multiple Channel) จึงทำให้การหักล้างเสียงโดยวิธีนี้ยุ่งยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการลดเสียงโดยวิธี Feedback ANC

- การลดเสียงแบบ Feedback ANC เป็นวิธีการลดเสียง ณ ตำแหน่งที่สนใจ โดยสัญญาณเสียงที่ตำแหน่งต้องการลด จะใช้เป็นสัญญาณเสียงอ้างอิง ดังนั้นสัญญาณเสียงอ้างอิงใช้เพียงสัญญาณเดียว โดยรูปแบบการลดเสียงแบบ Feedback ANC แสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การลดเสียงในท่อโดยใช้เทคนิค Single-Channel Feedback ANC

โดยทั่วไปเสียงที่เกิดภายในห้องจะมีหลายมิติ และมีความซับซ้อน แต่เนื่องจากการลดเสียงแบบ Feedback ANC เป็นการลดเสียงที่ตำแหน่งสนใจเท่านั้น ดังนั้นการลดเสียงในห้องสำหรับวิจัยนี้จึงใช้แบบ Feedback ANC

1.1.2 **การประยุกต์ใช้ของ** Active Noise Control

เนื่องจากการลดเสียงแบบ ANC ทำได้ดีที่ความถี่ต่ำ ๆ (ต่ำกว่า 600 Hz [2]) โดยส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้ในงานต่อไปนี้

- ลดเสียงในท่อ โดยใช้ท่อที่มีขนาดเท่ากันตลอด ดังเช่น การลดเสียงจากท่อไอเสีย ลดเสียงจากท่อแอร์ เป็นต้น
- ลดเสียงรบกวนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมแบบปิด
- ลดเสียงรบกวนในสิ่งแวดล้อมแบบเปิด

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1 สามารถนำไปใช้ลดเสียงในห้อง หรือโรงงานต่าง ๆ ได้จริง

1.2.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดเสียงเครื่องยนต์ หรือเครื่องจักรกลซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางเสียงได้จริง

1.2.3 ทำให้ทราบรูปแบบการลดเสียงแบบ ANC

1.2.4 มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของการประมวลผลแบบดิจิตอล

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดเสียงในห้องทดลอง โดยมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่ง และมีแหล่งหักล้างเสียงเพียงแหล่งเดียว

1.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดเสียงโดยใช้อุปกรณ์ DSP

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการลดเสียงรบกวนโดยใช้อุปกรณ์ DSP รุ่น TMS320C50 โดยวิธี Feedback Control

1.4.2 ศึกษาการลดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 2, 3 และ 4 แหล่ง โดยมีแหล่งหักล้างเสียงเพียงแหล่งเดียว โดยแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถูกสร้างจาก Function Generator และเสียงจากเครื่องปรับอากาศ

1.4.3 ศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแหล่งหักล้างเสียงกับจุดที่ต้องการหักล้างเสียง

1.4.4 ศึกษาการลดเสียงรบกวนในช่วงความถี่ 100-1000 Hz

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาการลดเสียงนิยมศึกษาโดยใช้วิธี Adaptive Filter โดยใช้หลักการของ FIR (Finite Impulse Response) และระบบการควบคุมเป็นแบบ Feedforward Control ซึ่งงานวิจัยที่ใช้ระบบการควบคุมแบบ Feedback Control นี้ค่อนข้างมีจำกัด ดังนั้นในบทนี้จึงนำเสนอผลงานวิจัยที่ผ่านมาทั้ง 2 ระบบการควบคุม

Tak-Krung Yeung และ Sze-Fong Yau [4] ได้ศึกษาการลดเสียงโดยระบบ Feedback ANC โดยใช้ Adaptive Lattice Filters และ Algorithm แบบ LMS (Least Mean Square) ซึ่ง Algorithm นี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ Predictor, Identifier และ Equalizer โดยที่ Predictor ถูกสร้างขึ้นโดยใช้หลักการ Adaptive transversal FIR Filter ส่วน Adaptive Lattice Filter ใช้สำหรับหาลักษณะรูปแบบของเฟส สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของเฟสใช้ Equalizer ใช้หลักการของ Lattice IIR (Infinite Impulse Response) Filter ผลการจำลองโดยใช้การสุ่ม (Sampling) ที่ 4 kHz ซึ่งเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการ Aliasing ของสัญญาณ และในการทดลองนี้ได้จำลองการลดเสียงในช่วงความถี่ (Bandwidth) 0 - 800 Hz และสามารถลดเสียงได้ประมาณ 20-30 dB ซึ่งได้ผลดีในช่วงความถี่ 0-300 Hz ส่วนช่วงความที่ 400-800Hz สามารถลดเสียงได้เพียง 5-10 dB

Yi Yuan และคณะ [5] ได้จดสิทธิบัตรการลดเสียงเครื่องจักรที่ทำให้เกิดเสียงโดยใช้วิธี ANC เสียงรบกวนที่เกิดจากเครื่องจักรจะอยู่ในรูปของ Sine Wave โดยมีค่าของอัมปลิจูด และความถี่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องจักร การลดเสียงทำโดยใช้วิธีของ Adaptive Filter ที่มีรูปแบบ Feedforward Control ตามหลักการของ FIR โดยใช้ Algorithm แบบ Leaky-LMS โดยที่ค่า leakage Factor จะเป็น Function ของอัตราเร็วของเครื่องจักร

Bryan Riley และ Mark Bodie [6] ใช้วิธี Adaptive สำหรับการหักล้างเสียง และการสั่นในรถยนต์ส่วนบุคคล จุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสบายของผู้โดยสาร โดยใช้รูปแบบของ Adaptive Filter โดยใช้หลักการของ FIR และ Algorithm แบบ LMS ซึ่งใช้ระบบควบคุมแบบ Feedforward Control โดยที่ศึกษาการลดเสียงที่ตำแหน่งผู้โดยสารทางขวาที่นั่งด้านหน้า และวัดขณะรถยนต์วิ่งบนถนนลาดยาง (Asphalt) ที่ความเร็วรอบของเครื่องที่ 2000-6500 รอบ/นาที โดยจะปิดแอร์ พัดลม และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ เพื่อไม่ให้เกิดเสียง จากการทดลองพบว่าสามารถลดเสียงได้ประมาณ 7-10 dB ที่ความเร็วรอบเครื่อง 1700-2200 รอบ/นาที และสามารถลดเสียงได้มากสุด 9 dB ที่

ความเร็วรอบ 2100 รอบ/นาที ส่วนที่ความเร็วรอบเครื่องเท่ากับ 3500-5200 รอบ/นาที สามารถลดเสียงได้มากที่สุด 4.5 dB ที่ความเร็วรอบ 4300 รอบ/นาที ส่วนการลดการสั่นได้ศึกษาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1100-2700 รอบ/นาที ซึ่งสามารถลดการสั่นได้ 13 dB ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1550 และ 2000 รอบ/นาที

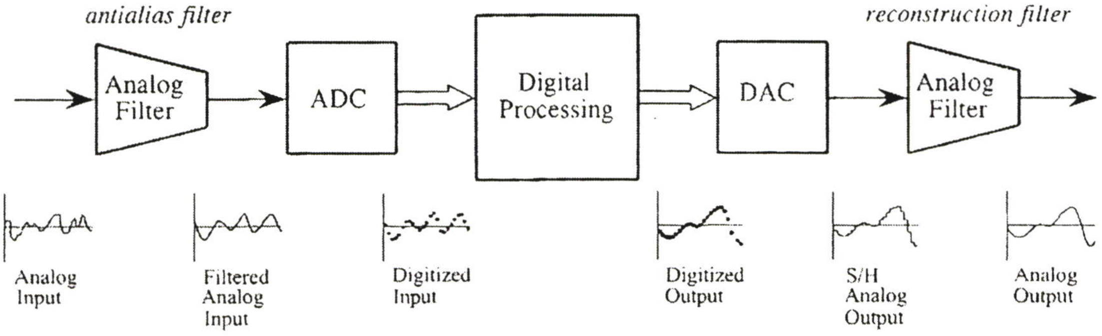
Akio Kinoshite และ Hirofumi Aoki [7] ได้จดสิทธิบัตรการลดเสียงในรถยนต์โดยใช้ระบบ ANC ในสิทธิบัตรนี้จะประกอบด้วยตัวตรวจจับสัญญาณเสียง (Sensor) จำนวนหลายจุดในตัวรถยนต์ เนื่องจากการสั่นสะเทือนของตัวรถยนต์จะทำให้เกิดเสียงขึ้นรอบ ๆ ตัวรถยนต์ อีกทั้งเสียงอาจจะเกิดจากการสั่นของตัวตรวจจับสัญญาณเอง สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ไมโครโฟนเป็นตัวตรวจจับสัญญาณเสียง โดยมี Microprocessor และ Adaptive Digital Filter เป็นตัวควบคุมระดับเสียงโดยใช้หลักการของ FIR โดยมี Algorithm แบบ LMS และใช้ระบบควบคุมแบบ Feedforward Control

นายวัชรพงษ์ เกตุพันธ์ และคณะ [8] ได้ศึกษาระบบการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วย Algorithm แบบ LMS โดยใช้อุปกรณ์ประมวลผลแบบดิจิตอลเบอร์ TMS320C50 มาพัฒนาเป็นชุดกำจัดสัญญาณรบกวนแบบปรับตัวเองได้ ซึ่งการทดลองใช้ความถี่สุ่ม 30 kHz โดยทดลองกับสัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ และได้เปรียบเทียบความเร็วในการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ μ ของ Algorithm ในการทดลองนี้ได้มีการเพิ่มอุปกรณ์การเปลี่ยนสัญญาณ A/D เป็นจำนวน 2 ชิ้น ขนาด 12 bit และอุปกรณ์การเปลี่ยนสัญญาณจาก D/A 1 ชิ้น ขนาด 12 bit ซึ่งมีความเร็วในการแปลงข้อมูล 8 μs ในการทดลองนี้มีสเปกตรัม 2 ลักษณะคือ สัญญาณ s (สัญญาณไซน์ความถี่คงที่ 100 Hz) ถูกรบกวนด้วยสัญญาณ n_1 ที่มีสัญญาณที่กวาดกว้างตั้งแต่ความถี่ 10 Hz ถึง 1 kHz ผลการทดลองพบว่าสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนถูกลดปริมาณได้ดี ผลของพารามิเตอร์ μ ของ Algorithm แบบ LMS พบว่าค่าของ μ มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ลดสัญญาณรบกวนเร็วขึ้น แต่ทำให้การกรองสัญญาณไม่เข้าสู่จุดที่ดีที่สุด (Optimum working point)

นายสุวัฒน์ กุลธนปรีดา และคณะ [1] ได้ศึกษาการควบคุมเสียงรบกวนมิติเดียวแบบ Active สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดเสียงในท่อ โดยมีอุปกรณ์การทดลอง คือ ชุดประมวลผล DSP รุ่น TMS320C32 ไมโครโฟน 2 ตัว ชุดท่อ ลำโพงหนึ่งคู่ และเครื่องขยายสัญญาณ โดยใช้ระบบแบบ Feedforward Control หลักการของ FIR และ Algorithm แบบ LMS Leaky-LMS ผลการทดลองพบว่าสามารถลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 300 Hz ได้สูงสุด 28 dB และพบว่าระบบ Leaky-LMS สามารถป้องกันการเกิด Overflow หลังจากทำงานระยะนาน และผลการลดเสียงใกล้เคียงกับ LMS

บทที่ 3
ทฤษฎีการควบคุมเสียงแบบ ANC

การควบคุมเสียงแบบ ANC เมื่อพิจารณาตามโครงสร้างการควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Feedback ANC และ Feedforward ANC ซึ่งทั้ง 2 โครงสร้างใช้หลักการของการกรองสัญญาณดิจิตอล (Digital Filter) สำหรับการกรองสัญญาณที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการปรับเปลี่ยนสัญญาณเรียกว่า Adaptive Filter [9] โดยที่ค่าของช่วงความถี่ และค่าอัมปลิจูดของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของ Adaptive Filter และสัญญาณสามารถปรับตัวเองได้แบบอัตโนมัติโดยจะขึ้นอยู่กับ Adaptive Algorithm นั้น ๆ เนื่องจากคลื่นเสียงเป็นคลื่นที่มีความไว ดังนั้นประสิทธิภาพในการปรับเปลี่ยนสัญญาณนอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับความรวดเร็ว และมีความแม่นยำในการประมวลผล การประมวลผลด้วยระบบดิจิตอลจึงได้รับความนิยม สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลดเสียงแบบ ANC โดยใช้การประมวลผลแบบดิจิตอล แต่เนื่องจากสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนสัญญาณเสียงไปเป็นสัญญาณดิจิตอลก่อน แล้วนำสัญญาณดิจิตอลที่ได้ไปประมวลผลโดยใช้ Digital Signal Processing (DSP) จากนั้นนำสัญญาณดิจิตอลที่ได้เปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาล็อกเพื่อนำไปหักล้างเสียงรบกวน โดยทั่วไปพื้นฐานการประมวลโดยระบบดิจิตอลสามารถแสดงในรูปที่ 3.1

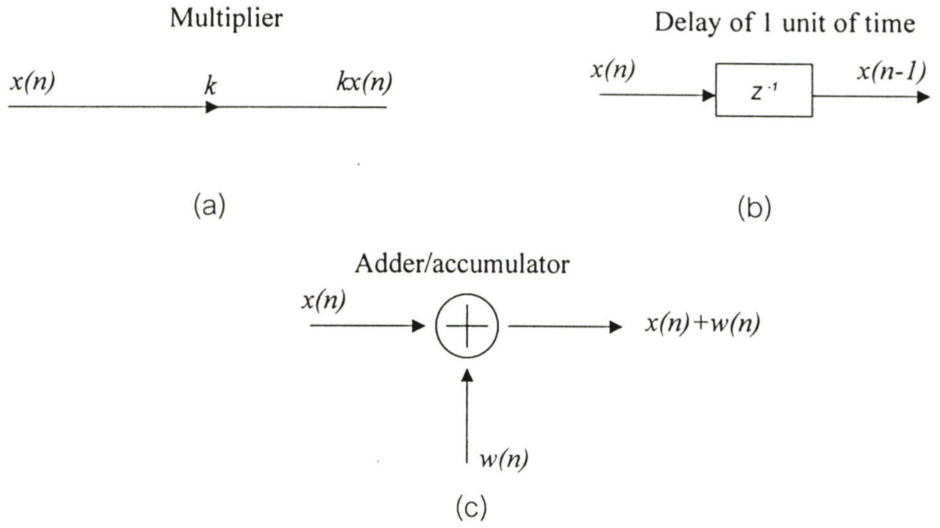


รูปที่ 3.1 ระบบประมวลสัญญาณแบบดิจิตอลพื้นฐาน [10]

จากรูปที่ 3.1 พบว่าจะมีอนาล็อกฟิวเตอร์ (Analog Filter) สองส่วน โดยส่วนหน้าทำหน้าที่จำกัดความถี่ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการประมวลเท่านั้นก่อนจะถูกเปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter (ADC)) ส่วนอนาล็อกฟิวเตอร์หลังลดผลของ Sharp Transition ของการเปลี่ยนสัญญาณจากดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก(Digital to Analog Converter (DAC)) จากรูปที่ 3.1 ระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลพื้นฐานได้จัดอยู่ในชุดของ TMS320C50 ซึ่งรายละเอียดของบอร์ด TMS320C50 จะกล่าวไว้ในบทที่ 4.

3.1 ตัวกรองสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Filter)

โดยทั่วไปตัวกรองแบบดิจิตอลมีองค์ประกอบพื้นฐานดังนี้ ตัวบวก (Adder) ตัวคูณ (Multiplier) และตัวหน่วง (Delay) ซึ่งสัญลักษณ์ทั้ง 3 ตัวสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบพื้นฐานทั้ง 3 ที่ใช้ในตัวกรองแบบดิจิตอล (a) ตัวคูณ (b) ตัวหน่วง และ (c) ตัวบวก

โดยทั่วไปตัวกรองแบบดิจิตอลแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1. ตัวกรองดิจิตอลแบบ IIR (Infinite Impulse Response Filter)
2. ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR (Finite Impulse Response Filter)

3.1.1 ตัวกรองดิจิตอลแบบ IIR

ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของตัวกรองแบบ IIR สามารถเขียนในรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N} b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^{M} a_k z^{-k}} \qquad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 สามารถนำมาเขียนใหม่ได้สมการต่อไปนี้

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + ... + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + ... + a_m z^{-M}} \qquad (3.2)$$

จากสมการที่ 3.2 เมื่อสัญญาณ input คือ $X(z)$ และสัญญาณ output คือ $Y(z)$ โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนคือ $H(z)$ จะได้

$$Y(z) = H(z)X(z)$$

$$Y(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + ... + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + ... + a_m z^{-M}} X(z) \qquad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.3 นำไปจัดเทอมใหม่ และเขียนในรูปสมการ Difference Equation [10] จะได้

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N} b_k x(n-k) - \sum_{k=1}^{M} a_k y(n-k) \qquad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 ค่า a_k และ b_k คือ ค่าตัวแปรของฟังก์ชัน โดยทั่วไปค่า a_k และ b_k จะเป็น Time-varying ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ $a_k(n)$ และ $b_k(n)$ โดยที่ $y(n)$ และ $x(n)$ คือค่า output และค่า input ของฟังก์ชันเวลา n ตามลำดับ ในระบบของ IIR จะมี Pole ทำให้มีข้อดีคือ สามารถใช้เป็นแบบจำลองระบบจริงได้ดีโดยที่ไม่ต้องมีค่าอันดับที่สูง ดังนั้นทำให้ใช้พื้นที่ในการเขียน และประหยัดเวลาในการประมวลผล แต่ข้อเสียคือ ระบบมีโอกาสไม่เสถียรได้ถ้าการปรับตัวไม่ดี โดยเฉพาะในกรณีที่สัญญาณที่วัดมีสัญญาณรบกวนสูง [11]

3.1.2 ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR

ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR มีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \qquad (3.5)$$

จากสมการที่ 3.5 เมื่อเขียนอยู่ในรูปของ (Z-domain) ได้ดังนี้

$$y(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(z)z^{-k} \qquad (3.6)$$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k} \qquad (3.7)$$

จากสมการ 3.6 และ 3.7 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

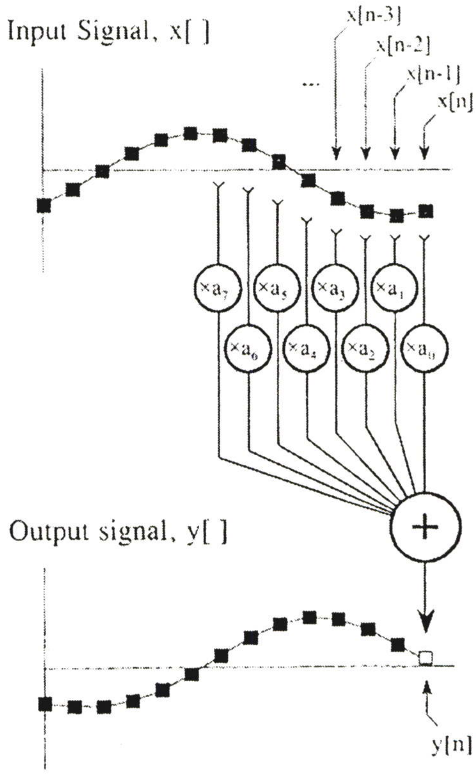
$$y(z) = h(0)x(z) + h(1)x(z)Z^{-1} + h(2)x(z)Z^{-2} + ... + h(k)x(z)Z^{-k} \qquad (3.8)$$

จากสมการที่ 3.5 และ 3.8 โดยทั่วไปสำหรับสมการ FIR ในการควบคุมเสียงจะเขียนอยู่ในรูปสมการดังต่อไปนี้

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l x(n-l) \qquad (3.9)$$

$$h(k) = w_l, l = k \text{ และ } L = N$$

โดยที่ L คือค่าลำดับของฟังก์ชันถ่ายโอน ส่วน w_l คือค่าตัวแปร weights ของฟังก์ชันถ่ายโอน เมื่อนำมาเขียนเป็นโครงสร้าง ได้ดังภาพต่อไปนี้ ($xa_l = w_l$)



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR [10]

ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR จัดเป็นตัวกรอง Nonrecursive เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับจากทางด้าน output นอกจากนี้ตัวกรองแบบ FIR มี คุณสมบัติดังนี้

-สามารถสร้างได้ง่ายเมื่อเทียบกับตัวกรองแบบ IIR

-สัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการคำนวณจะมีค่าไม่เกินหนึ่งทำให้สามารถสร้าง และทำงานได้ดีบนตัวประมวลผลแบบจุดทศนิยมคงที่ (Fixed Point)

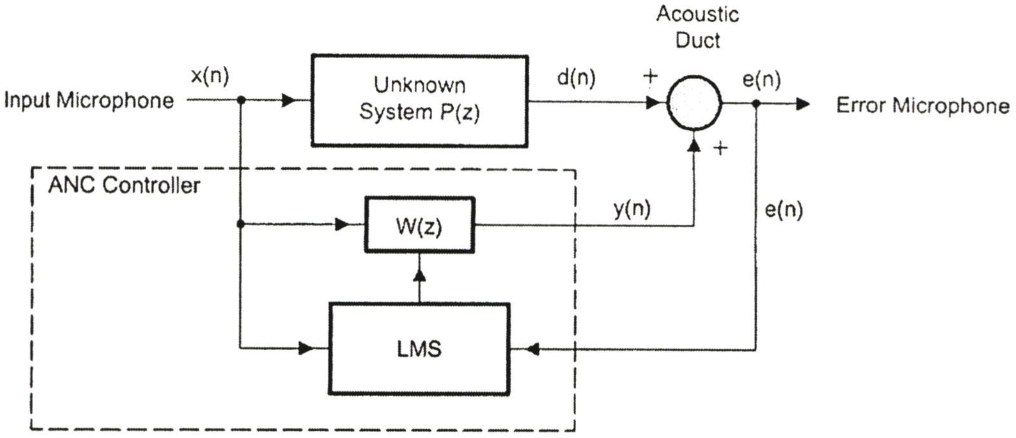
-ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR จะมีความเสถียรภาพแน่นอนเนื่องจากมี Pole อยู่ที่จุดกำเนิด (Origin) บนระนาบ Z

3.2 อัลกอริทึม (Algorithm)

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ตัวกรองดิจิตอลแบบ FIR เป็นตัวควบคุม เนื่องจากตัวประมวลผลรุ่น TMS320C50 เป็นแบบ Fixed Point จากสมการที่ 3.9 ค่าของ w_l ของระบบควบคุมจะมีการปรับตัวเองได้ จึงทำให้ระบบควบคุมมีการปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณจาก Error Microphone ($e(n)$) (ในรูปที่ 3.4) ที่เกิดจากหักล้างกันระหว่างสัญญาณจาก Primary Noise กับ Secondary Noise มาปรับค่า w_l อย่างต่อเนื่อง เพื่อลดค่าของ $e(n)$ ให้มากที่สุด

3.2.1 Least-Mean-Square (LMS) Algorithm

การควบคุมเสียงแบบ ANC โดยใช้ Algorithm แบบ LMS สามารถเขียนแผนผังได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แผนผังการลดเสียงโดยใช้ Algorithm แบบ LMS

จากสมการที่ 3.9 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์โดยให้สัญญาณ $\mathbf{x}(n)$ เป็น input vector ที่เวลา n ใด ๆ และ $\mathbf{w}(n)$ เป็น weight vector ที่เวลา n ใด ๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\mathbf{x}(n) = [x(n) \quad x(n-1) \quad \cdots \quad x(n-L+1)]^T$$
$$\mathbf{w}(n) = [w_0(n) \quad w_1(n) \quad \cdots \quad w_{L-1}(n)]^T$$

จากสมการที่ 3.9 จะได้

$$y(n) = \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n) = \mathbf{x}^T(n)\mathbf{w}(n) \qquad (3.10)$$

โดยทั่วไปค่า $y(n)$ เป็นสัญญาณของ Secondary Noise ส่วนค่า $d(n)$ เป็นสัญญาณจาก Primary Noise ที่บริเวณการลดเสียง ดังนั้น

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n) - y(n) \\ &= d(n) - \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n) \end{aligned} \qquad (3.11)$$

จากสมการที่ 3.11 การลดเสียงที่ดีที่สุดเมื่อค่าของ $e(n) = 0$ หรือมีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าให้ค่า $e^2(n)$ ค่าที่ได้จะน้อยลงไปอีก โดยกำหนดให้ $\xi(n) = e^2(n)$ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติค่า $\xi(n)$ นี้ไม่สามารถหาได้จริง จำเป็นต้องใช้ค่าประมาณ ($\hat{\xi}$) เนื่องจากเป็นการทำงานแบบปรับตัวอยู่ต่อเนื่อง ดังนั้นค่าประมาณของ $\xi(n)$ ที่เวลา n ที่ดีที่สุดคือ

$$\hat{\xi}(n) = e^2(n) \qquad (3.12)$$

และจากหลักการปรับตัวค่าแบบ Steepest Descent [12] จะได้

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) - \frac{\mu}{2}\nabla\xi \qquad (3.13)$$

โดยที่ μ เป็น Convergence factor หรือ Step size และเลข 2 ที่หารในสมการเป็นเพียงการใส่เข้ามาเพื่อให้ผลลัพธ์สุดท้ายอยู่ในรูปที่ต้องการเท่านั้น

จากสมการที่ 3.12 $\nabla\hat{\xi}(n) = 2[\nabla e(n)]e(n)$

เนื่องจาก $e(n) = d(n) - \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n)$ ดังนั้น

$$\nabla e(n) = -\mathbf{x}(n) \qquad (3.14)$$

ทำให้

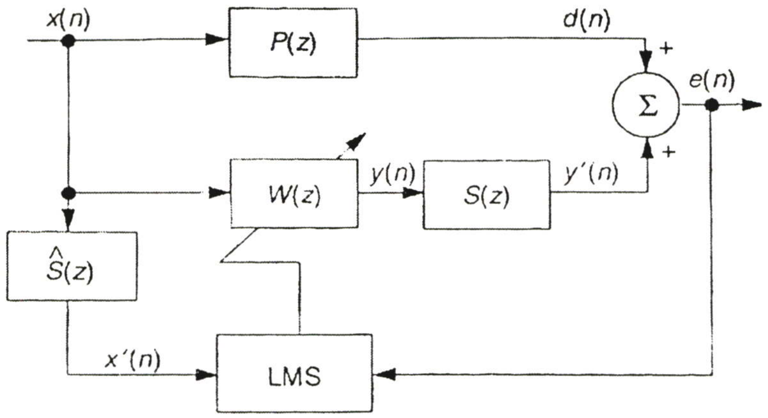
$$\nabla\hat{\xi}(n) = -2\mathbf{x}(n)e(n) \qquad (3.15)$$

นำสมการ 3.15 แทนในสมการ 3.13 ได้

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu\mathbf{x}(n)e(n) \qquad (3.16)$$

3.2.2 Filtered-X Least-Mean-Square (FXLMS) Algorithm

FXLMS มี Algorithm คล้ายกับ LMS แต่แตกต่างที่ FXLMS เป็น Algorithm ที่พิจารณาส่วนของ Secondary Path เข้ามาด้วย ดังในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 แผนผังการลดเสียงแบบ Algorithm แบบ FXLMS

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณที่เหลือจากการหักล้างสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n) - y'(n) \\ &= d(n) - s(n) * y(n) \\ &= d(n) - s(n) * [\mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n)] \end{aligned} \qquad (3.17)$$

โดย $s(n)$ เป็น Impulse Response ของ Secondary Path ($S(z)$) ที่เวลา n ส่วนเครื่องหมาย * คือ Linear Convolution

จากสมการที่ 3.17 และสมการที่ 3.14 จะได้

$$\nabla e(n) = -s(n) * \mathbf{x}(n) = -\mathbf{x}'(n) \qquad (3.18)$$

โดยที่ $\mathbf{x}'(n) = [x'(n) \quad x'(n-1) \quad \cdots \quad x'(n-L+1)]^T$ และ $x'(n) = s(n) * x(n)$
จากค่าประมาณ

$$\nabla \hat{\xi}(n) = 2[\nabla e(n)]e(n)$$

นำสมการที่ 3.18 แทนค่าในสมการข้างบนได้

$$\nabla \hat{\xi}(n) = -2\mathbf{x}'(n)e(n) \qquad (3.19)$$

จากหลักการปรับตัวค่าแบบ Steepest Descent (สมการที่ 3.13)

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) - \frac{\mu}{2}\nabla \xi$$

นำสมการที่ 3.19 แทนค่าจะได้

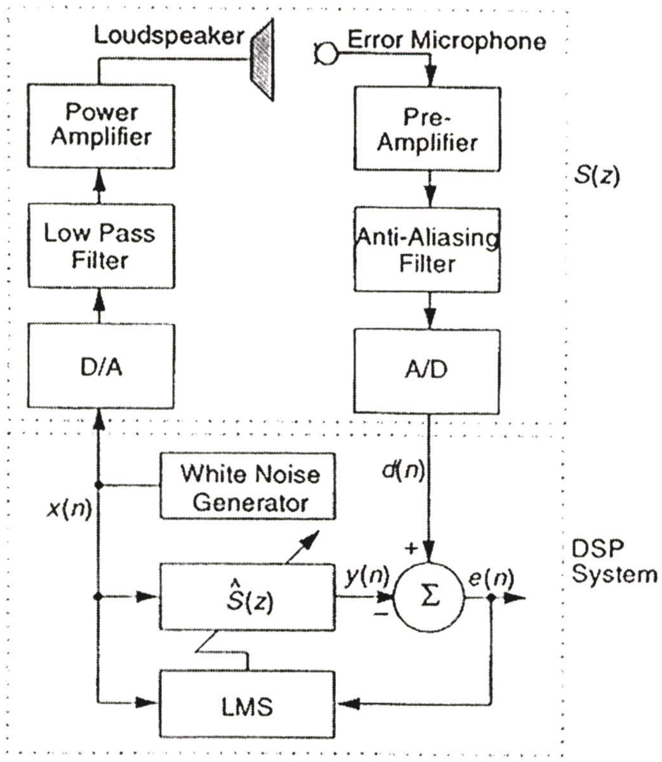
$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{x}'(n)e(n)$$

ในทางปฏิบัติการลดเสียงแบบ ANC ตัว $S(z)$ ไม่ทราบค่า และจะต้องสมมติขึ้นมาโดยใช้ Adaptive Filter ในรูปของ $\hat{S}(z)$ ซึ่งสามารถหาได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\mathbf{x}'(n) = \hat{s}(n) * \mathbf{x}(n) \qquad (3.20)$$

โดยที่ $\hat{s}(n)$ เป็น Estimated Impulse ของ Secondary –Path Filter

จากรูปแบบ FXLMS Algorithm เราจะต้องรู้ฟังก์ชันถ่ายโอนของ $S(z)$ สำหรับวิธีการหาค่าของ $S(z)$ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Off-line Modeling ซึ่งสามารถประมาณค่าของ $S(z)$ (ใช้ adaptive filter ของ $\hat{S}(z)$) โดยวิธี White noise เป็นตัวประมาณค่าดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การหาค่าของ $\hat{S}(z)$ โดยใช้วิธี Off-line Modeling

จากรูปที่ 3.6 สามารถหาค่า $\hat{S}(z)$ ได้ดังนี้

1. กำเนิด White noise โดย DSP
2. โดยสัญญาณที่เกิดจาก DSP ทำให้เกิดเสียงและจับสัญญาณโดยไมโครโฟน ทำให้ได้สัญญาณ $d(n)$
3. จากนั้นใช้ Adaptive Filter

(a) โดยคำนวณหาค่า $y(n)$ โดยใช้ Adaptive Filter ดังสมการ

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{s}_l(n) x(n-l)$$

โดยที่ $\hat{s}_l(n)$ เป็นสัมประสิทธิ์การประมาณค่าของ $\hat{S}(z)$ ที่เวลา n

(b) คำนวณหาค่า Error signal ($e(n)$)

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

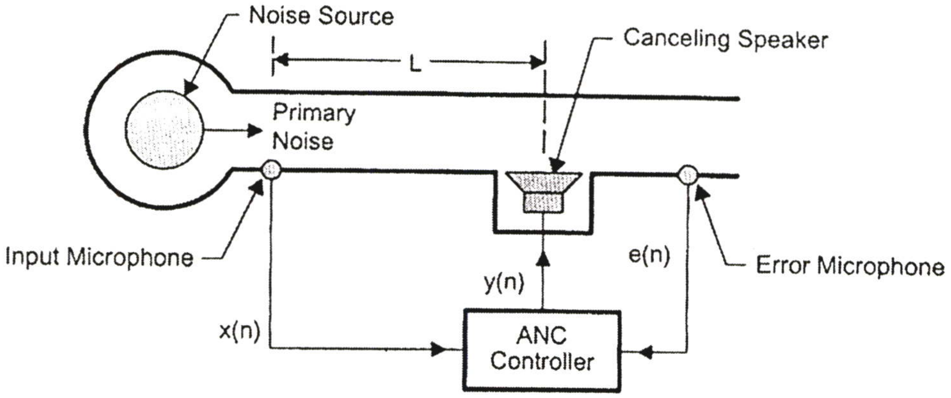
(c) ปรับค่าสัมประสิทธิ์ใหม่โดยใช้ LMS Algorithm

$$\hat{s}_l(n+1) = \hat{s}_l(n) + \mu x(n-1)e(n)$$

4. จากนั้นไปขั้นตอนที่ 1. ใหม่ และทำวนซ้ำจนค่าของ $\hat{S}(z)$ มีค่าสมดุลที่สุด นั้นคือค่า $e(n)$ มีค่าน้อยที่สุด

3.3 การควบคุมเสียงแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Control)

การควบคุมโดยวิธีป้อนไปข้างหน้า เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการควบคุมเสียงรบกวน เพราะให้การลดเสียงที่ดี และระบบมีความเสถียรเนื่องจากสัญญาณอ้างอิงคงที่ ดังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Broadband Feedforward Control

โดยทั่วไปเสียงรบกวนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Broadband และ Narrowband Noise ซึ่ง Broadband Noise เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ให้พลังงานเสียงไม่คงที่ ตัวอย่างเช่น เสียงจากเครื่องบิน เสียงจากการระเบิด ส่วนใหญ่จะมีความถี่ต่ำ ๆ ส่วนเสียงรบกวนแบบ Narrowband Noise แหล่งกำเนิดเสียงจะให้พลังงานเสียง และความถี่คงที่ ตัวอย่างเช่น เสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์ สำหรับการลดเสียงของ Broadband Noise ระดับสัญญาณเสียงที่อ้างอิงจะต้องพอเพียงที่จะอ้างอิง และมีระยะเวลาพอควร เนื่องจาก Primary Noise จะสัมพันธ์กับสัญญาณอ้างอิง และสามารถนำไปหักล้างได้ ส่วน Narrowband Noise เป็นสัญญาณที่มีระยะเวลานาน ดังนั้นสัญญาณอ้างอิงจึงไม่มีปัญหาโดยทั่วไปการควบคุมแบบ Feedforward Control สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามลักษณะของเสียงรบกวน และสภาพแวดล้อม

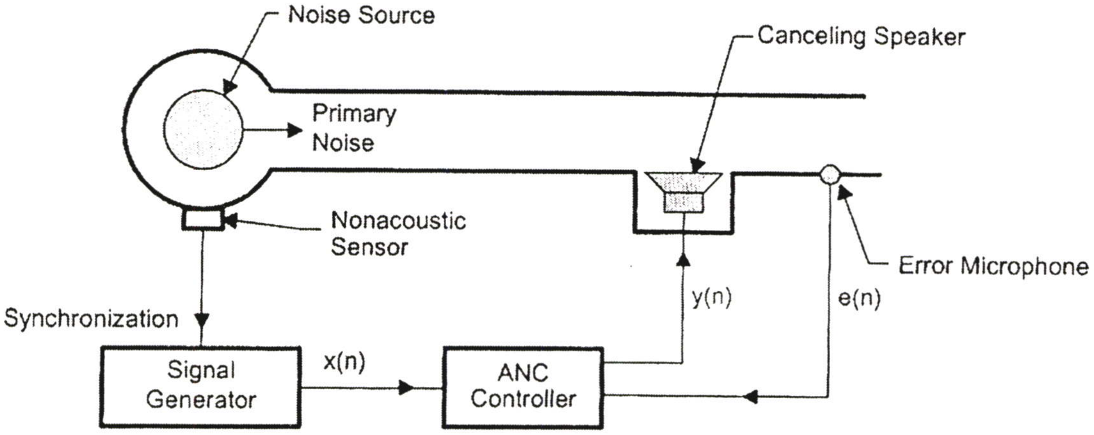
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.3.1 **การควบคุมแบบ** Broadband Feedforward ANC

ส่วนใหญ่เป็นการควบคุมเสียงในท่อที่ขนาดยาว แต่ขนาดเล็ก อย่างเช่น การลดเสียงในท่อไอเสียรถยนต์ จากรูปที่ 3.7 พบว่าสัญญาณเสียงที่ต้องการลด $x(n)$ (Primary Noise) จะถูกส่งไปยัง ANC Controller โดยที่ $x(n)$ นี้จะใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง ส่วน ANC Controller จะใช้สัญญาณ $x(n)$ สร้างสัญญาณ $y(n)$ เพื่อขับลำโพงทำให้เกิดเสียงที่ไปหักล้าง (Secondary Noise) ซึ่งเฟสต่างกัน 180^0 แต่จะมีความถี่เหมือนกับเสียงที่ต้องการลด ส่วน Error Microphone จะวัดสัญญาณเสียงที่เหลือจากการหักล้าง $e(n)$ และสัญญาณนี้จะต้องเป็นสัญญาณที่น้อยที่สุด ซึ่ง ANC Controller จะต้องมีการปรับตัวเองได้ (Adaptive) ซึ่งการปรับตัวได้นี้มาจากการปรับตัวเองของสัมประสิทธิ์ใน Adaptive Filter

3.3.2 **การควบคุม** Narrowband Feedforward ANC

มีรูปแบบแผนผังดังรูปที่ 3.8 โดยเสียงรบกวนส่วนที่ต้องการลดมาจากแหล่งกำเนิด การหมุน หรือการเคลื่อนของเครื่องจักร ซึ่งในกรณีนี้ Reference Sensor จะใช้ Tachometer หรือ Optical Sensor



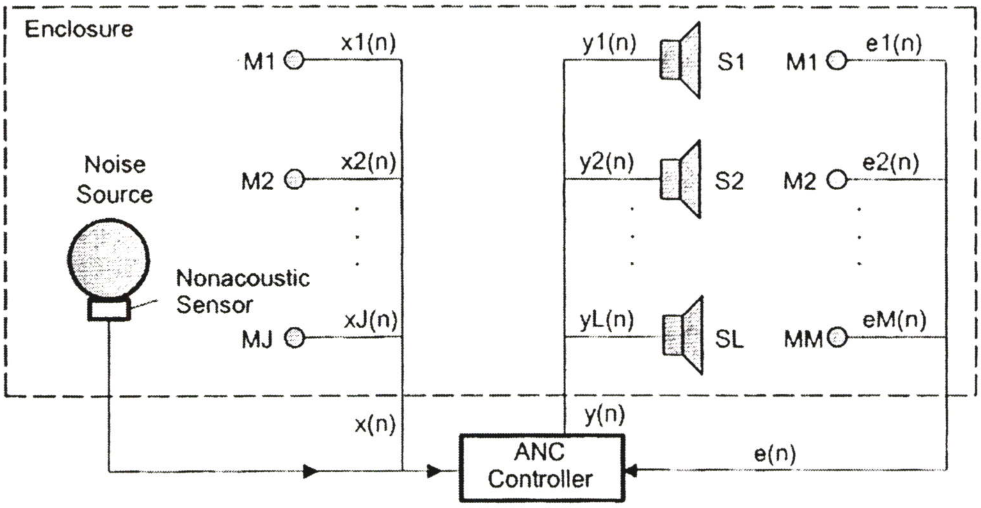
รูปที่ 3.8 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Narrowband Feedforward Control

3.3.3 **การควบคุม** Multiple-Channel ANC

จากหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 จะเป็นการลดเสียงแบบ Single-Channel ANC เนื่องจากเสียงที่อยู่ในท่อที่มีขนาดยาว และมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงสมมติว่าเสียงในท่อมีมิติเดียว การลดเสียงรบกวนจึงใช้ Reference Sensor เพียงตัวเดียว จึงเรียกว่า Single-Channel ANC แต่ในกรณีที่ต้องการลดเสียงรบกวนในท่อมีขนาดใหญ่ หรือในห้อง เสียงรบกวนจะมีรูปร่างที่ซับซ้อน ซึ่งในการลดเสียงโดยใช้ Reference Sensor เพียงตัวเดียวทำให้การลดเสียงทำได้ยาก ดังนั้นจึงใช้

45879

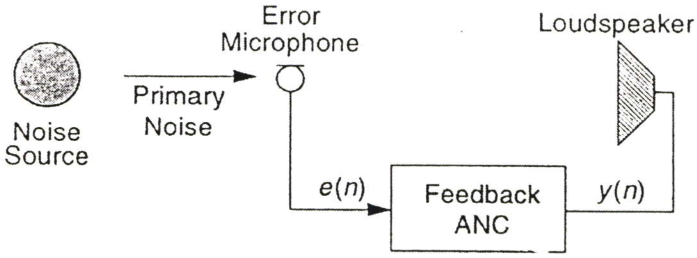
Multiple-reference และลำโพงลดเสียงจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้ระบบ ANC แบบ Multiple เช่นกัน ดังนั้นระบบนี้จึงเรียกว่า Multiple-Channel ANC ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Multiple-channel ANC

3.4 **การควบคุมเสียงแบบย้อนกลับ** (Feedback Control)

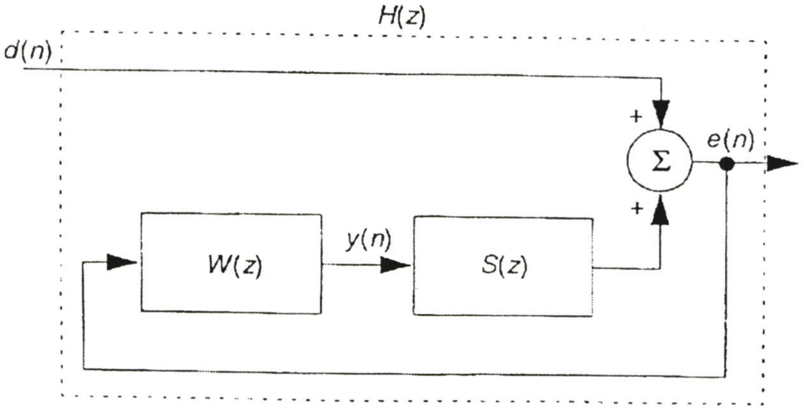
วิธีการแบบ Feedback ANC นี้ถูกออกแบบโดย Olson และคณะ [13] โดยแนวความคิดแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 การลดเสียงโดยใช้การควบคุมแบบ Feedback Control

จากรูปที่ 3.10 ไมโครโฟนถูกใช้เป็น Error Sensor และตรวจจับสัญญาณเสียงที่ต้องการลด โดยที่สัญญาณจาก Error Sensor จะถูกส่งไปยัง ANC Controller และสร้างสัญญาณเสียงที่มีความถี่ และอัมปลิจูดเหมือนกับเสียงรบกวนโดยสัญญาณที่สร้างขึ้นจะถูกขับโดยลำโพง โดยให้มีการหักล้างเสียงที่บริเวณใกล้กับลำโพง ข้อจำกัดในการลดเสียงแบบ Feedback Control นี้ คือ สามารถลดเสียงได้ที่ช่วงความถี่จำกัด และสัญญาณเสียงอ้างอิงได้จากสัญญาณเสียงของ

Primary Noise แต่เนื่องจากขณะที่ทำการหักล้างเสียงรบกวนจะทำให้สัญญาณ Primary Noise เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้สัญญาณเสียงอ้างอิงไม่คงที่ทำให้ระบบเกิดความไม่เสถียร แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ก้าวหน้าทำให้สามารถสร้างสัญญาณเสียงอ้างอิงได้ จึงทำให้มีรูปแบบคล้ายกับ Narrowband Feedforward Control ดังนั้นจึงทำให้การลดเสียงสามารถทำได้ในช่วงความถี่ที่กว้างขึ้นได้ และระบบมีความเสถียรมากขึ้น สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิค Feedback Control ในการลดเสียงรบกวนโดย Olson จะทำการลดเสียงในหูฟัง (Headphones) และ ตัวป้องกันการได้ยิน (Hearing Protector) จากรูปที่ 3.10 สามารถเขียนแผนผังโครงสร้าง ได้ดังในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.11 แผนผังโครงสร้างการลดเสียงแบบ Feedback Control

จากรูปที่ 3.11 สัญญาณ $d(n)$ เป็นสัญญาณของ Primary Noise ที่บริเวณ Error Sensor โดยที่สัญญาณ $e(n)$ เป็นสัญญาณที่เหลือจากการหักล้างที่ถูกวัดโดย Error Sensor โดยที่สัญญาณ Secondary Noise $y(n)$ ถูกควบคุมโดยฟังก์ชันถ่ายโอนของ $W(z)$ โดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนของ Secondary Path คือ $S(z)$ ในสภาวะเงื่อนไข Steady-State ค่าของ Error Signal ในรูปของ z - Transfer หลังจากที่มีการหักล้างกันสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E(z) = D(z) - S(z)W(z)E(z) \tag{3.21}$$

จัดรูปสมการใหม่ดังนี้

$$[1 + S(z)W(z)]E(z) = D(z) \tag{3.22}$$

หรือ

$$E(z) = \frac{D(z)}{1 + S(z)W(z)} \tag{3.23}$$

ดังนั้น Close-Loop Transfer คือ

$$H(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = \frac{1}{1 + S(z)W(z)} \tag{3.24}$$

และเมื่อเขียนอยู่ในรูปของ Autopower Spectra จะได้

$$S_{ee}(\omega) = \frac{1}{\left|1 + S(\omega)W(\omega)\right|^2} S_{dd}(\omega) \tag{3.25}$$

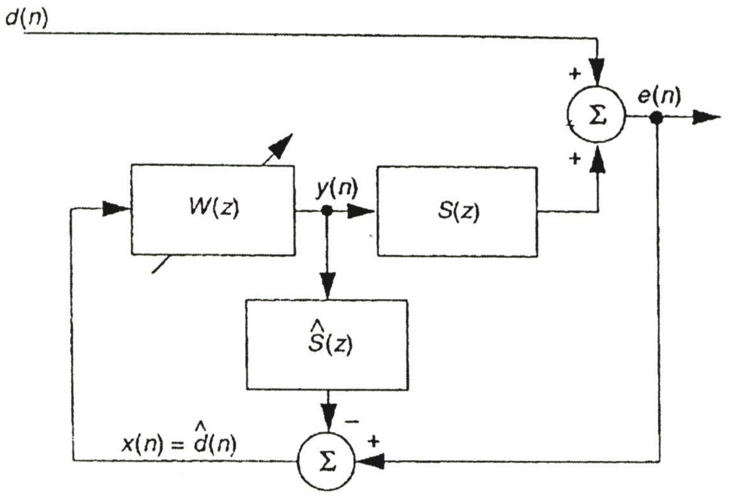
โดยที่ $S_{ee}(\omega)$ และ $S_{dd}(\omega)$ เป็น Autopower Spectra ของ $e(n)$ และ $d(n)$ ตามลำดับ จากสมการที่ 3.25 ค่าของ $S_{ee}(\omega)$ จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อค่าของ $\left|1 + S(\omega)W(\omega)\right|^2$ มีค่ามากที่สุด ซึ่งสัญญาณของ $e(n)$ มีค่าเป็นศูนย์ก็ต่อเมื่อค่าของ $S(\omega)W(\omega)$ มีค่าอนันต์ ดังนั้นการลดเสียงรบกวนจะสำเร็จได้ต้องมีการออกแบบให้ค่าของ $W(\omega)$ มีขนาด Gain ใหญ่ ๆ ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยาก จากรูปที่ 3.11 สัญญาณ $d(n)$ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในขณะที่ลดเสียงเนื่องจากสัญญาณ $d(n)$ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องสมมติสัญญาณ Primary Noise ขึ้นมา และใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง $x(n)$ โดยใช้ Adaptive Filter $(W(z))$ ดังนั้นสัญญาณ Primary Noise สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$D(z) = E(z) + S(z)Y(z) \tag{3.26}$$

จากสมการฟังก์ชันถ่ายโอน $S(z)$ จะถูกประมาณค่าโดย $\hat{S}(z)$ (ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Off-line Modeling ในหัวข้อ 3.2.2) ทำให้สามารถสมมติค่าสัญญาณ $d(n)$ ได้ และใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง

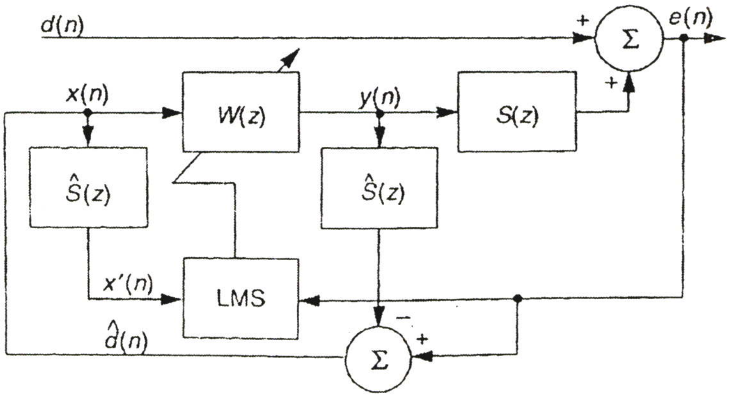
$$X(z) \equiv \hat{D}(z) = E(z) + \hat{S}(z)Y(z) \tag{3.27}$$

จากรูปที่ 3.11 สามารถเขียนแผนผังใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 3.12 แผนผังการสมมติค่าของ $d(n)$ และ $\hat{S}(z)$

จากสมการที่ 3.27 สัญญาณ $d(n)$ และ $\hat{S}(z)$ จะเป็นสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นมาซึ่งเหมาะกับ FXLMS Algorithm ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ FXLMS Algorithm ในการลดเสียงดังในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 แผนผังโครงสร้างการลดเสียงโดยใช้ FXLMS Algorithm แบบ Feedback Control

การลดเสียงแบบ Feedback ANC โดยใช้ FXLMS Algorithm สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$x(n) \equiv \hat{d}(n) = e(n) - \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m y(n-m) \qquad (3.28)$$

โดยที่สัญญาณอ้างอิง $x(n)$ เป็นสัญญาณที่สังเคราะห์ ขึ้น และที่สัญญาณ $y(n)$ มีสมการดังนี้

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n)x(n-l) \tag{3.29}$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของ FXLMS สามารถปรับตัวได้ดังนี้

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu x'(n-l)e(n) \tag{3.30}$$

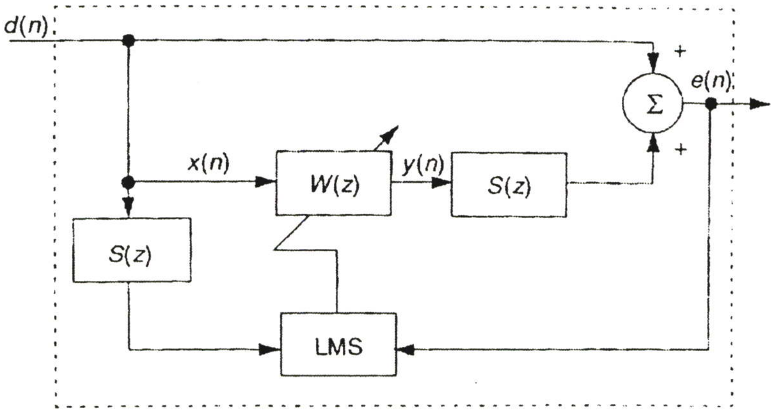
โดยที่ $l = 0,1,2...L-1$

และ

$$x'(n) \equiv \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m x(n-m) \tag{3.31}$$

ซึ่งจะใช้เป็นสัญญาณอ้างอิง

จากแผนผังในรูปที่ 3.13 เมื่อนำมาจัดใหม่ได้แผนผังการทำงานในรูปดังนี้



รูปที่ 3.14 แผนผังของ Feedback ANC ซึ่งจัดให้มีรูปแบบเหมือนกับ Feedforward ANC

จากรูป 3.14 ที่ตำแหน่ง Error Signal สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E(z) = D(z) - S(z)Y(z) \tag{3.32}$$

ซึ่ง

$$\begin{aligned} Y(z) &= W(z)X(z) \\ &= W(z)[E(z) + \hat{S}(z)Y(z)] \end{aligned} \tag{3.33}$$

จากสมการ 3.33 สามารถเขียนใหม่ได้

$$[1-\hat{S}(z)W(z)]Y(z) = W(z)E(z) \tag{3.34}$$

จะได้

$$Y(z) = \frac{W(z)E(z)}{1-\hat{S}(z)W(z)} \tag{3.35}$$

นำสมการ 3.35 แทนในสมการ 3.32

$$E(z) = D(z) - S(z)\left[\frac{W(z)E(z)}{1-\hat{S}(z)W(z)}\right] \tag{3.36}$$

จัดสมการ 3.36 ใหม่

$$\left[1+\frac{S(z)W(z)}{1-\hat{S}(z)W(z)}\right]E(z) = D(z)$$

$$\begin{aligned} E(z) &= \frac{D(z)}{1+\dfrac{S(z)W(z)}{1-\hat{S}(z)W(z)}} \\ &= \frac{D(z)[1-\hat{S}(z)W(z)]}{1+[S(z)-\hat{S}(z)]W(z)} \end{aligned} \tag{3.37}$$

ถ้า $\hat{S}(z) = S(z)$ จากสมการ 3.37 จะได้สมการดังนี้

$$E(z) = D(z) - S(z)W(z)D(z) \tag{3.38}$$

ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของ Feedback Control จาก $d(n)$ ถึง $e(n)$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

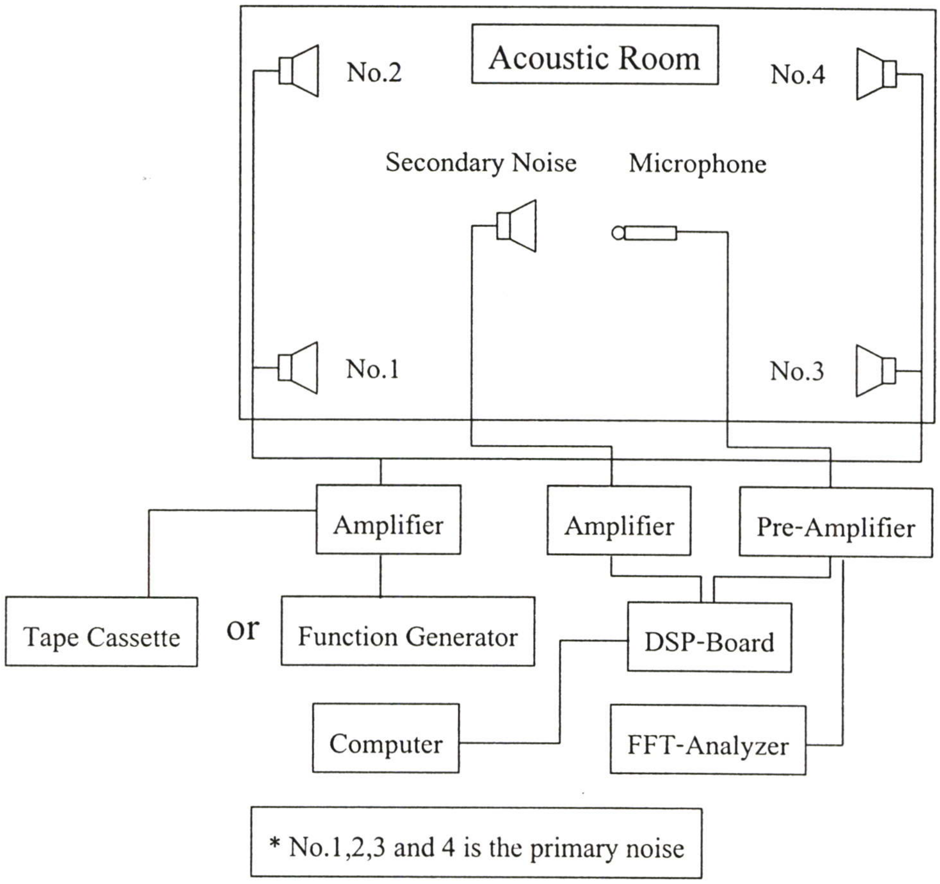
$$H(z) = \frac{E(z)}{D(z)} = 1 - S(z)W(z) \tag{3.39}$$

เมื่อพิจารณาสมการ 3.38 ค่า $E(z) = 0$ ได้เมื่อค่าของ $S(z)W(z) = 1$ ดังนั้นในทางปฏิบัติจริง สามารถทำการลดเสียงรบกวนได้

บทที่ 4
เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง

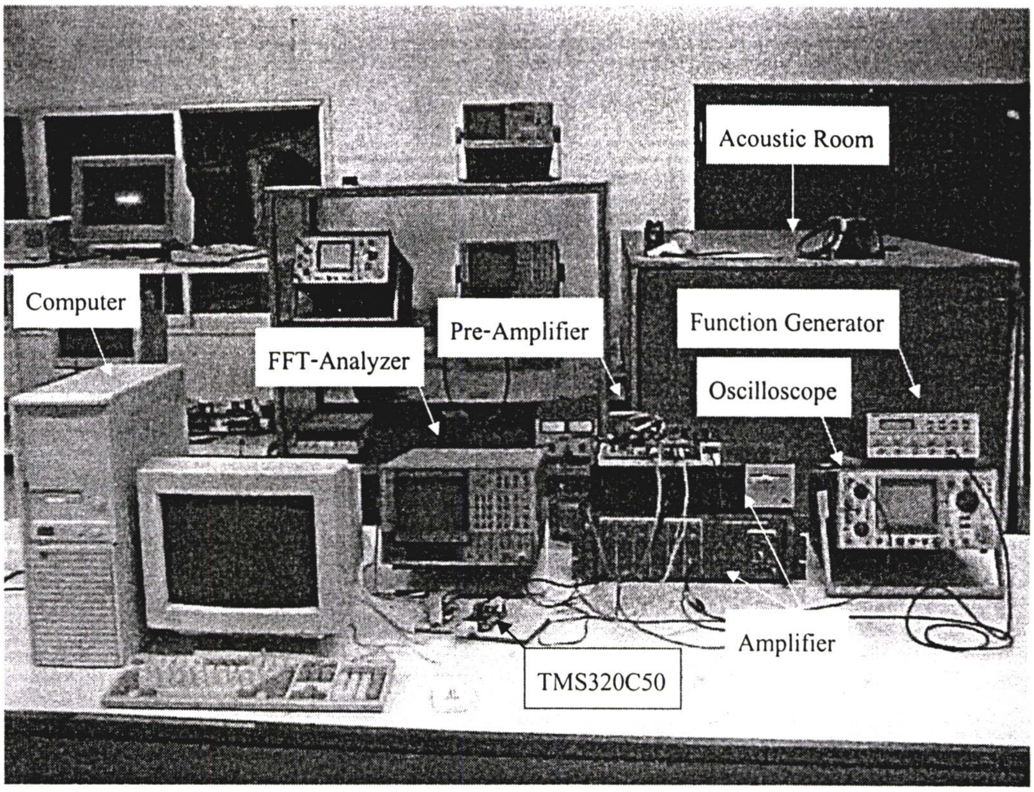
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการลดเสียง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองลดเสียงสำหรับงานวิจัยนี้แสดงได้ในรูปที่ 4.1

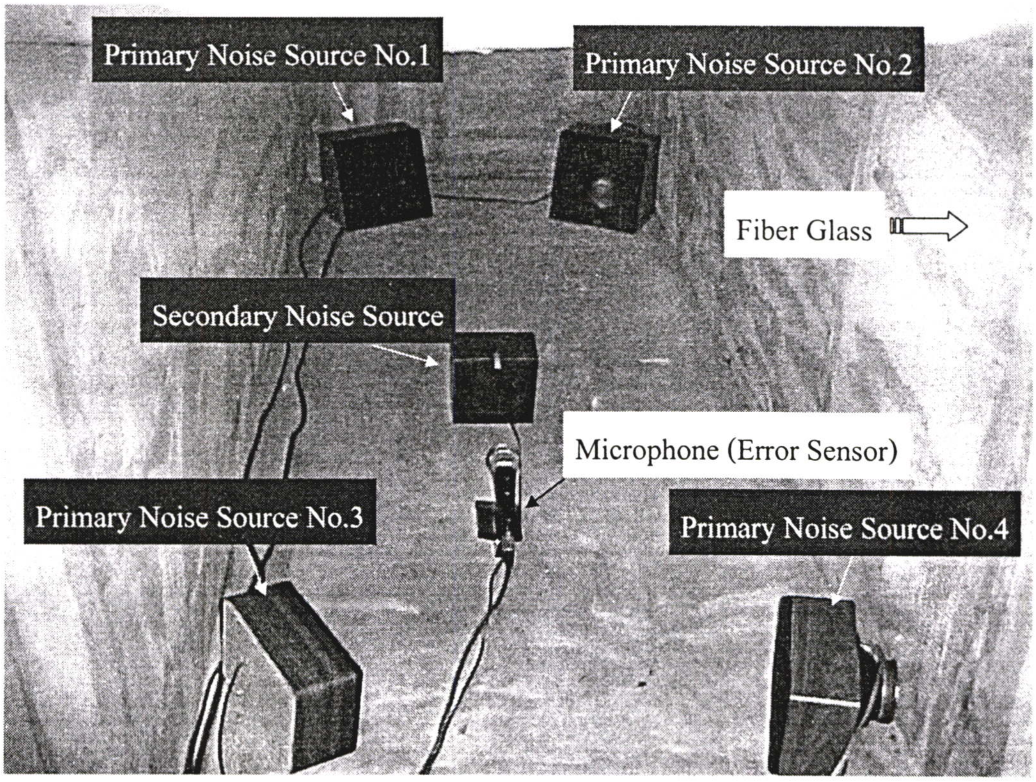


รูปที่ 4.1 แผนผังอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียง

จากรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องป้องกันเสียง (Acoustic room) และอุปกรณ์ที่อยู่ด้านนอกห้องป้องกันเสียง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียงที่อยู่ด้านนอกห้องป้องกันเสียง



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดเสียงที่อยู่ด้านในห้องป้องกันเสียง

จากรูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่อยู่ด้านนอกห้องป้องกันเสียงประกอบด้วย Pre-Amplifier ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ส่งมาจาก Microphone ซึ่งเป็นเสียงรบกวน พร้อมส่งสัญญาณไปยัง TMS320C50 DSP-Board และ FFT- Analyzer (ONO SOKKI รุ่น CF-350) โดยสัญญาณเสียงจะถูกประมวลผล และสร้างสัญญาณเสียง Secondary Noise โดย TMS320C50 แล้วสัญญาณเสียง Secondary Noise จะถูกส่งไปยัง Amplifier (PHILIPS กำลังขับ 70 วัตต์) เพื่อขยายสัญญาณเสียง Secondary Noise ลดเสียงรบกวน ส่วนการวิเคราะห์ระดับเสียงก่อนการหักล้าง และหลังการหักล้างจะใช้เครื่อง FFT-Analyzer สำหรับโปรแกรมการลดเสียงนี้จะเขียนโดยใช้โปรแกรม Notepad จากนั้น Load โปรแกรมที่เขียนไปยัง DSP–Board สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนถูกสร้างขึ้นโดย Function Generator (AMREL/AMERICAN RELIANCE INC.) หรือใช้เครื่องเล่นบันทึกเสียงที่บันทึกเสียงจากเครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปสัญญาณเสียงที่ได้จาก Function Generator และเครื่องเล่นบันทึกเสียงมีสัญญาณขนาดเล็ก ดังนั้นสัญญาณเสียงจึงต้องถูกขยายสัญญาณโดย Amplifier (PHILIPS กำลังขับ 70 วัตต์) ส่วนอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องป้องกันเสียง ประกอบด้วย Dynamic Microphone ใช้เป็น Error Sensor ที่สามารถวัดเสียงในระดับความถี่ที่สูงกว่า 100-20000 Hz โดยมีลำโพงทั้ง 4 ตัว เป็น Primary Noise Source วางที่มุมห้องทั้งสี่ และลำโพง 1 ตัวเป็น Secondary Noise Sourceวางที่ตำแหน่งตรงกลางห้อง โดยที่ห้องป้องกันเสียงมีขนาดกว้าง 1.5 เมตร สูง 1.2 เมตร ยาว 3.0 เมตร บุด้วยใยแก้วหนา 0.3 เมตร เพื่อป้องกันการเกิดเสียงสะท้อน และเสียงรบกวนจากภายนอก

4.2 การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอลเบอร์ TMS320C50

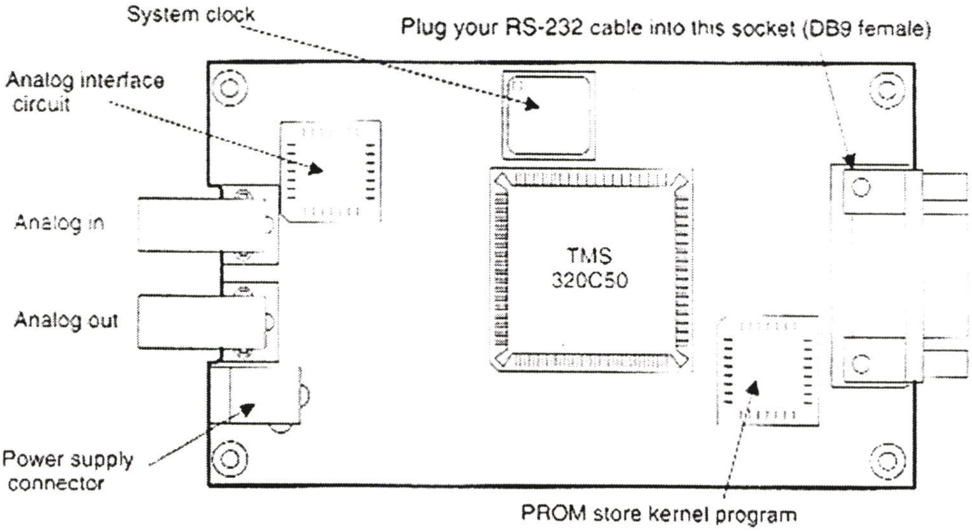
การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีกับการลดเสียงโดยวิธีต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากเสียงเคลื่อนที่เร็วมาก ดังนั้นการคำนวณต่าง ๆ ในการควบคุมจำเป็นต้องรวดเร็ว มิฉะนั้นจะไม่สามารถควบคุมระดับเสียงได้ ตัว DSP-Board (TMS320C50) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแผงวงจรที่สามารถทำงานได้ด้วยความเร็วสูง และการออกแบบให้เหมาะกับการทำงานเกี่ยวกับเสียงโดยเฉพาะ นอกจากนี้การใช้งานในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ DSP-Board TMS320C50 ในด้านอื่น ๆ เช่น

- ระบบโทรศัพท์ไร้สาย (Cellular/Cordless Telephone)
- ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Communication)
- ระบบหลายสื่อ (Multimedia)
- อุปกรณ์ขับฮาร์ดดิสก์ (Hard-Disk Drive)
- ระบบการสื่อสารอื่น ๆ (Other Telecommunication Applications)

4.2.1 ลักษณะทั่วไปของบอร์ด TMS320C50

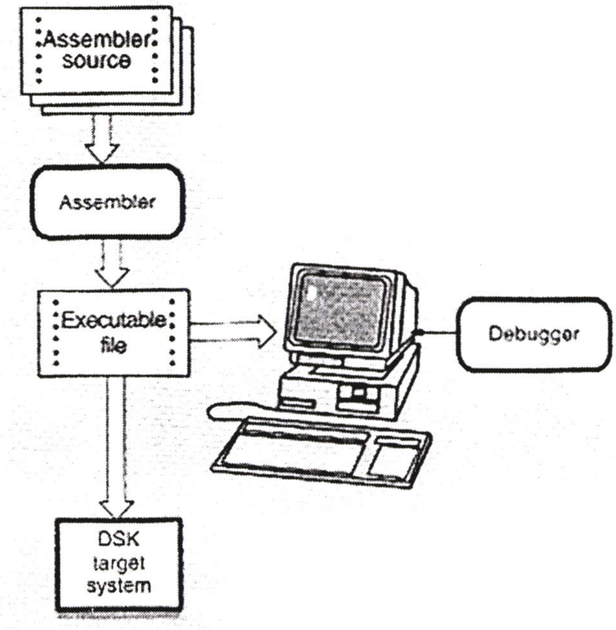
บอร์ด TMS320C50 เป็นบอร์ดที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทาง Serial Port ใช้สำหรับการช่วยในการประมวลผลสัญญาณทางดิจิตอล โดยมีลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้ (รูปที่ 4.4)

- หน่วยประมวลผลของ TMS320C50 ทำงานที่ความเร็ว 40 MHz
- สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทาง RS232 Serial Port
- เป็นชิพที่มี PROM (Programmable ROM) ขนาด 32 Kbytes
- มี RCA Jack มาตรฐาน 2 หัวที่ต่อเข้ากับ TLC32040 โดย RCA Jack จะเป็นสัญญาณ Analog Input และ Analog Output จาก TLC32040
- มี Jack ขนาด 2.1 มม. ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)
- ออสซิลเลเตอร์ 40 MHz
- มี TLC32040 Analog Interface Chip (AIC) ซึ่งเป็นชิพทั้ง ADC และ DAC ขนาด 14 Bit



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของบอร์ด TMS320C50 [14]

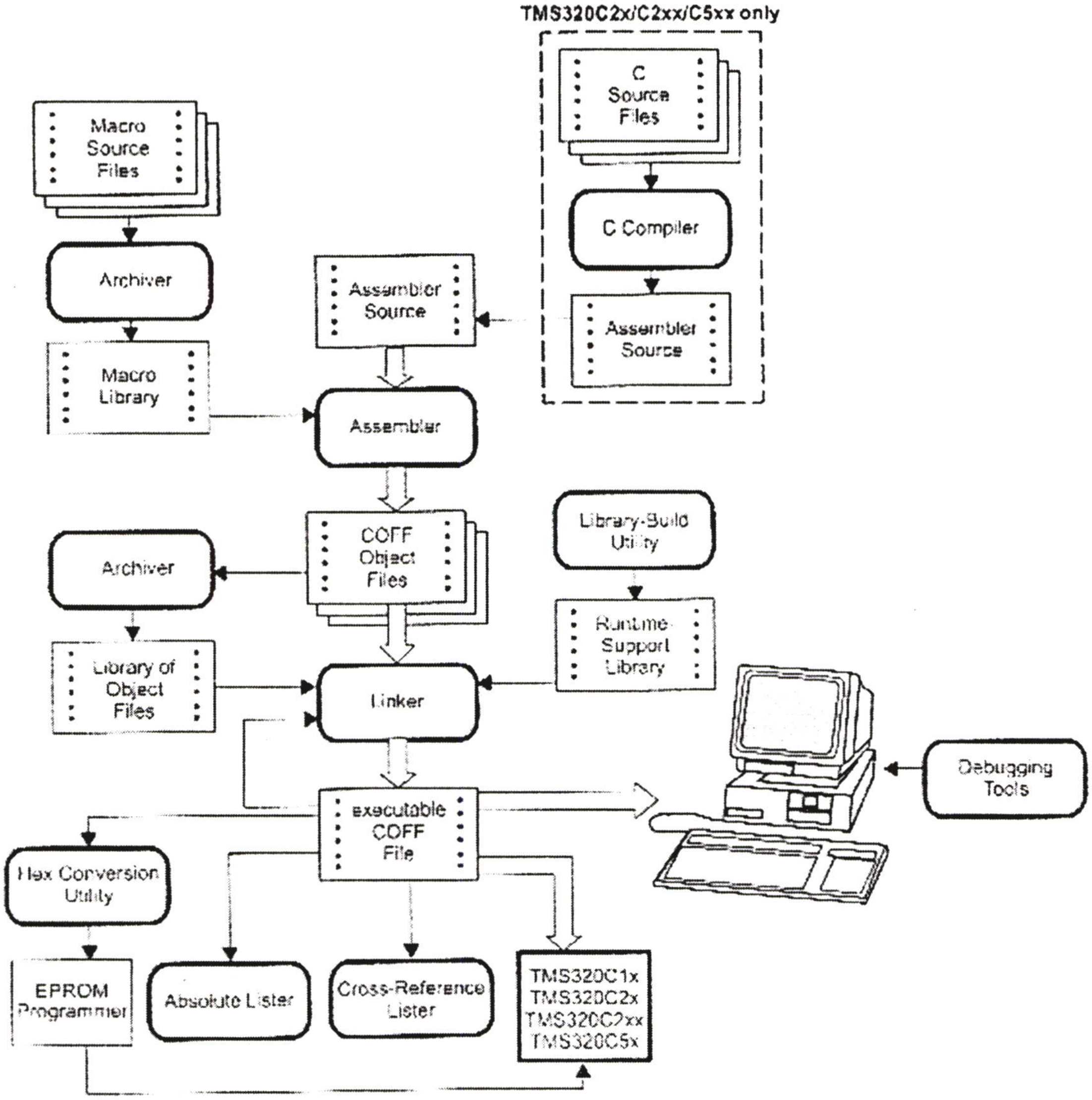
บอร์ด TMS320C50 นอกจากมี Hardware ที่มีประสิทธิภาพในหน่วยประมวลสูงแล้ว ยังมีชุดพัฒนาโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง และง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วย Assembler, Debugger และ Loader ซึ่งทำการประมวลผลแบบ Real Time โดยตัว Assembler นี้ต่างจาก Assembler ทั่ว ๆ ไป คือจะไม่ถูกสร้างโดยผ่าน Linker เฟส แต่จะใช้ Absolute Addressing ใน Assembly เฟสได้เลยดังในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนผังการสร้างโปรแกรมโดยใช้ DSK Code [14]

จากรูปที่ 4.5 เมื่อ Comply โปรแกรม Source Code ที่เขียนขึ้นมา โปรแกรมที่ Comply เรียบร้อยแล้วจะเปลี่ยนจาก .asm เป็น .dsk จากนั้นสามารถ Load โปรแกรม .dsk ไปยัง TMS320C50 ได้โดยใช้โปรแกรม Loader

แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การเขียนคำสั่งบางคำสั่งไม่สามารถ Comply ได้จากโปรแกรมข้างบน เนื่องจากการเขียนจะจองพื้นที่ใน TMS320C50 โดยแบ่งออกเป็นส่วน ๆ โดยใช้คำสั่ง .sect และ .bes [5] ดังนั้นจึงใช้วิธีการ Comply โดยใช้โปรแกรม TMS320C1X/2X/5X ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรม Assembler Debugger และโปรแกรม Linker โดย Source Code จะถูก Comply โดยโปรแกรม Assembler Debugger ส่วนการจองพื้นที่ความจำจะใช้โปรแกรม Linker ดังในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนผังการสร้างโปรแกรมใช้งาน [15]

จากรูปที่ 4.6 วิธีการ Comply และ Load โปรแกรม โดยใช้โปรแกรม TMS320C1X/2X/5X มีดังนี้

1. ทำการ Save โปรแกรมให้อยู่ในรูป .txt หรือ .asm
2. ทำการ Comply โดยใช้คำสั่ง C:> dspa –V50 xxx.txt (.asm)
3. โปรแกรมที่ผ่านการ Comply จะถูกเปลี่ยนจาก .txt (.asm) เป็น COFF Object Files ในรูป .obj
4. จากนั้นทำการ Link โปรแกรม .obj กับโปรแกรม Linker Command File (โปรแกรมที่ทำการเขียนจองพื้นที่ใน EPROMs) โดยใช้คำสั่ง C:> dsplnk –V0 yyy.txt
5. โปรแกรมเมื่อทำการ Link เรียบร้อยแล้วจะได้โปรแกรม .out จากนั้นทำการ Load โปรแกรมที่มากับชุด Starter Kit โดยใช้คำสั่ง C:>Dsk5l zzz.out

จากวิธีการข้างบน โปรแกรมที่เขียนในงานวิจัยนี้มีด้วยกัน 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นโปรแกรมการลดเสียงแบบ Feedback FXLMS Algorithm โปรแกรมส่วนที่สองเป็นโปรแกรมที่จองพื้นที่ และเชื่อมโปรแกรมส่วนแรกกับส่วนที่สองเข้าด้วย ดังแสดงในภาคผนวก ก.

4.2.2 **คุณสมบัติของ TMS320C50**

- เป็นหน่วยประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 50 MIPS (Million Instructions Per Second)
- ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 โดยรับส่งข้อมูลขนาด 16 บิตเสมอ
- ความเร็วในการประมวลผลสูงถึง 40 *ns* ต่อ 1 คำสั่ง
- ตัว Multiplier สามารถทำการคูณแบบ Multiply and Accumulate (MAC) ได้ผลลัพธ์ขนาด 32 บิต ได้ในคำสั่งเดียว

4.2.3 **คุณสมบัติของ TLC320C40**

-เป็นชิพวงจรที่มีทั้ง ADC และ DAC ขนาด 14 bit โดยสามารถใช้งานที่อัตราสุ่มถึง 19,000 sample/second

-การแปลงสัญญาณของ ADC และ DAC จะเป็นแบบทั้ง Synchronous และ Asynchronous

-มี Input Filter และ Output Filter เพื่อป้องกันการเกิด antialiasing และ Reconstruction โดยการเลือก Capacitor

บทที่ 5
วิธีการทดลอง และการเขียนโปรแกรมการลดเสียง

5.1 วิธีทดลอง

5.1.1 ศึกษาการลดเสียงโดยมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนสร้างจาก Function Generator

ในงานวิจัยนี้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนจะถูกสร้างจาก Function Generator โดยศึกษาความถี่ในช่วง 100 Hz ถึง 1000 Hz โดยใช้ฟังก์ชัน Sweep และมีแหล่งกำเนิดเสียง 2, 3 และ4 แหล่ง โดยที่แหล่งกำเนิดเสียงดังกล่าววางที่มุมห้องป้องกันเสียงทั้งสี่ (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) โดยวิธีการทดลองสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone ที่มีต่อการลดเสียงรบกวน
2. ศึกษาประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ ในช่วง 100-1000 Hz

5.1.2 ศึกษาการลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้นอกจากศึกษาแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน โดยสร้างจาก Function Generator แล้วยังได้ศึกษาจากแหล่งกำเนิดเสียงที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถนำไปไว้ในห้องทดลองได้ จึงทำการบันทึกเสียงที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศโดยใช้เทปบันทึกเสียง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยในงานวิจัยนี้จะบันทึกเสียงห่างจากเครื่องปรับอากาศประมาณ 10 cm ขณะที่เปิดพัดลมของเครื่องปรับอากาศในระดับ Low, Medium และ High

5.2 วิธีการเขียนโปรแกรมการลดเสียงโดยใช้ FXLMS Algorithm สำหรับ TMS320C50

จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงรูปแบบการลดเสียงแบบ Feedback ANC โดยใช้ FXLMS Algorithm ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของ $S(z)$ ซึ่งถูกประมาณค่าโดย $\hat{S}(z)$ โดยวิธี off-line Modeling ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุม และทำการหักล้าง (ในรูปที่ 3.13) ซึ่งวิธีการต่าง ๆ สามารถแสดงลำดับการเขียนโปรแกรมดังต่อไปนี้

5.2.1 การหาค่า $\hat{S}(z)$

1.อ่านค่าโดย AIC และลบค่าด้วย AIC-offset ดังสมการต่อไปนี้

$$d(n) = DRR(input\ \ signal) - offset$$

2.คำนวณหาค่า $d(n)$ และเก็บค่าถัดไปที่มาจาก White Noise $(x(n))$ ส่งไปที่ Output ของ AIC เพื่อส่งไปที่ Secondary Source

3.นำค่าของ $x(n)$ Convolution กับ $\hat{s}(n)$

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{s}_l(n)x(n-l)$$

4.คำนวณหาค่า Error signal

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

5.ปรับค่าสัมประสิทธิ์ใหม่โดยใช้ LMS Algorithm

$$\hat{s}_l(n+1) = \hat{s}_l(n) + \mu x(n-1)e(n)$$

5.2.2 **ส่วนควบคุม และการหักล้าง**

1. อ่านค่าโดย AIC และลบค่าด้วย AIC-offset ดังสมการต่อไปนี้

$$\hat{d}(n) = DRR - offset$$

2.ทำการคำนวณหาค่า $y(n)$ จากสมการที่ 3.29 และส่งสัญญาณไปหักล้าง

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} w_l(n)x(n-l)$$

3.เนื่องจาก $\hat{d}(n) = x(n)$ นำไปคำนวณหาค่า $x'(n)$ จากสมการที่ 3.31

$$x'(n) = \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m x(n-m)$$

4.คำนวณหาค่าของ $x(n) \equiv \hat{d}(n) = e(n) - \sum_{m=0}^{M-1} \hat{s}_m y(n-m)$ จากสมการที่ 3.28

โดยคำนวณจากการ Convolution ของ $y(n) * \hat{s}(n)$

อ่านค่าจาก AIC ที่เกิดจากการหักล้าง $(e(n))$ และลบกับสมการข้างบน

5.ทำการปรับสัมประสิทธิ์

$$w_l(n+1) = w_l(n) + \mu x'(n-l)e(n)$$

5.3 **การเขียนโปรแกรม** Assembler

เนื่องจากการลดเสียงรบกวนจะใช้ฟังก์ชันของ FIR และการปรับตัวโดยใช้ LMS ดังนั้นการเขียนโปรแกรมแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างการเขียนโปรแกรม Assembler ของ Adaptive FIR [15]

จากสมการ FIR

$$y(i)=\sum_{k=0}^{N-1} b_k(n)x(i-k)$$

การปรับตัว $e(n)=d(n)-y(n)$

$$b_k(n+1)=b_k(n)+\mu x(i-k)e(n)$$

X is newest data sample

Y is filter output

LASTAP is oldest data sample

ONE is constant one

BETA is adaptation constant (μ)

ERR is signal error

ERRF is error function

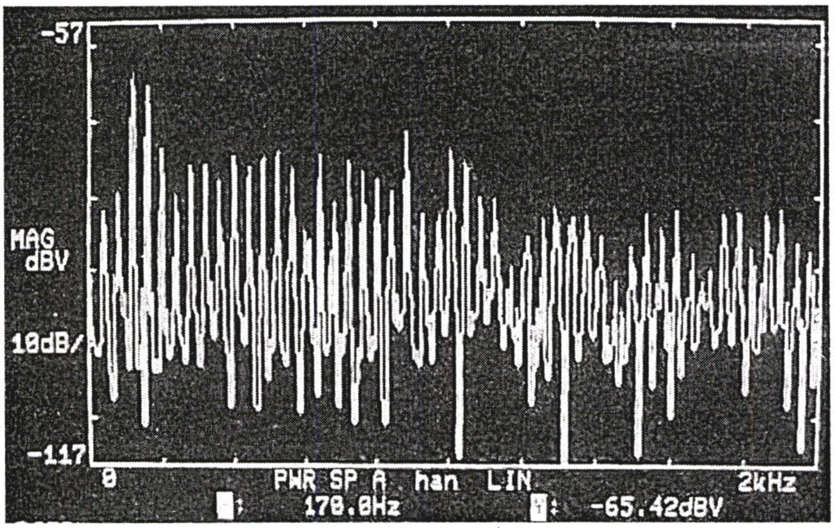
```
        ****Finite impulse response (FIR) 128 TAP *****
    ZPR                             ; register is cleared
    LACC    #1,14                   ; Load output rounding bit
    MAR     *, AR3
    LAR     AR3, #LASTAP            ; Point to oldest sample

FIR RPT     #127
    MACD    COEFFP, *-              ; 128-tap FIR filter
    APAC
    SACH    Y, 1                    ; Store the filter output

    NEG                             ;  - y (n)
    LAR     AR3, #X
    ADD     *, 15                   ; Add the newest input sample
    SACH    ERR, 1                  ; err (n) = x (n) – y (n)
    DMOV    *                       ; Include newest sample
```

****LMS Adaptive of Filter Coefficients****

```
        LT          ERR                 ; T = err
        MPY         BETA                ; P = μ*err
        PAC                             ; errf(i) = beta * err(i)
        ADD         ONE, 14             ; Round the results
        SACH        ERRF, 1             ; Save errf
        LACC        #126
        SAMM        BRCR                ; 127 coefficient to update in the loop
        LAR         AR2, #COEFFD        ; Point to the coefficient
        LAR         AR3, #LASTAP + 1    ; Point to the data sample

        LT          ERRF
        MPY         *-, AR2             ; P = μ * err(i) * x(i - 255)

        RPTB        LOOP-1              ; For I=0, I <= 126, I++
ADAPT       ZALR    *, AR3              ; Load ACCH with b_k(i)
        MPYA        *-, AR2             ; P = b_k(i) + μ * err(i) * x(i - 255)
        SACH        *+                  ; Store b_k(i + 1)

LOOP        ZALR    *, AR3              ; Finally update last coeff b_0(i)
        RETD                            ; Delayed return
        APAC                            ; Acc = b_0(i) + μ * err(i) * x(i - 255)
        SACH        *+
```

บทที่ 6
วิเคราะห์ และผลการทดลอง

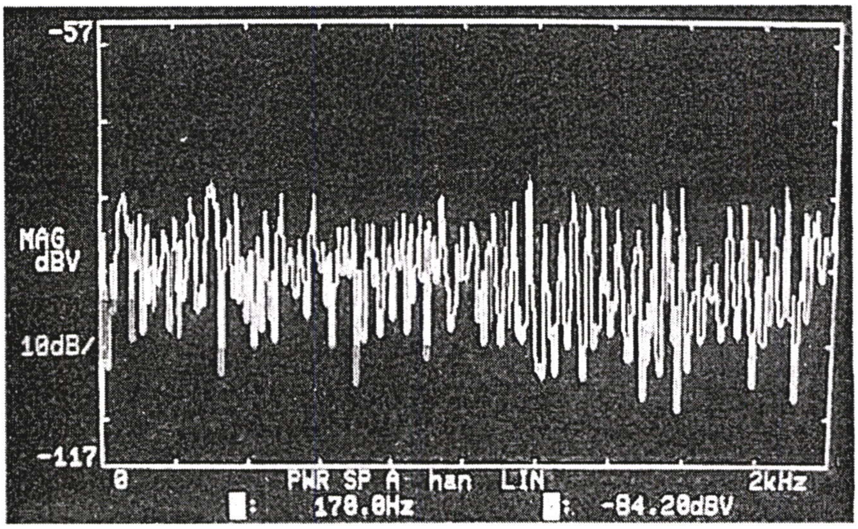
ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดเสียงรบกวนในห้องป้องกันเสียงแบบ Feedback ANC ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์แบบ FIR โดยมีอัลกอริธึมแบบ FXLMS Algorithm สำหรับเสียงรบกวนถูกสร้างขึ้นจาก Function Generator โดยใช้ฟังก์ชัน Sweep ในช่วง 100 - 1000 Hz ซึ่งมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้งหมด 2, 3 และ 4 ตำแหน่ง สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง FFT Analysis สามารถแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ระดับเสียงรบกวนที่ถูกสร้างขึ้นจาก Function Generator ในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz

จากรูปที่ 6.1 พบว่าระดับเสียงรบกวนที่สร้างขึ้นจาก Function Generator ในช่วง 100 – 1000 Hz พบว่าความถี่ของเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นในห้องป้องกันเสียงมีความถี่สูงกว่า 1000 Hz อาจเนื่องจากในห้องป้องกันเสียงมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยแต่ละแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนจะให้คลื่นเสียงรบกวนในช่วง 100 –1000 Hz และทำให้เกิดการแทรกสอดของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงเอง จึงทำให้ความถี่ของเสียงรบกวนเกิดการเปลี่ยนแปลง และทำให้เสียงรบกวนที่เกิดในห้องป้องกันเสียงมีความถี่สูงกว่า 1000 Hz จากรูปที่ 6.1 ที่ความถี่ของเสียงรบกวนที่สูงกว่า 1000 Hz มีระดับเสียง

รบกวนต่ำกว่าระดับเสียงรบกวนในช่วงความถี่ 100 – 1000 Hz เนื่องจากระดับเสียงรบกวนที่ความถี่สูงกว่า 1000 Hz เกิดจากพลังงานของคลื่นเสียงรบกวนในช่วง 100 –1000 Hz มีการแทรกสอดกันเอง ทำให้มีการถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงที่ต่ำกว่า 1000 Hz ไปเป็นพลังงานคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 1000 Hz แต่พลังงานของคลื่นเสียงที่เกิดจากการแทรกสอดไม่สามารถถ่ายโอนพลังงานได้ 100 % จึงทำให้ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่สูงกว่า 1000 Hz มีระดับน้อยกว่า 100 – 1000 Hz แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาการลดเสียงรบกวนในช่วง 100 –1000 Hz ดังนั้นในการประมวลผลเพื่อทำการลดเสียงรบกวนทำโดยการกรองเสียงรบกวนให้อยู่ในช่วง 100 – 1000 Hz เนื่องจากบอร์ด TMS320C50 มีชุดกรองสัญญาณอยู่แล้ว [16] ดังนั้นการกำจัดเสียงที่สูงกว่า 1000 Hz จึงสามารถทำได้ และผลจากการลดเสียงรบกวนโดยใช้ตัวกรองสัญญาณจาก TMS320C50 สามารถแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 cm

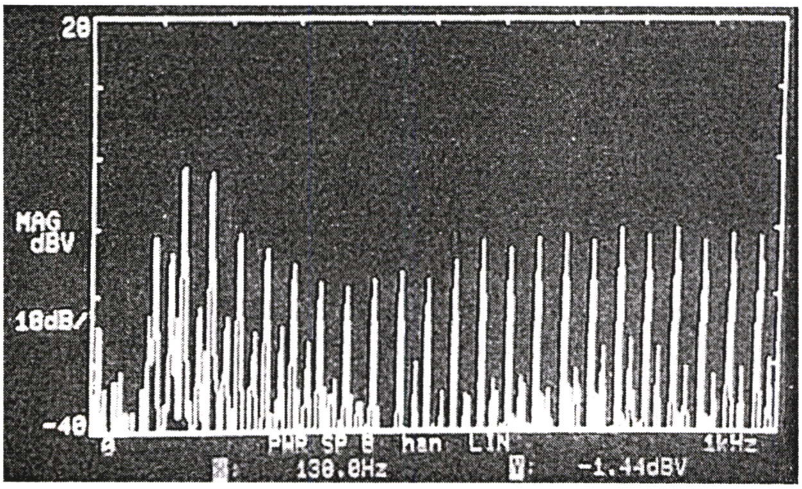
จากรูปที่ 6.2 พบว่าระดับเสียงรบกวนที่ตำแหน่ง Microphone จะเกิดการหักล้างเสียงรบกวนเฉพาะในช่วงความถี่ประมาณ 100 -1000 Hz ส่วนความถี่ของเสียงรบกวนที่สูงกว่า 1000 Hz ไม่เกิดการหักล้างเสียงรบกวนดังนั้นการศึกษาการลดเสียงรบกวนในหัวข้อต่อไปจะกล่าวเฉพาะความถี่ในช่วง 100 – 1000 Hz เท่านั้น

6.1 ผลของระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone ที่มีต่อการลดเสียงรบกวน

การทดลองนี้จะใช้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนที่ถูกสร้างขึ้นจาก Function โดยมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้งหมด 2, 3 และ 4 ตำแหน่ง และมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm เพื่อศึกษาอิทธิพลของระยะห่าง Secondary Noise Source กับ Microphone และแหล่งกำเนิดเสียงมีผลต่อประสิทธิภาพการลดเสียง ซึ่งผลการทดลองแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

6.1.1 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง

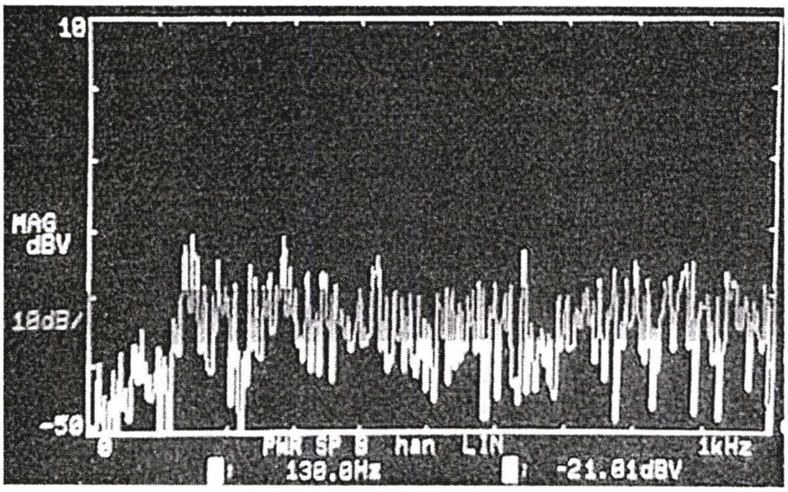
สำหรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 4 ตำแหน่ง จะอยู่ที่ตำแหน่งทั้ง 4 ของมุมห้องป้องกันเสียงซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงทั้ง 4 ตำแหน่ง คือ Primary Noise Source No.1, No.2, No.3 และ No.4 ผลของสัญญาณเสียงก่อนการหักล้างที่ตรวจจับโดยเครื่อง FFT Analysis สามารถแสดงได้ในรูปที่ 6.3



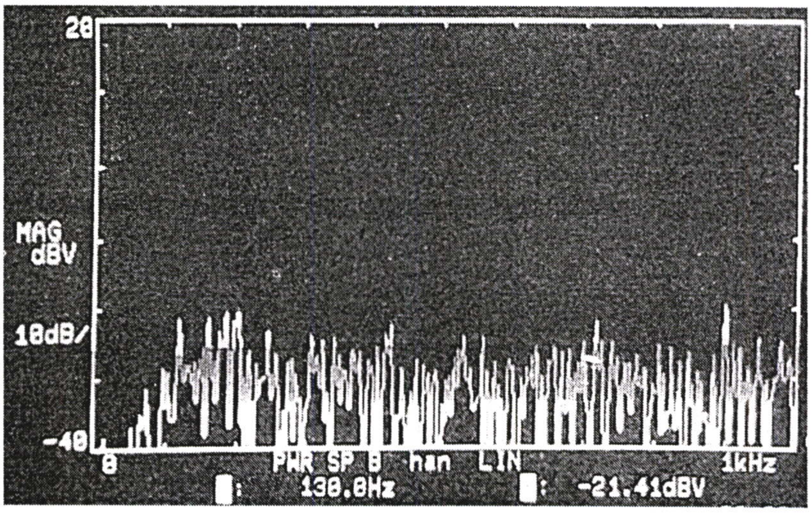
รูปที่ 6.3 ระดับเสียงรบกวนก่อนหักล้างในช่วงความถี่ 100-1000 Hz

จากรูปที่ 6.3 ภาพของระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง ที่แสดงจากเครื่อง FFT- Analyzer ทำให้ทราบผลการตอบสนองของ Microphone พบว่า Microphone สามารถตอบสนองระดับเสียงได้ดีในช่วงความถี่ประมาณ 100-200 Hz ทำให้มีระดับเสียงสูงกว่าความถี่อื่น ๆ และที่ความถี่ต่ำกว่า 100 Hz Microphone ตอบสนองได้ไม่ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจ

การลดเสียงในช่วงความถี่ 100 - 1000 Hz ในการทดลองหัวข้อนี้จะให้ตำแหน่งของ Microphone คงที่ แต่จะเลื่อนตำแหน่งของ Secondary Noise Source ให้มีระยะห่าง 20, 30, 40 และ 50 cm ตามลำดับ เพื่อให้ระดับเสียงรบกวนก่อนหักล้างมีระดับเสียงเท่ากัน ผลการทดลองเมื่อเกิดการหักล้างเสียงรบกวนสามารถแสดงได้ในรูปต่อไปนี้

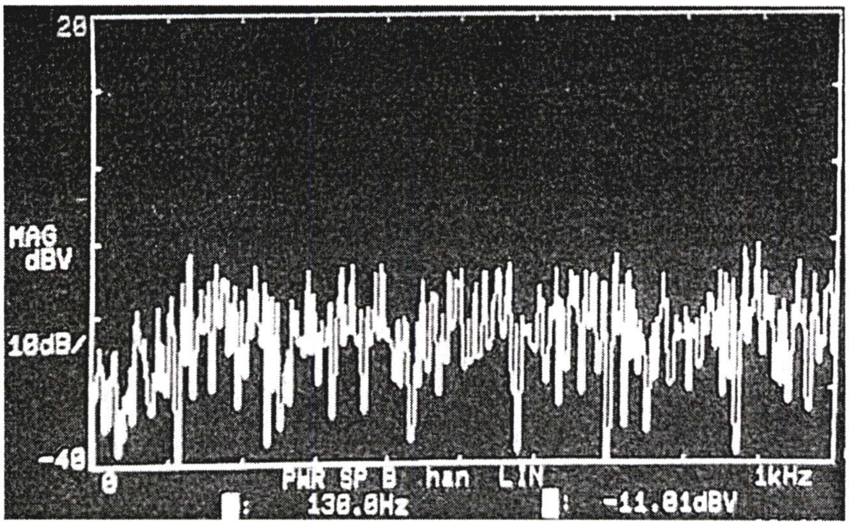


(a)

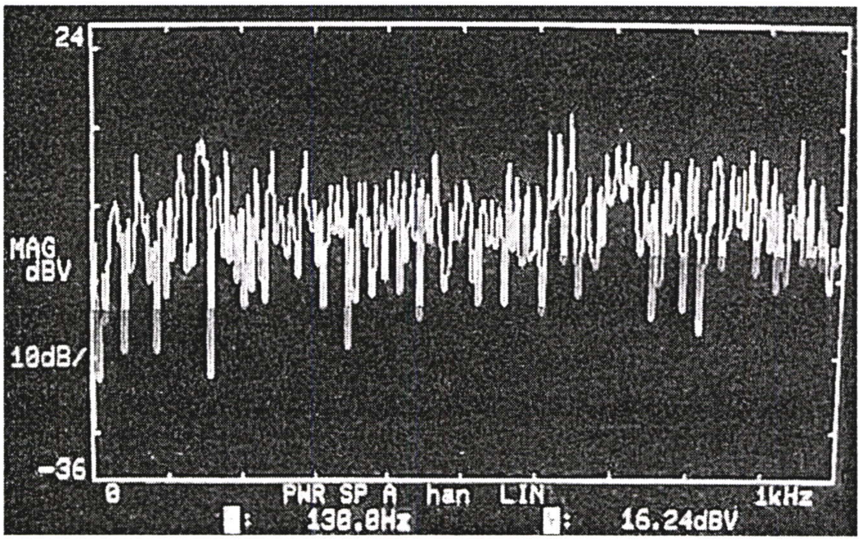


(b)

รูปที่ 6.4 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm



(a)



(b)

รูปที่ 6.5 ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm

จากรูปที่ 6.4 และ 6.5 พบว่าเมื่อระยะห่างของ ระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ความสามารถในการลดเสียงรบกวนในช่วงความถี่ 100 - 1000 Hz มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone สูงกว่า 30 cm ความสามารถในการลดเสียงรบกวนน้อยลง และนอกจากนี้ที่ระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm การหักล้างเสียงจะไม่เกิดขึ้นแล้วยังเพิ่มระดับเสียงรบกวนขึ้นอีก จากรูปที่ 6.4 และ 6.5 เมื่อพิจารณาการหักล้างเสียงรบกวนที่ความถี่ 130.0 Hz สามารถแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 130.0 Hz โดยมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm

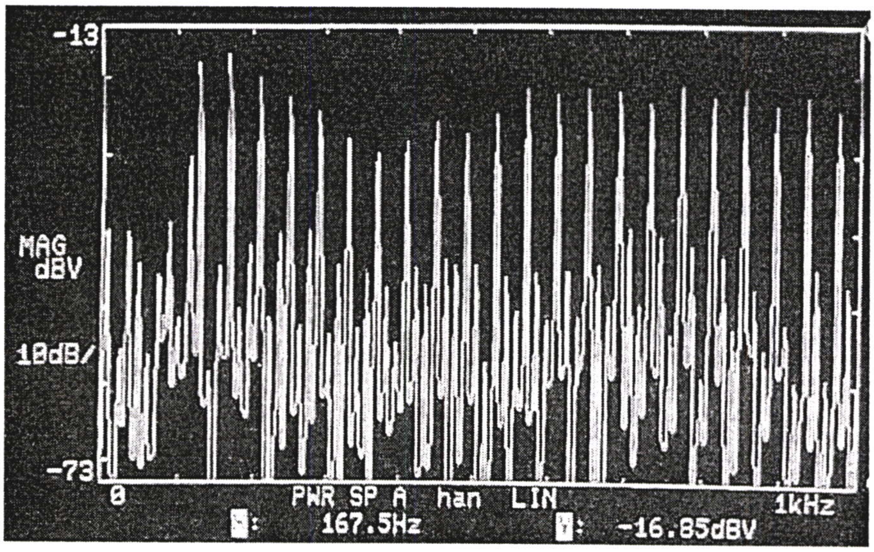
ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone (cm)	ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้าง (dB)	ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้าง (dB)	เสียงรบกวนที่สามารถลดได้ (dB)
20	-1.44	-21.01	19.57
30	-1.44	-21.41	19.97
40	-1.44	-11.01	9.57
50	-1.44	16.24	-17.68

จากตารางที่ 6.1 พบว่าระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone มีผลต่อประสิทธิภาพการหักล้างเสียงโดยที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ระดับการหักล้างเสียงใกล้เคียงกันประมาณ 20 dB เมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 40 cm พบว่าการลดเสียงรบกวนน้อยลง โดยสามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 10 dB และเมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm พบว่านอกจากไม่ลดเสียงรบกวนแล้วยังทำให้ระดับเสียงกลับเพิ่มขึ้นประมาณ 18 dB เนื่องจากเมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source สูง ๆ จะทำให้คลื่นเสียงที่เกิดจาก Secondary Noise Source ขณะเดินทางมาหักล้างเสียงรบกวนเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ อาจเกิดเนื่องมาจากเสียงรบกวนไปแทรกสอดกับคลื่นเสียงที่จะมาหักล้าง ทำให้เฟสของคลื่นเสียงที่มาหักล้างเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อเฟสของคลื่นเสียงที่นำมาหักล้างเกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้การลด

เสียงรบกวนทำได้น้อยลง หรือเมื่อคลื่นเสียงเกิดการเปลี่ยนแปลงมาก ๆ อาจทำให้เกิดการเพิ่ม และเสริมระดับเสียงรบกวนขึ้นอีก

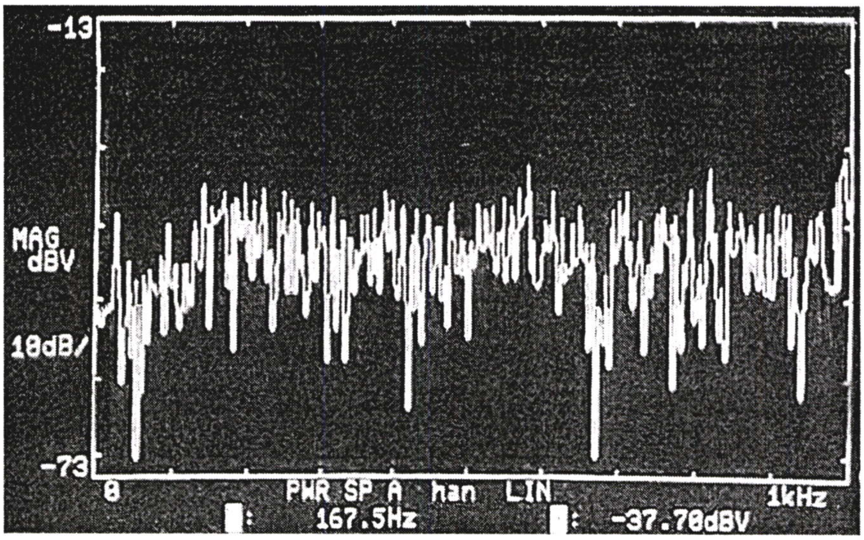
6.1.2 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 3 ตำแหน่ง

สำหรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้ง 3 ตำแหน่ง คือ Primary Noise Source No.1, No.2 และ No.3 ผลของสัญญาณเสียงก่อนการหักล้างที่ตรวจจับโดยเครื่อง FFT Analysis แสดงในรูปที่ 6.6

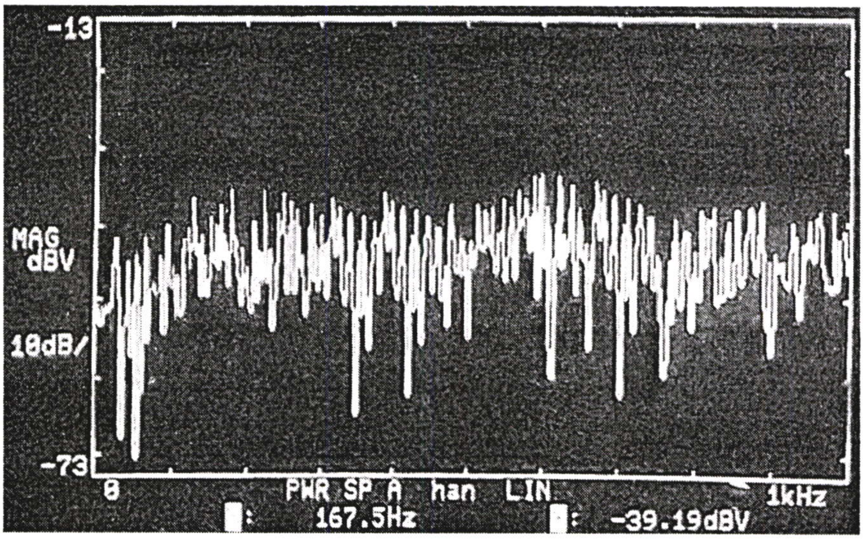


รูปที่ 6.6 ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้างในช่วงความถี่ 100 -1000 Hz

จากรูปที่ 6.6 ระดับเสียงก่อนการหักล้างของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 3 ตำแหน่ง ที่ตรวจจับโดยเครื่อง FFT Analysis มีลักษณะคล้ายกับระดับเสียงก่อนการหักล้างเสียง 4 ตำแหน่ง แต่ระดับเสียงมีระดับต่ำกว่า สำหรับการทดลองนี้จะให้ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm โดยให้ตำแหน่งของ Microphone คงที่ ส่วนตำแหน่งของ Secondary Noise Source จะเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมาแล้ว สำหรับผลของระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone ในระยะต่าง ๆ แสดงในรูปต่อไปนี้

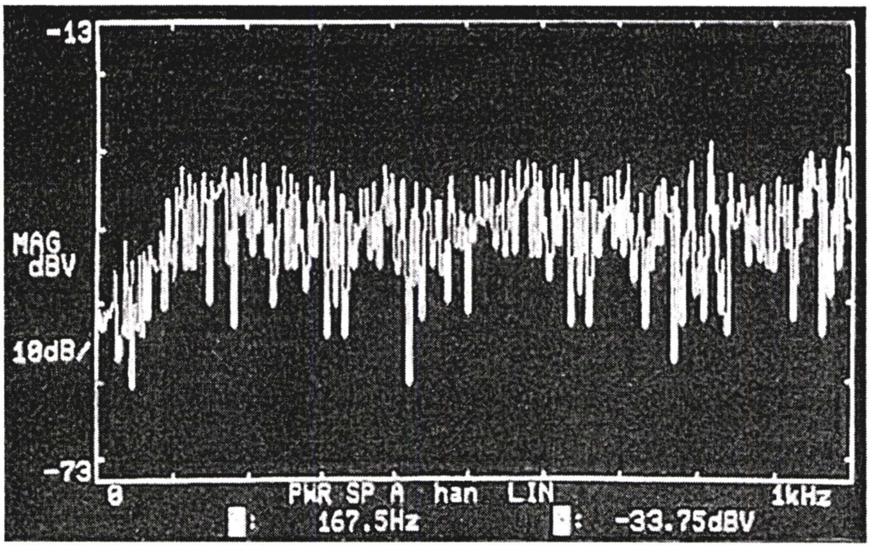


(a)

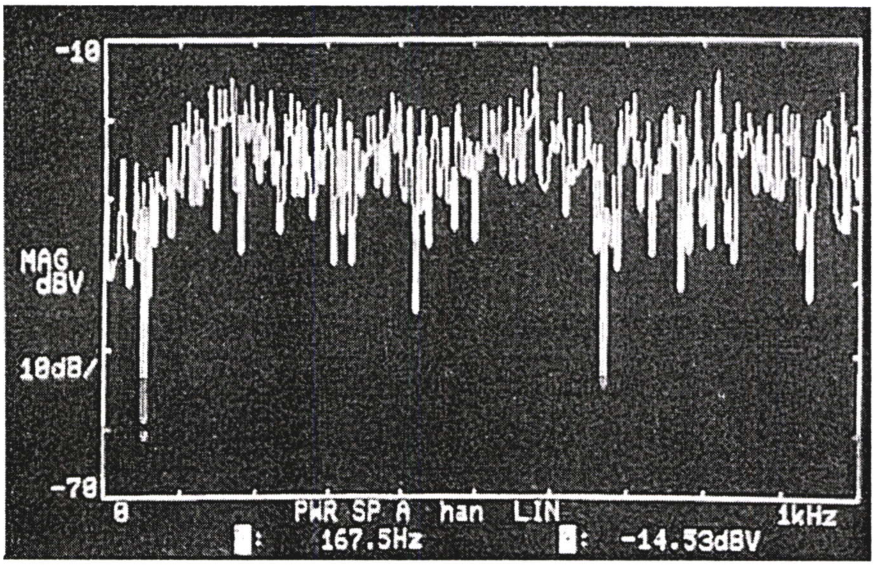


(b)

รูปที่ 6.7 ระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm



(a)



(b)

รูปที่ 6.8 ระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm

จากรูปที่ 6.7 และ 6.8 พบว่าระยะห่างของ ระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เพิ่มขึ้น ความสามารถในการลดเสียงรบกวนลดลง แต่ที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ความสามารถในการลดเสียงรบกวนใกล้เคียงกัน และที่ระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm การหักล้างเสียงจะไม่เกิดขึ้น แต่ระดับเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 6.7 และ 6.8 เมื่อพิจารณาการหักล้างเสียงรบกวนที่ความถี่ 167.5 Hz สามารถแสดงในตารางที่ 6.2

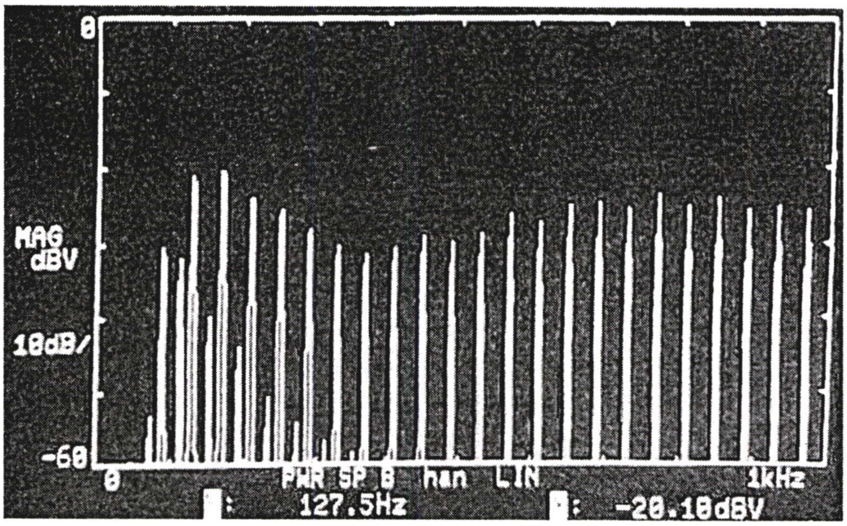
ตารางที่ 6.2 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 167.5 Hz โดยมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm

ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone (cm)	ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้าง (dB)	ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้าง (dB)	เสียงรบกวนที่สามารถลดได้ (dB)
20	-16.85	-37.70	20.85
30	-16.85	-39.19	22.34
40	-16.85	-33.75	16.90
50	-16.85	-14.53	-2.32

จากตารางที่ 6.2 พบว่าระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ระดับการหักล้างเสียงใกล้เคียงกันประมาณ 20-22 dB เมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 40 cm พบว่าการลดเสียงรบกวนน้อยลง โดยสามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 16.90 dB และเมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm ไม่สามารถลดเสียงรบกวนได้ แต่ระดับเสียงรบกวนเพิ่มขึ้นประมาณ 2.32 dB เนื่องจากการแทรกสอดซึ่งคล้ายกับหัวข้อที่ 6.1.1

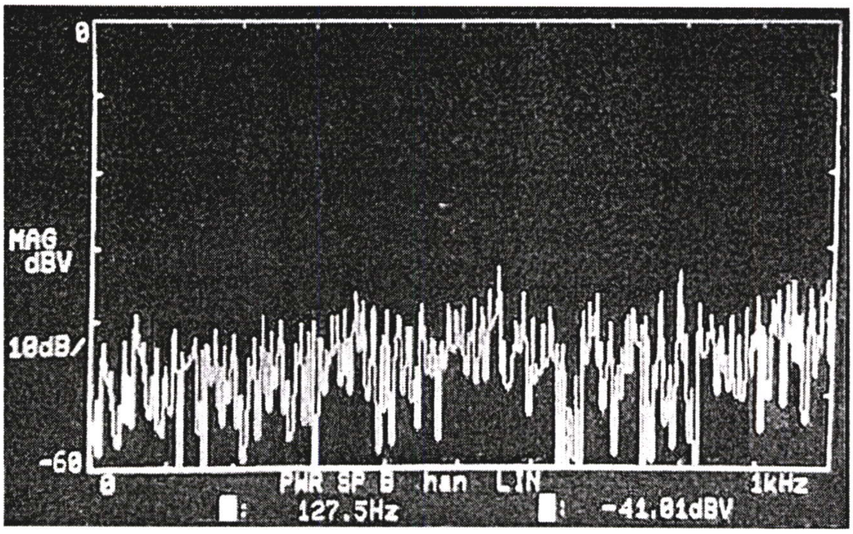
6.1.3 การลดเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 2 ตำแหน่ง

สำหรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนทั้ง 2 ตำแหน่ง คือ Primary Noise Source No.1และ No.2 ผลของสัญญาณเสียงก่อนการหักล้างที่ตรวจจับโดยเครื่อง FFT Analysis แสดงในรูปที่ 6.9

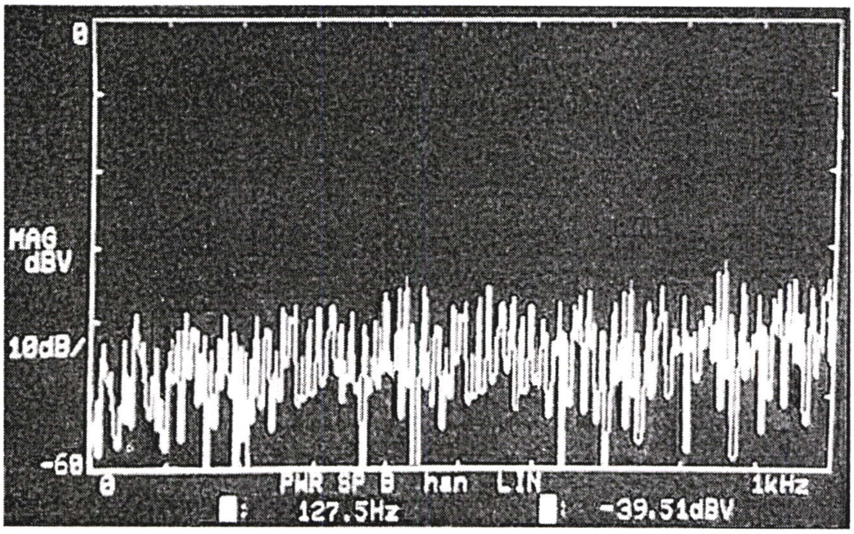


รูปที่ 6.9 ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้างในช่วงความถี่ 100 -1000 Hz

จากรูปที่ 6.9 ระดับเสียงก่อนการหักล้างของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 2 ตำแหน่ง ซึ่งตรวจจับโดยเครื่อง FFT Analysis มีลักษณะคล้ายกับระดับเสียงก่อนการหักล้างเสียง 3 ตำแหน่ง แต่ระดับเสียงมีระดับต่ำกว่า สำหรับการทดลองนี้จะให้ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm โดยให้ตำแหน่งของ Microphone คงที่ ส่วนตำแหน่งของ Secondary Noise Source จะเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมาแล้ว สำหรับผลของระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้างที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone ในระยะต่าง ๆ แสดงในรูปต่อไปนี้

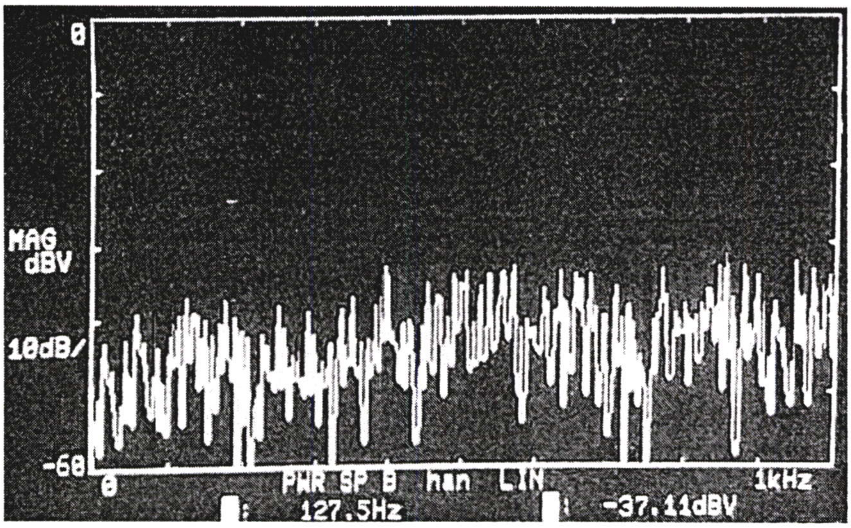


(a)

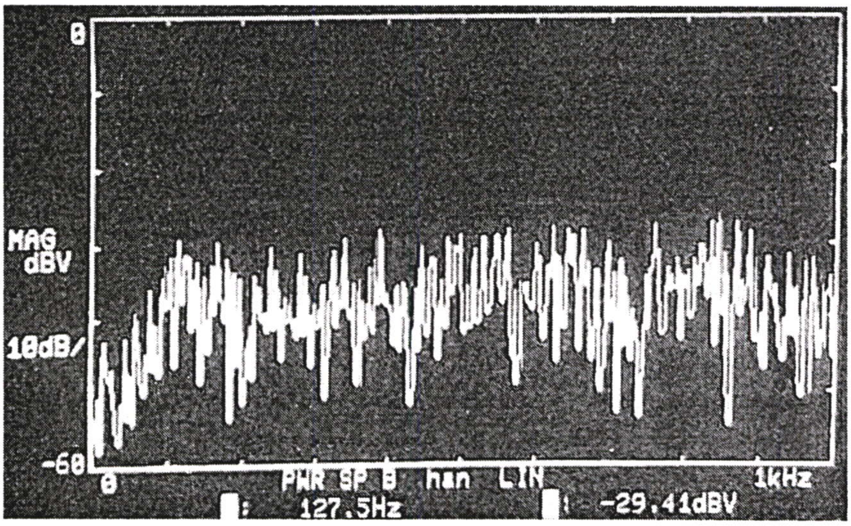


(b)

รูปที่ 6.10 ระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 20 cm และ (b) 30 cm



(a)



(b)

รูปที่ 6.11 ระดับเสียงรบกวนที่เกิดจากการหักล้างโดยมีระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ (a) 40 cm และ (b) 50 cm

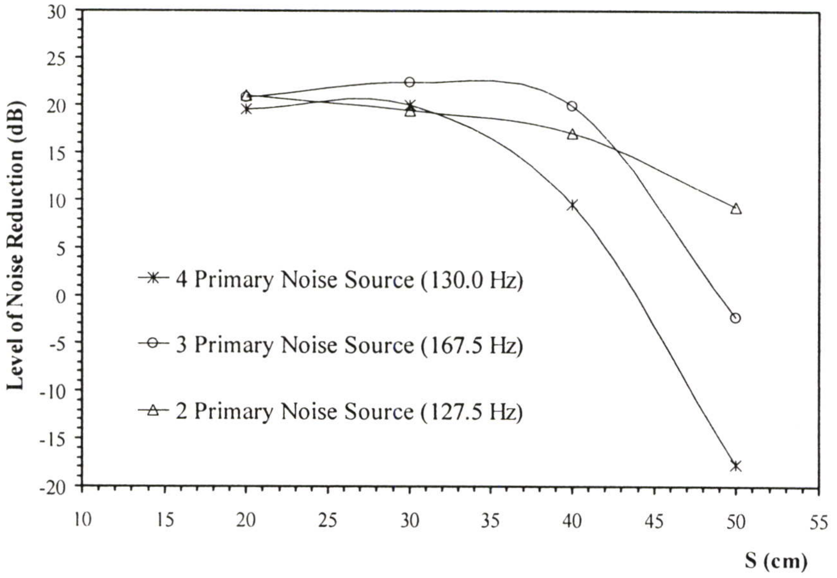
จากรูปที่ 6.10 และ 6.11 พบว่าระยะห่างของ ระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เพิ่มขึ้น ความสามารถในการลดเสียงรบกวนลดลง แต่ที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ความสามารถในการลดเสียงรบกวนใกล้เคียงกัน และที่ระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm การหักล้างเสียงจะไม่เกิดขึ้น แต่ระดับเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 6.7 และ 6.8 เมื่อพิจารณาการหักล้างเสียงรบกวนที่ความถี่ 127.5 Hz สามารถแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การลดเสียงรบกวนที่ความถี่ 127.5 Hz โดยมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20, 30, 40 และ 50 cm

ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone (cm)	ระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้าง (dB)	ระดับเสียงรบกวนหลังการหักล้าง (dB)	เสียงรบกวนที่สามารถลดได้ (dB)
20	-20.10	-41.10	21.00
30	-20.10	-39.51	19.41
40	-20.10	-37.11	17.01
50	-20.10	-29.41	9.31

จากตารางที่ 6.3 พบว่าระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm ระดับการหักล้างเสียงใกล้เคียงกันประมาณ 20-21 dB เมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 40 และ 50 cm พบว่าการลดเสียงรบกวนน้อยลง โดยสามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 17.01 และ 9.31 ตามลำดับ

จากหัวข้อที่ 6.1.1, 6.1.2 และ 6.1.3 พบว่าระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone มีอิทธิพลต่อการหักล้างเสียงรบกวน โดยเมื่อระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เพิ่มขึ้นความสามารถในการลดเสียงรบกวนลดลง ถ้าระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone จากข้อมูลในตารางที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนกับความสามารถในการลดเสียงรบกวนได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.12

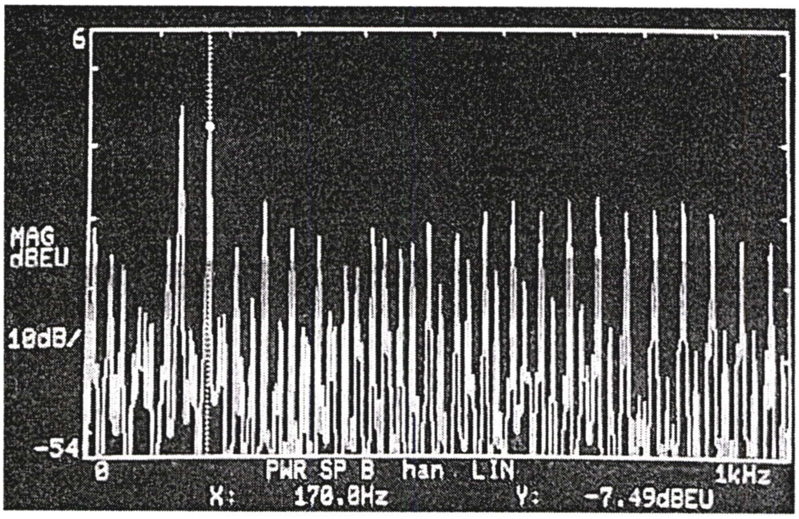


รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงรบกวนที่หักล้าง กับระยะห่าง Secondary Noise Source กับ Microphone (S)

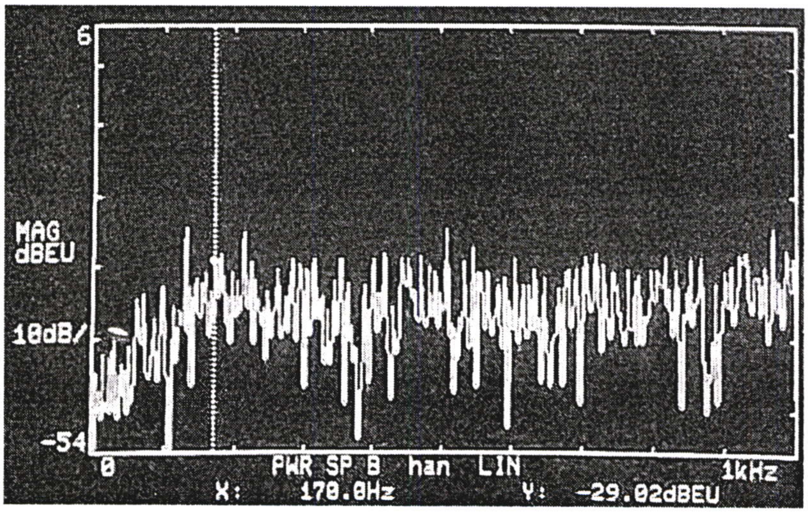
จากรูปที่ 6.12 จำนวนแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีความถี่ไม่เท่ากันเนื่องจากระดับเสียงหลังการหักล้างแต่ละแหล่งในช่วงความถี่ 100-200Hz (ลดเสียงรบกวนได้ดีที่สุด) สามารถลดเสียงรบกวนได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกความถี่ในช่วง 100-200 Hz ที่สามารถลดเสียงรบกวนได้น้อยที่สุด โดยที่แหล่งกำเนิดเสียง 4 ,3 และ 2 ตำแหน่งจะศึกษาที่ความถี่ 130.0, 167.5 และ 127.5 Hz ตามลำดับ สำหรับจำนวนแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนต่าง ๆ เมื่อระยะของ Secondary Noise Source เพิ่มขึ้นความสารมารถในการลดเสียงรบกวนลดลง และจะลดลงมากเมื่อระยะห่างเท่ากับ 50 cm ที่ระยะห่าง 50 cm เมื่อจำนวนแหล่งกำเนิดเสียงเพิ่มขึ้นความสามารถในการลดเสียงรบกวนน้อยลง เนื่องจากเมื่อมีจำนวนแหล่งกำเนิดเสียงสูงทำให้มีการแทรกสอดของคลื่นเสียงมีมาก ทำให้คลื่นเสียง Secondary Noise เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสสูง ทำให้การหักล้างเสียงรบกวนน้อยลง แต่ที่ระยะห่างเท่ากับ 20 cm จำนวนของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนแทบไม่มีผลต่อการลดเสียงรบกวน สำหรับที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm พบว่าการลดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงจำนวนต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน และมีระดับการลดเสียงใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดลองหัวข้อถัดไปจะใช้ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 cm

6.2 ผลของการลดเสียงรบกวนที่ความถี่ต่าง ๆ

การทดลองนี้เป็นศึกษาการลดเสียงรบกวนจาก Function Generator โดยศึกษาการลดเสียงรบกวนที่ความถี่ต่ำที่ 170.0 Hz ความถี่กลางที่ 410.0 Hz และความถี่สูงที่ 732.5 Hz ซึ่งระดับเสียงรบกวนก่อนการหักล้าง และหลังการหักล้างแสดงในรูปต่อไปนี้

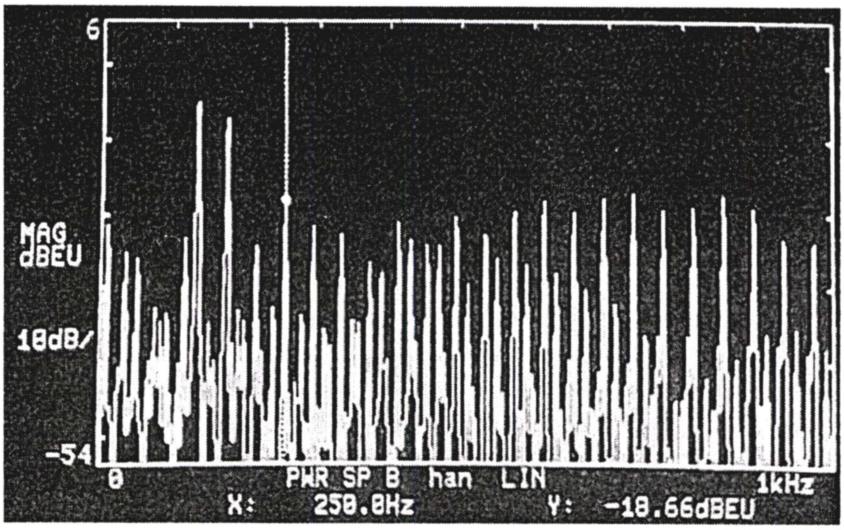


(a)

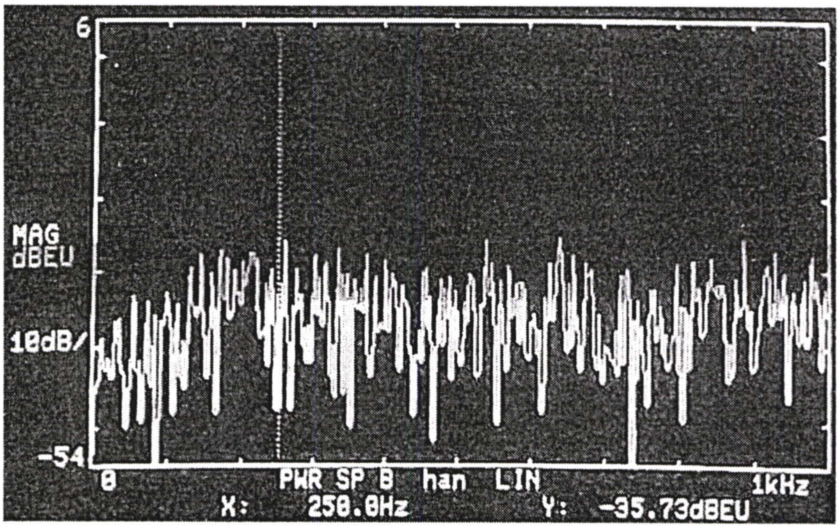


(b)

รูปที่ 6.13 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 170.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

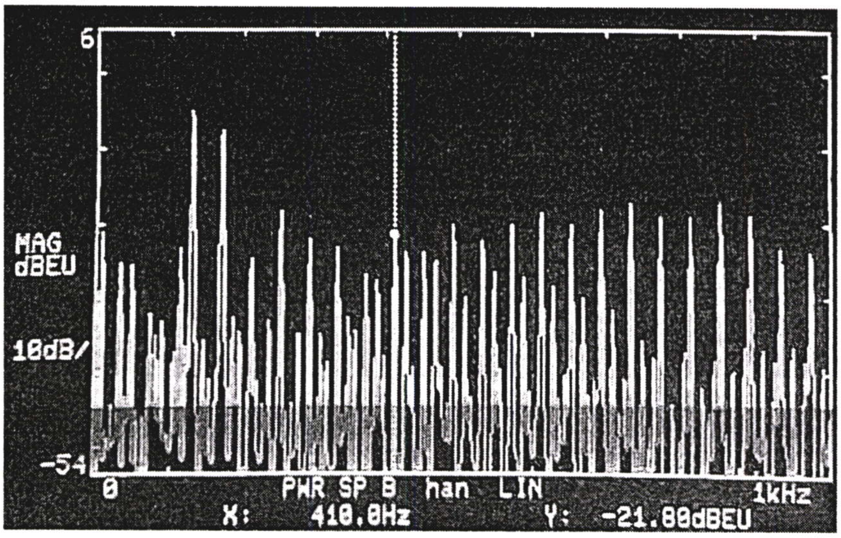


(a)

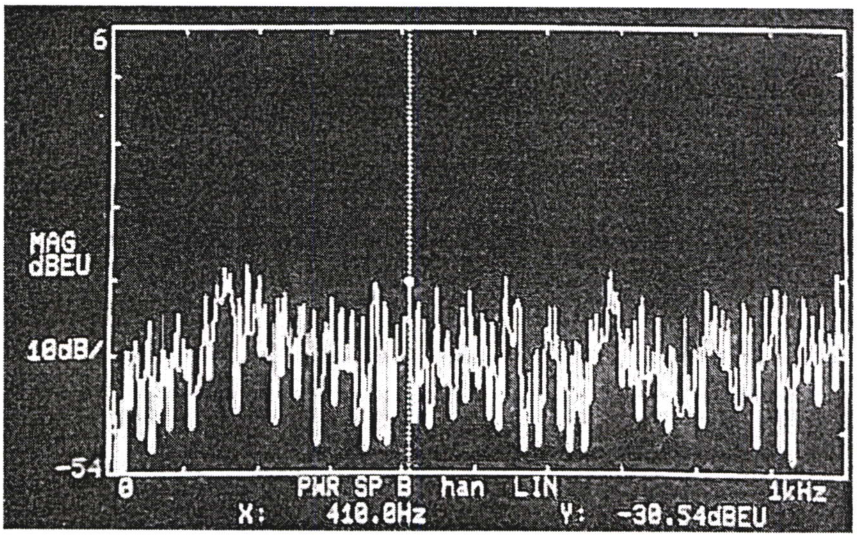


(b)

รูปที่ 6.14 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 250.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

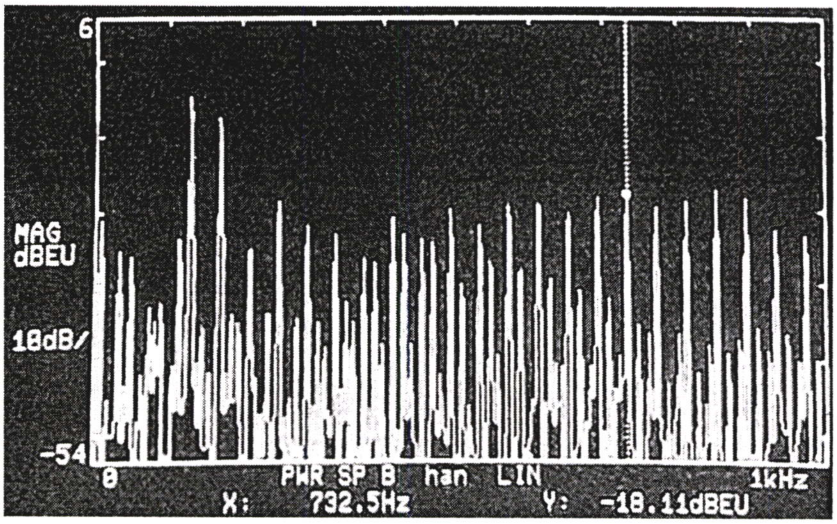


(a)

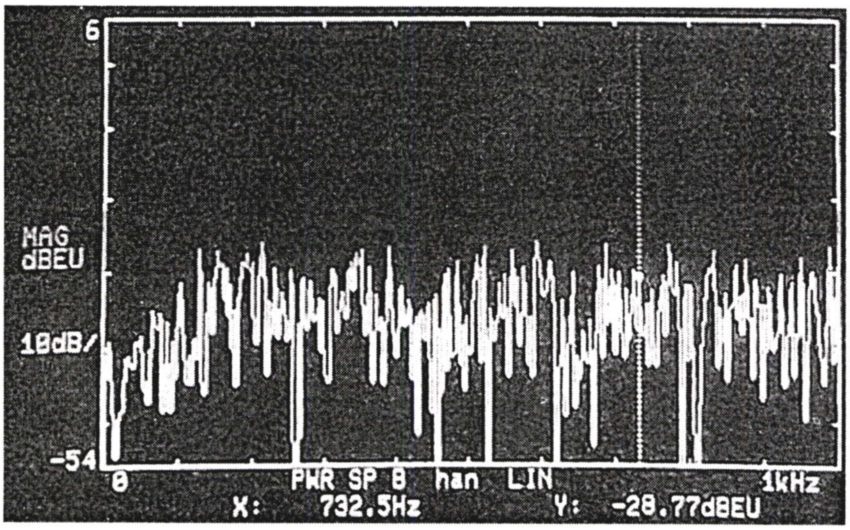


(b)

รูปที่ 6.15 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 410.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

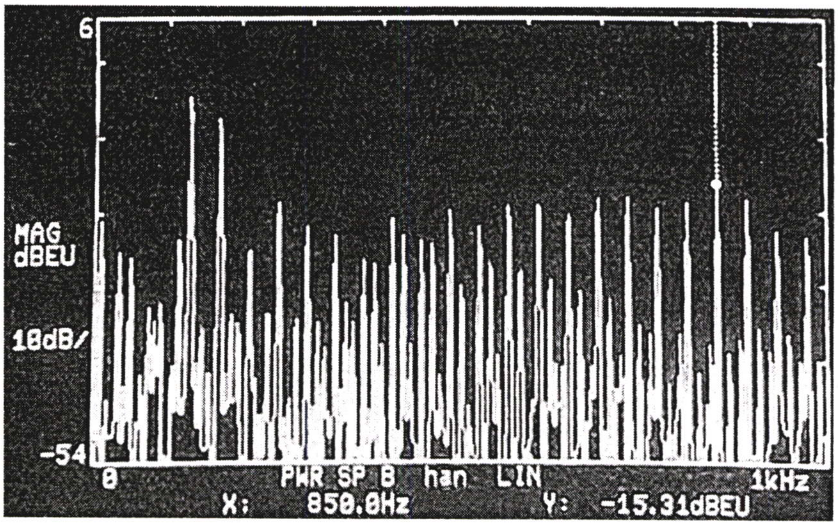


(a)

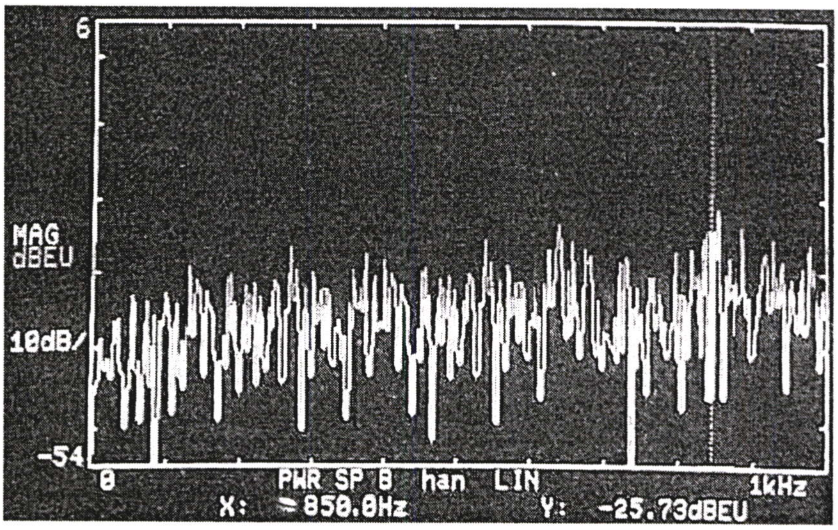


(b)

รูปที่ 6.16 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 732.5 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง



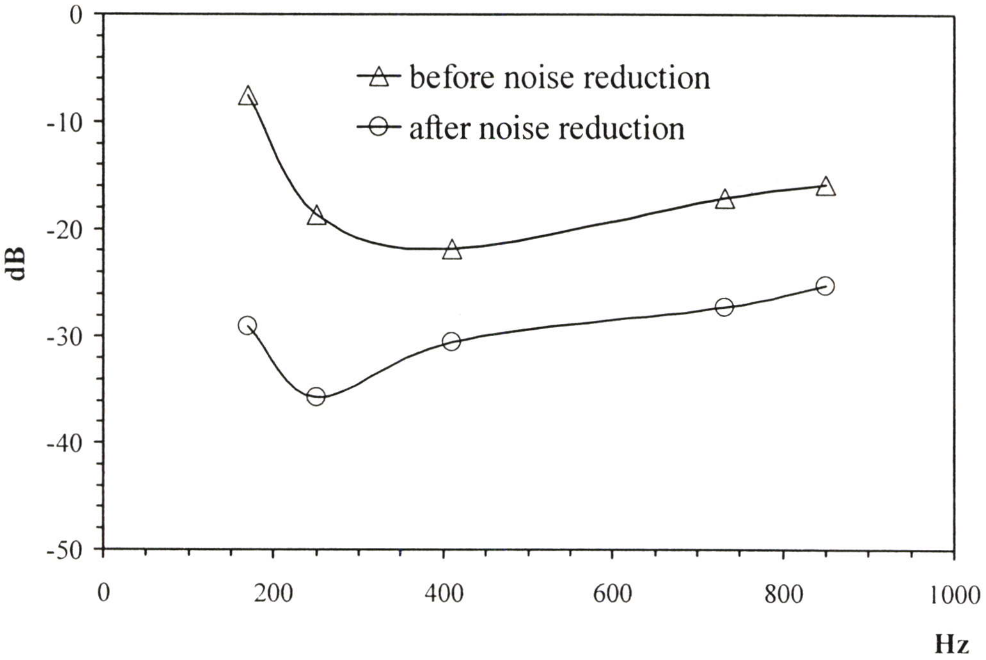
(a)



(b)

รูปที่ 6.17 ระดับเสียงรบกวนที่ความถี่ 850.0 Hz (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

จากรูปที่ 6.13 ถึง 6.17 พบว่าที่ความถี่ต่ำ ๆ สามารถลดเสียงรบกวนได้ดีกว่าที่ความถี่สูง โดยเฉพาะที่ความถี่ประมาณ 100 - 200 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 20 dB และเมื่อนำรูปที่ 6.13 ถึง รูปที่ 6.17 มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับเสียงดังแสดงในรูปที่ 6.18

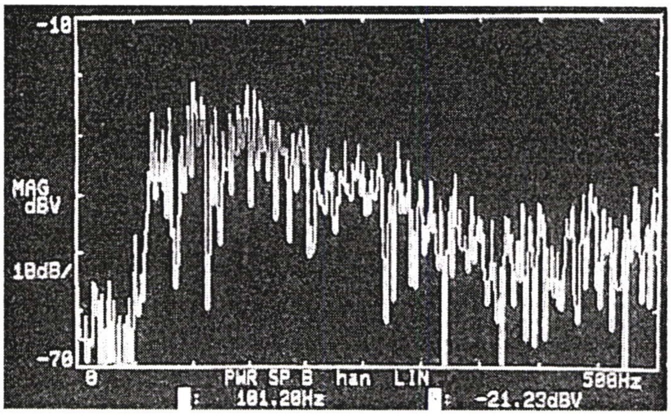


รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับเสียงรบกวนโดยมีแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน 4 ตำแหน่ง และมีระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 cm

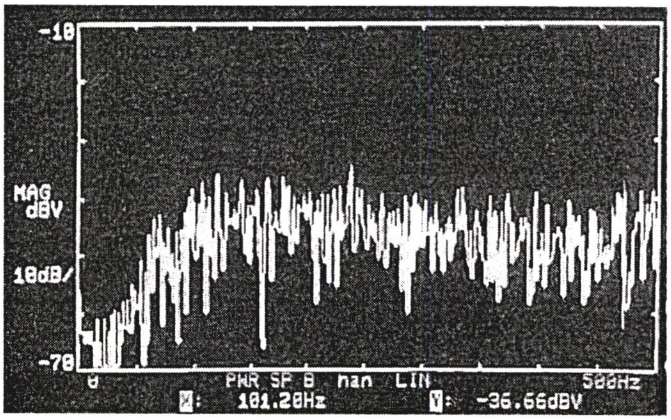
จากรูปที่ 6.18 ที่ความถี่ 100-250 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้สูงกว่าความถี่อื่น ๆ เนื่องจากที่ความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นสูงทำให้เมื่อคลื่นเสียงเกิดการแทรกสอด เฟสของคลื่นที่ความถี่ต่ำเปลี่ยนแปลงไม่มากเท่ากับที่ความถี่สูง ๆ ดังนั้นการลดเสียงรบกวนแบบ Feedback ANC โดยใช้ FXLMS Algorithm เหมาะกับการลดเสียงที่ความถี่ต่ำ ๆ สำหรับแหล่งกำเนิดเสียงจากเครื่องจักรที่ความถี่ต่ำ ๆ ได้แก่ เสียงจากเครื่องยนต์ และเสียงลม เป็นต้น

6.3 การลดเสียงรบกวนจากเครื่องปรับอากาศ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการลดเสียงรบกวนจากเครื่องปรับอากาศ แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่ไม่สามารถนำเข้าไปในห้องป้องกันเสียงได้ ดังนั้นจึงทำการบันทึกเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงดังกล่าวโดยใช้เทปบันทึกเสียง สำหรับการบันทึกเสียงเครื่องปรับอากาศจะทำการบันทึกในห้องปรับอากาศขณะที่ปรับระดับความเร็วของพัดลมที่ Low, Medium และ High โดยบันทึกเสียงห่างจากเครื่องปรับอากาศประมาณ 10 cm ผลการลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศ และจักรยานยนต์แสดงในรูปต่อไปนี้

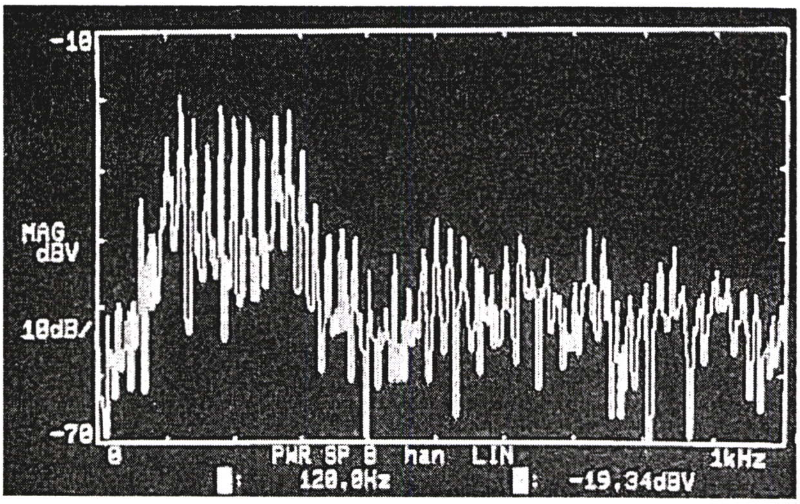


(a)

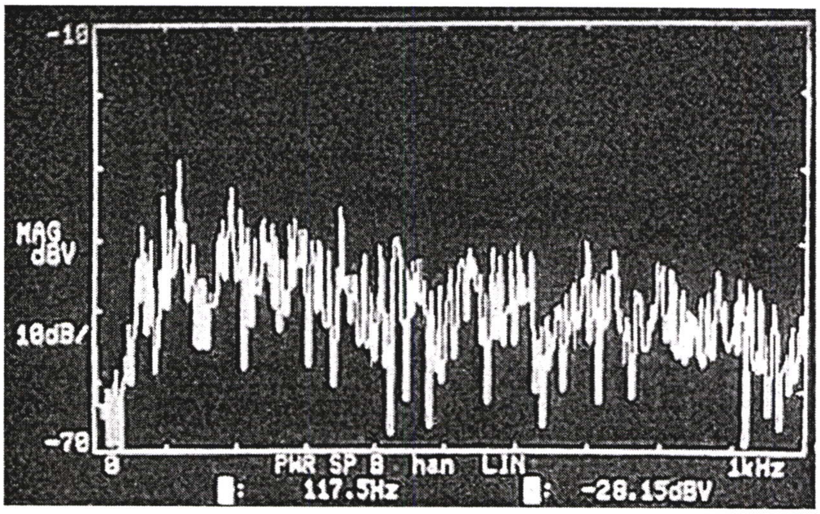


(b)

รูปที่ 6.19 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ Low (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

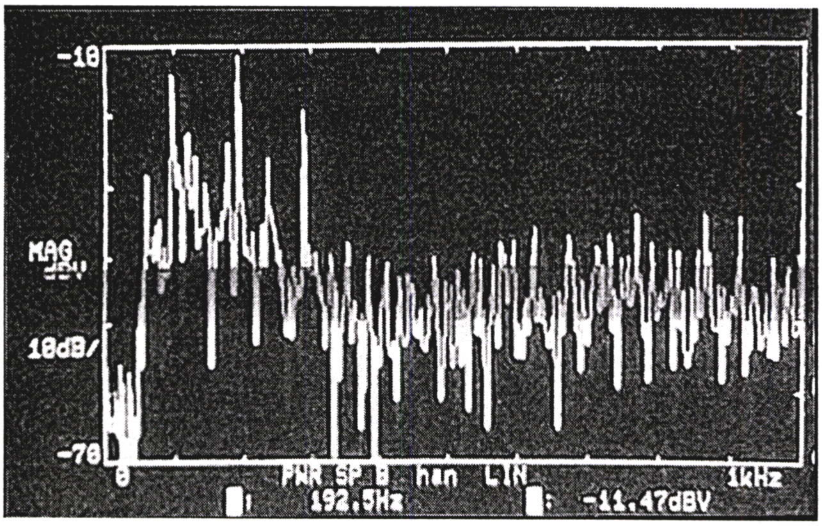


(a)

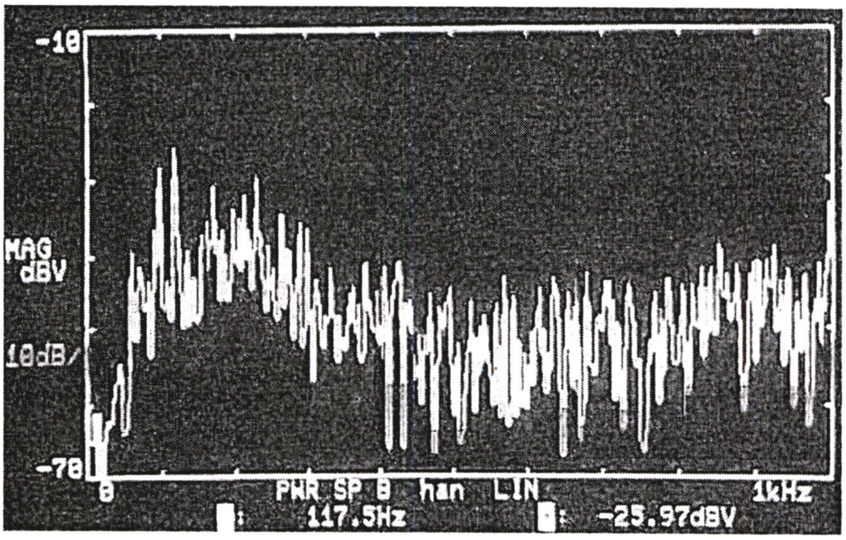


(b)

รูปที่ 6.20 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ Medium (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง



(a)



(b)

รูปที่ 6.21 การลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะเปิดพัดลมที่ High (a) ก่อนการหักล้าง (b) หลังการหักล้าง

จากรูปที่ 6.20 ถึง 6.21 เนื่องจากเสียงรบกวนจากเครื่องปรับอากาศมีความถี่ต่ำ และความถี่เสียงเป็นแบบ Broadband ระดับเสียงก่อนการหักล้างพบว่าที่ความถี่ประมาณ 100-300 Hz จะมีระดับเสียงสูงที่สุด การหักล้างเสียงรบกวนพบว่าที่ความถี่ 100-300 Hz ขณะที่เปิดพัดลมของเครื่องปรับอากาศที่ Low ระดับเสียงรบกวนลดลงประมาณ 10-15 dB ขณะที่เปิดพัดลมของเครื่องปรับอากาศที่ Medium และ High ระดับเสียงรบกวนลดลงประมาณ 10-20 dB แต่ที่ความถี่ที่สูงกว่า 300 Hz ลดเสียงได้น้อย หรือไม่สามารถลดเสียงได้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาลดเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงหลายตัวโดยวิธี Feedback ANC ใช้หลักการคณิตศาสตร์แบบ FIR และอัลกอริธึมแบบ FXLMS Algorithm ในห้องป้องกันเสียงขนาด 1.5x3.0x1.5 m^3 โดยในห้องป้องกันเสียงบุใยแก้วเพื่อป้องกันเสียงจากแหล่งอื่น และป้องกันการเกิดเสียงสะท้อน สำหรับในงานวิจัยนี้แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีด้วยกัน 2, 3 และ 4 ตำแหน่ง โดยเสียงรบกวนจะถูกสร้างจาก Function Generator และจากเทปบันทึกเสียงเครื่องปรับอากาศ ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการทดลองพบว่าระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone มีผลต่อประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวน โดยระยะห่างระหว่าง Secondary Noise Source กับ Microphone เพิ่มขึ้น ความสามารถในการลดเสียงรบกวนน้อยลง และที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm สามารถลดเสียงรบกวนได้ดีที่สุดประมาณ 20 dB แต่ที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 50 cm ความสามารถในการลดเสียงรบกวนต่ำที่สุด

2. สำหรับจำนวนของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนพบว่าที่ระยะห่างของ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 40 และ 50 cm เมื่อจำนวนแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนเพิ่มขึ้นความสามารถในการลดเสียงรบกวนต่ำลง แต่ที่ Secondary Noise Source กับ Microphone เท่ากับ 20 และ 30 cm จำนวนของแหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีความสามารถในการลดเสียงรบกวนใกล้เคียงกัน

3. การลดเสียงรบกวนในช่วงความถี่ 100-1000 Hz จะให้ผลที่แตกต่างกัน โดยที่ความถี่ 100-250 Hz สามารถลดเสียงรบกวนได้ประมาณ 20 dB และที่ความถี่สูงกว่า 200 Hz สามารถลดเสียงได้ประมาณ 10-15 dB

4. สำหรับการลดเสียงจากเครื่องปรับอากาศขณะที่เปิดพัดลม Low, Medium และ High ขณะที่เปิดพัดลมเครื่องปรับอากาศที่ Low สามารถลดเสียงได้ 10-15 dB และที่ Medium และ High สามารถลดเสียงได้ 10-20 dB

7.2 ข้อแนะนำในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากการลดเสียงรบกวนในห้องป้องกันเสียงในงานวิจัยนี้จะเป็นการลดเสียงเฉพาะที่บริเวณ Microphone แต่เนื่องจากห้องมีขนาดที่กว้าง ดังนั้นการลดเสียงรบกวนทั้งห้องป้องกันเสียงจึงเป็นการลดเสียงแบบหลายจุด อีกทั้งแต่ละจุดในห้องป้องกันเสียงมีระดับเสียงรบกวนไม่เท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตน่าจะศึกษาการลดเสียงแบบ Feedback ANC แบบ Multiple Channel เนื่องจากการลดเสียงโดยวิธี FXLMS Algorithm จะใช้สัญญาณอ้างอิงจากสัญญาณที่สังเคราะห์ขึ้นมา และประมาณค่าของ Secondary Path ($S(z)$) ดังนั้น Algorithm ในการลดเสียงนี้จึงเป็นจุดที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไป สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้อย่างเช่น ไมโครโฟน ลำโพง และเครื่องขยายเสียง เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไปอาจเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ประสิทธิภาพการลดเสียงทำได้ไม่ดีนัก ถ้าใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงอาจทำให้ประสิทธิภาพการลดเสียงรบกวนทำได้ดียิ่งขึ้น สำหรับบอร์ด DSP (TMS320C50) มีความสามรถในการประมวลผล และความจำค่อนข้างจำกัด ในปัจจุบันได้มีบอร์ด DSP ที่มีความสามารถในการประมวลผล และความจำสูง จำหน่ายแล้ว อีกทั้งยังง่ายต่อการเขียนโปรแกรม แต่เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพง ถ้ามีการใช้บอร์ด DSP ที่มีประสิทธิภาพที่สูงจะทำให้การลดเสียงรบกวนทำได้ง่าย และสามารถลดเสียงได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตนอกจากจะศึกษาAlgorithm แบบใหม่แล้ว ยังต้องใช้อุปกรณ์การทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. สุวัฒน์ กุลธนปรีดา, " การออกแบบ และสร้างชุดวิจัยของการควบคุมเสียงรบกวนแบบทิศทางเดียว", รายงานการวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543, หน้า 1-3.
2. M.O. Tokhi and R. R. LEITCH, "Active Noise Control", Clarendon Oxford, New York, 1992
3. P. Lueg, "Process of Silencing Sound Oscillations", U.S patent no. 2043416, June 1936.
4. T.K. Yeung and S.F. Yau, "Feedback ANC System using Adaptive Lattice Filters", IEEE, 1998, pp. V186-189.
5. Yi Yuan and *et. al.*, "Active Noise Control System for Attenuating Engine Generated Noise", U.S patent no. 5222148, June, 1993.
6. B. Riley and M. Bodie, "An Adaptive strategy for Vehicle Vibration and Noise Cancellation", IEEE, 1996, pp. 836-843.
7. K. Akio and *et. al.*, "Active Noise Control System for Automotive Vehicle ", U.S patent no. 5245664, Sep, 1993.
8. วัชรพงษ์ เกตุพันธ์ และคณะ, "ระบบกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยอัลกอริธึ่ม LMS บน TMS320C50", วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, มิถุนายน, 2543, หน้า DS-51-DS-55.
9. S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
10. S.W. Smith, "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing", California Technical Publishing, California, 1999.
11. S.M. Kuo and P.R. Morgan, "Active Noise Control System Algorithms and DSP Implementations", John Wiley & Son, New York, 1996.
12. S.M. Kuo and *et. al.*, "Design of Active Noise Control System with the TMS320 Family", Texas Instruments, 1996.
13. H. F. Oslon and *et. al.*, "Active Noise Control System and Air Moving Device", in Proc. Inter-noise, 1989, pp. 475-478.
14. TMS320C5X, "User's Guide", Texas Instruments, 1996.
15. TMS320C1x/C2x/C2xx/C5x,"Assembly Language Tools User's Guide", Texas Instrument, 1995

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมเขียนการลดเสียงแบบ Feedback ANCโดยใช้ FXLMS Algorithm สำหรับ TMS320C50

```
**********************************************************************************************
*                         PROGRAM FOR ACTIVE NOISE CONTROL
*                       NOISE REDUCTION TYPE FEEDBACK CONTROL
**********************************************************************************************
        .mmregs
        .data
**********************************************************************************************
*                         VARIABLE ARE FOR ANC
*                         RELOADING OF THE "DP"
*********************************************************************************************
IT              .word   10240   ;Number of iterations for H phase
GH              .word   15000   ;Gain constant for the identification of H
GC              .word   6000    ;Gain constant for the Control optimization
noislvl         .word   2000    ;The level of the bipolar random noise or White Noise

IN              .word   0
total           .word   0
counter         .word   0
offset          .word   0
PHASE           .word   1
OUT             .word   0
ONE             .word   1
ERR             .word   0
Pred            .word   0
ERRxGH          .word   0
INxGH           .word   0
```

```
*********************************************************
*               AIC VARIABLE
*********************************************************
TA              .word   30
RA              .word   30
TB              .word   15
RB              .word   15
AIC_CTR         .word   19h
VPRD            .word   1
*********************************************************
*       Random noise Generator
*********************************************************
seed            .word   07e6dh          ;seed for random noise generation
TEMP            .word   0
*********************************************************



***********************
***     ARRAY     ***
***********************
Wprog           .set    1c00h  ;W(15) address in program memory
Wdata           .set    1c00h  ;W(5) address in data memory
Wdata32         .set    1c10h  ;W(15) address for 32 bit coefficients

Sprog           .set    1c30h  ;H(510) address in program memory
Sdata           .set    1c30h  ;H(510) address in data memory

Y0              .set    1e2fh  ;Y(0) address
Y255            .set    1f2eh  ;Y(255) address

D(s)            .set    1f2fh  ;D(s)(-1) address
```

```
D(s)0           .set    1f30h   ;D(s)(0)  address
D(s)15          .set    1f3fh   ;D(s)(15) address

X0              .set    300h    ;x(0) address
X510            .set    4feh    ;x(510) address
X511            .set    4ffh    ;x(511) address
*****************************
**  D(n) same as X(n)
*****************************
D0              .set    300h    ;D(0) address
D32             .set    30fh    ;D(32) address
D510            .set    3ffh    ;D(510) address

        .sect   "COEFF"
        .bes    13312  ;        (1f40h-1c00h)word * 16bits=13312 bits

        .sect   "REF"   ;
        .bes    8192

*************************************************
***     Set up the ISR vector
*************************************************

        .sect   "VECTORS"
        .space  2*16
int2:           B       COMM
        .space  4*16
rint:           B       RINT
xint:           B       TRANSMIT
```

```
*****************************************************************************************************

******                                 MAIN PROGRAME

*****************************************************************************************************

        .text

                SETC    INTM

        call    Init_DSP                ;DSP INITIALIZATION

        call    AICINIT                 ;AIC INITIALIZATION

        call    Enab_INT                ;ENABLE INTERRUPTS


WAIT            nop                     ;WAIT FOR INTERRUPTS

                B       WAIT

****************************************** END OF MAIN *******************************************


**********************************************

****   DSP INITIALIZATION        ****

**********************************************


Init_DSP                LDP     #0

        OPL     #0834h , PMST

        LACC    #0

        SAMM    CWSR

        SAMM    PDWSR

        setc    OVM             ;OVM = 1

        SPM     0               ;PM = 0

        setc    SXM

        setc    CNF             ;CNF = 1

        RET

**************************************** END OF DSP INITIALIZATION******************************
```

```
***********************************************
****    AIC INITIALIZATION          ****
***********************************************

AICINIT:            SPLK    #022h, IMR      ;Using XINT syn TX & RX
        SPLK    #01h , PRD          ;To generate 10 MHz from Tout
        SPLK    #20h , TCR
        MAR     * , AR0
        LACC    #0008h              ;Non Continuous mode
        SACL    SPC                 ;FSX as input
        LACC    #00c8h              ;16 bit word
        SACL    SPC
        LACC    #080h               ;Pulse AIC reset by setting it low
        SACH    DXR
        SACL    GREG
        LAR     AR0 , #0FFFFh
        RPT     #10000              ;and taking it high after 10000 cycle
        LACC    * , 0 , AR0         ;0.5 ms at 50 ns
        SACH    GREG                ;Restore GREG to 0000

        lacc    #2448h
        sacl    DXR                 ;secondary communication, we send the default
        splk    #20h , IFR          ;TA and RA value(18h). The AIC returns in primary

;----------------------------------------------------------------------------------------------------

        LDP     #TA
        SETC    SXM
        LACC    TA , 9              ;Initialized TA and RA register
        ADD     RA , 2
        CALL    AIC_2ND
```

```
;- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
        LDP     #TB
        LACC    TB , 9              ;Initialized TB and RB register
        ADD     RB , 2
        ADD     #02h
        CALL    AIC_2ND
;- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -
        LDP     #AIC_CTR
        LACC    AIC_CTR, 2          ; Initialized control register
        ADD     #03h
        CALL    AIC_2ND

        RET

AIC_2ND:            LDP     #0
        sach    DXR

intaic0 bit     IFR , 10
        bcnd    intaic0 , NTC
        splk    #20h , IFR
        ADD     #6h , 15
        sach    DXR

intaic1 bit     IFR , 10
        bcnd    intaic1 , NTC
        splk    #20h , IFR
        SACL    DXR

intaic2 bit     IFR , 10
```

```
        bcnd    intaic2 , NTC
        splk    #20h , IFR
        lacl    #0
        SACL    DXR
intaic3 bit     IFR , 10
        bcnd    intaic3 , NTC
        splk    #20h , IFR

        RET

************************ END of AIC INITIALIZATION *******************

***********************************************
****    ENABLE INTERRUPTS ****
***********************************************
Enab_INT            SPLK    #012h , IMR     ;enable RINT and INT2
        CLRC    INTM                        ;enable int

        RET
*********************** END of ENABLE INTERRUPT *****************

**************************************************************************
****    DSP receives interrupt routine (RINT)       ****
**************************************************************************

RINT    ldp     #OUT                        ;Send the value in "out" to
        lacl    OUT                         ;the data transmit register (DXR)
        samm    DXR

        cpl     #01,PHASE
        bcnd    Phase1,TC                   ;AIC offset calculation
```

```
        cpl     #02,PHASE
        bcnd    Phase2,TC               ;Identifiction of H
        cpl     #03,PHASE
        bcnd    Phase3,TC               ;control

*************************************************************************
****    AIC OFFSET CALCULATION                                      ****
*************************************************************************

Phase1  lacl    #0                      ;send 0 to the serial port transmit register
        sacl    OUT                     ;while calculating the register
        lacl    #1
        add     counter
        sacl    counter
        lamm    DRR
        sacl    IN
        lacl    #200                    ;Let go the first 200 sample in order for the
        NEG                             ;AIC to stabilize
        add     counter
        bcnd    END_IN , LT
        lacl    IN
        add     total                   ;add 64 sample in "total"
        sacl    total
        cpl     #263 , counter
        bcnd    END_IN , NTC
        lacc    total
        bsar    6               ;divide total per 64 to calculate the offset average
        sacl    offset
        lacl    #0
        sacl    counter
        sacl    total
```

```
        lacl    #2              ;switch to identificaqtion Phase (Phase2)
        sacl    PHASE
        B       END_IN

***************** END of AIC offset calculation phase *****************

*****************************************************************************************************
***             IDENTIFICATION OF  S
****            Global Variables to configure:
***             IT:       Number of iterations for the Identification of H phase
***             GH:       Gain constant for the Identification of H
***             noislvl: The level of the bipolar random noise
***
*****************************************************************************************************


Phase2
        lamm    DRR             ;Read the value returned by    the AIC
        sub     offset          ;Subtract AIC input offset
        sacl    IN

        LACC    seed , 1                ;Random noise generator
        XOR     seed
        SACL    TEMP , 2
        XOR     TEMP
        AND     #8000h
        ADD     seed , 16
        SACH    seed , 1                ;Redue the output by at least 1/8
        LACC    seed , 11               ;to provent the overflow
        ROL                             ;Depending of the sign of the random output
        lacc    noislvl                 ;+ or - noislvl is sent to the AIC (bipolar random
noise)
```

```
        and     #0fffch         ;Force the two LSBs to 0 in order for the AIC to see the
        bcnd    POS , NC                ;value as a data and not a command
        neg

POS     sacl    OUT
        lar     ar3 , #X0               ;Include in X(n) the next sample to send
        mar     * , ar3
        sacl    *

;Convolution of H(n) with X(n) (PRED)

        zpr
        lacc    #1 , 15
        mar     * , ar3
        lar     ar3 , #X510
FIR     rpt     #510
        macd    Sprog , *-
        apac
        sach    Pred

        neg
        lar     ar3 , #IN
        add     * , 16
        sach    ERR

        lt      ERR             ;ERR * GH
        mpy     GH
        pac
        add     ONE , 13                ;Rounding
        sach    ERRxGH , 2
        lacc    #508            ;Update the 256 Coefficients
```

```
        samm   BRCR

        lar    ar2 , #Sdata
        lar    ar3 , #X511
        lt     ERRxGH
        mpy    *- , ar2

        rptb   LOOP-1
ADAPT   zalr   * , ar3
        mpya   *- , ar2
        sach   *+               ;Store the new H coefficient
LOOP    zalr   *
        apac
        sach   *+               ;Store the last new H coefficient
        lacl   #1
        add    counter
        sacl   counter
INCR    lacl   IT
        samm   DBMR
        cpl    counter
        bcnd   END_IN , NTC
        lacl   #0
        sacl   OUT
        sacl   counter
        mar    * , ar3
        lar    ar3 , #X0
        rpt    #511
        sacl   *+ , 0
        lacl   #3
        sacl   PHASE
```

```
        B       END_IN

************* End of Identification of S ***********

*****************************************************************
***             CONTROL                     ***
***             Global Variables to configure              ***
***             GC: Gain constant for the control    ***
*****************************************************************

Phase3
        lamm    DRR             ;Read the value returned by the AIC
        sub     offset          ;Subtract AIC input offset
        sacl    IN
debut           zpr
        lacc    #1 , 12         ;rounding
        mar     * , ar3
        lar     ar3 , #D32
FIRC    rpt     #15
        mac     Wprog , *-
        apac
        and     #0fffch , 13    ;Force the two LSBs of the next sample to send to 0
        sach    OUT , 3
        lar     ar3 , #Y0       ;Include the next sample to send in Y(n)
        sach    * , 3

        zpr
        lacc    #1 , 11         ;rounding
        lar     ar3 , #D510
FIRC1   rpt     #255            ;convolution
        macd    Sprog , *-
```

```
        apac
        lar     ar3 , #D(s)      ;Include the filtered reference in D(s)(n)
        sach    * , 4
        lar     ar3 , #D(s)15    ;shift by one the filtered reference vector
        mar     *- , ar3 ;since this vector is never used in a convolution
        rpt     #14              ;it has to be shifted manually(last in,last Out)
        dmov    *-
        dmov    *
        zpr
        lacc    #1 , 15          ;Rounding
        lar     ar3 , #Y255      ;The normalization should be here the same as in the
FIRC2   rpt     #255             ;convolution (FIR) in the IDENTIFICATION of H phase
        macd    Sprog , *-               ;convolution
        apac
        sach    Pred
                neg
        lar     ar3 , #IN
        add     * , 16
        lar     ar3 , #D0
        sach    *

;Adjust the coefficients: Wi+1(n) = Wi(n) - GC*IN*D(s)(n)

        lt      IN               ;IN*GC
        mpy     GC
        pac
        add     ONE , 8                  ;Rounding
        sach    INxGH , 7
        lacl    #14
        samm    BRCR
        lar     ar2 , #Wdata32;32 bit Coefficients of W
```

```
        lar     ar3 , #D(s)15   ;Filtered Reference
        lar     ar4 , #Wdata    ;16 bit Coefficients of W
        lt      INxGH
        mpy     *- , ar2
        spm     3
        rptb    LOO-1
ADAPTC          lacc    *+ , 16         ;load the acc with a 32 bit coefficient of W
        or      *- , ar3
        mpys    *- , ar4
        sach    *+ , ar2        ;Store a new W coeffient into the 16 bit vector of W
        sach    *+              ;Store a new W coeffient into the 32 bit vector of W
        sacl    *+
LOO     lacc    *+,16
        or      *-, ar4
        spac
        spm     0
        sach    *+, ar2
        sach    *+
        sacl    *+
        B       END_IN
*********************** END of Control phase **************************
END_IN                  RETE
*********************** END of RINT routine **************************

**************************************************************************
***                 Other Interrupt routine                           ***
**************************************************************************
COMM:                   RETE
TRANSMIT:       RETE
                .end
```

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมเขียนคำสั่งเชื่อมข้อมูล

```
/*Linker command file for DSK code*/
-o manop.out            /* Specify output file */
-m manop.map/* Generate map file   */
Manop.obj               /* Object file to link */

MEMORY
{
        PAGE 0 : VECT:          origin = 00802h, length = 003dh
        PAGE 0 : PROG:          origin = 00a00h, length = 1200h
        PAGE 0 : UPG :          origin = 01c00h, length = 037ch
        PAGE 1 : DAT :origin = 02000h, length = 0c00h
        PAGE 1 : B1  :  origin = 00300h, length = 0200h
}

SECTIONS
{
        .text    :      {}> PROG        PAGE 0
        VECTORS:        {}> VECT        PAGE 0
        COEFF :         {}> UPG         PAGE 0
        .data    :      {}> DAT         PAGE 1
        REF      :      {}> B1          PAGE 1
}
```

ประวัติผู้เขียน

นายมาณพ ปานะโปย เกิดเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2514 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีวัสดุ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2542

ประสบการณ์ทำงานกับบริษัทเอกชนคือ เป็นพนักงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริษัทมหพันไฟเบอร์ซีเมนต์จำกัด หน้าที่รับผิดชอบ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไฟเบอร์ผสมซีเมนต์ เป็นหัวหน้าแผนกการผลิต บริษัทสยามวาลาจำกัด หน้าที่รับผิดชอบ วางแผน และควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่ขึ้นรูปจากกระบวนการ

ประสบการณ์ทำงานข้าราชการคือ เป็นอาจารย์ประจำ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยศิลปากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ