

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**ระบบกำจัดเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ**

**ACTIVE NOISE-CANCELLATION SYSTEM**



โดย  
นายกุลบัณฑิต      ดังกิจวณิชกุล  
นายธนนท์      คณะเจริญ  
นางสาวพิชชาภรณ์      อัมพรายนี

มท.  
ก726ธ  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 83291  
วัน,เดือน,ปี...1.1 ค.ศ. 2551

b. 119 b5800  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกำจัดเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ  
ACTIVE NOISE-CANCELLATION SYSTEM

โดย

นายกุลบัณฑิต	ตั้งกิจวนิชกุล	47010052
นายชนันท์	คณะเจริญ	47010314
นางสาวพิชชาภรณ์	อัมพรายน์	47010510

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร.จิรสุดา โกนียาภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบกำจัดเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ

Active Noise-Cancellation System

ผู้จัดทำ

- |                    |                |          |
|--------------------|----------------|----------|
| 1. นายกุลบัณฑิต    | ตั้งกิจวนิชกุล | 47010052 |
| 2. นายชนันท์       | กณะเจริญ       | 47010314 |
| 3. นางสาวพิชชาภรณ์ | อัมพรายน์      | 47010510 |

ปัทมทอง  
(รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

Prasanna  
(ผศ.ดร.จีรสุดา โกมียาภรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการที่ 502425

ระบบกำจัดเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ  
Active Noise-Cancellation System

โดย นายกุลบัณฑิต ตั้งกิจวนิชกุล 47010052  
นายชนันท์ คณะเจริญ 47010314  
นางสาวพิชชาภรณ์ อัมพรายน 47010510

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน

ผศ.ดร. จีรสุตา โกษิยาภรณ์

#### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้งานวงจรรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ เพื่อใช้ในการสร้างระบบสำหรับกำจัดเสียงรบกวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องปิด เช่น เสียงสะท้อน เสียงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ หรือเสียงรบกวนที่เล็ดลอดเข้ามาจากภายนอก เป็นต้น โดยเมื่อระบบตรวจจับเสียงรบกวนได้ระบบนี้จะทำการผลิตสัญญาณที่มีเฟสหักล้างกับเฟสของเสียงรบกวน เพื่อใช้ในการกำจัดเสียงรบกวนนั้นๆ โดยระบบที่นำเสนอจะประกอบด้วย ภาคตรวจจับสัญญาณ ภาคคำนวณและปรับค่าคงตัวของวงจรรอง และภาคกำเนิดสัญญาณที่มีเฟสหักล้างกับเฟสของเสียงรบกวน โดยจะใช้บอร์ดรุ่น TMS320C6x มาใช้ในการประมวลผลของระบบ

#### ABSTRACT

This project is an application of the adaptive filter to create the noise-cancellation system in the closed-room, such as the sound of the air conditioner working, echo or the other sound outside the closed-room. With the operation of this system, when any noise is detected the signal whose phase is inverse with the noise is generated to cancel the noise signal. The proposed system is composed of three components which are the signal detection part, the coefficients of the adaptive filter calculation and adjustment part and the signal generation part which will be used to eliminate the noise. In addition, the TMS320C6x DSP board is used to process the proposed system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการและรายงานฉบับนี้ไม่สามารถสำเร็จลงไปได้เลยหากขาดผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ปราโมทย์ วาดเขียน และอาจารย์จิรสุตา โกษิยาภรณ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา เกี่ยวเชิญ อบรม ความเอื้อเฟื้อ และการสนับสนุนด้วยดีเสมอมา อาจารย์นิภา สิลารุจี ที่ให้ยืมเครื่องวัด ระดับสัญญาณเสียง และอธิบายวิธีการวัด

ขอขอบคุณที่ป่านวิทย์ ชูระนุติที่คอยเป็นที่ปรึกษา เป็นเพื่อน และเป็นอาจารย์ อีกทั้งยังเป็นผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ในสิ่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหนังสือ คอมพิวเตอร์และอื่นๆ อีกมากมาย

ขอขอบคุณกำลังใจที่ดี เข้มแข็ง และหนักแน่นจากคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว อีกทั้งคำปรึกษาต่างๆ และน้ำใจ จากเพื่อนๆ ที่ใช้ชีวิตในห้อง 109 ด้วยกัน และยังขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	II
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 คลื่น	2
2.1.1 การจำแนกประเภทของคลื่น	2
2.1.1.1 คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่	2
2.1.1.2 คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่	3
2.1.2 องค์ประกอบของคลื่น	4
2.1.3 สมบัติของคลื่น (wave properties)	6
2.1.3.1 การสะท้อน (reflection)	6
2.1.3.2 การหักเห (refraction)	6
2.1.3.3 การแทรกสอด (interference)	6
2.1.3.4 การเลี้ยวเบน (diffraction)	7
2.1.4 การถ่ายโอนพลังงานของคลื่น	7
2.2 คลื่นเสียงและลักษณะของคลื่นเสียง	8
2.2.1 คุณสมบัติของคลื่นเสียง	9
2.2.1.1 สะท้อน	9
2.2.1.2 หักเห	10
2.2.1.3 แทรกสอด	10
2.2.1.4 เลี้ยวเบน	10
2.2.2 เสียงและการได้ยิน	11
2.2.2.1 หูส่วนนอก (outer ear)	12
2.2.2.2 หูส่วนกลาง (middle ear)	12
2.2.2.3 หูส่วนใน (inner ear)	12
2.2.3 การจำแนกประเภทของคลื่นเสียง	12
2.2.3.1 คลื่นใต้เสียง (infrasound or infrasonic)	12
2.2.3.2 เสียงที่มนุษย์ได้ยิน (sound)	12
2.2.3.3 คลื่นเหนือเสียง (ultrasound or ultrasonic)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 ความดังของเสียง	12
2.2.5 ระดับเสียง (pitch)	14
2.2.6 คุณภาพเสียง	15
2.3 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing)	15
2.3.1 ข้อได้เปรียบของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	15
2.3.2 ข้อเสียเปรียบของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	16
2.4 การควบคุมเสียงรบกวน (Noise Control Technique)	16
2.4.1 การควบคุมระดับเสียงรบกวนแบบพาสซีฟ (Passive Noise Control)	16
2.4.2 การควบคุมระดับเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ (Active Noise Control)	16
2.5 วงจรกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive filter)	17
2.5.1 วงจรกรองของวินเนอร์ (Weiner filter)	18
2.5.2 Adaptive Weiner filter	19
2.5.3 Gradient-descent method	21
2.5.4 อัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (Least mean square algorithm)	23
2.6 บอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C6713	24
2.6.1 ลักษณะสำคัญของบอร์ดประมวลผล	25
2.6.2 หลักการทำงานของบอร์ดรุ่น TMS320C6713	26
2.6.3 การแม็บบนโมรี	26
2.6.4 ชนิดของไฟล์ต่างๆ ที่ใช้ในการ โปรแกรมบอร์ดประมวลผล	27
2.6.5 การใช้งานซอฟต์แวร์เชื่อม โยงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับบอร์ดประมวลผล TMS320C6713	27
2.6.5.1 การติดตั้งซอฟต์แวร์เชื่อมโยง	28
2.6.5.2 การสร้างโปรแกรม การคอมไพล์ และการ Load โปรแกรมลงบนบอร์ด	30
<b>บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง</b>	<b>33</b>
3.1 การเขียนโปรแกรม Code Composer เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ	33
3.1.1 Linker command file (file.cmd)	33
3.1.2 Interrupt vector File	34
3.1.3 Initialization/Communication File(C6xdskinit.c)	34
3.1.4 โปรแกรมหลัก	37
3.1.4.1 การออกแบบโปรแกรมในการสร้างสัญญาณรูปไซน์	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4.2 การออกแบบโปรแกรมในการรับสัญญาณและส่งสัญญาณ	39
3.1.4.3 การออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณเสียงก้อง(Echo)	40
3.1.4.4 การออกแบบโปรแกรมในการสร้างวงจรกรองสัญญาณ FIR	41
3.1.4.4.1 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน	41
3.1.4.4.2 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่สูงผ่าน	43
3.1.4.4.3 วงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์พาส	44
3.1.4.4.4 วงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์สตอป	45
3.2 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างระบบกำจัดเสียงรบกวน	47
3.2.1 การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	47
3.2.2 การออกแบบและจัดสภาพแวดล้อมในการทดลอง	47
3.2.2.1 พื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง	47
3.2.3 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงและอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเสียง	49
3.2.3.1 อุปกรณ์กำเนิดเสียง	49
3.2.3.2 อุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณเสียง	49
3.2.4 บล็อกไดอะแกรมรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง	50
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>51</b>
4.1 การทดลองสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	51
4.2 การทดลองนำสัญญาณเข้าและออกจากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	52
4.3 การทดลองทำการสร้างสัญญาณเสียงก้องจากสัญญาณอินพุต	52
4.4 การทดลองการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณ FIR ในแบบต่างๆ	54
4.4.1 วงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน	55
4.4.2 วงจรกรองแบบความถี่สูงผ่าน	56
4.4.3 วงจรกรองแบบแบนด์พาส	57
4.4.4 วงจรกรองแบบแบนด์สตอป	58
4.5 การทดลองของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	59
4.5.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมเมทแลบ	59
4.5.2 การทดลองการทำงานและความสามารถของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การทดลองหาค่าหน่วยเวลาในการประมวลผล, การสร้างสัญญาณกลับเฟสจากบอร์ดประมวลผล และการหาคุณสมบัติความถี่บนทางซาร์โมนิกของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง	66
4.7 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน	68
4.7.1 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน โดยกำหนดให้มีการหักล้างที่บริเวณด้านหน้าของลำโพงกำเนิดสัญญาณหักล้าง	68
4.7.2 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน โดยกำหนดให้มีการหักล้างที่บริเวณตำแหน่งของลำโพงกำเนิดสัญญาณหักล้าง	74
4.7.2.1 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์	75
4.7.2.2 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี	79
4.7.2.3 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน	83
<b>บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป</b>	<b>88</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	88
5.2 ปัญหาที่พบจากการทดลอง	88
<b>หนังสืออ้างอิง</b>	<b>89</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก.	
ภาคผนวก ข.	
ภาคผนวก ค.	
ภาคผนวก จ.	
ภาคผนวก ฉ.	
<b>กิตติกรรมประกาศ</b>	

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างการทำงานระบบกำจัดเสียงรบกวน	1
รูปที่ 2.1 คลื่นกล	2
รูปที่ 2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.3 คลื่นตามขวางในเส้นเชือก	3
รูปที่ 2.4 แสดงคลื่นตามยาวในสปริง	4
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของคลื่น	4
รูปที่ 2.6 ความยาวคลื่น	5
รูปที่ 2.7 ความถี่	5
รูปที่ 2.8 คาบ	5
รูปที่ 2.9 แสดงการสะท้อนของคลื่น	6
รูปที่ 2.10 แสดงการหักเหของคลื่น	6
รูปที่ 2.11 แสดงการแทรกสอดของน้ำ	7
รูปที่ 2.12 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นวิทยุ	7
รูปที่ 2.13 แสดงคลื่นน้ำที่เกิดจากการ โยนก้อนหินลงไปในน้ำ	8
รูปที่ 2.14 แสดงการถ่ายโอนพลังงานของคลื่น อนุภาคของน้ำสั่นขึ้น-ลงในแนวตั้ง	8
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการสั่นของโมเลกุลที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง	9
รูปที่ 2.16 การสะท้อนของคลื่นเสียง	9
รูปที่ 2.17 การหักเหของเสียง	10
รูปที่ 2.18 การแทรกสอดของเสียง	10
รูปที่ 2.19 เสียงสามารถเลี้ยวเบนได้	11
รูปที่ 2.20 แสดงส่วนประกอบของหู	11
รูปที่ 2.21 แสดงเครื่องมือวัดระดับความเข้มของเสียง	13
รูปที่ 2.22 แสดงระดับเสียง (ซ้าย) เสียงทุ้ม (ขวา) เสียงแหลม	14
รูปที่ 2.23 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของเสียงรบกวนและสัญญาณหักล้าง	17
รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	18
รูปที่ 2.25 แสดงวงจรกรองสัญญาณของวินเนอร์	18
รูปที่ 2.26 แสดงการนำอัลกอริทึมของวินเนอร์มาใช้	19
ในการสร้างวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	
รูปที่ 2.27 แสดงการเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมของระบบ	21
รูปที่ 2.28 แสดงวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึม	23

## แบบจำลองกำลังสองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.29 แสดงแผนผังของบอร์ดประมวลผล TMS320C6713	24
รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมบอร์ดรุ่น TMS320C6713	25
รูปที่ 2.31 แสดงหน้าต่างติดตั้งของซอฟต์แวร์เชื่อมโยงบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	28
รูปที่ 2.32 แสดงหน้าต่างโปรแกรม CCS ขณะทำการเชื่อมโยงกับบอร์ดประมวลผล	29
รูปที่ 2.33 แสดงผลที่ได้จากการตรวจสอบการเชื่อมต่อเบื้องต้น	29
รูปที่ 2.34 แสดงหน้าต่าง option ในการสร้างไฟล์ .out	31
รูปที่ 2.35 แสดงผลที่ได้จากการสร้างไฟล์ .out ไม่สำเร็จ	32
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม Linker command file	33
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม Initialization/Communication File	35
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมย่อย ฟังก์ชันการติดต่อด้วยการอินเทอร์รัพที่นั่น	36
รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมหลัก	37
รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของฟังก์ชัน comm_intr หรือ c_int11	38
รูปที่ 3.6 โพลีซาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการสร้างสัญญาณรูปไซน์	39
รูปที่ 3.7 โพลีซาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการรับสัญญาณและส่งสัญญาณ	40
รูปที่ 3.8 โพลีซาร์ทของการออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณเสียงก้อง(Echo)	40
รูปที่ 3.9 โพลีซาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการสร้างวงจรกรองสัญญาณ FIR	41
รูปที่ 3.10 โพลีซาร์ทของการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้าง วงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	46
รูปที่ 3.11 แสดงสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง	47
รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของพื้นที่ที่ออกแบบเพื่อใช้ในการทดลอง	48
รูปที่ 3.13 แสดงระดับความสูงของไมโครโฟน และลำโพงที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 4.1 แสดงไฟแสดงสถานะของสวิทช์ 0	51
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณไซน์ที่สร้างจากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	51
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณไซน์ที่ได้จากเอาต์พุตของบอร์ดเมื่อใช้สัญญาณอินพุตจากไมโครโฟน	52
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณอินพุต	53
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปไซน์เป็นสัญญาณอินพุต	53
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณอินพุต	54
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต	55

ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆ ของวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบความถี่สูงผ่าน	56
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่ ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบแบนด์พาส	57
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบแบนด์สตอป	58
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณต่างๆ ที่ถูกป้อนให้กับวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้	59
รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสเตรปไซส์ต่างๆ ที่มีผลต่อวงจรกรอง	60
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรบวกสัญญาณแบบกลับเฟส	61
รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณกลับเฟส ที่มีอัตราขยาย 0.5 เท่า	62
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม	62
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม	63
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม	63
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณเสียงเพลงและสัญญาณที่ต้องการเป็นสัญญาณรูปไซน์	64
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณรูปไซน์และสัญญาณที่ต้องการเป็นสัญญาณเสียงเพลง	64
รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์กันสัญญาณรบกวน ที่ต้องการกำจัดออก และสัญญาณรบกวนอ้างอิง	65
รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์กันสัญญาณรบกวน ที่ต้องการกำจัดออก และสัญญาณรบกวนอ้างอิง	65
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่เข้าและออกจากบอร์คประมวลผล	66
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของบอร์คประมวลผล	67
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของบอร์คประมวลผล	67
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของไมโครโพน	68

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์	70
รูปที่ 4.27 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน	70
รูปที่ 4.28 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี	71
รูปที่ 4.29 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์	73
รูปที่ 4.30 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน	73
รูปที่ 4.31 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี	74
รูปที่ 4.32 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	77
รูปที่ 4.33 แสดงระดับของสัญญาณเสียงหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	78
รูปที่ 4.34 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อน และหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	78
รูปที่ 4.35 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	81
รูปที่ 4.36 แสดงระดับของของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน หลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	82
รูปที่ 4.37 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อน และหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	82
รูปที่ 4.38 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	85
รูปที่ 4.39 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อน และหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	86
รูปที่ 4.40 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อน และหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน	86

## สารบัญตาราง

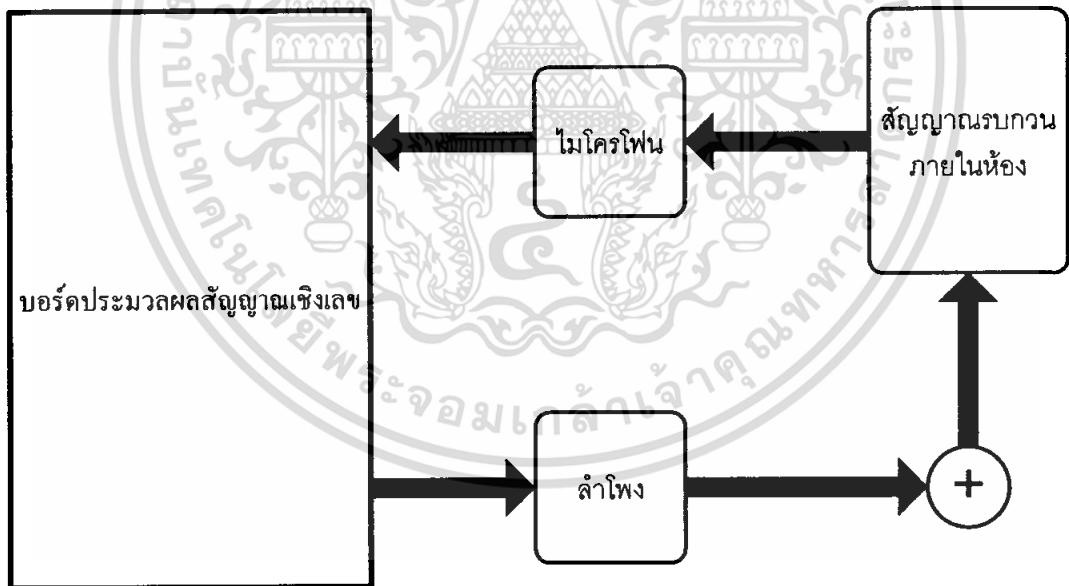
	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบปริมาณต่างๆเกี่ยวกับเสียง	14
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงช่องเชื่อมต่อ จำนวนขาเชื่อมต่อ และการทำงานของช่องเชื่อมต่อต่างๆ	25
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงตำแหน่งเมมโมรีต่างๆ ของบอร์ดประมวลผล	27
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างไฟล์ .out	30
ตารางที่ 3.1 แอคเครสของตัวอินเทอร์รัพต่างๆ	34
ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ที่มีความถี่คutoffที่ 600 เฮิรตซ์ ที่มีอันดับของวงจรถ้ากับ 81	42
ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ที่มีความถี่คutoffที่ 2.2 กิโลเฮิรตซ์ อันดับของวงจรถ้ากับ 81	43
ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน ที่มีความถี่คutoffที่ 1.5 และ 2.5 กิโลเฮิรตซ์ อันดับของวงจรถ้ากับ 81	44
ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองสัญญาณแบนด์สตอป ที่มีความถี่คutoffที่ 2.5 และ 2.9 กิโลเฮิรตซ์ อันดับของวงจรถ้ากับ 81	45
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของลำโพงที่ใช้ในการทดลอง	49
ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงคุณสมบัติของไมโครโฟนที่ใช้ในการทดลอง	49
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต กับความถี่อินพุตของวงจรรองแบบความถี่ต่ำผ่าน	55
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต กับความถี่อินพุตของวงจรรองแบบความถี่สูงผ่าน	56
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต กับความถี่อินพุตของวงจรรองแบบแบนด์พาส	57
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต กับความถี่อินพุตของวงจรรองแบบแบนด์สตอป	58
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน	69
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้สัญญาณหักล้างแบบไม่กลับเฟส	72
ตารางที่ 4.7 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงาน ของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์	75
ตารางที่ 4.8 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงาน ของระบบเมื่อใช้ สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี	79
ตารางที่ 4.9 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงาน ของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน	83

## บทที่ 1

### บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาเรื่องมลภาวะทางเสียงได้ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผู้ที่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ชีวิตประจำวันอยู่ในสถานที่ที่มีมลภาวะทางเสียงค่อนข้างสูงอยู่ตลอดเวลา เช่น ผู้ที่ทำงานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม ผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงกับสนามบิน และผู้ที่อาศัยอยู่บริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง เป็นต้น ซึ่งบุคคลเหล่านี้ จะมีความเสี่ยงค่อนข้างสูงต่อการเกิดปัญหาทั้งทางสุขภาพกายและสุขภาพจิตที่เสื่อมโทรมอย่างรุนแรง

จากปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะทำการลดระดับของมลภาวะทางเสียงเหล่านี้ให้มากที่สุด โดยการออกแบบและสร้างระบบกำจัดเสียงรบกวน ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณรบกวนผ่านไมโครโฟน แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลบนบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C6713 ที่มีการโปรแกรมให้มีฟังก์ชันการทำงานเป็นวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ และมีอัลกอริทึมในการปรับตัวแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด แล้วจึงทำการผลิตสัญญาณที่มีระดับของสัญญาณตรงกันข้ามกับสัญญาณที่ตรวจจับได้ เพื่อทำการหักล้างกับสัญญาณรบกวนที่มีอยู่จริง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือระดับของสัญญาณรบกวนมีระดับที่ลดต่ำลง โดยโครงสร้างการทำงานของระบบนี้แสดงได้ดังรูป 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างการทำงานระบบกำจัดเสียงรบกวน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 คลื่น

การเคลื่อนที่ของคลื่นเป็นการถ่ายทอดพลังงานจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณรอบข้าง โดยอาศัยสมบัติของการสั่นของอนุภาคตัวกลาง โดยคลื่นมีหลายประเภทด้วยกัน เช่น คลื่นกล คลื่นเสียง คลื่นน้ำ และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

##### 2.1.1 การจำแนกประเภทของคลื่น

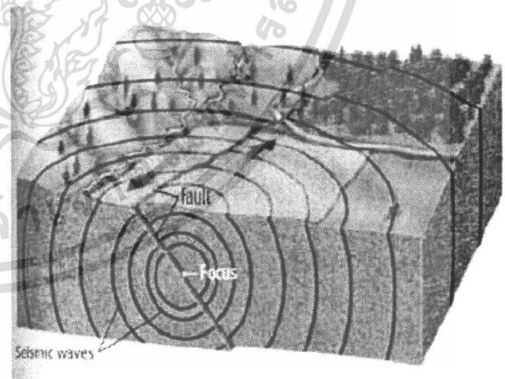
คลื่นเป็นการเคลื่อนที่รูปแบบหนึ่ง ถ้าใช้เกณฑ์เกี่ยวกับการใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ จะจำแนกคลื่นได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1.1 คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

2.1.1.2 คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

##### 2.1.1.1 คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

คลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เรียกว่า คลื่นกล (mechanical wave) ได้แก่ คลื่นเสียง คลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นในสปริง คลื่นแผ่นดินไหว ฯลฯ คลื่นเหล่านี้สามารถถ่ายโอนพลังงานโดยอาศัยคุณสมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง



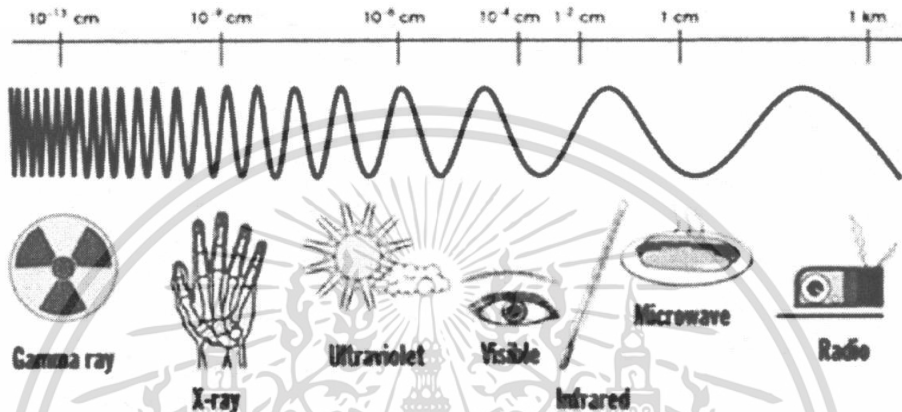
รูปที่ 2.1 คลื่นกล

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.2 คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่

คลื่นที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดเดียวที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ จึงสามารถเคลื่อนที่ไปในสุญญากาศได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นแสง รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น

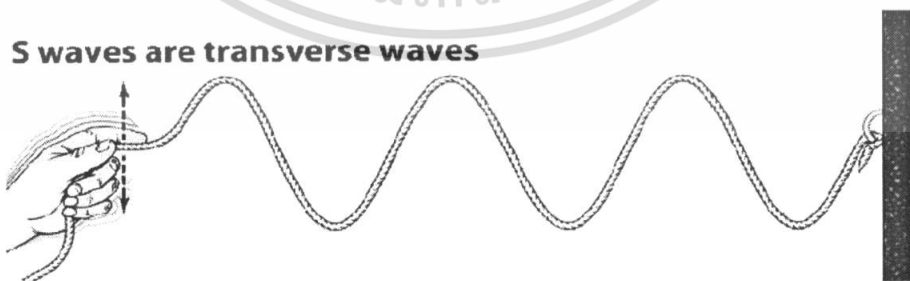


รูปที่ 2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

ถ้าใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคตัวกลาง เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของคลื่น จะจำแนกคลื่นได้เป็น 2 ประเภท คือ

คลื่นตามขวาง (transverse wave) หมายถึง คลื่นที่อนุภาคตัวกลางเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นชนิดนี้ได้แก่ คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด



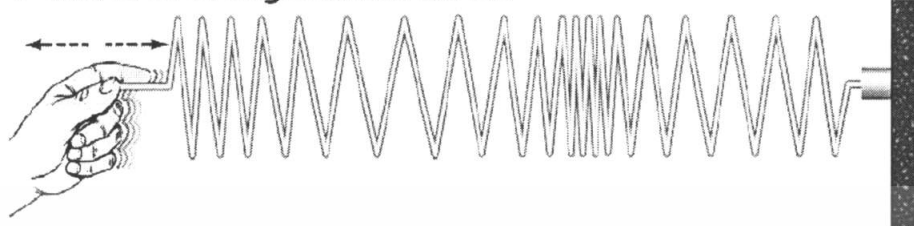
รูปที่ 2.3 คลื่นตามขวางในเส้นเชือก

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นตามยาว (longitudinal wave) หมายถึง คลื่นที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ในแนวเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นชนิดนี้ได้แก่ คลื่นในสปริง คลื่นเสียง

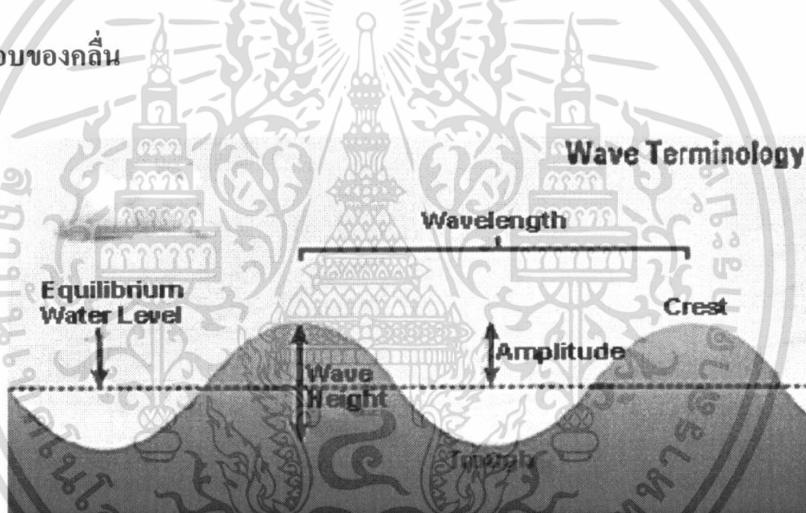
### P waves are longitudinal waves



รูปที่ 2.4 แสดงคลื่นตามยาวในสปริง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

### 2.1.2 องค์ประกอบของคลื่น



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของคลื่น

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

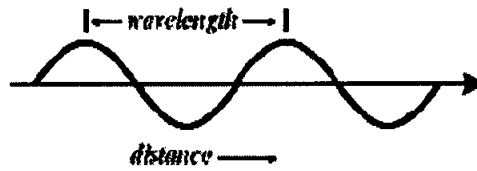
สันคลื่น (crest) เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทิศขึ้นข้างบน

ท้องคลื่น (trough) เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทิศขึ้นข้างล่าง

แอมพลิจูด (amplitude ; A) เป็นระยะการกระจัดมากที่สุด ทั้งค่าบวกและค่าลบ

ความยาวคลื่น (wavelength ;  $\lambda$ ) เป็นความยาวของคลื่นหนึ่งลูก มีค่าเท่ากับ ระยะห่างระหว่างจุดที่มีเฟสเดียวกันของคลื่นลูกหนึ่งกับคลื่นลูกถัดไป

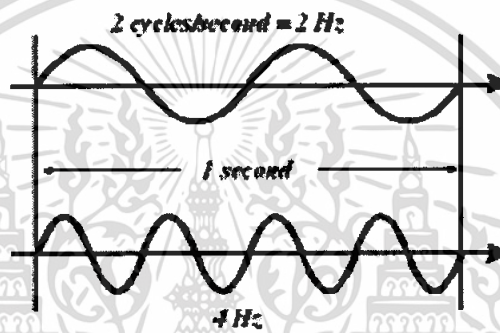
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความยาวคลื่น

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

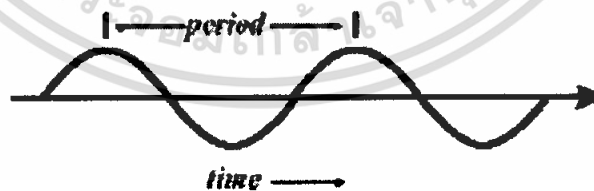
ความถี่ (frequency ;  $f$ ) หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา



รูปที่ 2.7 ความถี่

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

คาบ (period ;  $T$ ) หมายถึง ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งคลื่นหนึ่งลูกออกไป



รูปที่ 2.8 คาบ

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

อัตราเร็ว (speed) หาได้จากผลคูณระหว่างความยาวคลื่นและความถี่ หรือ

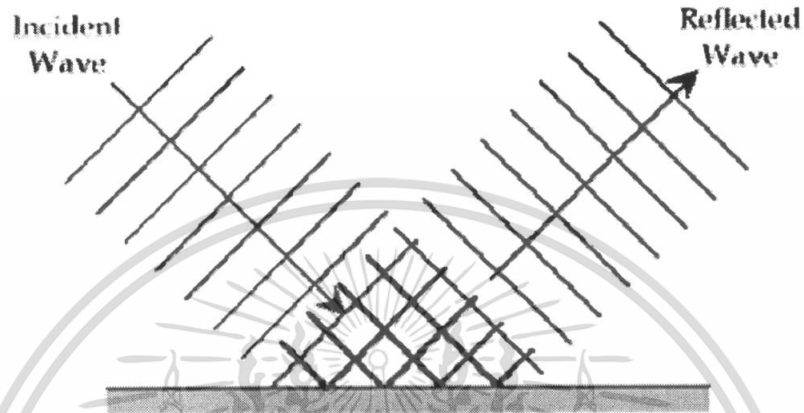
$$v = f\lambda$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 สมบัติของคลื่น (wave properties)

คลื่นทุกชนิดจะมีสมบัติ 4 อย่างคือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน

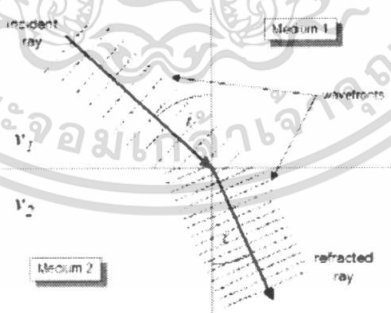
2.1.3.1 การสะท้อน (reflection) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวาง แล้วเปลี่ยนทิศกลับสู่ตัวกลางเดิม ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการสะท้อนของคลื่น

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

2.1.3.2 การหักเห (refraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่ง แล้วทำให้อัตราเร็วและทิศของคลื่นเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 2.10

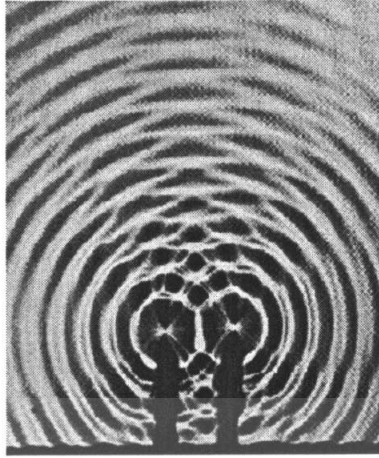


รูปที่ 2.10 แสดงการหักเหของคลื่น

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

2.1.3.3 การแทรกสอด (interference) เกิดจากคลื่นน้ำสองขบวนเคลื่อนที่มาพบกัน แล้วเกิดการซ้อนทับกัน ดังรูปที่ 2.11

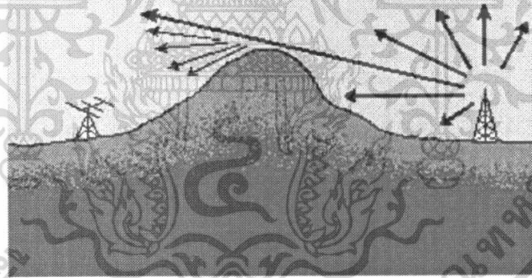
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการแทรกสอดของน้ำ

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

2.1.3.4 การเลี้ยวเบน (diffraction) เกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวาง แล้วเคลื่อนที่อ้อมไปด้านหลังของสิ่งกีดขวางดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นวิทยุ

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

#### 2.1.4 การถ่ายโอนพลังงานของคลื่น

คลื่นเป็นการถ่ายโอนพลังงานวิธีหนึ่ง สิ่งที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นคือพลังงาน เช่น เมื่อโยนก้อนหินลงไปในน้ำ ดังรูปที่ 2.13

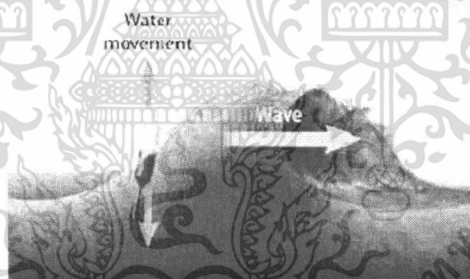
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงคลื่นน้ำที่เกิดจากการโยนก้อนหินลงไปบนน้ำ

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

พลังงานจลน์จากก้อนหินจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานของคลื่นน้ำ จะสังเกตว่าอนุภาคของน้ำไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่น ทำได้โดยการ โยนเม็ดโฟมลงในน้ำ เราจะพบว่าเม็ดโฟมไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่น แต่เม็ดโฟมจะมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้ง และสิ่งที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นคือพลังงานที่จะทำให้เรือที่อยู่ในน้ำบริเวณนั้นขยับขึ้น-ลงได้ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการถ่ายโอนพลังงานของคลื่น อนุภาคของน้ำสั่นขึ้น-ลงในแนวตั้ง

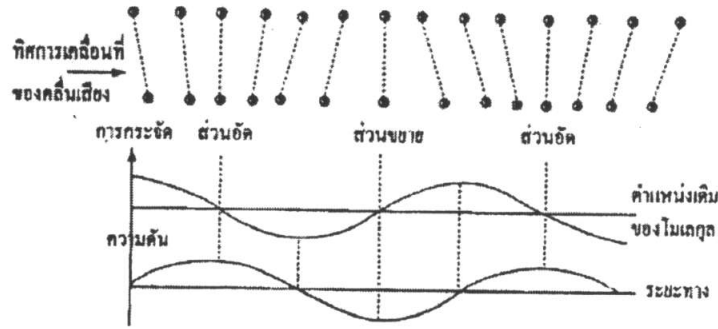
ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

## 2.2 คลื่นเสียงและลักษณะของคลื่นเสียง

เสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิด และจะมีการถ่ายโอนพลังงานผ่านตัวกลางมายังผู้ฟัง ในลักษณะของคลื่น เสียงเป็นคลื่นตามยาว

หากพิจารณาลักษณะของคลื่นเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ แหล่งกำเนิดเสียงจะเกิดการสั่นแล้วมีการถ่ายโอนพลังงานผ่านไปยังโมเลกุลของอากาศ ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการสั่นและจะมีการถ่ายโอนพลังงานให้แก่โมเลกุลที่อยู่ถัดๆ กันไปในลักษณะที่เป็นส่วนอัดและส่วนขยายจะถ่ายโอนไปเรื่อยๆ จนถึงการรับรู้ของผู้ฟัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการสั่นของโมเลกุลที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

### 2.2.1 คุณสมบัติของคลื่นเสียง

เนื่องจากเสียงก็เป็นคลื่นชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับคลื่นน้ำ คลื่นในเส้นเชือก หรือคลื่นในสปริง ดังนั้นเสียงจึงต้องมีสมบัติของคลื่นครบทั้ง 4 ข้อ คือ

2.2.1.1 สะท้อน

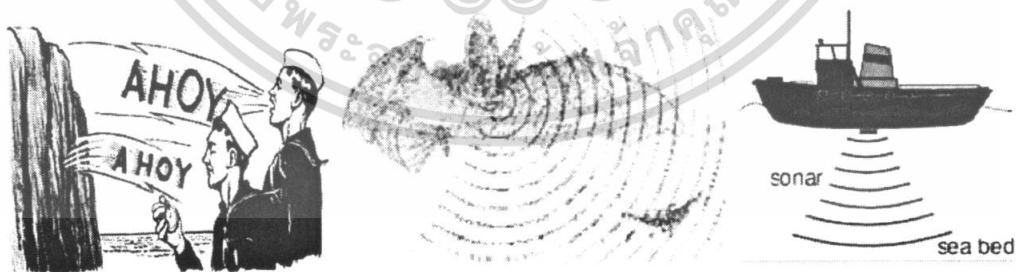
2.2.1.2 หักเห

2.2.1.3 แทรกสอด

2.2.1.4 เลี้ยวเบน

#### 2.2.1.1 สะท้อน

ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าเสียงสามารถสะท้อนได้ ได้แก่ การที่เราตะโกนบริเวณหน้าผาแล้วมีเสียงสะท้อนกลับมา หรือการสะท้อนของคลื่นโซนาร์ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การสะท้อนของคลื่นเสียง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.2 หักเห

เสียงจะเกิดการหักเห เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น ถ้าบริเวณพื้นดินอากาศร้อนกว่าด้านบน เสียงจะเดินทางเป็นเส้นโค้งงอขึ้นดังรูป (ก) แต่ถ้าบริเวณพื้นดินอากาศเย็นกว่าด้านบน เสียงจะเดินทางเป็นเส้นโค้งงอลง ดังรูป (ข)

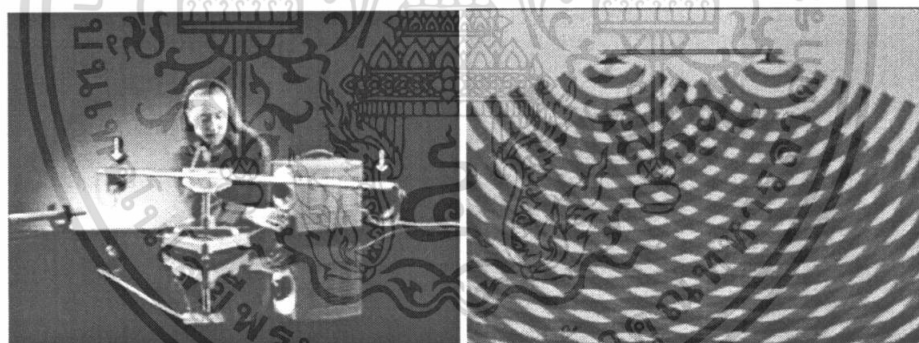


รูปที่ 2.17 การหักเหของเสียง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

### 2.2.1.3 แทรกสอด

การแทรกสอดหมายถึง การรวมกันหรือการรบกวนกันของคลื่น



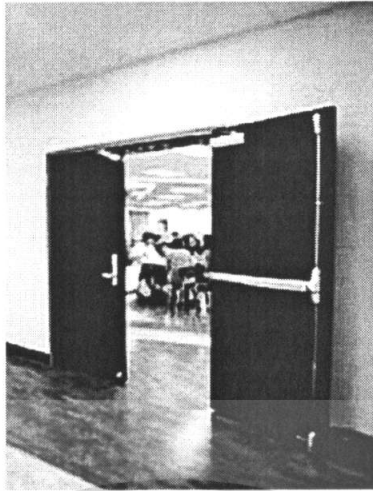
รูปที่ 2.18 การแทรกสอดของเสียง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

### 2.2.1.4 เลี้ยวเบน

ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าเสียงเลี้ยวเบนได้ ได้แก่ การที่คนพูดคุยกันอยู่ในห้อง แล้วคนที่อยู่นอกห้องสามารถได้ยินเสียงการพูดคุยกันดังกล่าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



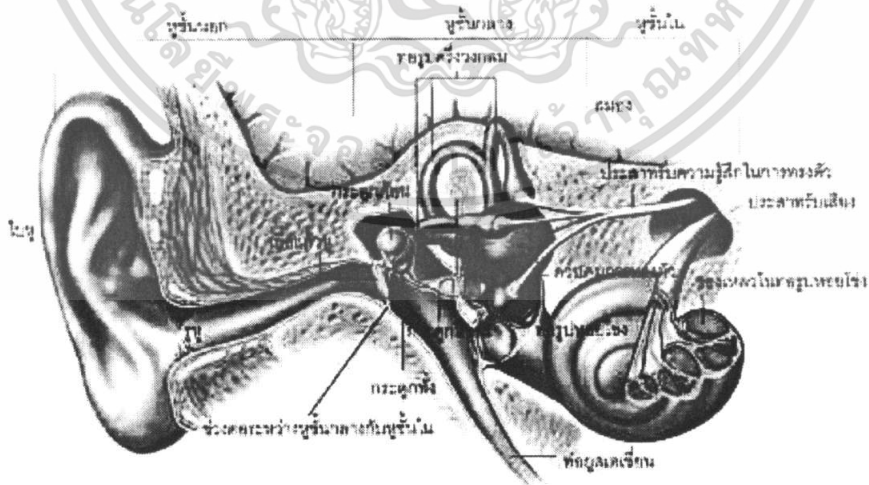
รูปที่ 2.19 เสียงสามารถเลี้ยวเบนได้

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

### 2.2.2 เสียงและการได้ยิน

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุและเสียงจะถ่ายทอดให้กับอนุภาคที่อยู่รอบๆ ตัวก่อนกำเนิด แล้วจะถ่ายทอดผ่านโมเลกุลของอากาศ ต่อกันเป็นทอดๆ มาถึงหูของผู้ฟัง ทำให้แก้วหู สะเทือน

การสั่นจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณส่งไปยังสมองทำให้สมองรับรู้และจำแนกเสียงต่างๆ ได้ โดยส่วนประกอบของหูแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงส่วนประกอบของหู

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 หูส่วนนอก (outer ear) ประกอบด้วยใบหู รูหู โดยรูหูอยู่ลึกเข้าไปในกระโหลกศีรษะไปสิ้นสุดที่เยื่อแก้วหู

2.2.2.2 หูส่วนกลาง (middle ear) เริ่มจากเยื่อแก้วหู ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อแผ่นบางๆ ปิดช่องหู และเป็นส่วนแบ่งระหว่างหูส่วนนอกกับหูส่วนกลาง ถัดจากเยื่อแก้วหูเข้าไปมีลักษณะเป็นโพรง ภายในโพรงมีกระดูก 3 ชิ้นเรียงชิดติดกัน คือ กระดูกค้อน กระดูกทั่งและ กระดูกโกลน ภายในหูส่วนกลางมีช่องเล็กๆที่ติดต่อกับหลอดลม ทำหน้าที่ปรับความดันอากาศทั้งสองด้านของแก้วหู ให้เท่ากันตลอดเวลา ถ้าความดันทั้งสองด้านของแก้วหูไม่เท่ากัน จะทำให้เกิดอาการหูอื้อหรือปวดหู เช่น ขณะขึ้นไปบนที่สูงมากๆ หรือการขึ้น-ลงลิฟต์ในตึกสูงๆ หรือการดำน้ำลงไปลึกๆ

2.2.2.3 หูส่วนใน (inner ear) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนรับเสียง และส่วนทรงตัว ส่วนรับเสียงมีลักษณะเป็นท่อกลวงขดเป็นรูปคล้ายหอยโข่ง เรียกว่า คอเคลีย ภายในท่อมมีเซลล์ขน อยู่เป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่รับรู้การสั่นของคลื่นเสียงที่ผ่านมาจากหูส่วนกลาง พร้อมกับส่งสัญญาณการรับรู้ผ่านโสตประสาทไปยังสมอง สมองจะทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ได้รับ ทำให้เรารับรู้เกี่ยวกับเสียงที่ได้ยิน ส่วนทรงตัวมีลักษณะเป็นหลอดครึ่งวงกลม 3 อันวางตั้งฉากกัน ที่ปลายหลอดมีเซลล์รับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของศีรษะอยู่ภายใน ช่วยทำให้เราสามารถควบคุมและปรับสภาพการทรงตัวได้

## 2.2.3 การจำแนกประเภทของคลื่นเสียง

ถ้าจำแนกประเภทของคลื่นเสียง โดยใช้ความถี่และการได้ยินของมนุษย์เป็นเกณฑ์ จะจำแนกคลื่นเสียงได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.2.3.1 คลื่นใต้เสียง (infrasound or infrasonic) หมายถึง เสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าเสียงที่มนุษย์ได้ยิน คือเป็นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิร์ตซ์(Hz) มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงประเภทนี้ เสียงประเภทนี้ได้แก่ เสียงจากคลื่นแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด ก่อสร้าง หรือจากรถบรรทุก ฯลฯ

2.2.3.2 เสียงที่มนุษย์ได้ยิน (sound) หมายถึง เสียงทุกเสียงที่มนุษย์ได้ยิน เสียงประเภทนี้มีความถี่อยู่ระหว่าง 20-20,000 เฮิร์ตซ์ เช่น เสียงที่เราได้ยินในชีวิตประจำวัน

2.2.3.3 คลื่นเหนือเสียง (ultrasound or ultrasonic) หมายถึง เสียงที่มีความถี่สูงกว่าเสียงที่มนุษย์ได้ยิน เป็นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิร์ตซ์ มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงประเภทนี้ แต่ค้างคาว ปลาโลมา และสัตว์อีกหลายชนิด ได้ยินเสียงนี้ เสียงประเภทนี้ได้แก่ เสียงจากนกหวีดอัลตราโซนิคที่ใช้เป่าเรียกสุนัข โดยที่มนุษย์จะไม่ได้ยินเสียงนี้

## 2.2.4 ความดังของเสียง

ความดังของเสียง เป็นปริมาณที่แสดงถึงพลังงานของเสียง เสียงดังคือ เสียงที่มีพลังงานมาก เสียงค่อยคือ เสียงที่มีพลังงานน้อย ในทางวิทยาศาสตร์จะใช้ปริมาณที่เรียกว่า ระดับความเข้มเสียง เป็นตัวบอกความดังของเสียง

โดยหน่วยพื้นฐานที่ใช้ในการวัดความดังเสียงคือเดซิเบล (dB) ซึ่งเป็นการวัดที่อาศัยอัตราส่วนทางลอการิทึมของสัญญาณเสียงสองสัญญาณ โดยมีการตั้งชื่อหน่วยพื้นฐานว่าเบล (Bell) เพื่อให้เกียรติแก่อเล็กซานเดอร์ เกรแฮม เบล นักวิทยาศาสตร์ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์เป็นคนแรก

ซึ่งการหาค่าระดับของเดซิเบล หาได้จากสมการ

$$dB_{SPL} = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

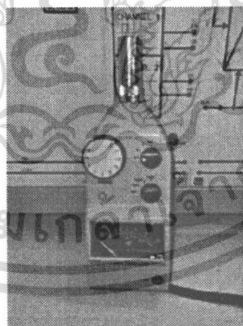
$$dB_{SPL} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $I_0, P_0$  = ความเข้มเสียงและแรงดันเสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ มีค่าเท่ากับ  $10^{-12}$  วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ ) และ  $2 \times 10^{-5}$  นิวตันต่อตารางเมตร ( $N/m^2$ ) ตามลำดับ

ความดังน้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถได้ยินมีค่าประมาณ 0 เดซิเบล ความดังระดับนี้ เรียกว่า “ขีดเริ่มของการได้ยิน” (threshold of hearing) ความดังขนาดนี้ประมาณเท่ากับความดังของเสียงของนาฬิกาที่ระยะห่าง 6 เมตร

ความดังของเสียงที่มากที่สุดที่มนุษย์สามารถทนฟังได้มีค่าประมาณ 120 เดซิเบล ความดังระดับนี้เรียกว่า “ขีดเริ่มของความเจ็บปวด” (threshold of pain)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับความเข้มของเสียง (ความดัง) มีชื่อว่า sound level meter มีลักษณะดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงเครื่องมือวัดระดับความเข้มของเสียง

ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>

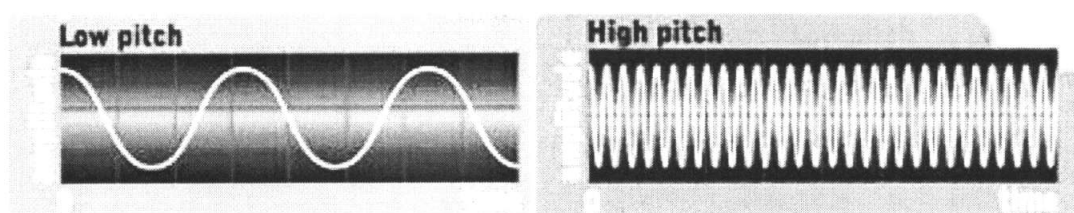
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบปริมาณต่างๆเกี่ยวกับเสียง

ตารางเปรียบเทียบปริมาณต่างๆเกี่ยวกับเสียง			
ตัวอย่าง	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล)	ความดันเสียง ( $Pa$ )	ระดับความเข้มเสียง (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ระยะ 30 เมตร จากเครื่องบินเจ็ต	140	200	100
ขีดเริ่มของการเจ็บปวดแก้วหู	130		10
เสียงฟ้าผ่า	120	20	1
เลื่อยไฟฟ้า	110		0.1
ดิสโก้เทค	100	2	0.01
เครื่องเจาะถนน	90		0.001
เสียงบริเวณริมถนน	80	0.2	0.0001
เสียงเครื่องยนต์	70		0.00001
การสนทนาทั่วไป	60	0.02	0.000001
สำนักงานที่เงียบ	50		0.0000001
เสียงกระซิบ	40	0.002	0.00000001
ห้องนอนในเวลากลางคืน	30		0.000000001
เสียงBackground ในห้องอัดเสียง	20	0.0002	1E-10
ใบไม้ร่วง	10		1E-11
ขีดเริ่มของการได้ยิน	0	0.00002	1E-12

### 2.2.5 ระดับเสียง (pitch)

ระดับเสียง (pitch) หมายถึง ความถี่สูง-ต่ำของเสียง หรือความถี่-แหลมของเสียง สิ่งที่ทำให้เกิดเสียงดังกล่าวนั้นคือความถี่ ในการสั่นของแหล่งกำเนิดกำเนิดเสียง ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงสั่นด้วยความถี่สูงเสียงก็จะแหลม และถ้าแหล่งกำเนิดเสียงสั่นด้วยความถี่ต่ำ เสียงก็จะทุ้ม ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงระดับเสียง (ซ้าย) เสียงทุ้ม (ขวา) เสียงแหลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ที่มา <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/sciencebook4/motion-energy/3-wave.pdf>  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 คุณภาพเสียง

แหล่งกำเนิดเสียงต่างกัน แต่ให้เสียงที่มีระดับเดียวกัน เช่น ไวโอลินและขลุ่ยเล่นโน้ตเดียวกันจะให้เสียงที่มีความถี่เท่ากัน แต่เราสามารถแยกออกได้ว่า เสียงใดเป็นเสียงไวโอลิน เสียงใดเป็นเสียงขลุ่ย แสดงว่านอกจากระดับเสียงแล้ว จะต้องมียิ่งอื่นอีกที่ทำให้เสียงที่ได้ยินแตกต่างกัน จึงทำให้เราสามารถแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงได้

ความถี่ของเสียงต่ำสุดที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงใดๆ เรียกว่า ความถี่มูลฐานของแหล่งกำเนิดนั้น สำหรับความถี่อื่นๆ ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กับความถี่มูลฐานแต่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่มูลฐาน เราเรียกว่า ฮาร์โมนิก ของความถี่มูลฐาน เช่นความถี่ของเสียงที่มีค่าเป็น 2 เท่าของความถี่มูลฐาน เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 2 ส่วนความถี่ของเสียงของเสียงที่มีค่าเป็น 3 เท่าของความถี่มูลฐาน เรียกว่า ฮาร์โมนิกที่ 3 เป็นต้น

ตัวก่อกำเนิดเสียงต่างๆ ขณะสั่น จะให้เสียงซึ่งมีความถี่มูลฐานและฮาร์โมนิกต่างๆ ออกมาพร้อมกันเสมอ แต่จำนวนฮาร์โมนิกและความเข้มเสียงของแต่ละฮาร์โมนิกจะแตกต่างกันไป จึงทำให้ลักษณะของคลื่นเสียงแตกต่างกันสำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน โดยจะมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน หรือที่เราเรียกว่ามี คุณภาพเสียง ต่างกันนั่นเอง คุณภาพเสียงจะช่วยให้เราแยกประเภทของแหล่งกำเนิดเสียงได้ว่าเป็นเสียงกีตาร์ เสียงปี่ เสียงผู้ชาย เสียงผู้หญิง เป็นต้น

## 2.3 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing)

การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลนั้นสามารถแปลความหมายได้เป็น 2 นัยน์ คือ

- (ก) การประมวลผลดิจิทัลของสัญญาณใดๆ ที่อยู่ในรูปแบบของสัญญาณอนาลอก โดยก่อนที่เราจะนำมาประมวลผลจะต้องนำมาผ่านการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อน
- (ข) การประมวลผลของสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลอยู่แล้ว เช่น คอมพิวเตอร์หรือระบบควบคุมดิจิทัล โดยสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการแปลงรูปสัญญาณอีก

สาเหตุหลักที่ทำให้การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากเทคโนโลยีในการสร้างวงจรรวมหรือไอซี (Integrated Circuit) สามารถที่จะสร้างวงจรที่ผลิตบนสารกึ่งตัวนำขึ้นเดียวกันได้ และสามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมากขึ้นได้ จึงทำให้ราคาต่อวงจรถูกลงเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรรวมที่ถูกนำมาสร้างเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ ที่มีผู้สนใจนำมาทำเป็นตัวประมวลผลสัญญาณมากขึ้น อีกทั้งการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลยังมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำในการคำนวณดีกว่าการประมวลผลสัญญาณอนาลอกมาก

### 2.3.1 ข้อได้เปรียบของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

1.เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่อยู่ในรูปดิจิทัลอยู่แล้ว เช่น ผลลัพธ์จากคอมพิวเตอร์ และไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นต้น

2.อุปกรณ์ทางจิตติอลมีความแม่นยำ ความแน่นอน และความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งต่างจากระบบการประมวลผลทางอนาลอกที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อมจึงทำให้มีความน่าเชื่อถือที่ไม่มากนัก

3.สัญญาณจิตติอลมีความไวต่อสัญญาณรบกวนน้อยกว่าสัญญาณแบบอนาลอกทั้งนี้เนื่องจากระดับสัญญาณของสัญญาณจิตติอลจะมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น คือ 0 และ 1

4.ระบบการประมวลผลสัญญาณจิตติอลทำได้ง่าย เนื่องจากขั้นตอนวิธีในการประมวลผลสัญญาณจะมีเพียงการบวก ลบ คูณ หาร และการเปลี่ยนตำแหน่งตัวเลขเท่านั้น

### 2.3.2 ข้อเสียเปรียบของการประมวลผลสัญญาณจิตติอล

1.ตัวประมวลผลไม่สามารถที่จะทำงานที่ความถี่สูงมาก ๆ ได้

2.การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณจิตติอล ความถูกต้องบางส่วนของสัญญาณจะขาดหายไป อันสืบเนื่องมาจากการตัดทิ้ง และการบิดเบือน

3.ข้อมูลข่าวสารของสัญญาณจิตติอลต้องการแถบความกว้างของความถี่ที่สูงกว่าแบบอนาลอก เช่น ความถี่ของการสุ่มจะต้องมากกว่าความถี่ของสัญญาณที่ถูกสุ่มอย่างน้อย 2 เท่า

### 2.4 การควบคุมเสียงรบกวน (Noise Control Technique)

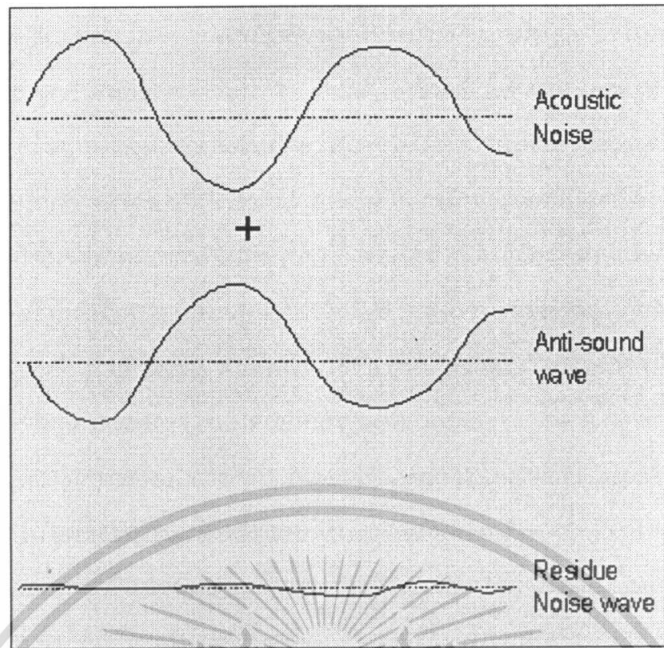
วิธีการที่ใช้ในการควบคุมเสียงรบกวนที่ใช้ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ

#### 2.4.1 การควบคุมระดับเสียงรบกวนแบบพาสซีฟ (Passive Noise Control)

วิธีการควบคุมระดับเสียงรบกวนแบบนี้มักใช้ได้ดีกับการควบคุมสัญญาณเสียงที่มีความถี่ค่อนข้างสูง โดยอาศัยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการลดทอนทางอคูสติก เช่น แผ่นอคูสติก วอลล์เปเปอร์ หรือ พรมมาใช้ในการดูดซับเสียง แต่ข้อเสียของวิธีการควบคุมเสียงแบบนี้คือถ้าหากเรามีความต้องการที่จะควบคุมเสียงรบกวนที่มีความถี่ต่ำจำเป็นจะต้องใช้วัสดุลดทอนทางอคูสติกที่มีความหนาค่อนข้างมากจึงจะมีความสามารถในการลดทอนเสียงได้

#### 2.4.2 การควบคุมระดับเสียงรบกวนแบบแอคทีฟ (Active Noise Control)

วิธีการควบคุมระดับเสียงแบบนี้จะอาศัยตัวประมวลผลสัญญาณจิตติอลมาทำการสังเคราะห์สัญญาณเสียงที่มีความสามารถที่จะหักล้างกับสัญญาณเสียงรบกวนนั้นๆ ได้ เพื่อให้ผลรวมของสัญญาณรบกวนและสัญญาณหักล้างมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งวิธีการลดทอนเสียงแบบนี้จะเหมาะกับการลดทอนเสียงที่มีความถี่ต่ำ โดยวิธีการควบคุมเสียงรบกวนแบบนี้ได้ถูกค้นพบโดย ลอร์ด เรย์ลี (Lord Rayleigh) เมื่อประมาณ 120 ปีที่ผ่านมา

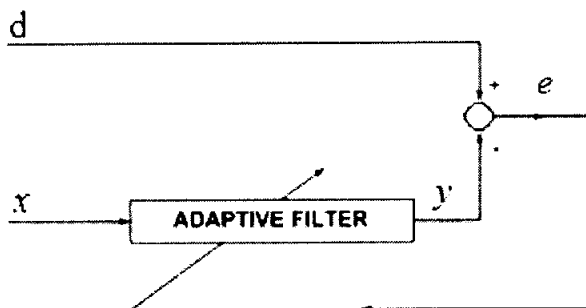


รูปที่ 2.23 แสดงผลลัพธ์ที่เกิดจากผลรวมของเสียงรบกวนและสัญญาณหักล้าง

เนื่องจากเสียงต่างๆ ในธรรมชาติมีความสลับซับซ้อน และมีความถี่ที่แตกต่างกันมากมาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมระดับเสียงแบบนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการตรวจจับสัญญาณเสียง วิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณที่ไม่ต้องการได้ อีกทั้งยังต้องมีความสามารถในการสังเคราะห์สัญญาณเสียงที่สามารถหักล้างกับสัญญาณรบกวนนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย โดยอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการประมวลผลสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณหักล้างคือวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

### 2.5 วงจรกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive filter)

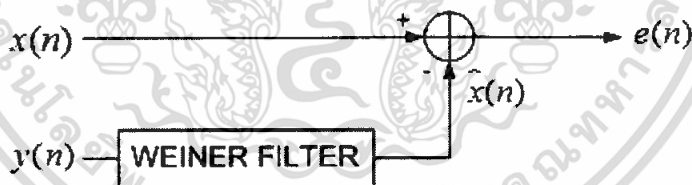
วงจรกรองแบบปรับตัวได้เป็นวงจรกรองสัญญาณชนิดหนึ่ง ที่มีความสามารถในการปรับตัวตามสัญญาณได้ โดยวงจรกรองสัญญาณชนิดนี้จะมีพื้นฐานมาจากวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขทั่วๆ ไป แต่แตกต่างกันที่วงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้นี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่เปลี่ยนแปลงตามอินพุตที่เข้ามา ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

### 2.5.1 วงจรกรองของวินเนอร์ (Wiener filter)

อัลกอริทึมของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้นี้ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย นอร์เบิร์ต วินเนอร์ (Norbert Wiener) ซึ่งได้ศึกษาการสร้างอัลกอริทึมด้วยวงจรเชิงเส้น พบว่า วงจรที่สร้างจากอัลกอริทึมที่คิดค้นขึ้นนั้น ทำหน้าที่ในการแยก สัญญาณที่ต้องการออกจากสัญญาณรบกวน ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณรบกวนสีขาว (White noise) ดังนั้นรูปแบบของการทำงานของอัลกอริทึมนี้ จะคล้ายคลึงกับ วงจรกรองอนาล็อกที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณที่มีความถี่ที่ต้องการออกจากสัญญาณความถี่อื่นๆ ซึ่งภายหลังมีการกำหนดชื่ออัลกอริทึมของวินเนอร์ ว่าเป็น วงจรกรองวินเนอร์ (Wiener filter) เพื่อเป็นเกียรติ และ เรียกอัลกอริทึมนี้เป็นวงจรกรองโดยวงจรกรองที่ Wiener ออกแบบจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรกรองสัญญาณของวินเนอร์

ในการพิจารณาอัลกอริทึมของวินเนอร์ เราจะกำหนดให้อัลกอริทึมนี้เป็นแบบ FIR และ กำหนดให้  $y(n)$ ,  $\hat{x}(n)$  เป็นอินพุตและเอาต์พุตของอัลกอริทึมนี้ตามลำดับ จะได้ว่า

$$\hat{x}(n) = h_0 y(n) + h_1 y(n-1) + \dots + h_{-m} y(n-m) \quad (2.3)$$

กำหนดให้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของอัลกอริทึมนี้แทนด้วยเมตริกซ์  $\vec{h}$  และอินพุตของระบบแทนด้วย  $\vec{y}$  จะได้ว่า

$$\hat{x}(n) = \vec{h}^T \cdot \vec{y} \quad (2.4)$$

จากรูป 2.25 จะเห็นได้ว่า  $e(n)$  มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่าง  $x(n)$  กับ  $\hat{x}(n)$  เพราะฉะนั้นถ้าเราต้องการให้  $\hat{x}(n)$  มีค่าที่ใกล้เคียงกับ  $x(n)$  มากที่สุด นั่นคือค่า  $e^2(n)$  จะต้องมีค่าน้อยที่สุด จึงกำหนดให้ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\xi = E[e^2(n)] = 0$$

โดยที่  $\xi$  มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยกำลังสองของ  $e(n)$  (mean square error) กำหนดให้

$$E[e(n)\bar{y}(n-m)] = 0$$

$$E[e(n)\bar{y}(n)] = 0$$

เมื่อแทนค่า  $e(n)$  จะได้ว่า

$$E[\{x(n) - \hat{x}(n)\}\bar{y}(n)] = 0$$

ทำการคูณกระจายเทอมของ  $\bar{y}(n)$

$$E[x(n)\bar{y}(n)] - E[\hat{x}(n)\bar{y}(n)] = 0$$

แทนค่า  $\hat{x}(n) = \bar{h}^T \cdot \bar{y}$  จากสมการ (2.7) จะได้ว่า

$$E[x(n)\bar{y}(n)] - E[\bar{h}^T \bar{y}(n)\bar{y}(n)] = 0$$

$$E[x(n)\bar{y}(n)] - \bar{h}^T E[\bar{y}(n)\bar{y}(n)] = 0 \tag{2.5}$$

โดยที่กำหนดให้

$$E[x(n)\bar{y}(n)] = r \tag{2.6}$$

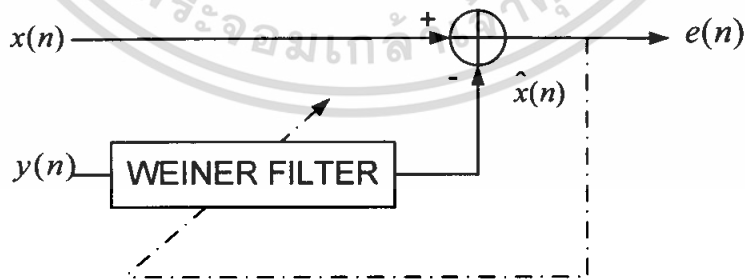
$$E[\bar{y}(n)\bar{y}(n)] = R \tag{2.7}$$

โดยเราจะเรียกค่า  $r, R$  ว่า cross-correlation และ auto-correlation ตามลำดับ ดังนั้นเราจึงเขียนสมการ (2.5) ได้ใหม่เป็น

$$\begin{aligned} r - \bar{h}^T R &= 0 \\ \bar{h}^T &= \frac{r}{R} = R^{-1}r \end{aligned} \tag{2.8}$$

จากสมการ(2.8) จะเห็นได้ว่าถ้าเรามีความต้องการที่จะออกแบบระบบให้มีความเหมาะสมจำเป็นที่จะต้องออกแบบระบบให้มีเงื่อนไขดังสมการนี้

### 2.5.2 Adaptive Wiener filter



รูปที่ 2.26 แสดงการนำอัลกอริทึมของวินเนอร์มาใช้ในการสร้างวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

จากรูปที่ 2.26 จะได้ว่า

$$\hat{x}(n) = \sum_{k=0}^m h_k y(n-k) \quad ; \text{เมื่อ } m = \text{อันดับของวงจรกรอง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความสะดวกต่อการพิจารณาจึงกำหนดให้  $m = 0$  แล้วจะได้ว่า

$$\hat{x}(n) = h_0 y(n)$$

เมื่อกำหนดให้  $h_0 = h$  จะได้

$$\hat{x}(n) = hy(n)$$

และจากความต้องการที่จะให้ความแตกต่างระหว่าง  $x(n)$  และ  $\hat{x}(n)$  มีค่าน้อยที่สุดเราจึงทำการเชื่อมโยงสมการได้ดังนี้

$$\xi(h) = E[e^2(n)]$$

$$\xi(h) = E[\{x(n) - \hat{x}(n)\}^2]$$

$$\xi(h) = E[\{x(n) - hy(n)\}^2]$$

$$\xi(h) = E[x^2(n) - 2hx(n)y(n) + h^2y^2(n)]$$

$$\xi(h) = E[x^2(n)] - 2hE[x(n)y(n)] + h^2E[y^2(n)]$$

และจากสมการ (2.6) และ (2.7) จะได้ว่า

$$\xi(h) = E[x^2(n)] - 2hr + h^2R \quad (2.9)$$

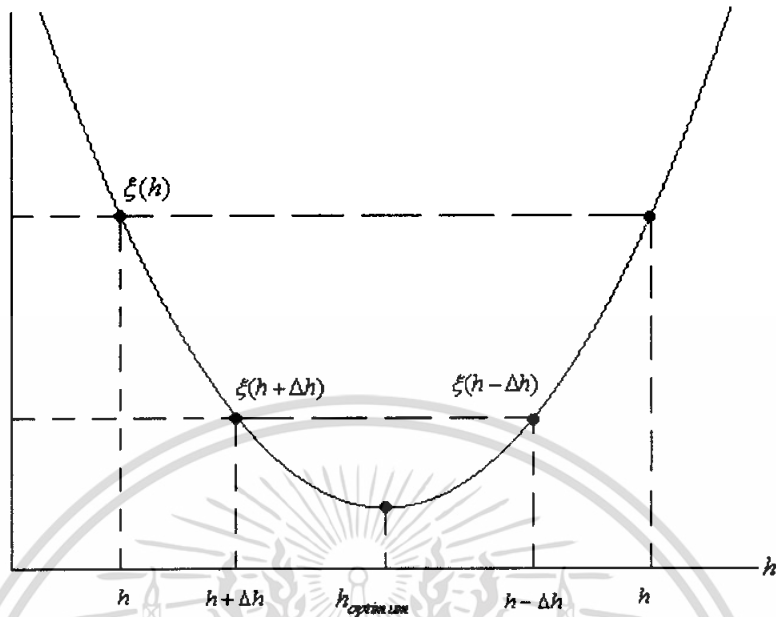
ทำการหาอนุพันธ์สมการ (12) เทียบกับ  $h$

$$\frac{\delta \xi(h)}{\delta h} = 0 - 2r + 2hR = 0 \quad (2.10)$$

$$h = \frac{r}{R} = R^{-1}r$$

จะสามารถสังเกตได้ว่าเงื่อนไขในการนำวงจรกรองวินเนอร์มาประยุกต์ใช้กับโครงสร้างของวงจรกรองแบบปรับตัวได้ก็ยังคงมีเงื่อนไขในการให้ได้มาซึ่งคำตอบที่มีค่าเหมาะสมจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง

### 2.5.3 Gradient-descent method



รูปที่ 2.27 แสดงการเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมของระบบ

จากรูปถ้าเราทำการสังเกตการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า  $\xi(h)$  จะพบว่า การปรับตัวเข้าสู่สภาวะที่เหมาะสมของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของ  $h$  ไปค่าหนึ่ง ซึ่งเราจะเรียกค่า  $h$  ที่เพิ่มขึ้นแล้วทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะที่เหมาะสมว่า Forward minimum และทำการเรียกค่า  $h$  ที่ลดลงแล้วทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะที่เหมาะสมว่า Backward minimum

เมื่อเราทำการพิจารณาเฉพาะเงื่อนไขของ Forward minimum แล้วใช้ อนุกรมเทย์เลอร์ (Taylor's series) ในการพิจารณาเราจะสามารถเขียนสมการของ forward minimum ได้ใหม่ว่า

$$\xi(h + \Delta h) = \xi(h) + \Delta h \frac{\partial \xi(h)}{\partial h} + o(h)$$

ถ้ากำหนดให้  $\Delta h$  มีค่าน้อยๆ จนกระทั่งละทิ้งเทอม  $o(h)$  จะได้ว่า

$$\xi(h) + \Delta h \frac{\partial \xi(h)}{\partial h} \leq \xi(h) \quad (2.11)$$

กำหนดให้  $\Delta h = -\mu \frac{\partial \xi(h)}{\partial h}$  เราจะสามารถเขียนสมการ (2.11) ได้ใหม่เป็น

$$\xi(h) - \mu \left[ \frac{\partial \xi(h)}{\partial h} \right]^2 \leq \xi(h)$$

เมื่อกำหนดให้

$$h(n+1) = h(n) + \Delta h(n)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการแทนค่า  $\Delta h = -\mu \frac{\partial \xi(h)}{\partial h}$  จะได้ว่า

$$h(n+1) = h(n) - \mu \frac{\partial \xi(h(n))}{\partial h(n)}$$

และจากสมการ (2.10)  $\frac{\partial \xi(h(n))}{\partial h(n)} = -2r + 2hR$  ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการข้างต้นได้

ใหม่่ว่า

$$h(n+1) = h(n) - \mu(-2r + 2hR)$$

$$h(n+1) = h(n) + 2\mu r + 2\mu hR$$

$$h(n+1) = h(n) + 2\mu r + 2\mu h(n)R$$

$$h(n+1) = h(n)(1 - 2\mu R) + 2\mu r$$

$$h(n) = h(n-1)(1 - 2\mu R) + 2\mu r$$

(2.12)

เมื่อเรานำสมการ (2.12) มาหาคำตอบด้วยวิธีการแก้สมการผลต่างจะได้ว่า คำตอบทั่วไป (Natural response or Homogenous solution) ของสมการนี้คือ

$$h(n) = h(n-1)(1 - 2\mu R)$$

$$h(n) - h(n-1)(1 - 2\mu R) = 0$$

$$m - (1 - 2\mu R) = 0$$

$$m = 1 - 2\mu R$$

$$h_N = C_1 m^n$$

$$h_N = C_1 (1 - 2\mu R)^n$$

(2.13)

คำตอบเฉพาะ (force response) ของสมการนี้คือ

$$h_f(n) = h_f(n-1)(1 - 2\mu R) + 2\mu r$$

$$h_f(n) - h_f(n-1)(1 - 2\mu R) = 2\mu r$$

$$h_f(n) = a$$

$$A - A(1 - 2\mu R) = 2\mu r$$

$$A = R^{-1}r$$

$$h_f(n) = R^{-1}r$$

(2.14)

เพราะฉะนั้นคำตอบรวมของสมการนี้คือ

$$h(n) = h_N(n) + h_f(n)$$

$$h(n) = C_1 (1 - 2\mu R)^n + R^{-1}r$$

(2.15)

ค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) ของสมการนี้คือ

$$h(0) = C_1 (1 - 2\mu R)^0 + R^{-1}r$$

$$C_1 = h(0) + R^{-1}r$$

เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ (2.15) จะได้ว่า

$$h(n) = (h(0) - R^{-1}r)(1 - 2\mu R)^n + R^{-1}r \quad (2.16)$$

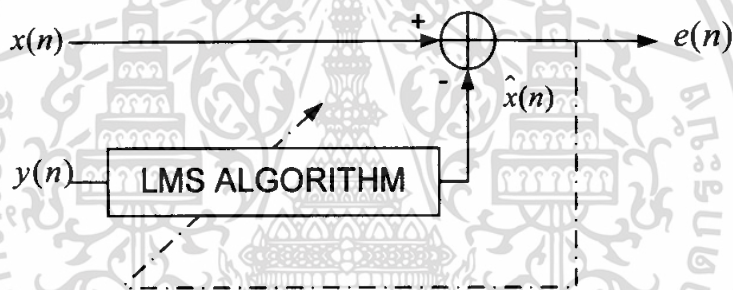
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเราต้องการให้ระบบนี้มีความเป็นเสถียรภาพนั้นคือ

$$\begin{aligned}
 -1 < (1 - 2\mu R) < 1 \\
 -2 < 2\mu R < 0 \\
 2 > 2\mu R > 0 \\
 1 > \mu R > 0 \\
 0 < \mu < \frac{1}{R}
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

#### 2.5.4 อัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (Least mean square algorithm)

อัลกอริทึมนี้เป็นอัลกอริทึมที่ถูกนำเสนอโดย Widrow และ Hoff ในปี 1960 ซึ่งอัลกอริทึมนี้ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายเพราะมีความสะดวกต่อการใช้งาน มีความถูกต้องสูง และใช้งานได้ดีภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่หลากหลาย ซึ่งโครงสร้างของวงจรกรองแบบปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ที่ใช้อัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด

จากสมการ

$$h(n+1) = h(n) + \Delta h \tag{2.18}$$

ทำการแทนค่า  $\Delta h = -\mu \frac{\partial \xi(h)}{\partial h}$  จะได้ว่า

$$h(n+1) = h(n) - \mu \frac{\partial \xi(h)}{\partial h}$$

เมื่อเราทำการพิจารณาเฉพาะเทอมของ  $\frac{\partial \xi(h)}{\partial h}$  จะได้ว่า

$$\frac{\partial \xi(h)}{\partial h} = -2r + 2h(n)R$$

จากนั้นทำการแทนค่า Cross-correlation และ Auto-correlation จากสมการ (2.6) และ (2.7)

$$\frac{\partial \xi(h)}{\partial h} = -2E[x(n)y(n)] + 2E[h(n)y(n)y(n)]$$

และแทนค่า  $h(n)y(n) = \hat{x}(n)$  จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\delta \xi(h)}{\delta h} = -2E[x(n)y(n)] + 2E[\hat{x}(n)y(n)]$$

$$\frac{\delta \xi(h)}{\delta h} = -2E[\{x(n) - \hat{x}(n)\}y(n)]$$

$$\frac{\delta \xi(h)}{\delta h} = -2E[e(n)y(n)]$$

$$\frac{\delta \xi(h)}{\delta h} = -2e(n)y(n)$$

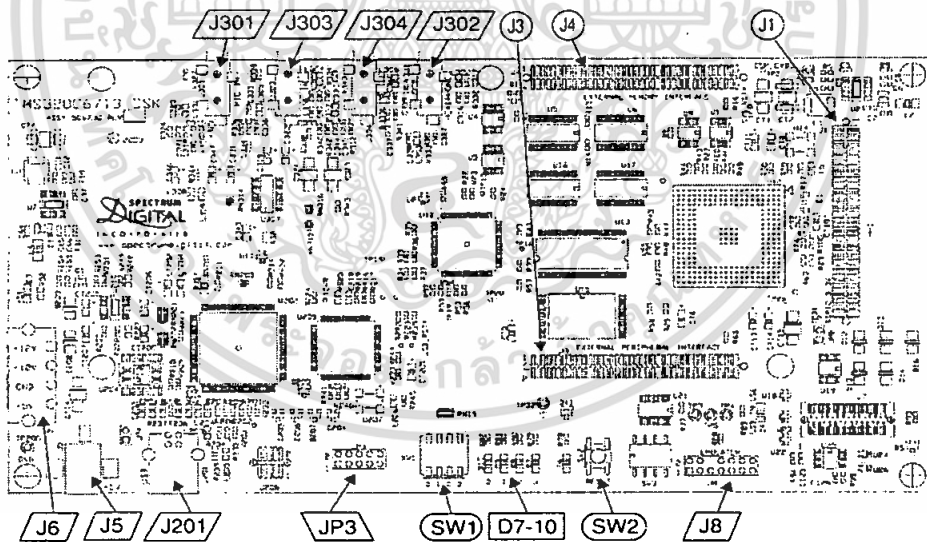
จากนั้นนำค่า  $\frac{\delta \xi(h)}{\delta h}$  ที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ (2.19)

$$h(n+1) = h(n) + 2\mu e(n)y(n)$$

$$h(n) = h(n-1) + 2\mu e(n-1)y(n-1) \quad (2.20)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด จะไม่มีอิทธิพลของค่า Cross-correlation และ Auto-correlation อัลกอริทึมนี้จึงไม่มีค้อยมีความยุ่งยากในการออกแบบมากเท่าไรนัก เพราะฉะนั้นอัลกอริทึมนี้ จึงได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้มากกว่า อัลกอริทึมอื่นๆ

## 2.6 บอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C6713



รูปที่ 2.29 แสดงแผนผังของบอร์ดประมวลผล TMS320C6713

ที่มา TMS320C6713 DSK Technical Reference

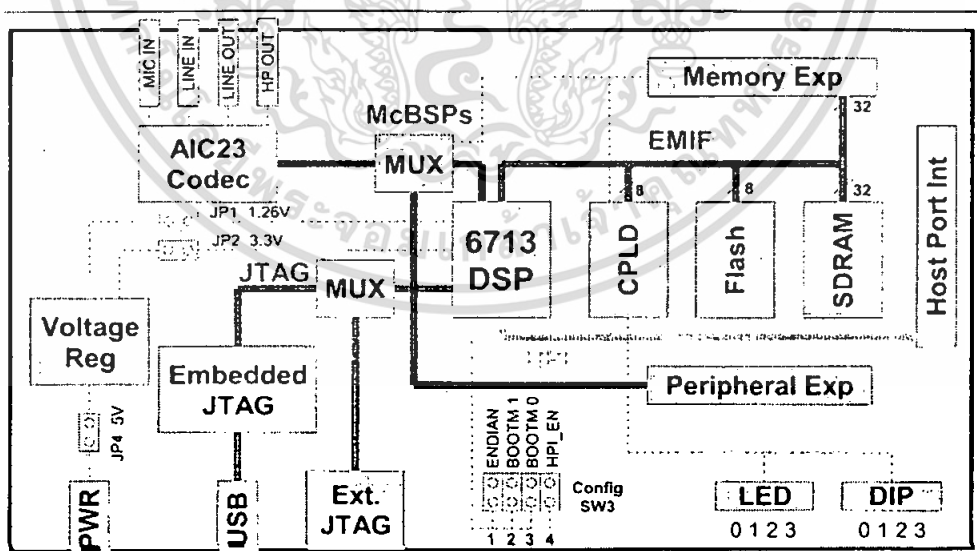
โครงการนี้ได้ใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C6713 มาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ และจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ โดยผังของบอร์ดประมวลผลแสดงดังรูปที่ 2.29 และรายละเอียดของบอร์ดประมวลผลรุ่นนี้แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับโรงเรียนเพื่อใช้ประโยชน์เท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงช่องเชื่อมต่อ จำนวนขาเชื่อมต่อ และการทำงานของช่องเชื่อมต่อต่างๆ

ช่องเชื่อมต่อ	จำนวนขา	การทำงาน
J4	80	Memory
J3	80	Peripheral
J1	80	HPI
J301	3	Microphone
J303	3	Line In
J304	3	Line Out
J303	3	Headphone
J5	2	5 Volt
J6	4	Optional Power Connector
J8	14	External JTAG
J201	5	USB Port
JP3	10	CPLD Programming
SW3	8	DSP Configuration Jumper

### 2.6.1 ลักษณะสำคัญของบอร์ดประมวลผล



รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมบอร์ดรุ่น TMS320C6713

ที่มา TMS320C6713 DSK Technical Reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่สำคัญของบอร์ดประมวลผล มีดังนี้

- บอร์ดประมวลผล Texas Instruments TMS320C6713 DSP ทำงานที่ความถี่ 225 MHz
- AIC 23 stereo codec
- หน่วยความจำแบบ DRAM ความจุ 16 Mbytes
- Non-volatile Flash memory ความจุ 512 bytes
- LED แสดงสถานะและ DIP สวิตช์ต่างๆ
- มีตัวเลือกในการ boot ของ config โครงร่าง
- สามารถเชื่อมต่อ daughter card เพื่อใช้งานได้
- สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB ได้
- แหล่งจ่ายไฟ (+5 V)

### 2.6.2 หลักการทำงานของบอร์ดรุ่น TMS320C6713

บอร์ดประมวลผลนี้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับ EMIF (External Memory Interface) SDRAM, Flash memory และ CPLD โดยจะทำการเชื่อมโยงผ่านบัสขนาด 32 บิต การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกของบอร์ดประมวลผลนี้ จะทำงานผ่าน AIC23 codec ที่รับและส่งสัญญาณเข้าออกผ่านช่องเชื่อมต่อแบบสเตอริโอ นอกจากนี้บนบอร์ดประมวลผลยังมี LED แสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลเพื่อการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางฮาร์ดแวร์อีกด้วย

### 2.6.3 การแม็บเมมโมรี

การทำเมมโมรีแม็บมีความจำเป็นอย่างยิ่งก่อนที่จะเริ่มต้นเขียนโปรแกรมในส่วนต่างๆ ซึ่งตำแหน่งของหน่วยความจำภายในของบอร์ดประมวลผลแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงตำแหน่งแรม โมรีต่างๆ ของบอร์ดประมวลผล

Address	C67x Family Memory Type	6713 DSK
0x00000000	Internal Memory	Internal Memory
0x00030000	Reserved Space or Peripheral Regs	Reserved Space or Peripheral Regs
0x80000000	EMIF CE0	SDRAM
0x90000000	EMIF CE1	Flash
0xA0000000	EMIF CE2	CPLD
0xB0000000	EMIF CE3	Daughter Card

0x90080000

#### 2.6.4 ชนิดของไฟล์ต่างๆ ที่ใช้ในการโปรแกรมบอร์ดประมวลผล

1. file.pjt เป็นไฟล์โปรเจกต์ที่เราสร้างขึ้น
2. file.c เป็นไฟล์ภาษาซีที่เราเขียนขึ้น
3. file.asm เป็นไฟล์แอสเซมบลีที่เราเขียน หรือเกิดจากการคอมไพล์ไฟล์ภาษาซี
4. file.sa เป็นไฟล์ที่ถูกเรียกใช้งานเมื่อเราต้องการที่จะทำการสร้างไฟล์ภาษาแอสเซมบลี
5. file.h เป็นไฟล์เฮดเดอร์ (Header) ที่ใช้อ้างอิงในการเขียนภาษาซี
6. file.lib เป็นไฟล์ไลบรารีที่สนับสนุนการทำงานของบอร์ด
7. file.cmd เป็นไฟล์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงเพื่อทำการแม็บแรมโมรี
8. file.obj เป็นไฟล์ออบเจกต์ที่ถูกสร้างโดยแอสเซมเบลอร์
9. file.out เป็นไฟล์ที่ใช้ในการโปรแกรมลงบนบอร์ดจริงๆ เกิดจากการ Build โปรเจกต์ที่เราสร้างขึ้น
10. file.cdb เป็นไฟล์ที่ใช้กำหนดค่าต่างๆ ซึ่งถูกเรียกใช้งานขณะที่ใช้ DSP/BIOS

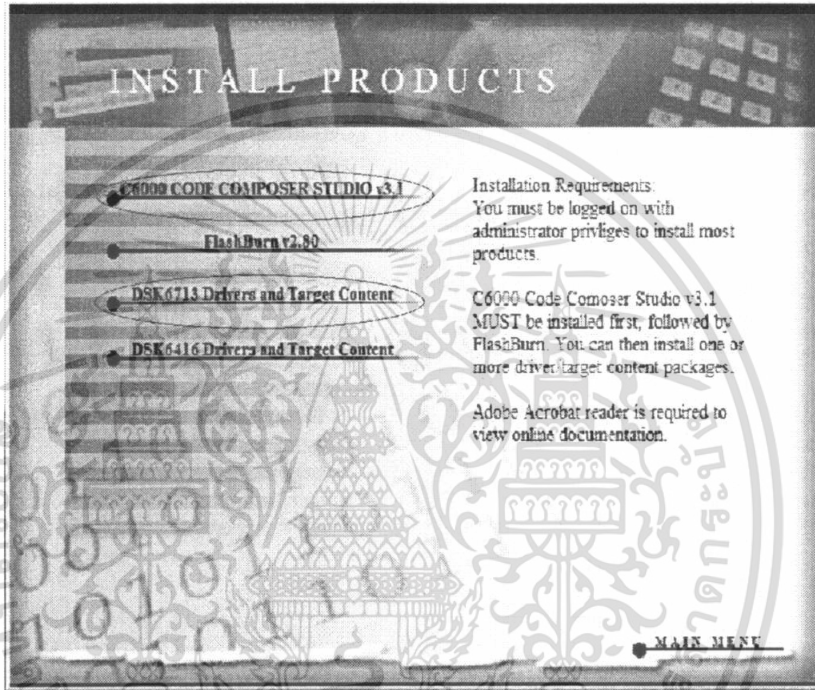
#### 2.6.5 การใช้งานซอฟต์แวร์เชื่อมโยงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับบอร์ดประมวลผล TMS320C6713

บอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข TMS320C6713 จะเชื่อมโยงเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ จะต้องอาศัยโปรแกรม Code Composer Studio (CCS) ที่ถูกพัฒนามาเพื่อการใช้งานบนวินโดวส์ ซึ่งโปรแกรมนี้นอกจากจะมีความสามารถในการเชื่อมโยงกับบอร์ดประมวลผลแล้ว ยังสามารถทำการเขียนโปรแกรม ทำการคอมไพล์โปรแกรม แล้วยังสามารถพลอตกราฟแบบกราฟฟิคได้อีกด้วย

โดยโปรแกรมนี้จะเชื่อมโยงกับบอร์ดประมวลผลผ่านทางพอร์ต USB คือ โปรแกรมจะทำการโปรแกรมข้อมูลที่เราเขียนลงบนบอร์ดและยังสามารถควบคุมการทำงานของบอร์ดประมวลผลผ่านทางพอร์ตนี้อีกด้วย ซึ่งวิธีการใช้งานจะเป็นดังนี้

### 2.6.5.1 การติดตั้งซอฟต์แวร์เชื่อมโยง

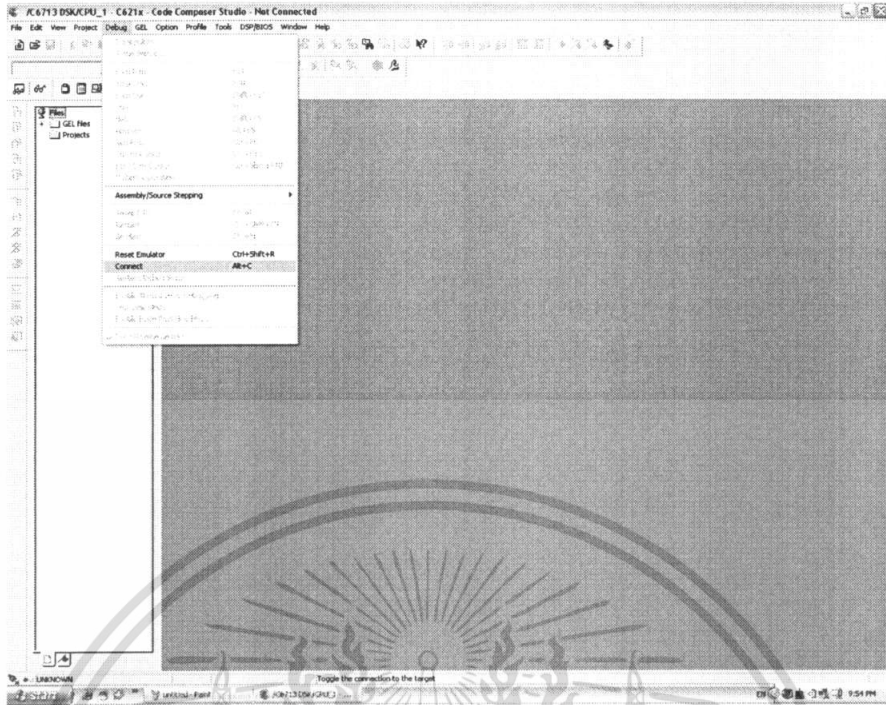
#### 1. ทำการติดตั้งโปรแกรม CCS และ driver ของบอร์ดประมวลผล



รูปที่ 2.31 แสดงหน้าต่างติดตั้งของซอฟต์แวร์เชื่อมโยงบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

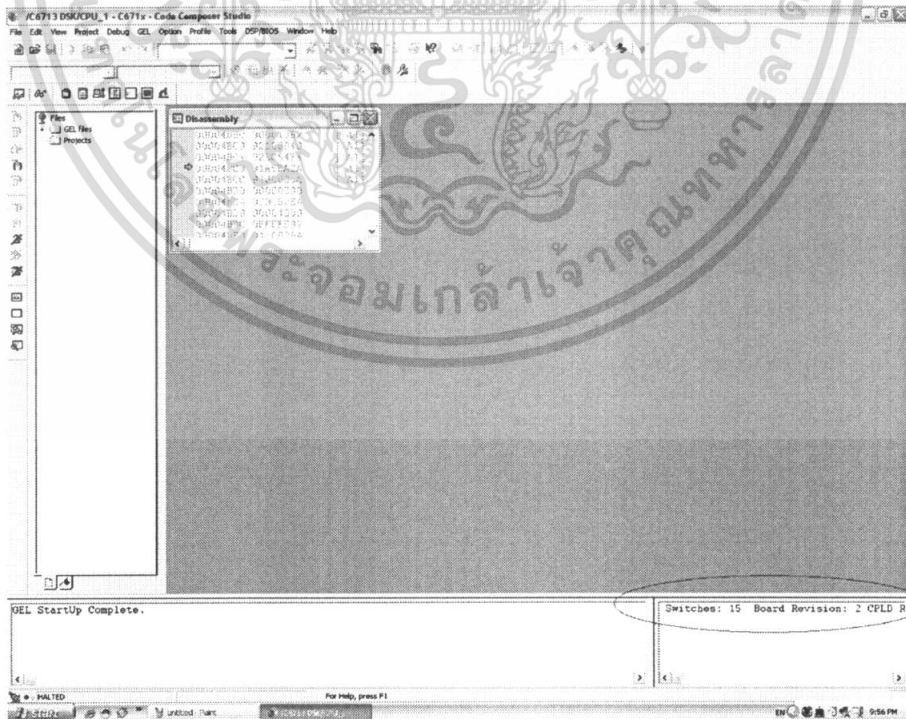
2. ทำการเชื่อมต่อบอร์ดประมวลผลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB
3. จากนั้นทำการ Run CCS
4. ทำการเชื่อมต่อบอร์ดผ่านซอฟต์แวร์โดยเลือกที่ Debug → Connect ดังรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แสดงหน้าต่างโปรแกรม CCS ขณะทำการเชื่อมโยงกับบอร์ดประมวลผล

5.ทำการทดสอบการเชื่อมต่อบอร์ด โดยเลือกที่ GEL → Check DSK → quick Test



รูปที่ 2.33 แสดงผลที่ได้จากการตรวจสอบการเชื่อมต่อเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5.2 การสร้างโปรแกรม การคอมไพล์ และการ Load โปรแกรมลงบนบอร์ด

1. ทำการสร้างโปรเจกต์โดยควรสร้าง Subfolder รอไว้ก่อนที่ C:\CCStudio\_v3.1\MyProjects

2. ทำการ add Library โดยไปที่ Add file to Project ดังนี้

c:\c6713\c6000\cgtools\lib\rts6700.lib

c:\c6713\c6000\dsk6713\lib\dsk6713bsl.lib

c:\c6713\c6000\bios\lib\csl6713.lib

3. จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีและแอสเซมบลีตามที่ได้ออกแบบ แล้วทำการจัดเก็บไฟล์ไว้ใน Subfolder ที่สร้างขึ้น

4. จากนั้นทำการ add file ที่ได้เขียนไว้สักครั้งหนึ่ง

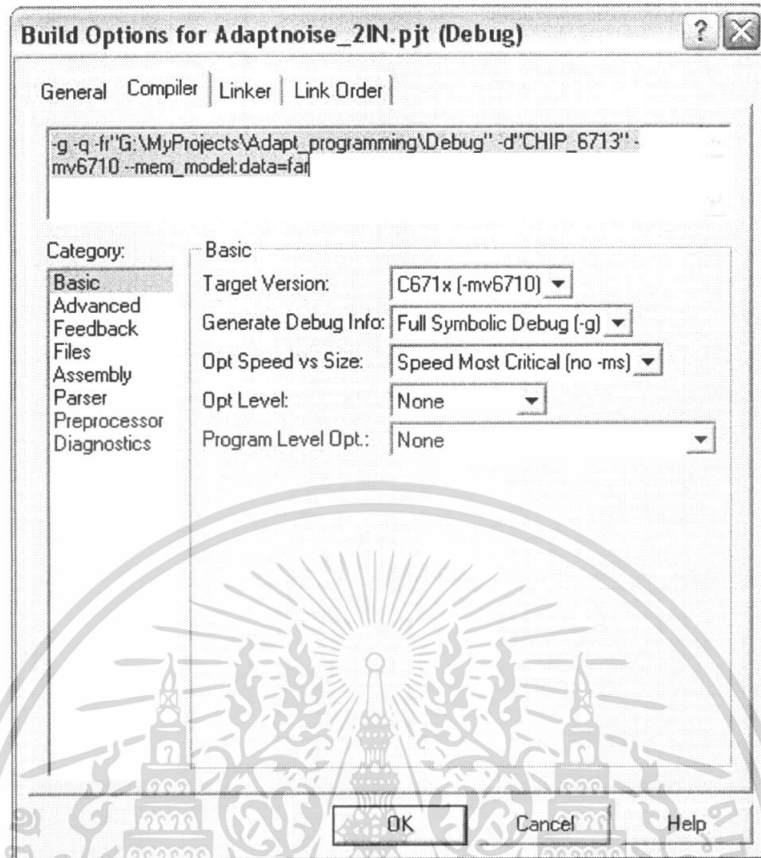
5. ทำการสร้างไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .out เพื่อใช้ในการโปรแกรมลงบนบอร์ดดังนี้

5.1 ทำการกำหนด option โดยไปที่ Project → Build option จากนั้นทำการใส่ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขในการสร้างไฟล์ .out

Option	Data
Target Version	C671x(-mv6710)
Generate Debug Info	Full Symbolic Debug(-g)
Opt Speed vs Size	Speed Most Critical(no -ms)
Opt Level	None
Program Level Opt	None

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 แสดงหน้าต่าง option ในการสร้างไฟล์ .out

เมื่อเสร็จแล้วกด OK

5.2 จากนั้นทำการสร้างไฟล์โดยไปที่ Project → Rebuild all

5.3 จากนั้นโปรแกรมจะแจ้งสถานะในการสร้างไฟล์ .out ว่าสำเร็จหรือไม่ หากไม่สำเร็จก็จะต้องทำการแก้ไขในจุดที่โปรแกรมแจ้งเตือน ดังรูปที่ 2.35

```

#include "DSK6713_AIC23.h" //codec-ISK support
uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_48KHZ; //set sampling rate
#define beta 1E-40 //rate of convergence
#define N 30 //# of weights (coeff)
#define LEFT 0 //left channel
#define RIGHT 1 //right channel
float w[N]; //weights for adapt
float delay[N]; //input buffer to adapt
short output_1,output_2; //overall
volatile union(unsigned int uint; short channel[2]);AIC23_data;

interrupt void c_int11()
{
short i;
float yn=0, E=0, input=0, noise=0;

AIC23_data.uint = input_sample(); //input 32-bit fr
input = (AIC23_data.channel[LEFT]); //input s
noise = (AIC23_data.channel[RIGHT]); //input s
delay[0] = noise; //noise s
}

```

Adaptnoise\_2IN.pjt - Debug

```

[Adaptnoise_2IN.c] "C:\CCStudio_v3.1\C6000\cgttools\bin\cl6x" -g -q -fr"G:\MyProjects\Adapt
"Adaptnoise_2IN.c", line 3: error: expected a declaration
"Adaptnoise_2IN.c", line 3: error: "#" not expected here
2 errors detected in the compilation of "Adaptnoise_2IN.c".

```

Build

UNKNOWN Ln 3, Col 2

รูปที่ 2.35 แสดงผลที่ได้จากการสร้างไฟล์ .out ไม่สำเร็จ

6. หากสร้างไฟล์ได้สำเร็จ ให้ทำการ Load โปรแกรมลงบอร์ดโดยเลือกที่ File → Load Program โดยไฟล์ .out จะถูกเก็บอยู่ที่ Folder Debug
7. จากนั้นทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

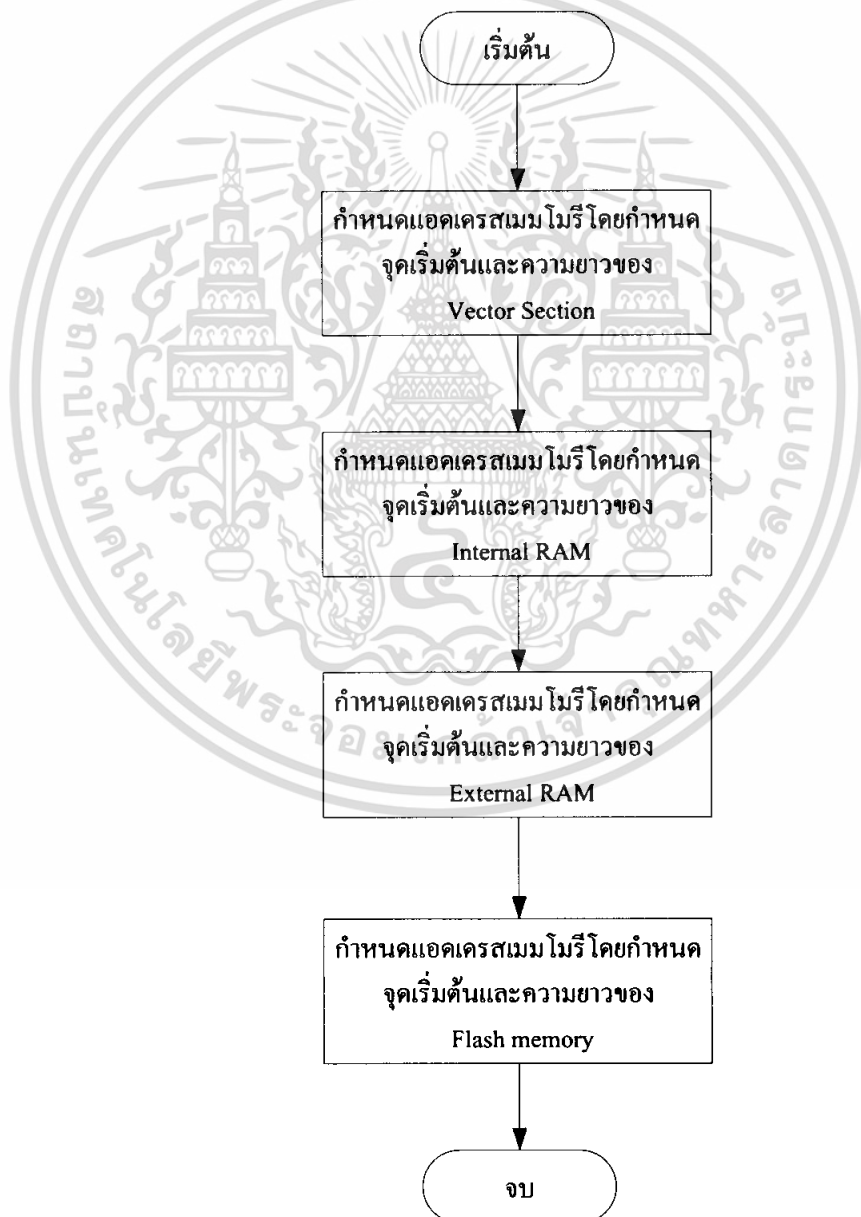
ทางกลุ่มได้ทำการแบ่งเนื้อหาในการทดลองดังนี้

#### 3.1 การเขียนโปรแกรม Code Composer เพื่อให้ทำงานตามที่ต้องการ

ในการเขียนโปรแกรมผ่าน Code Composer จำเป็นที่จะต้องมียไฟล์พื้นฐานในการอินเทอร์รัพเม็บบวมโมรี การจัดรีจิสเตอร์ฟังก์ชันหน้าที่ต่างๆ ที่เหมือนกันเราจึงจำเป็นต้องสร้างไฟล์พื้นฐานซึ่งไฟล์ที่ต้องสร้างมีดังนี้

##### 3.1.1 Linker command file (file.cmd)

เป็นไฟล์ที่ทำการเก็บเม็บบวมโมรีซึ่งมีแผนภาพการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงาน โปรแกรม Linker command file

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 Interrupt vector File

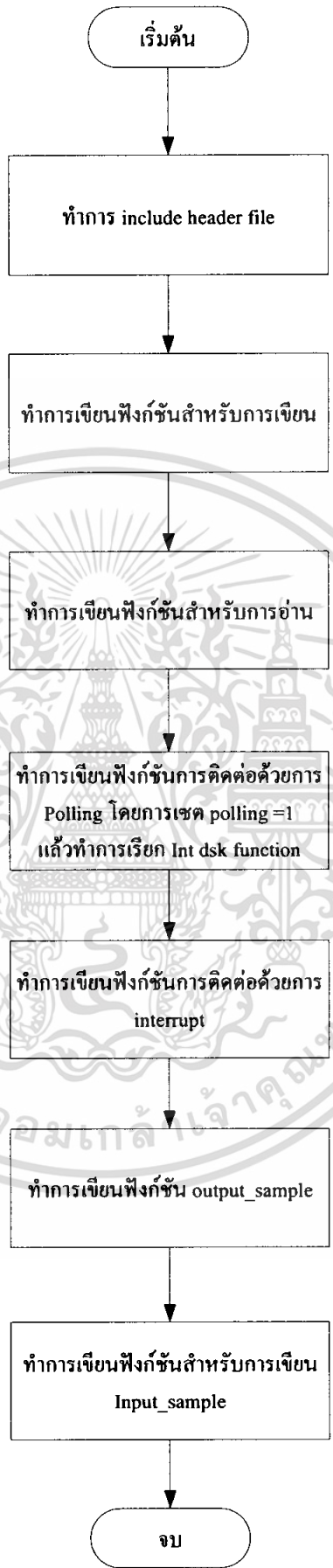
เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ในการจัดจ้งหะการทำงานโดยปกติของ CPU โดยเมื่อมีการอินเทอร์รัพเกิดขึ้น CPU จะทำการกระโดดไปยังหน่วยความจำที่กำหนดไว้ ซึ่งเราจะเรียกตำแหน่งนั้นว่า interrupt vector address ดังนั้นจึงทำให้เรามีความจำเป็นที่จะต้องมีการเขียนโปรแกรมย่อย interrupt service routine(ISR) ไว้ที่ interrupt vector โดยการอินเทอร์รัพที่จะมีตาราง Address ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แอดเดรสของตัวอินเทอร์รัพต่างๆ

Interrupt Service	Address	Interrupt Service	Address
RESET	000h	INT8	100h
NMI	020h	INT9	120h
Reserved	040h	INT10	140h
Reserved	060h	INT11	160h
INT4	080h	INT12	180h
INT5	0A0h	INT13	1A0h
INT6	0C0h	INT14	1C0h
INT7	0E0h	INT15	1E0h

### 3.1.3 Initialization/Communication File(C6xdskinit.c)

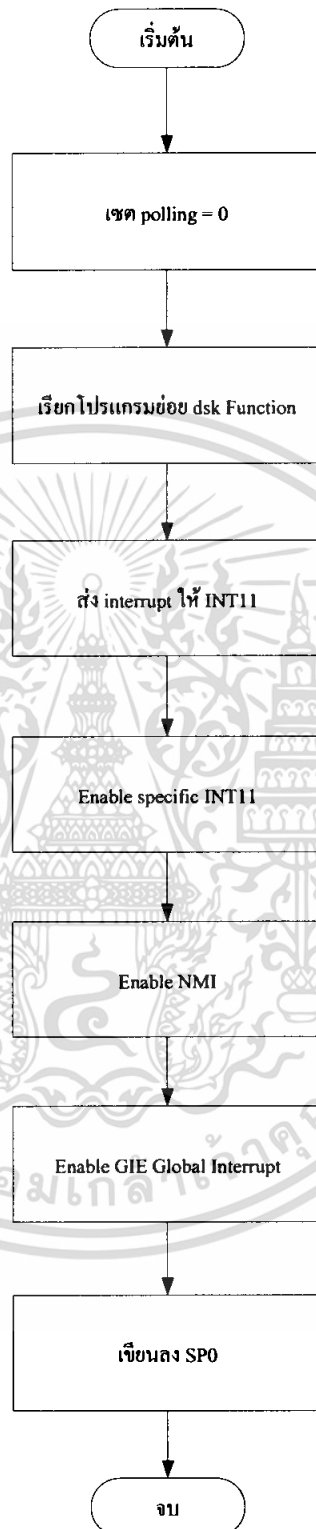
ไฟล์นี้จะเป็นไฟล์คอมไพล์รวมเก็บฟังก์ชันต่างๆไว้ ได้แก่ ฟังก์ชันอินเทอร์รัพ ฟังก์ชันการไหล และฟังก์ชันการแซมเปิลสัญญาณ โดยฟังก์ชันเหล่านี้จะทำการติดต่อกับบอร์ดประมวลผล ซึ่งการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของโปรแกรม Initialization/Communication File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำงานของโปรแกรมย่อยที่ทำการติดต่อด้วยการอินเทอร์รัพแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมย่อยฟังก์ชันการติดต่อด้วยการอินเทอร์รัพเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

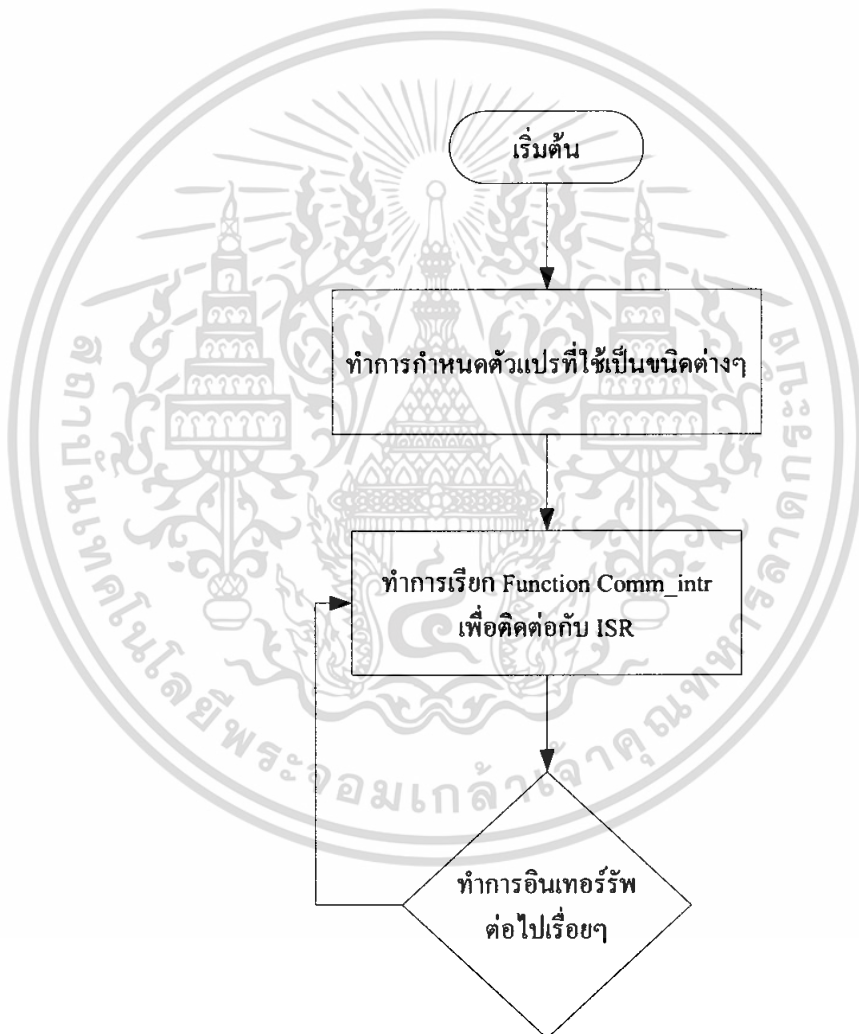
### 3.1.4 โปรแกรมหลัก

ในส่วนของโปรแกรมส่วนนี้เราจะใช้ในการใส่ค่าตัวแปร และการกระทำ(operation) ต่างๆ ที่เราได้ออกแบบอัลกอริทึมเอาไว้ ซึ่งการรับค่าอินพุตเพื่อนำมาประมวลผลนั้นสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

-แบบอินเทอร์รัพท์

-แบบ โพล

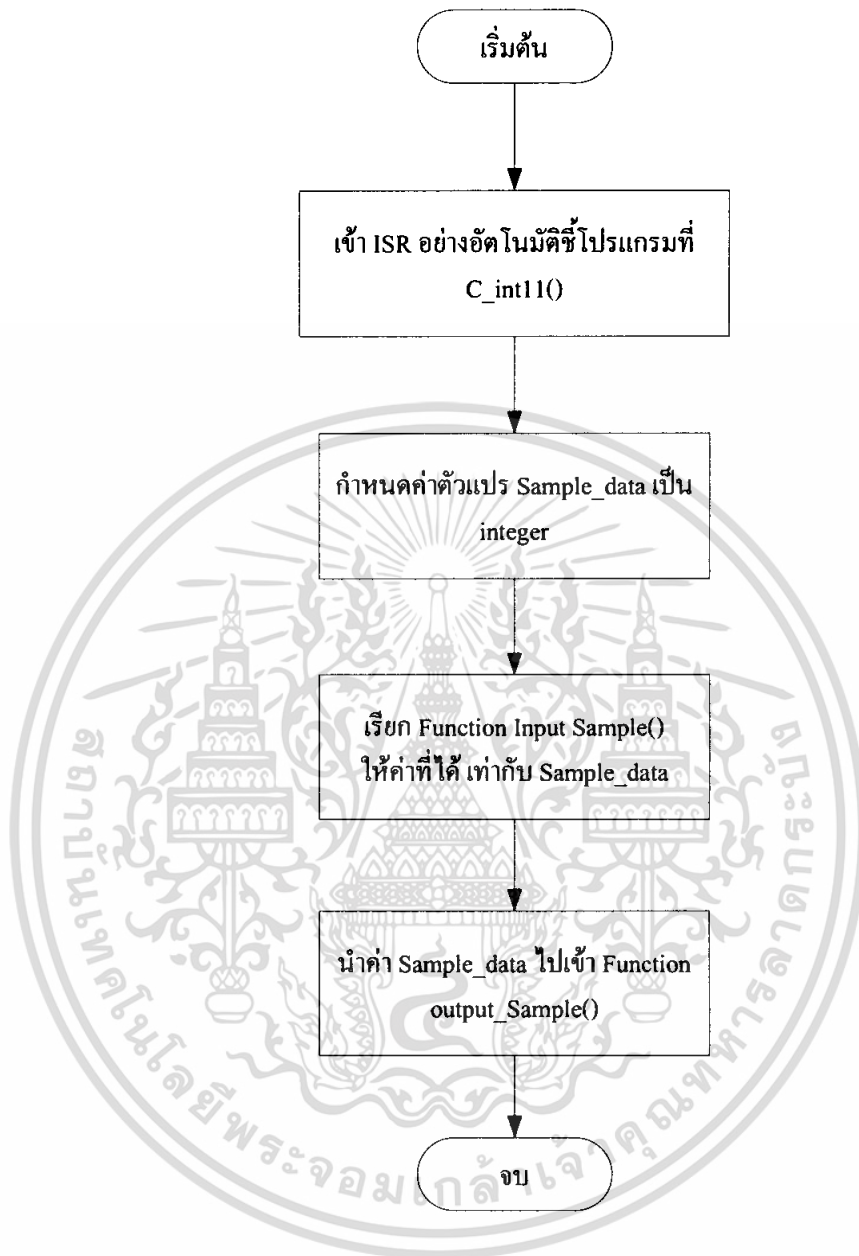
โดยในโครงงานนี้จะขอเสนอเพียงแบบเดียวคือแบบอินเทอร์รัพท์เท่านั้น โดยเมื่อเกิดการอินเทอร์รัพท์แล้วระบบจะทำการติดต่อกับ ISR (Interrupt Service Routine) โดยอัตโนมัติเพราะฉะนั้นการอินเทอร์รัพท์หนึ่งครั้ง ก็จะมีการรับสัญญาณหนึ่งแชนเนลเข้า ISR ไปและนำค่าสัญญาณนั้นมาทำการประมวลผล



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม comm.\_intr แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของฟังก์ชัน comm.\_intr หรือ c\_int11

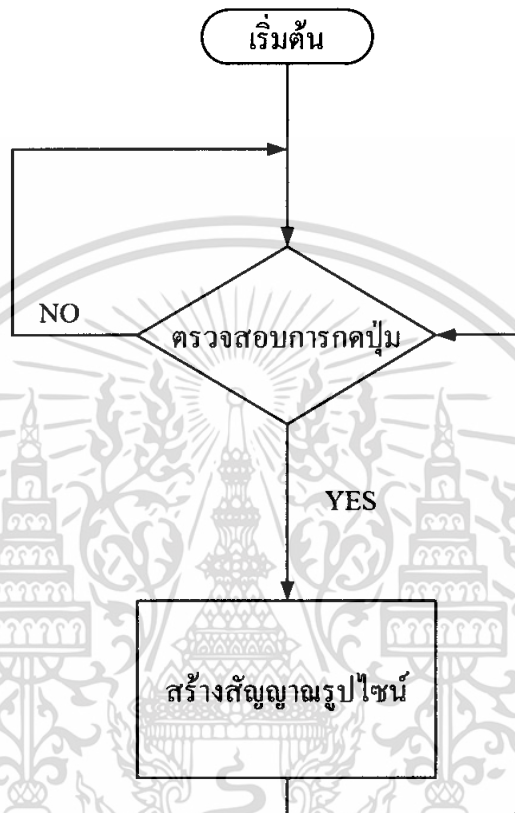
เพราะฉะนั้นต่อไปเมื่อเราจะเขียนโปรแกรมก็เพียงแค่ว่าในส่วนของ comm.\_intr หรือส่วนที่เป็น c\_int11 เท่านั้น

โดยในส่วนต่อไปจะเป็นส่วนของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบเพื่อให้ทำงานในฟังก์ชันต่างๆ ตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.1 การออกแบบโปรแกรมในการสร้างสัญญาฉบับใหม่

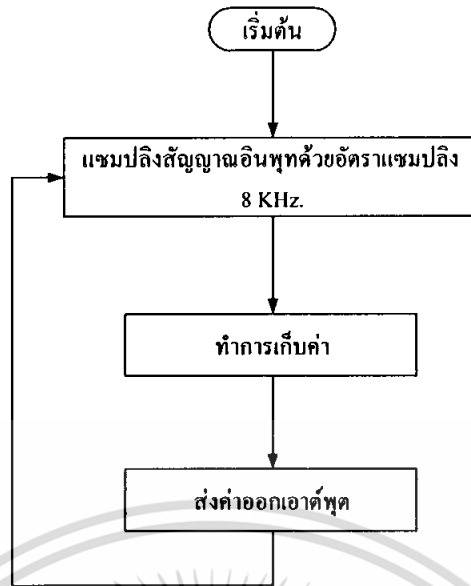
เนื่องจากบอร์ดประมวลผลสัญญาฉบับใหม่มีความสามารถในการสร้างสัญญาที่มีความต่อเนื่องได้ ในการสร้างสัญญาฉบับใหม่จึงอาศัยการส่งค่าแรงคืนที่แตกต่างกันตามลักษณะของฟังก์ชันไซน์ ซึ่งกลไกการทำงานของโปรแกรมที่ได้ออกแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการสร้างสัญญาฉบับใหม่

### 3.1.4.2 การออกแบบโปรแกรมในการรับสัญญาและส่งสัญญา

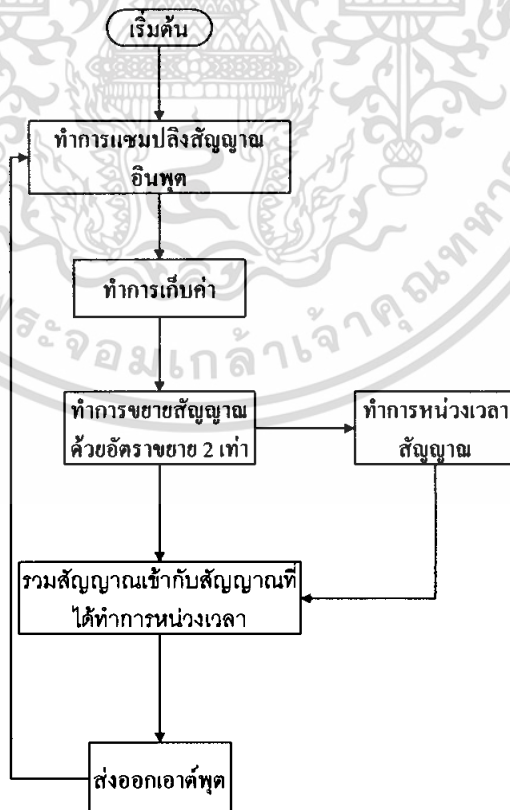
ในการนำบอร์ดประมวลผลสัญญาเชิงเลข มาใช้ในการสร้างระบบกำจัดเสียงรบกวนในห้องปิด จำเป็นที่จะต้องนำสัญญาเสียงมาใช้ในการประมวลผลผ่านทางพอร์ทอินพุต ทางกลุ่มจึงได้ทำการออกแบบโปรแกรมเพื่อรับอินพุตจากภายนอกโดยไม่ทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาอินพุตเลข ซึ่งกลไกการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการรับสัญญาณและส่งสัญญาณ

### 3.1.4.3 การออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณเสียงก้อง(Echo)

กลไกการทำงานของโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณเสียงก้องแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

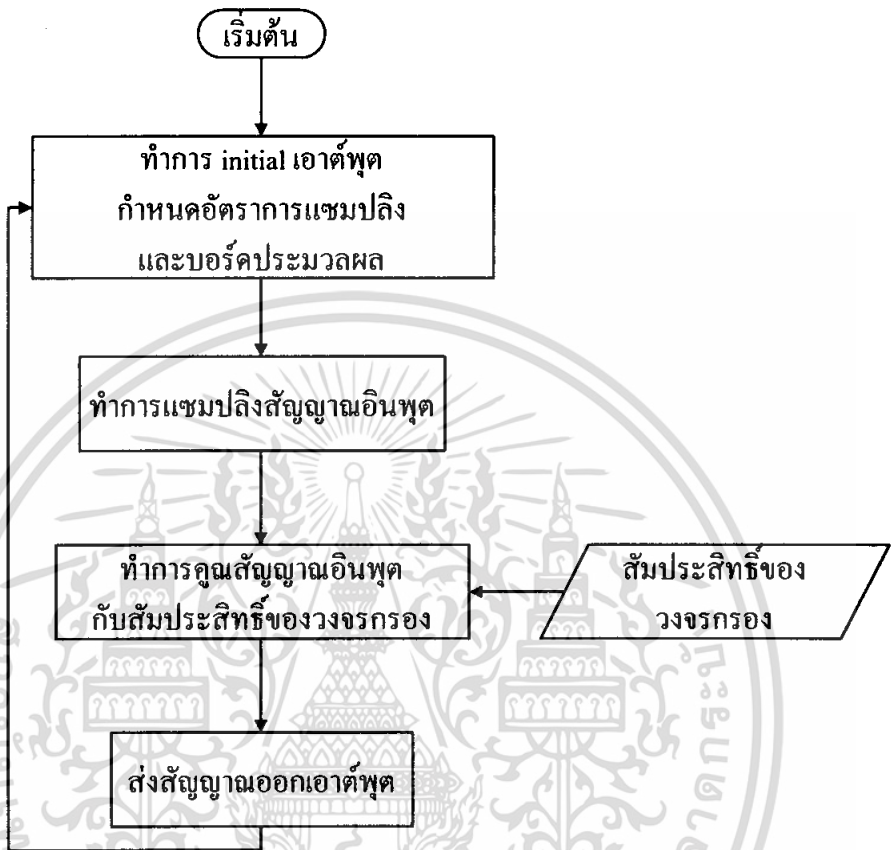


รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ทของการออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณเสียงก้อง(Echo)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ประการใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.4 การออกแบบโปรแกรมในการสร้างวงจรกรองสัญญาณ FIR

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขเกิดจากการนำสัญญาณมาทำการคูณกันกับสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองเพราะฉะนั้นการออกแบบโปรแกรมจึงทำได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ทของการออกแบบโปรแกรมในการสร้างวงจรกรองสัญญาณ FIR

3.1.4.4.1 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน

ทางกลุ่มได้ทำการออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คutoff ที่ 600 เฮิรตซ์ ที่ใช้วินโดว์แบบไกเซอร์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรเป็นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่คัทออฟที่ 600 เฮิรตซ์  
ที่มีอันดับของวงจรเท่ากับ 81

ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ
0	1	-99	28	174	55
-6	2	-416	29	355	56
-14	3	-712	30	428	57
-22	4	-905	31	398	58
-26	5	-921	32	292	59
-24	6	-700	33	146	60
-13	7	-218	34	0	61
8	8	511	35	-117	62
34	9	1424	36	-185	63
61	10	2425	37	-201	64
80	11	3391	38	-171	65
83	12	4196	39	-113	66
63	13	4729	40	-43	67
19	14	4915	41	19	68
-43	15	4729	42	63	69
-113	16	4196	43	83	70
-171	17	3391	44	80	71
-201	18	2425	45	61	72
-185	19	1424	46	34	73
-117	20	511	47	8	74
0	21	-218	48	-13	75
146	22	-700	49	-24	76
292	23	-921	50	-26	77
398	24	-905	51	-22	78
428	25	-712	52	-14	79
355	26	-416	53	-6	80
174	27	-99	54	0	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.4.2 วงจรกรองสัญญาณแบบความถี่สูงผ่าน

ทางกลุ่มได้ทำการออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านที่มีความถี่คัทออฟที่ 2.2 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ใช้วินโดว์แบบไกเซอร์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรเป็นดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน  
ที่มีความถี่คัทออฟที่ 2.2 กิโลเฮิร์ตซ์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81

ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ
-4	1	370	28	-190	55
12	2	-635	29	388	56
2	3	-227	30	36	57
-22	4	899	31	-322	58
5	5	-51	32	68	59
32	6	-1163	33	236	60
-21	7	526	34	-125	61
-37	8	1403	35	-149	62
45	9	-1337	36	143	63
35	10	-1596	37	74	64
-75	11	-1337	38	-133	65
-18	12	1403	39	-18	66
107	13	-1337	40	107	67
-18	14	-1596	41	-18	68
-133	15	3001	42	107	69
74	16	-1596	43	-18	70
143	17	-1337	44	-75	71
-149	18	1403	45	35	72
-125	19	526	46	45	73
236	20	-1163	47	-37	74
68	21	-51	48	-21	75
-322	22	899	49	32	76
36	23	-227	50	5	77
388	24	-635	51	-22	78
-190	25	370	52	2	79
-413	26	394	53	12	80
394	27	-413	54	-4	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ออกไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.4.3 วงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์พาส

ทางกลุ่มได้ออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่านที่มีความถี่คัทออฟที่ 1.5 และ 2.5 กิโลเฮิรตซ์ ที่ใช้วินโดว์แบบไกเซอร์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรเป็นดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน  
ที่มีความถี่คัทออฟที่ 1.5 และ 2.5 กิโลเฮิรตซ์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81

ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ
0	1	389	28	398	55
-25	2	-708	29	-38	56
-12	3	-1104	30	0	57
30	4	640	31	31	58
28	5	1989	32	-255	59
-21	6	0	33	-199	60
-29	7	-2676	34	288	61
4	8	-1169	35	356	62
0	9	2785	36	-162	63
-5	10	2550	37	-392	64
57	11	-2119	38	0	65
57	12	-3667	39	306	66
-107	13	793	40	99	67
-170	14	4096	41	-170	68
99	15	793	42	-107	69
306	16	-3667	43	57	70
0	17	-2119	44	57	71
-392	18	2550	45	-5	72
-162	19	2785	46	0	73
356	20	-1169	47	4	74
288	21	-2676	48	-29	75
-199	22	0	49	-21	76
-255	23	1989	50	28	77
31	24	640	51	30	78
0	25	-1104	52	-12	79
-38	26	-708	53	-25	80
398	27	389	54	0	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4.4.4 วงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์สตอป

ทางกลุ่มได้ทำการออกแบบวงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์สตอปที่มีความถี่คัทออฟที่ 2.5 และ 2.9 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ใช้วินโดว์แบบไกเซอร์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรเป็นดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองสัญญาณแบบแบนด์สตอปที่มีความถี่คัทออฟที่ 2.5 และ 2.9 กิโลเฮิร์ตซ์ อันดับของวงจรเท่ากับ 81

ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ
-14	1	158	31	490	61
23	2	932	32	33	62
-9	3	-1380	33	-236	63
-6	4	392	34	105	64
0	5	1348	35	0	65
8	6	-2070	36	88	66
16	7	724	37	-165	67
-58	8	1650	38	20	68
50	9	-2690	39	239	69
44	10	1104	40	-299	70
-147	11	1776	41	53	71
119	12	-3122	42	257	72
67	13	1458	43	-312	73
-245	14	1704	44	72	74
200	15	29491	45	200	75
72	16	1704	46	-245	76
-312	17	1458	47	67	77
257	18	-3122	48	119	78
53	19	1776	49	-147	79
-299	20	1104	50	44	80
239	21	-2690	51	50	81
20	22	1650	52	-58	82
-165	23	724	53	16	83
88	24	-2070	54	8	84
0	25	1348	55	0	85

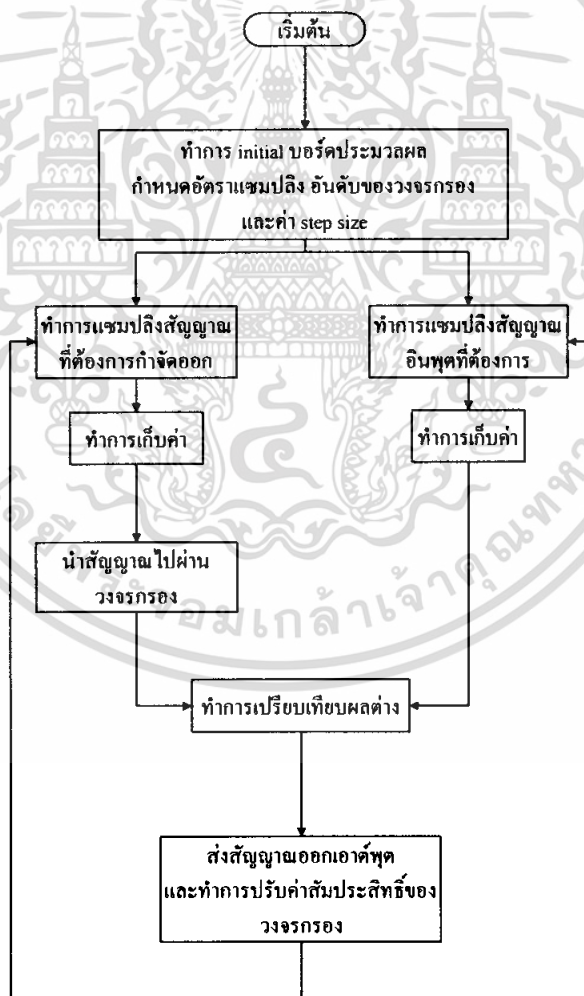
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรวงจรกรองสัญญาณแบบคัสตอปที่มีความถี่คัตออฟที่ 2.5 และ 2.9 กิโลเฮิรตซ์ อันดับของวงจรเท่ากับ 89

ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ	ค่าสัมประสิทธิ์	เลขอันดับ
105	26	392	56	-6	86
-236	27	-1380	57	-9	87
33	28	932	58	23	88
490	29	158	59	-14	89
-740	30	-740	60		

### 3.2 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างระบบกำจัดเสียงรบกวน

#### 3.2.1 การ ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างวงจรวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้



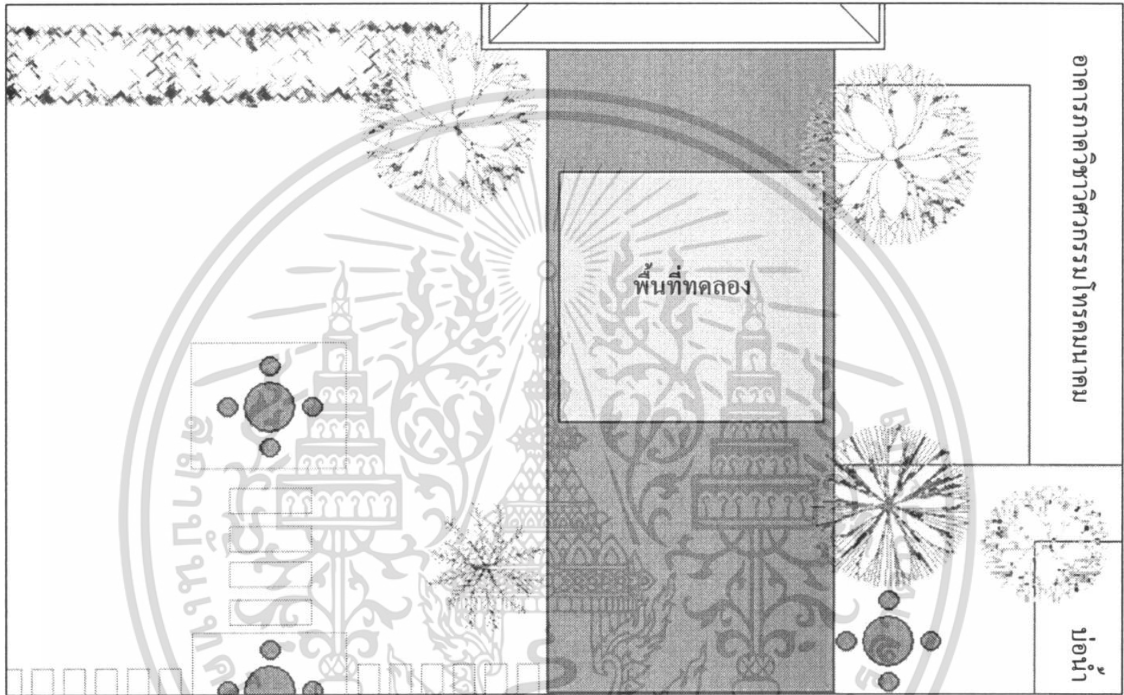
รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ทของการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างวงจรวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การออกแบบและจัดสภาพแวดล้อมในการทดลอง

#### 3.2.2.1 พื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง

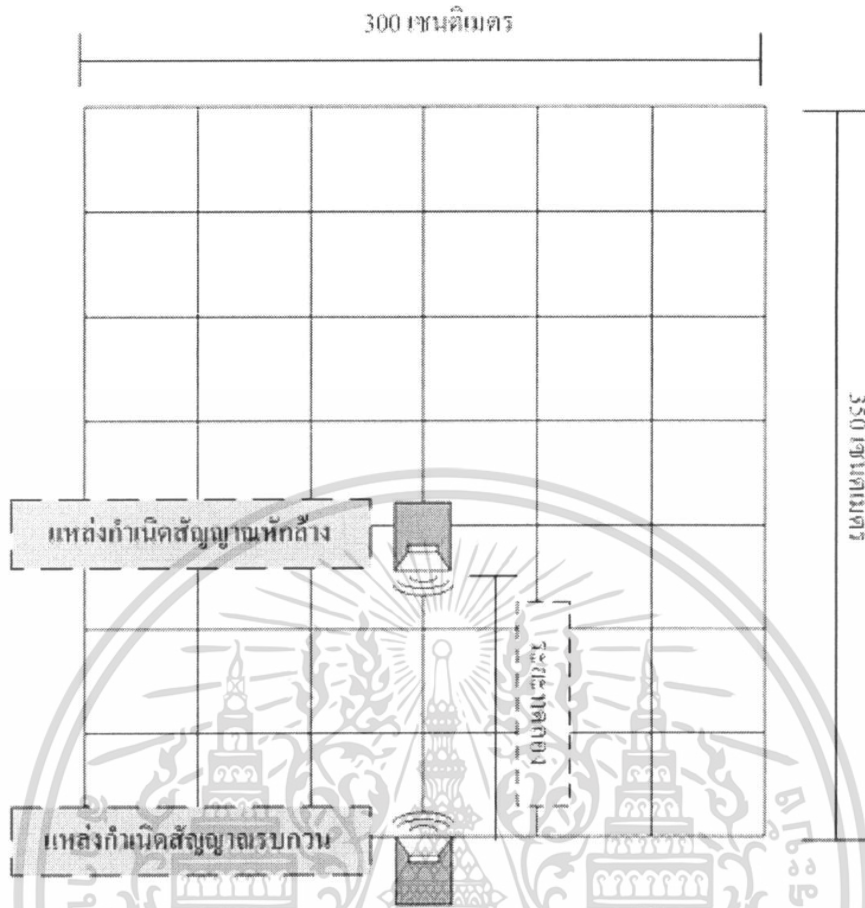
ในการทดลองความสามารถในการกำจัดเสียงรบกวนของระบบนั้นทางกลุ่มไม่สามารถทำการทดลองภายในห้องปิดได้ เพราะห้องทดลองที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไป จึงมีการรบกวนของเสียงสะท้อนค่อนข้างมาก หากจะทำการปรับปรุงห้องทดลองนี้จำเป็นต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เพราะฉะนั้นทางกลุ่มจึงเลือกที่จะทำการทดลองบริเวณที่โล่ง ที่มีผลในการสะท้อนของเสียงค่อนข้างต่ำเปรียบเสมือนกับห้องที่มีการปรับปรุงให้มีการสะท้อนของเสียงน้อย ซึ่งพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

โดยทางกลุ่มได้ทำการออกแบบพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองให้มีขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 3.50 เมตร และทำการแบ่งพื้นที่ทดลองออกเป็น 42 ส่วนเท่าๆ กัน โดยแต่ละส่วนมีขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 0.50 เมตร แล้วเมื่อทำการทดลองจะทำการปรับเปลี่ยนค่าระยะทางระหว่างลำโพงทั้งสอง เพื่อดูความสามารถในการกำจัดเสียงรบกวนของระบบ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของพื้นที่ที่ออกแบบเพื่อใช้ทำการทดลอง

โดยการกำหนดระยะทดลองจะต้องอาศัยการนำค่าหนึ่งเวลาในการประมวลผลของบอร์ดมาคำนวณระยะหัทส์ และระยะในการตั้งไมโครโฟน ตามสมการ

$$S_{mic} = vt + 2s_e$$

โดย ค่า  $t$  มีค่าเท่ากับค่าหนึ่งเวลาในการประมวลผลของบอร์ดมีค่าประมาณ  $124 \mu s$

ค่า  $v$  มีค่าเท่ากับความเร็วเสียงซึ่งมีค่า  $331 \text{ m/s}$

ค่า  $s_e$  คือระยะห่างจากลำโพงกำเนิดสัญญาณหัทส์จนถึงจุดหัทส์ที่ต้องการ

ค่า  $s_{mic}$  คือระยะห่างระหว่างไมโครโฟนและลำโพงกำเนิดสัญญาณหัทส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงและอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเสียง

#### 3.2.3.1 อุปกรณ์กำเนิดเสียง ในโครงการนี้จะใช้ลำโพงที่มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของลำโพงที่ใช้ในการทดลอง

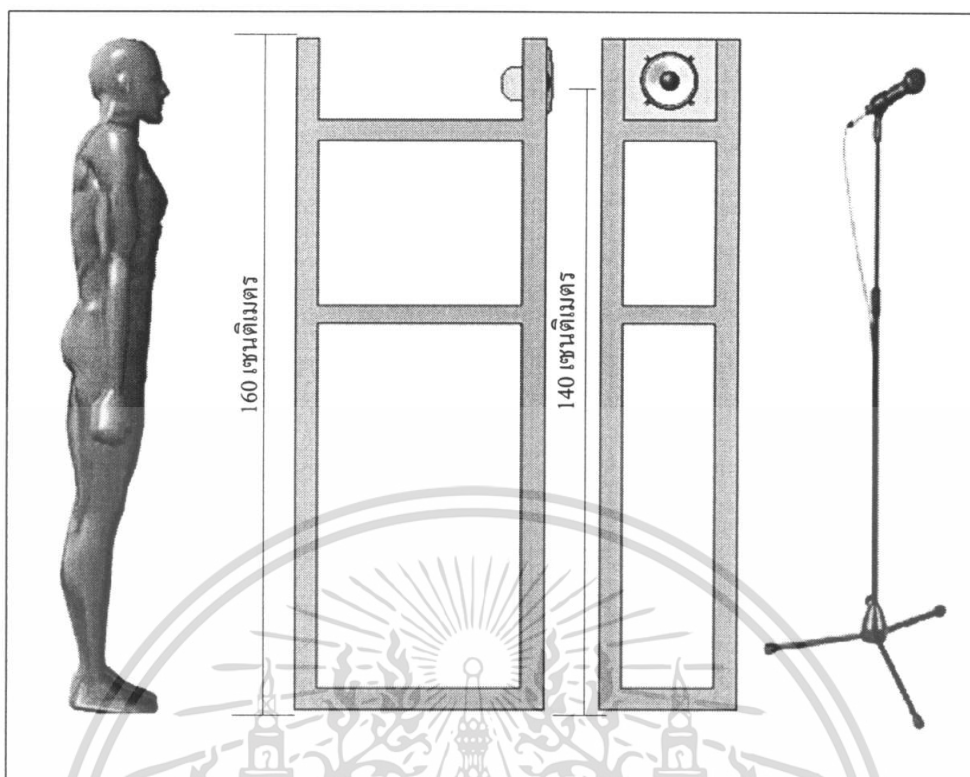
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง	8 นิ้ว
ชนิดของลำโพง	ลำโพงเสียงกลาง
ค่ากำลังงาน	100-150 วัตต์
ค่าอิมพีแดนซ์	8 โอห์ม

#### 3.2.3.2 อุปกรณ์สำหรับตรวจจับสัญญาณเสียงจะใช้ไมโครโฟนแบบไดนามิกที่มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงคุณสมบัติของไมโครโฟนที่ใช้ในการทดลอง

ค่าความไวต่อสัญญาณอินพุต	53dB±3dB
ผลตอบสนองความถี่	0.05-14 กิโลเฮิรตซ์
ทิศทางในการรับสัญญาณ	Uni-directional
ค่าอิมพีแดนซ์	600 โอห์ม
คุณสมบัติพิเศษอื่นๆ	สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากลมได้

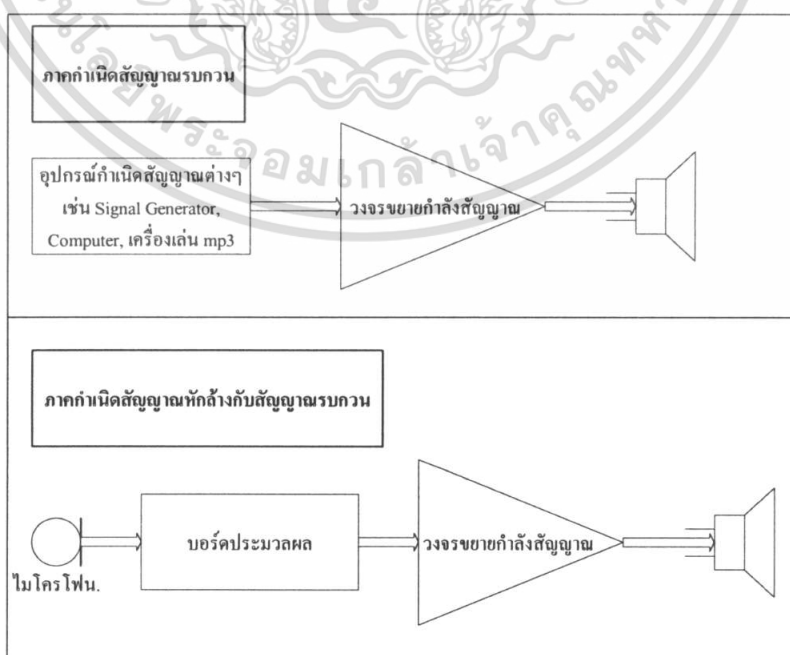
เนื่องจากความสูงโดยเฉลี่ยของคนไทยจะอยู่ที่ประมาณ 150-170 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างช่องหูจนถึงจุดสูงสุดของศีรษะมีค่าประมาณ 20 เซนติเมตร ทางกลุ่มจึงทำการสร้างชั้นวางลำโพงที่มีระดับความสูงเท่ากับ 160 เซนติเมตร และระยะความสูงจากพื้นจนถึงกึ่งกลางลำโพงมีค่าเท่ากับ 140 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงระดับความสูงของไมโครโฟน และลำโพงที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.4 บล็อกไดอะแกรมรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

เมื่อเรานำอุปกรณ์ทั้งหมดที่ได้ออกแบบไว้มาเชื่อมโยงเข้าด้วยกันจะทำให้ระบบนี้มีความสามารถที่จะทำงานตามที่ต้องการได้ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังรูป 3.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

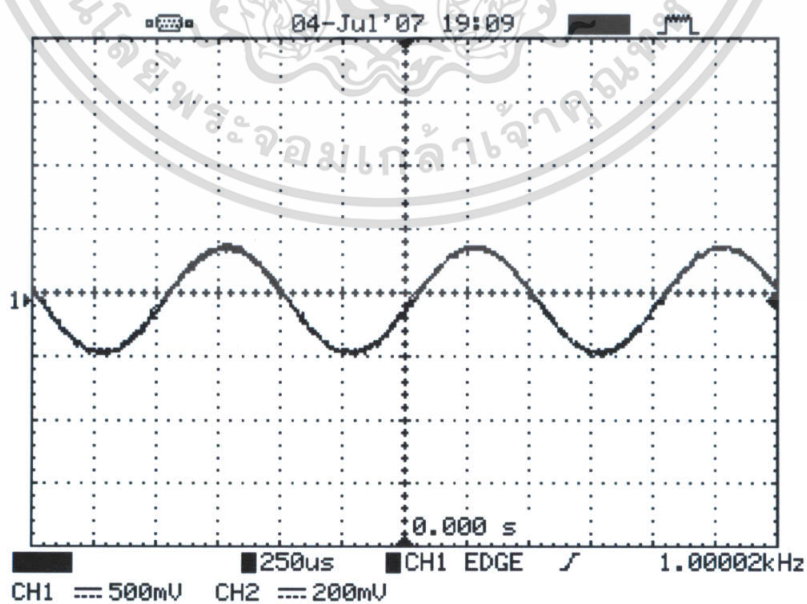
#### 4.1 การทดลองสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

##### วิธีการทดลอง

1. ทำการเขียนโปรแกรมตามภาคผนวก ก. และดาวน์โหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด
2. ทำการเชื่อมต่อบอร์ดประมวลผลเข้ากับออสซิลโลสโคป
3. ทำการกดสวิทช์ 0 และวัดสัญญาณที่ได้จากช่องต่อเอาต์พุตของบอร์ดประมวลผล



รูปที่ 4.1 แสดงไฟแสดงสถานะของสวิทช์ 0



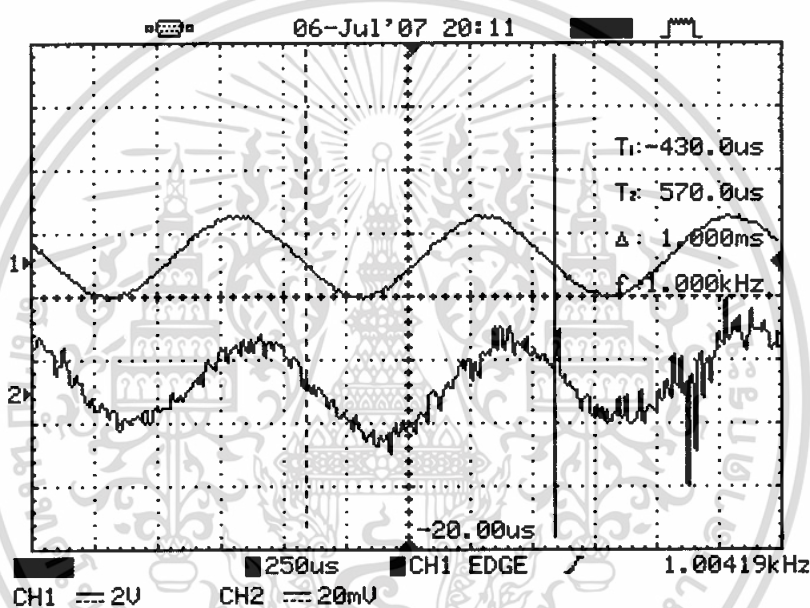
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณไซน์ที่สร้างจากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดลองนำสัญญาณเข้าและออกจากบอร์ดประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

##### วิธีการทดลอง

1. ทำการเขียนโปรแกรมตามภาคผนวก ข. และดาวน์โหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด
2. ทำการเชื่อมต่อไมโครโฟนเข้าที่ช่องเชื่อมต่อสัญญาณอินพุต และเชื่อมต่อออสซิลโลสโคปที่ช่องเอาต์พุต
3. ทำการเชื่อมต่อลำโพงเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่กำเนิดสัญญาณไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 2.5 โวลต์จากขดถึงขด
4. ทำการหันหน้าลำโพงไปยังทิศทางที่ไมโครโฟนสามารถรับสัญญาณได้
5. ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากช่องต่อเอาต์พุตของบอร์ด

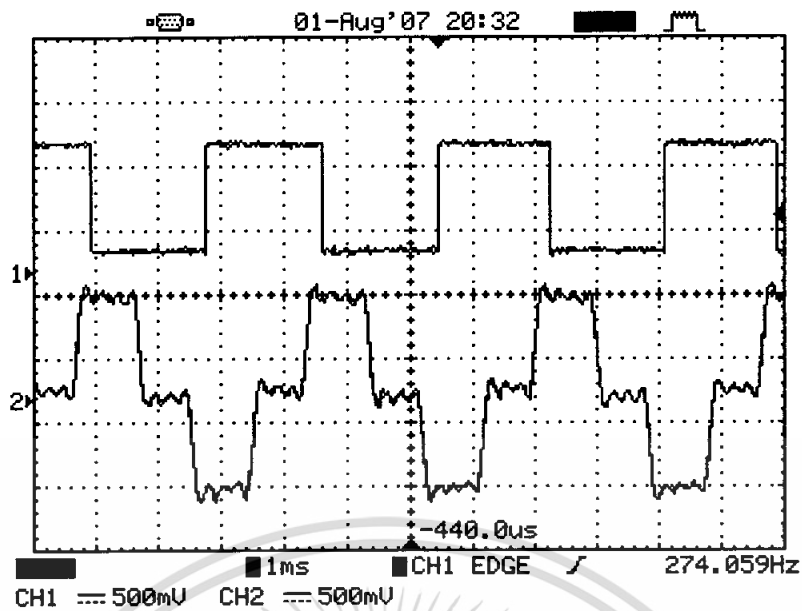


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณไซน์ที่ได้จากเอาต์พุตของบอร์ดเมื่อใช้สัญญาณอินพุตจากไมโครโฟน  
บน - อินพุต ล่าง - เอาต์พุต

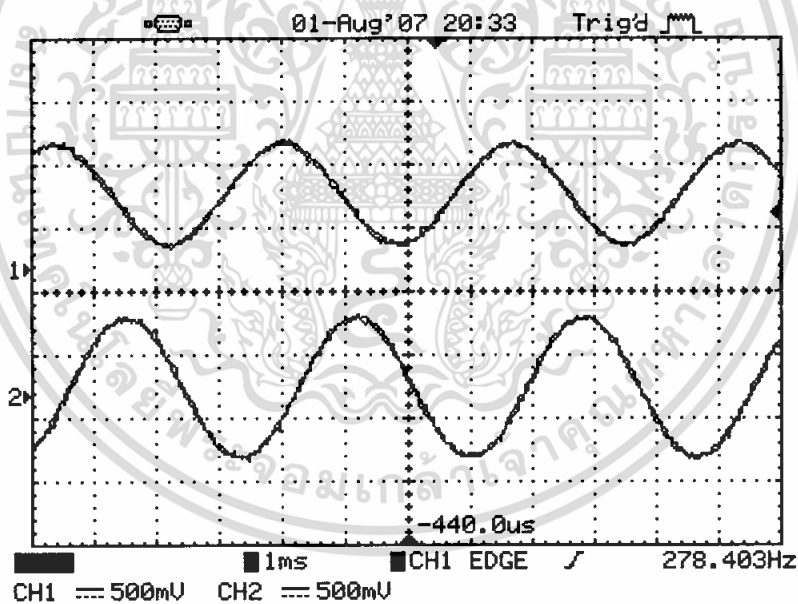
#### 4.3 การทดลองทำการสร้างสัญญาณเสียงก้องจากสัญญาณอินพุต

##### วิธีการทดลอง

1. ทำการเขียนโปรแกรมตามภาคผนวก ค. และดาวน์โหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด
2. ทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ช่องอินพุต และเชื่อมต่อออสซิลโลสโคปเข้าที่ช่องเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุต
3. ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ สีเหลือง และสามเหลี่ยม ตามลำดับ
4. ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากช่องต่อเอาต์พุตของบอร์ด

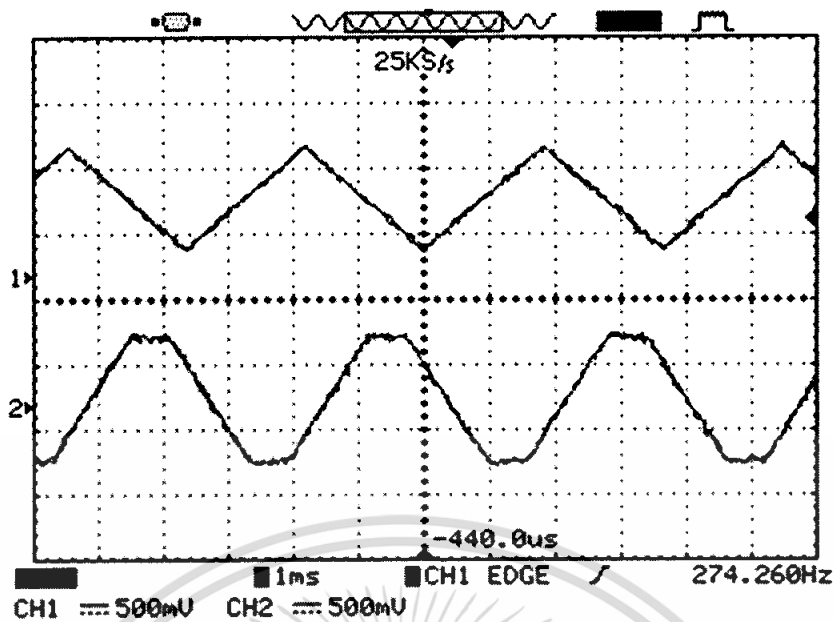


รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเป็นสัญญาณอินพุต  
บน - อินพุต      ล่าง - เอาต์พุต



รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปไซน์เป็นสัญญาณอินพุต  
บน - อินพุต      ล่าง - เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการป้อนสัญญาณรูปสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณอินพุต  
บน - อินพุต ล่าง - เอาต์พุต

#### 4.4 การทดลองการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณ FIR ในแบบต่างๆ

##### วิธีการทดลอง

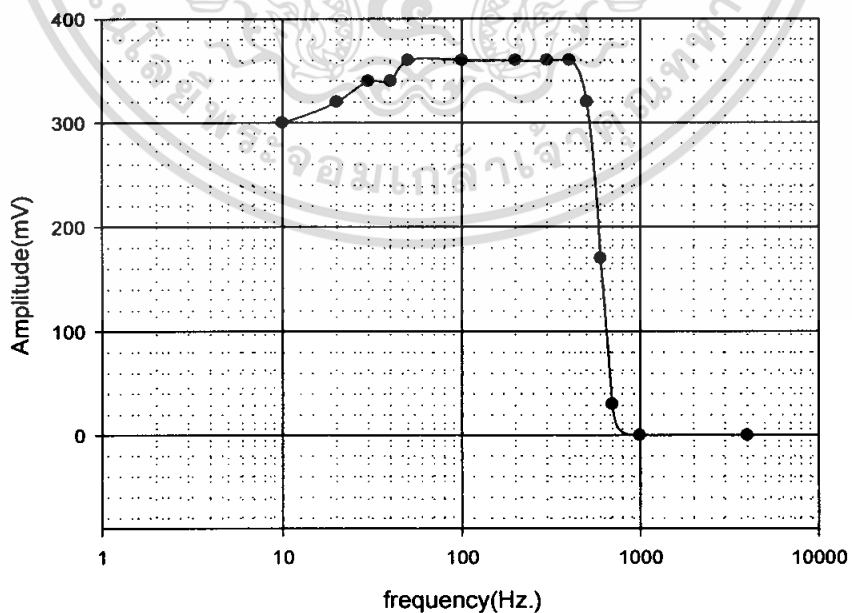
1. ทำการเขียน โปรแกรมตามภาคผนวก ง. และดาวน์โหลดโปรแกรมลงบนบอร์ด
2. ทำการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ช่องอินพุต และเชื่อมต่อออสซิลโลสโคปเข้าที่ช่องเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุต
3. ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ ที่มีความถี่ที่แตกต่างกัน
4. ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากช่องต่อเอาต์พุตของบอร์ด
5. ทำการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1 วงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต  
กับความถี่อินพุตของวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน

ความถี่ (เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน (มิลลิโวลต์:mV)
10	300
20	320
30	340
40	340
50	360
100	360
200	360
300	360
400	360
500	320
600	170
700	30
1000	0



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต

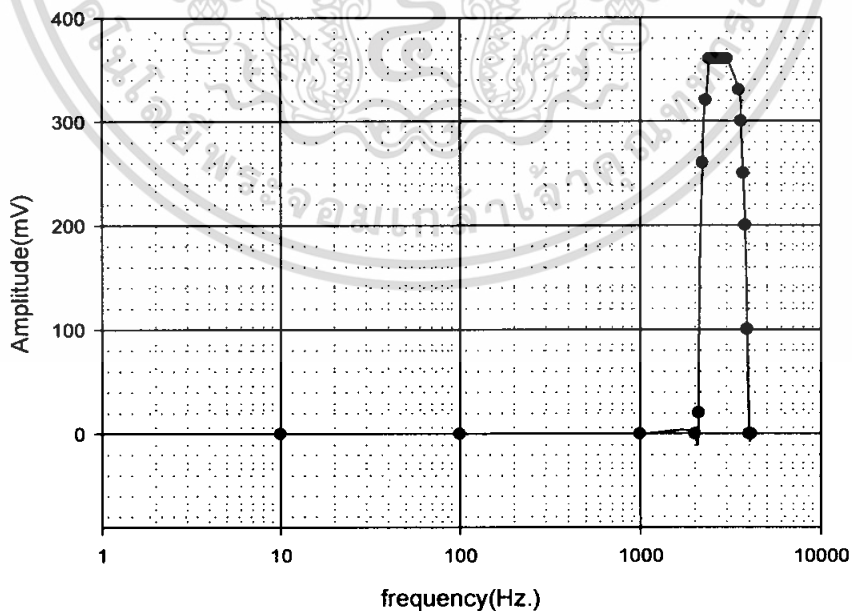
ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆ ของวงจรกรองแบบความถี่ต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 วงจรกรองแบบความถี่สูงผ่าน

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต  
กับความถี่อินพุตของวงจรกรองแบบความถี่สูงผ่าน

ความถี่ (เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน (มิลลิโวลต์)	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน มิลลิโวลต์)
0	0	2700	360
10	0	2800	360
100	0	2900	360
1000	0	3000	360
2000	0	3500	330
2100	20	3600	300
2200	260	3700	250
2300	320	3800	200
2400	360	3900	100
2500	360	4000	0
2600	360	4100	0



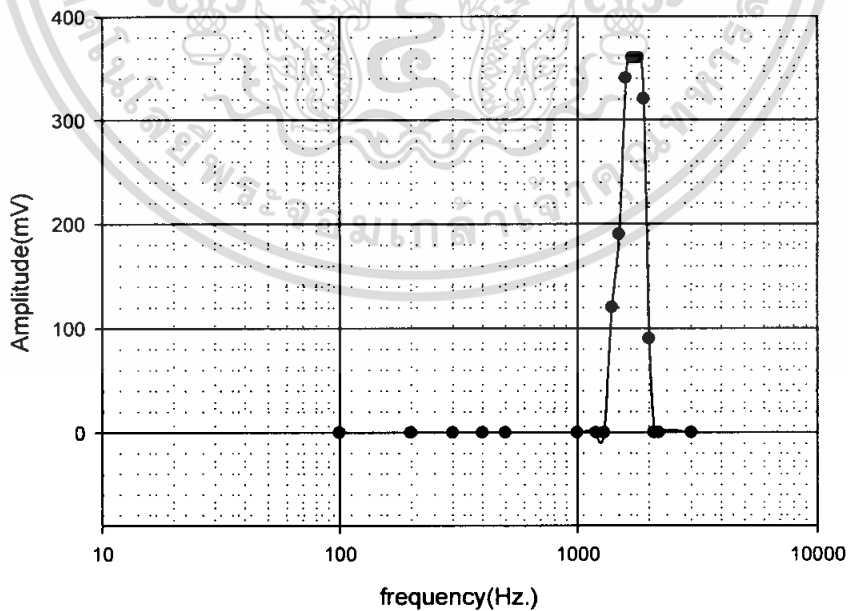
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต  
ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบความถี่สูงผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 วงจรกรองแบบแบนด์พาส

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต  
กับความถี่อินพุตของวงจรกรองแบบแบนด์พาส

ความถี่ (เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน (มิลลิโวลต์)	ความถี่ (เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน (มิลลิโวลต์)
100	0	1500	190
200	0	1600	340
300	0	1700	360
400	0	1800	360
500	0	1900	320
1000	0	2000	90
1200	0	2100	0
1300	0	2200	0
1400	120	3000	0



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุตที่ความถี่

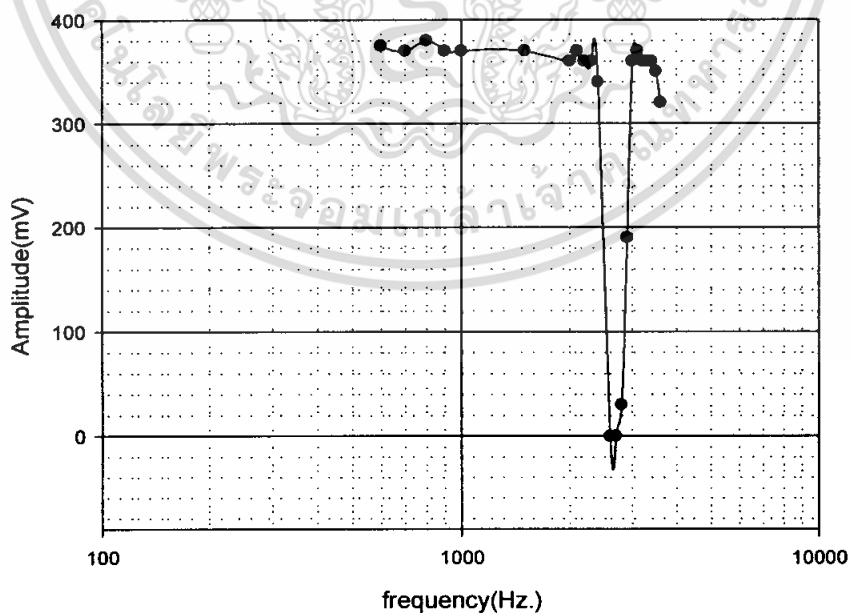
ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบแบนด์พาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 วงจรกรองแบบแบนด์สตอป

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของสัญญาณเอาต์พุต  
กับความถี่อินพุตของวงจรกรองแบบแบนด์สตอป

ความถี่(เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน(มิลลิโวลต์)	ความถี่(เฮิรตซ์)	ระดับแรงดัน(มิลลิโวลต์)
600	375	2600	0
700	370	2700	0
800	380	2800	30
900	370	2900	190
1000	370	3000	360
1500	370	3100	370
2000	360	3200	360
2100	370	3300	360
2200	360	3400	360
2300	360	3500	350
2400	340	3600	320



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเอาต์พุต  
ที่ความถี่ของสัญญาณอินพุตต่างๆของวงจรกรองแบบแบนด์สตอป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

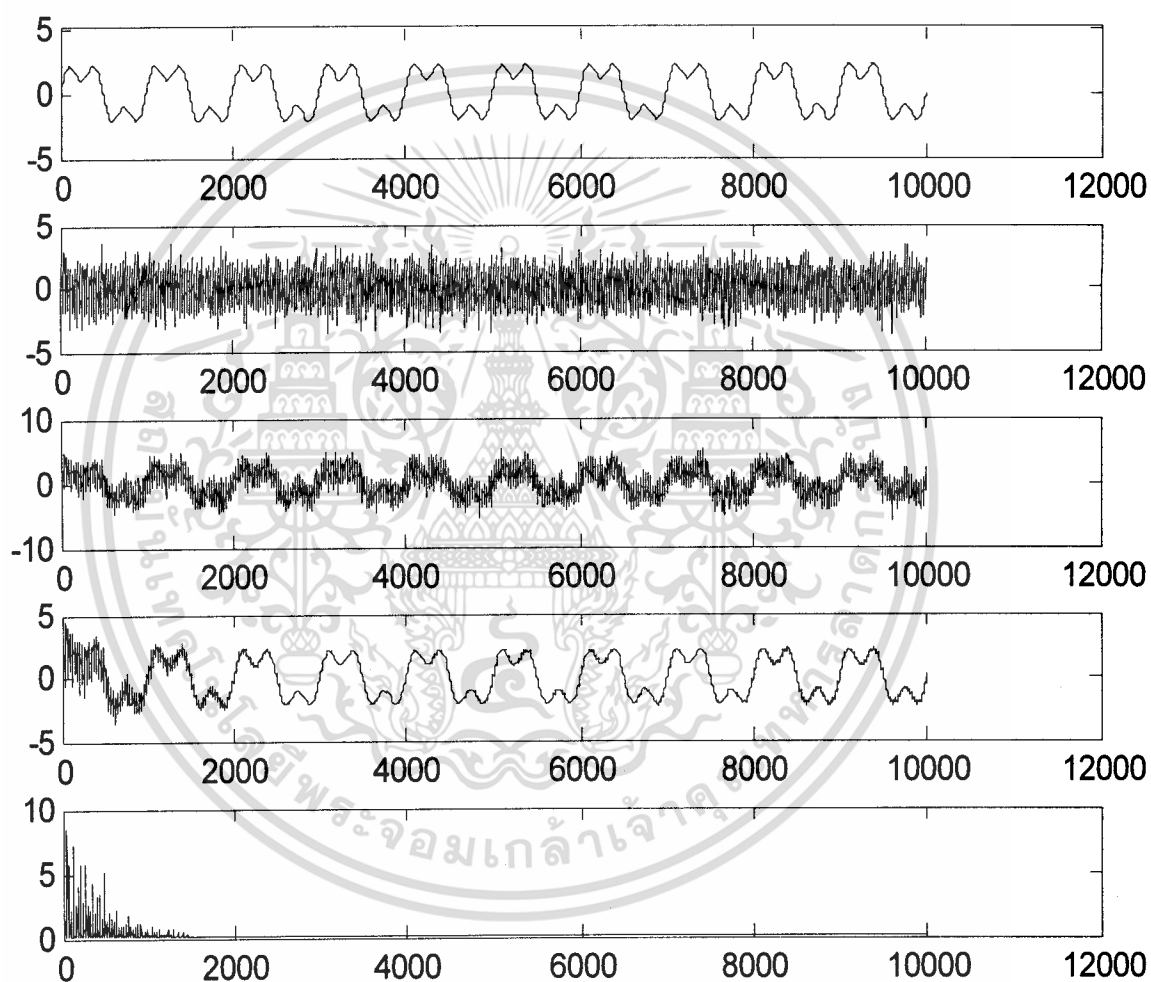
#### 4.5 การทดลองของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

ในส่วนของการทดลองนี้ทางกลุ่มได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

##### 4.5.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ

###### วิธีการทดลอง

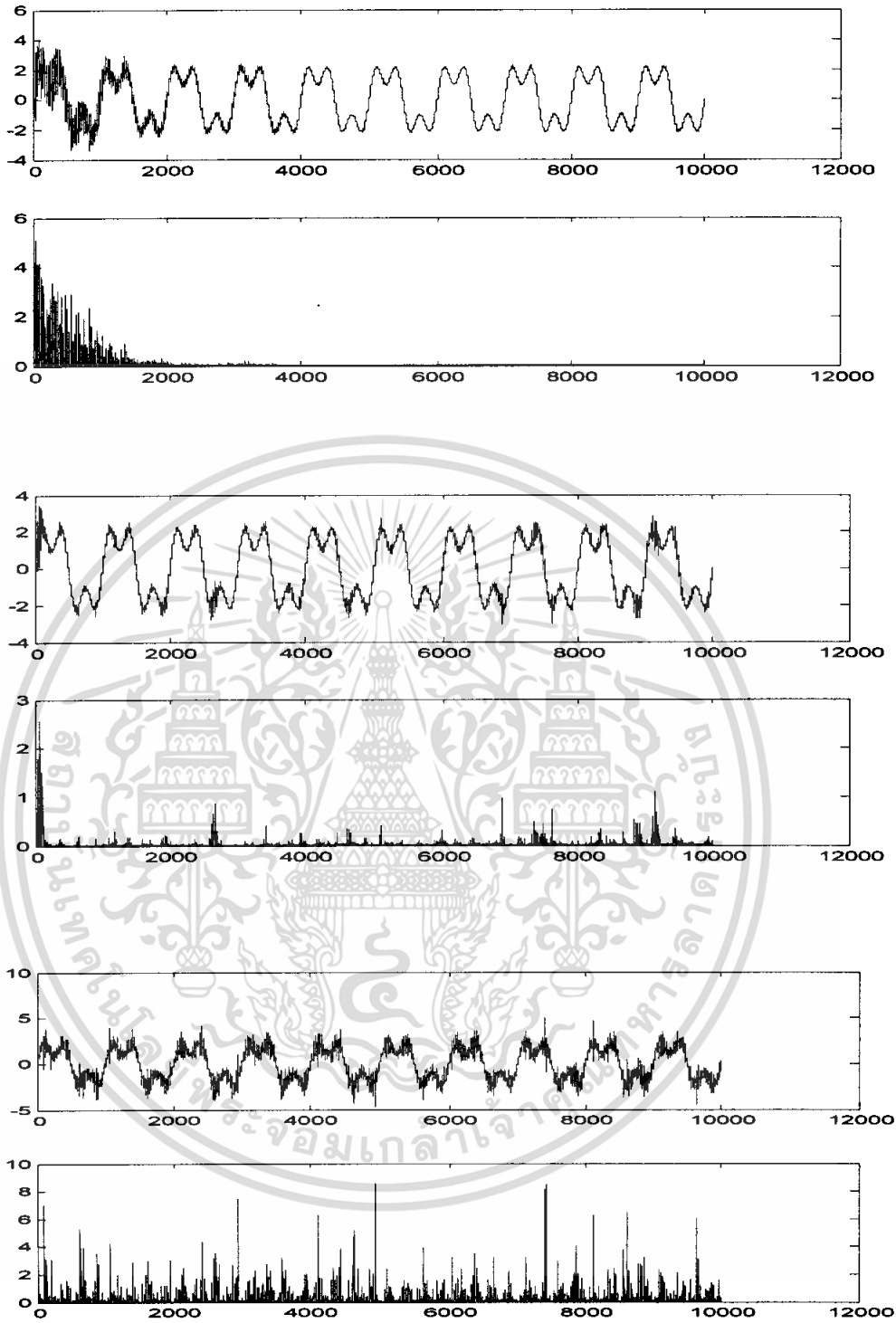
1. ทำการเขียน โปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรกรองตามภาคผนวก จ. โดยออกแบบให้วงจรกรองมีค่าสเตรปไซส์เท่ากับ 0.001 และมีอันดับเท่ากับ 1
2. ทำการเปลี่ยนแปลงค่าสเตรปไซส์แล้วศึกษาผลที่ได้



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณต่างๆ ที่ถูกป้อนให้กับวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

จากบนลงล่าง สัญญาณที่ต้องการ, สัญญาณรบกวน,  
ผลรวมระหว่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณที่ต้องการ, สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรอง,  
กราฟแสดงผลต่างแบบกำลังสองระหว่างสัญญาณที่ต้องการและสัญญาณเอาต์พุตของบอร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสเปกตรัมต่างๆ ที่มีผลต่อวงจรกรอง จากบนลงล่าง 0.001, 0.01, 0.1

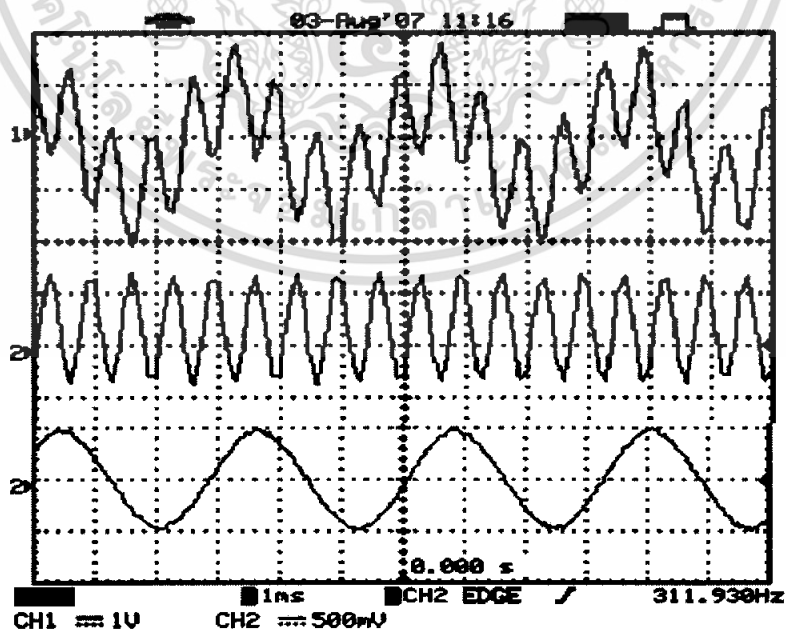
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวงจรกรองที่มีค่าสเปกตรัมต่างๆ จะมีความสามารถในการปรับตัว ได้ดีกว่าวงจรกรองที่มีค่าสเปกตรัมสูงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 การทดลองการทำงานและความสามารถของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้บอร์คประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

##### วิธีการทดลอง

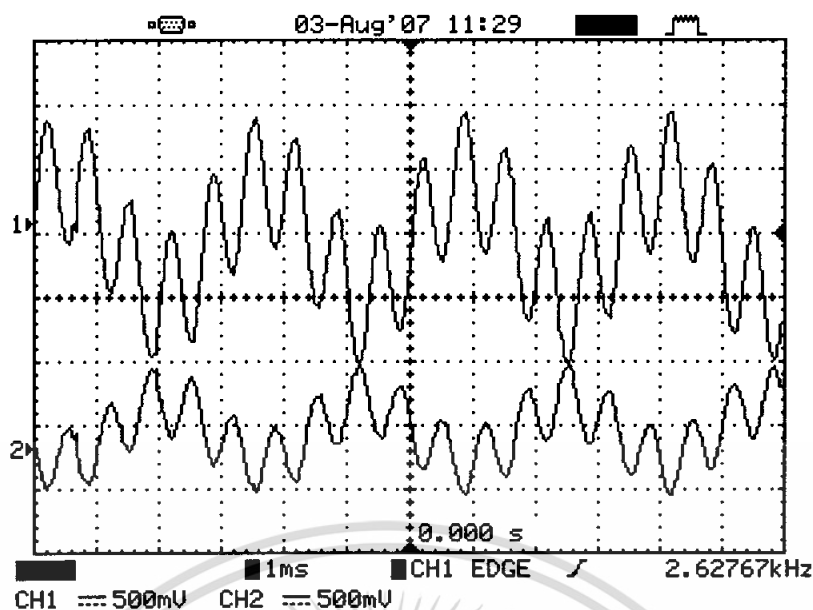
1. ทำการต่อวงจรบวกสัญญาณไม่กลับเฟสดังรูปที่ 3.6 แล้วทำการเขียนโปรแกรมตามภาคผนวกจ. แล้วทำการป้อนอินพุตที่ตำแหน่งของอินพุตทั้งสองด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ
2. ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่งเอาต์พุตของวงจรบวกสัญญาณแบบกลับเฟส และเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณกลับเฟส ซึ่งเป็นวงจรร้อยของวงจรบวกสัญญาณแบบไม่กลับเฟส
3. นำสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรบวกสัญญาณแบบไม่กลับเฟส และสัญญาณที่ต้องการกำจัดออกต่อเข้ากับอินพุตของบอร์คประมวลผล
4. ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเทียบกับสัญญาณอินพุตของวงจร แล้วทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณ
5. ทำการเปลี่ยนสัญญาณรบกวนให้เป็นสัญญาณรบกวนแบบสุ่ม แล้วทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณ
6. ทำการเปลี่ยนสัญญาณรบกวนให้เป็นสัญญาณเสียงเพลงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วบันทึกผลเปรียบเทียบคุณภาพ แล้วทำการสลับสัญญาณรบกวน กับสัญญาณที่ต้องการแล้วบันทึกผล
7. ทำการต่อวงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีอัตราขยายเท่ากับ 101 เท่า โดยปล่อยขาอินพุตลอยไว้เพื่อใช้เป็นสัญญาณรบกวนอ้างอิงของวงจรกรอง และทำการปล่อยขาอินพุตของวงจรบวกสัญญาณลอยไว้ เพื่อทดสอบการใช้สัญญาณรบกวนที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ระหว่างสัญญาณรบกวนที่ต้องการกำจัดออก และสัญญาณรบกวนอ้างอิง



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรบวกสัญญาณแบบกลับเฟส

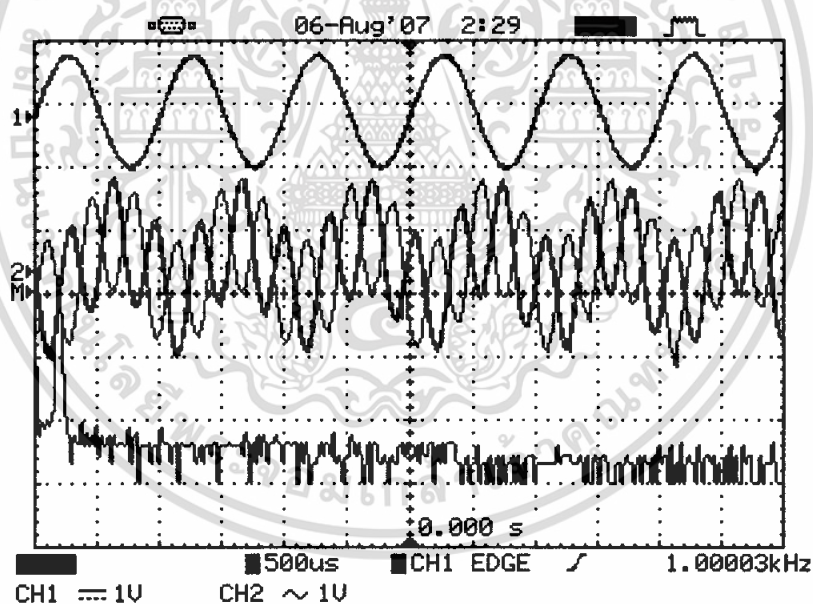
บน – เอาต์พุต กลาง,ล่าง – อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณกลับเฟสที่มีอัตราขยาย 0.5 เท่า

บน - อินพุต      ล่าง - เอาต์พุต



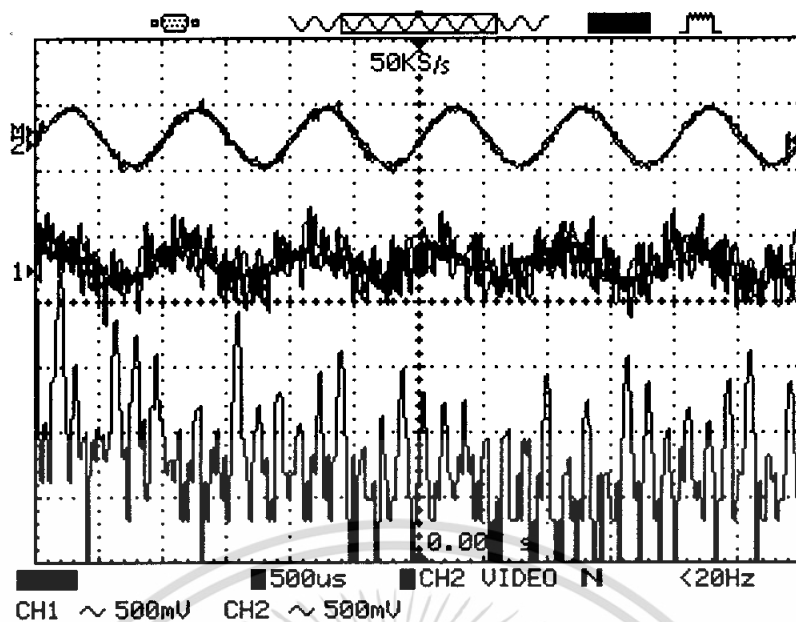
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

บน - เอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

กลาง - อินพุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้

ล่าง - สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



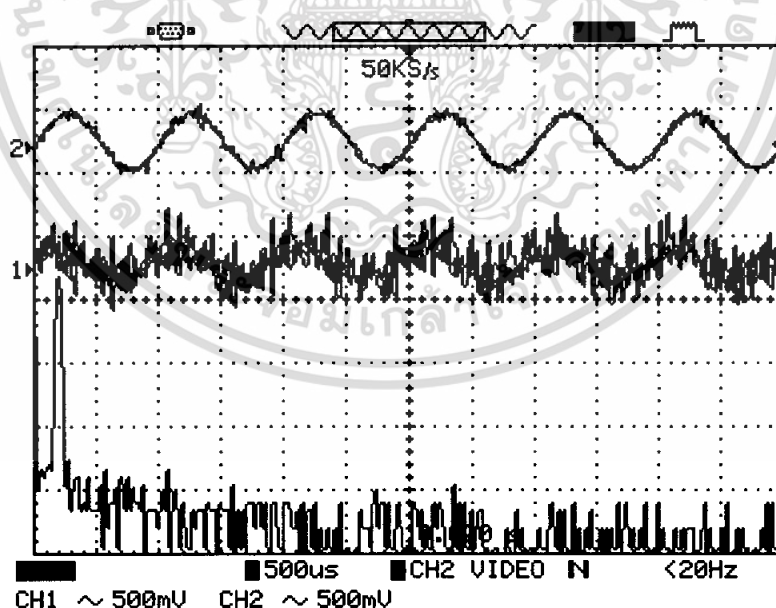
รูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้

สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม

บน - สัญญาณเอาต์พุต

กลาง - สัญญาณอินพุต

ล่าง - สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณอินพุต (SNR = 20 เดซิเบล)



รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้

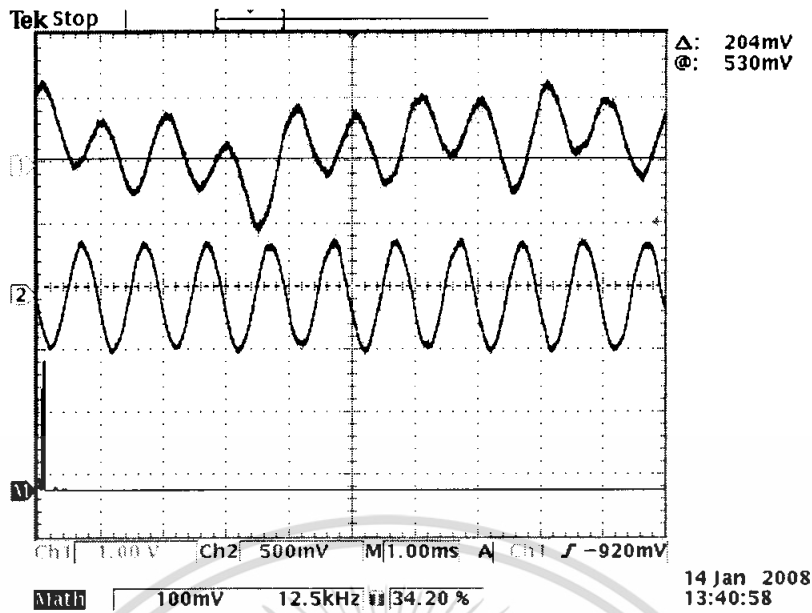
สัญญาณรบกวนแบบสุ่ม

บน - สัญญาณเอาต์พุต

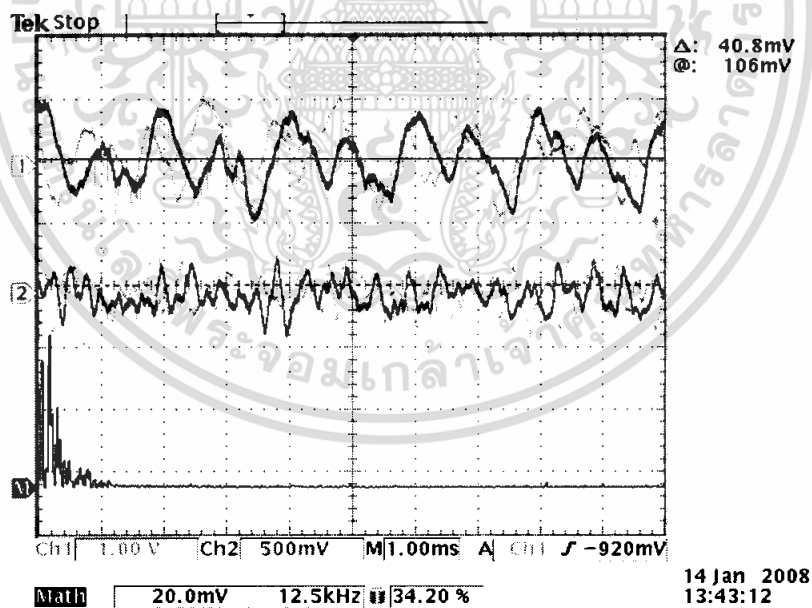
กลาง - สัญญาณอินพุต

ล่าง - สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต (SNR = 32 เดซิเบล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา โดยผู้จัดทำขึ้นเป็นประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

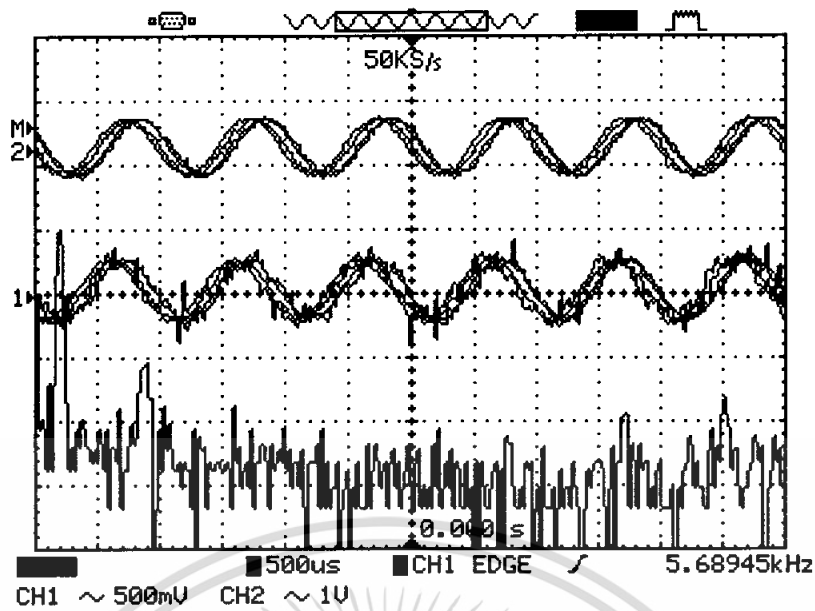


รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณเสียงเพลง และสัญญาณที่ต้องการเป็นสัญญาณรูปไซน์ (บน) – สัญญาณอินพุต (กลาง) – สัญญาณเอาต์พุตเมื่อกรองเสียงเพลงออก (ล่าง) - สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้สัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณรูปไซน์ และสัญญาณที่ต้องการเป็นสัญญาณเสียงเพลง (บน) – สัญญาณอินพุต (กลาง) – สัญญาณเอาต์พุตเมื่อกรองสัญญาณรูปไซน์ออก (ล่าง) - สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

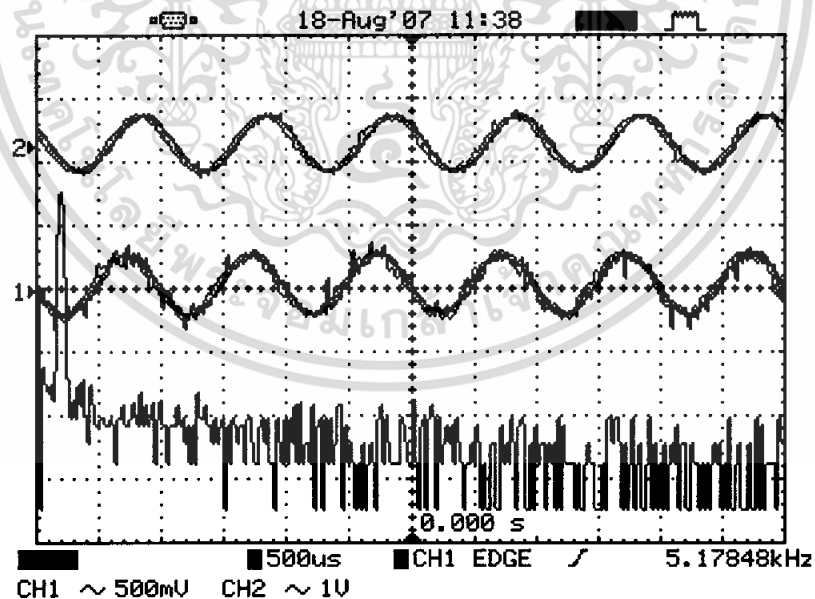


รูปที่ 4.20 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์กันสัญญาณรบกวนที่ต้องการกำจัดออก และสัญญาณรบกวนอ้างอิง

บน - สัญญาณเอาต์พุต

กลาง - สัญญาณอินพุต

ล่าง - สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณอินพุต (SNR = 20 เดซิเบล)



รูปที่ 4.21 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้โดยใช้สัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่ไม่มีความสัมพันธ์กันสัญญาณรบกวนที่ต้องการกำจัดออก และสัญญาณรบกวนอ้างอิง

บน - สัญญาณเอาต์พุต

กลาง - สัญญาณอินพุต

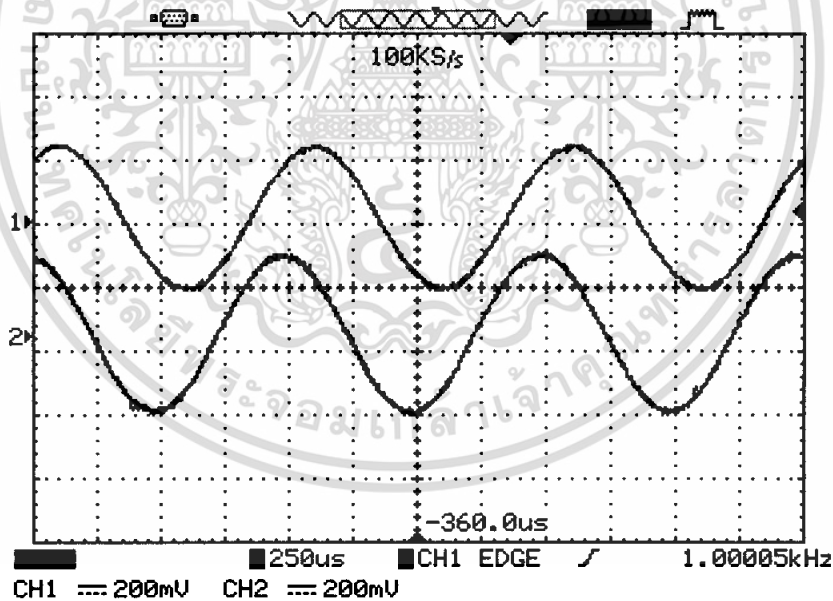
ล่าง - สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต (SNR = 32 เดซิเบล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองหาค่าหน่วยเวลาในการประมวลผล, การสร้างสัญญาณกลับเฟสจากบอร์ดประมวลผล และการหาคุณสมบัติความถี่พียงทางฮาร์โมนิกของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง  
วิธีการทดลอง

1. ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นอินพุตที่ต้องการของบอร์ดประมวลผล และป้อนสัญญาณไฟตรง ที่มีระดับแรงดัน 0 โวลต์ เป็นอินพุตที่ต้องการกำจัดออกของบอร์ดประมวลผล
2. ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากบอร์ดประมวลผล และคำนวณค่าหน่วยเวลาที่บอร์ดใช้ไป จากนั้นทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณเอาต์พุตเพื่อหาค่าความถี่พียงทางฮาร์โมนิกรวม
3. ทำการปรับค่าอัตราขยายบนโปรแกรมที่เขียน โดยกำหนดให้อัตราขยายมีค่าเป็นลบเพื่อสร้างสัญญาณที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต
4. ทำการทดสอบวงจรขยายสัญญาณที่ใช้ โดยทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นอินพุต จากนั้นทำการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อหาค่าความถี่พียงทางฮาร์โมนิกรวม
5. ทำการทดสอบไมโครโฟนที่ใช้ โดยทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นอินพุต จากนั้นทำการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อหาค่าความถี่พียงทางฮาร์โมนิกรวม

การทดลองหาค่าหน่วยเวลา



รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่เข้าและออกจากบอร์ดประมวลผล  
(บน- เอาต์พุต ล่าง - อินพุต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าสัญญาณจะถูกหน่วงเวลาไปประมาณ  $124\mu s$  ซึ่งเมื่อคำนวณหาระยะในการตั้งไมโครโฟนจะได้ดังนี้

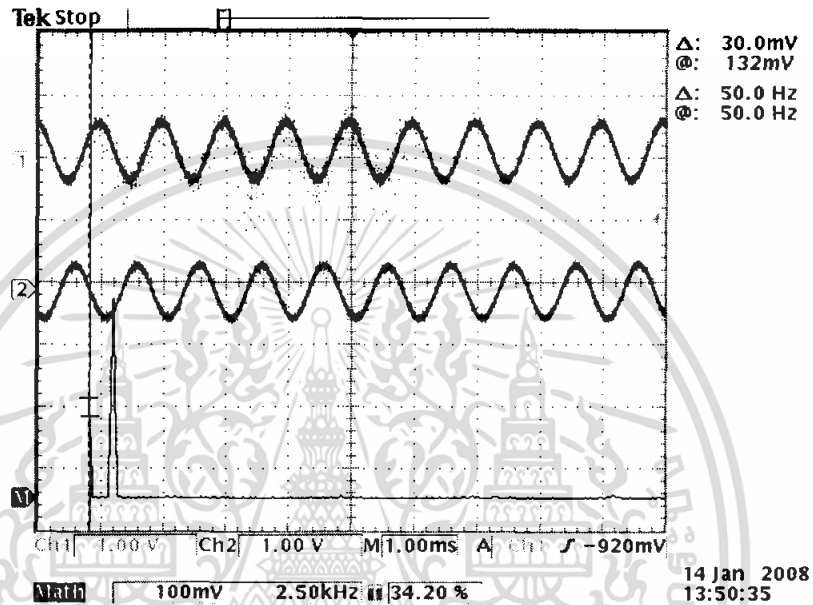
$$s = vt$$

$$s = 331 \times 124 \times 10^{-6}$$

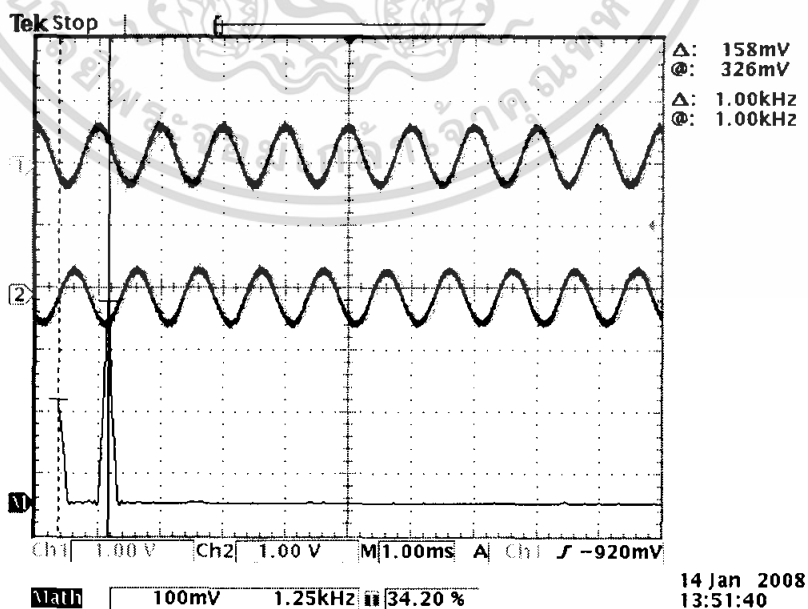
$$v = 331 \text{ m/s}$$

การทดลองหาค่าความเพี้ยนของระบบ

### 1. บอร์ดประมวลผล



รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของบอร์ดประมวลผล

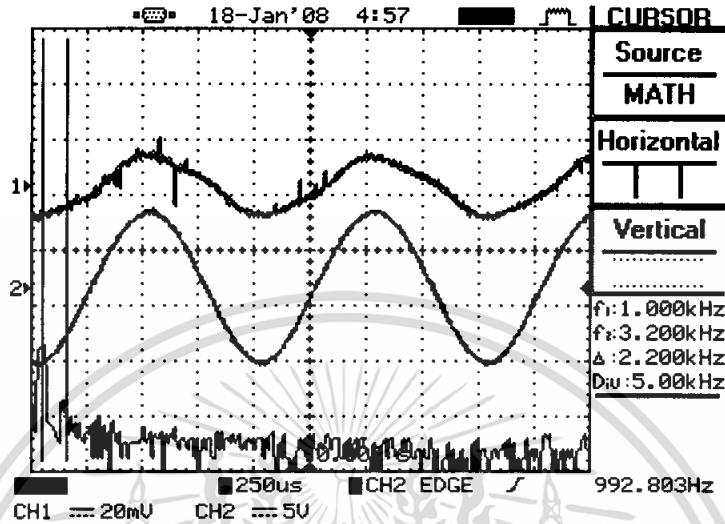


รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของบอร์ดประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 เราจะเห็นแค่เพียงสเปกตรัมของสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตเท่านั้น เพราะฉะนั้น บอร์ดประมวลผลนี้มีค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมเท่ากับศูนย์ หรือไม่มีความผิดเพี้ยนทางฮาร์โมนิก

## 2. ไมโครโฟน



รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของไมโครโฟน

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่ได้จากไมโครโฟนนั้นมีความผิดเพี้ยนค่อนข้างสูง ซึ่งค่าความเพี้ยนรวมทางฮาร์โมนิกของไมโครโฟนนี้คือ 0.001

## 4.7 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน

4.7.1 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน โดยกำหนดให้มีการหักล้างที่บริเวณด้านหน้าของลำโพงกำเนิดสัญญาณหักล้าง

### วิธีการทดลอง

1. ทำการจัดสภาพแวดล้อมและเตรียมพื้นที่ตามรูปที่ 3.12 โดยเลือกกระยะทดลองให้เกิดการหักล้างกันของเสียงที่หน้าลำโพง และใช้อัตราขยายของซอฟต์แวร์ที่ 33.962
2. ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ให้กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน แล้วอ่านค่าระดับความดังเสียงขณะนั้น
3. ทำการเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวนแล้วบันทึกผลที่ได้
4. ทำการเลื่อนเครื่องวัดระดับเสียงไปที่ระยะต่างๆ บันทึกผลที่ได้
5. ทำการปรับค่าอัตราขยายดังนี้ บันทึกผลที่ได้
6. ทำการทดลองดังข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน และสัญญาณเสียงดนตรีตามลำดับ
7. ทำการทดลองดังข้อ 2-6 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนสัญญาณหักล้าง เป็นสัญญาณไม่กลับเฟสแล้วบันทึกผล

ผล

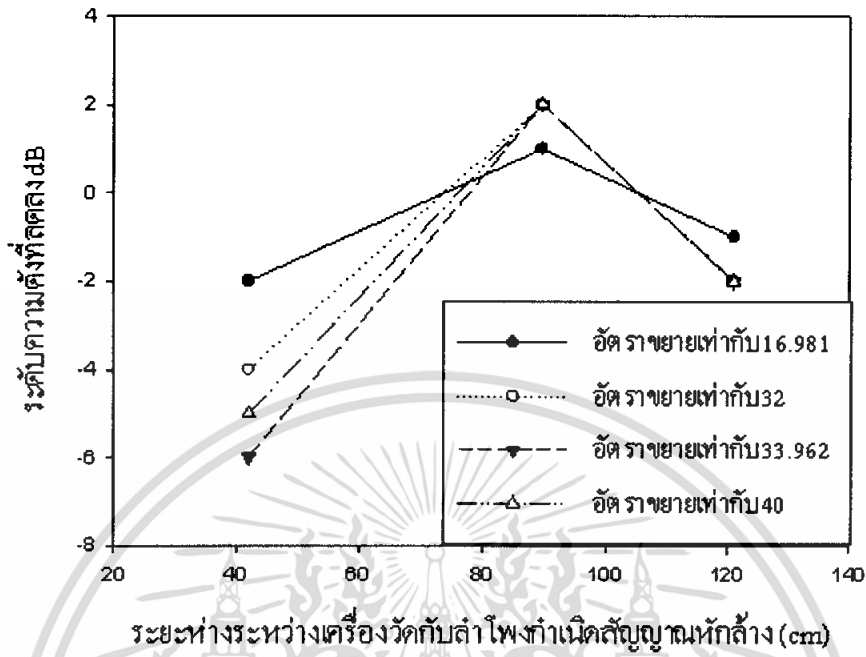
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน โดยกำหนดให้มีการหักล้างที่บริเวณ  
ด้านหน้าของลำโพงกำเนิดสัญญาณหักล้าง

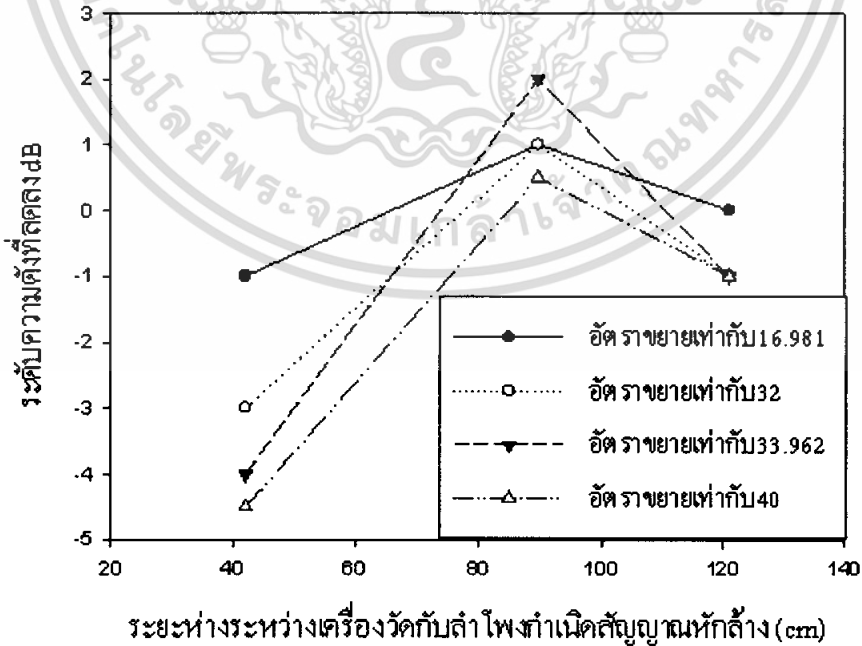
สัญญาณที่ใช้	ระยะห่าง จากลำโพง อัตราขยาย	42 เซนติเมตร			89.5 เซนติเมตร			121 เซนติเมตร		
		ปิด ระบบ	เปิด ระบบ	ผลต่าง	ปิด ระบบ	เปิด ระบบ	ผลต่าง	ปิด ระบบ	เปิด ระบบ	ผลต่าง
1 ก็โดเซิร์ตซ์	16.981	96	98	-2	94	93	1	98	99	-1
	32	96	100	-4	95	93	2	98	100	-2
	33.962	95	101	-6	94	92	2	98	100	-2
	40	96	101	-5	95.5	93.5	2	98	100	-2
เสียง เครื่องบิน	16.981	93	94	-1	94	93	1	96	96	0
	32	93	96	-3	94	93	1	96	97	-1
	33.962	93	97	-4	94	92	2	96	97	-1
	40	93	97.5	-4.5	94	93.5	0.5	96	97	-1
เสียง คนตรี	16.981	86	87	-1	86	85	1	87.5	88	-0.5
	32	86	89	-3	85.5	84.5	1	88	88.5	-0.5
	33.962	86	89	-3	86	84	2	88	89	-1
	40	85	89	-4	86	86	0	88	88.5	-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าผลต่างที่ได้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.24

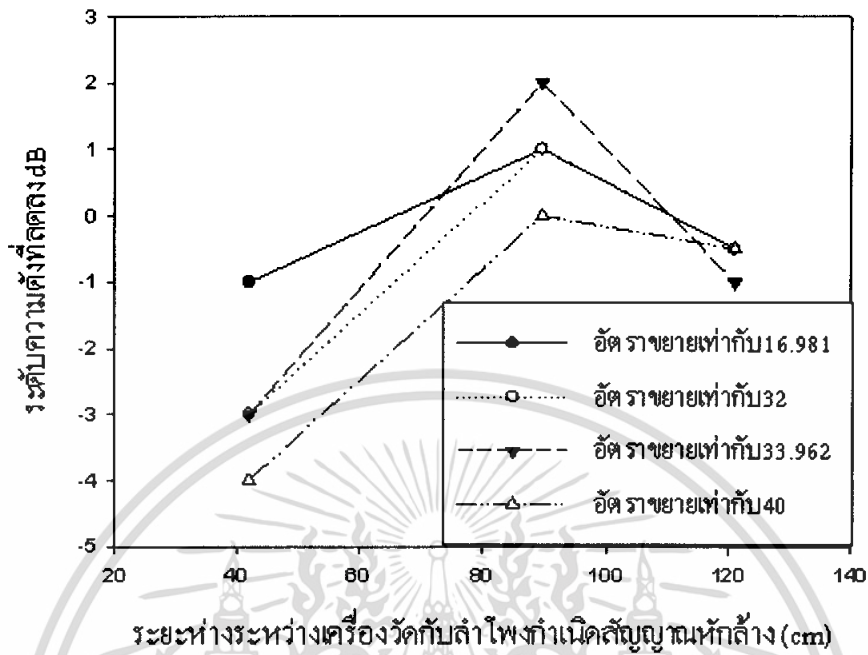


รูปที่ 4.26 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์



รูปที่ 4.27 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



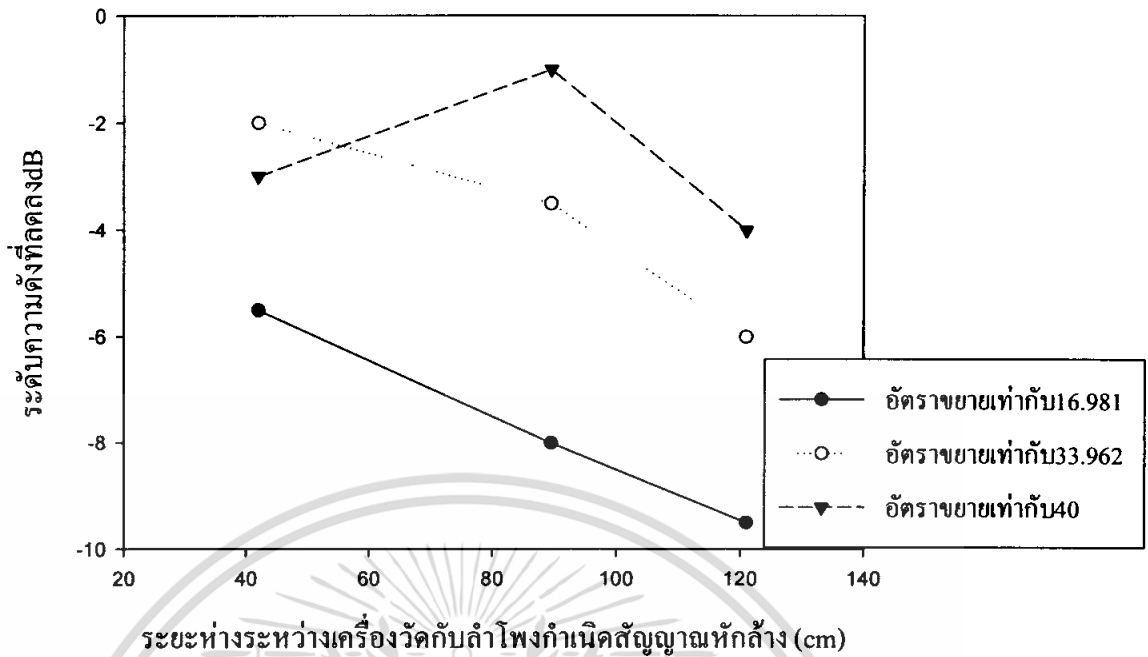
รูปที่ 4.28 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงดนตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

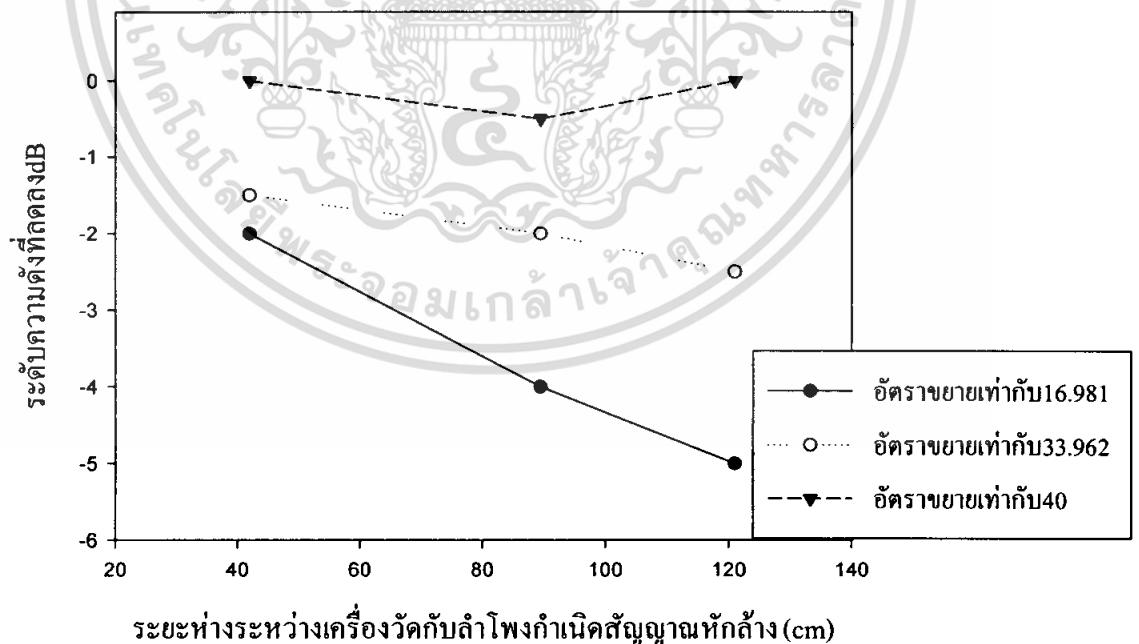
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดลองเมื่อใช้สัญญาณหักล้างแบบไม่กลับเฟส

สัญญาณที่ใช้	ระยะห่างจากลำโพง	40			89.5			120		
		เปิดระบบ	ปิดระบบ	ผลต่าง	เปิดระบบ	ปิดระบบ	ผลต่าง	เปิดระบบ	ปิดระบบ	ผลต่าง
1kHz	16.981	100	105.5	-5.5	93	95	-2	104	107	-3
	33.962	101	109	-8	86	89.5	-3.5	105	106	-1
	40	102	111.5	-9.5	93	99	-6	106	110	-4
เสียง เครื่องบันทึก	16.981	102	104	-2	94.5	96	-1.5	96.5	96.5	0
	33.962	92	96	-4	95	97	-2	96	96.5	-0.5
	40	92	97	-5	95	97.5	-2.5	97	97	0
เพลงหยุด	16.981	82	92	-10	88	89	-1	90	90	0
	33.962	85	85.5	-0.5	86	88	-2	89	91	-2
	40	79	86	-7	87	92	-5	90	92	-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

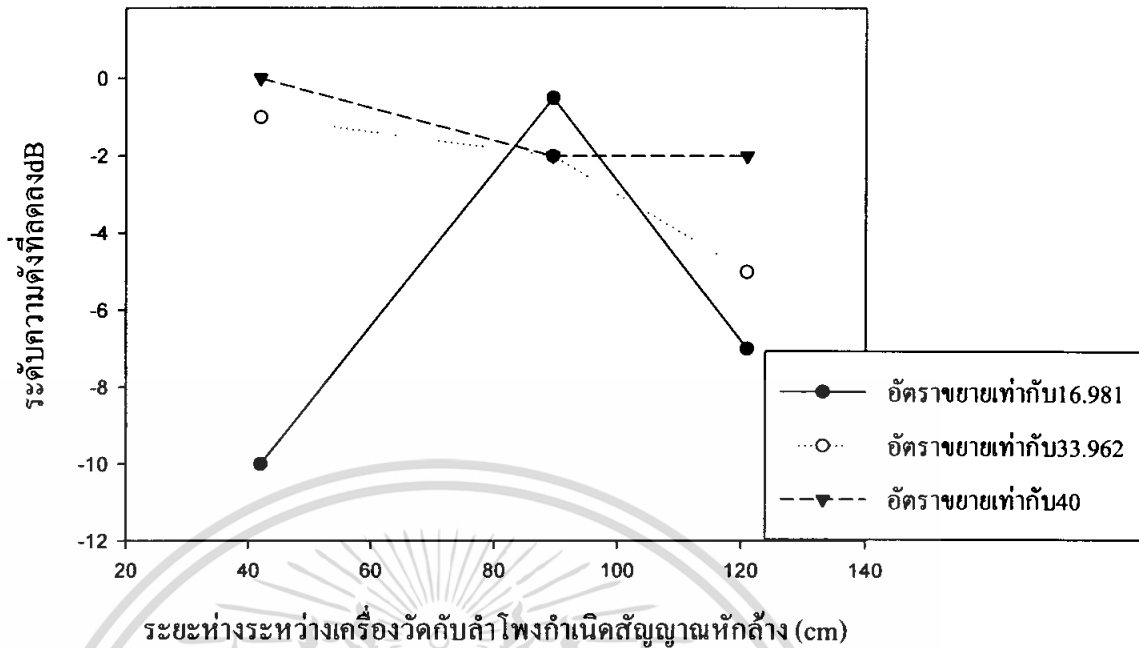


รูปที่ 4.29 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์



รูปที่ 4.30 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราขยาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงระดับการลดลงของเสียงเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตรายาย และระยะทดลอง โดยใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณ ระยะทาง และเฟสของสัญญาณ มีผลต่อการได้หักล้างเสียงรบกวน ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับตั้งค่าต่างๆ ให้มีความเหมาะสม

#### 4.7.2 การทดลองระบบกำจัดเสียงรบกวน โดยกำหนดให้มีการหักล้างที่บริเวณตำแหน่งของลำโพงกำเนิดสัญญาณหักล้าง

##### วิธีการทดลอง

1. ทำการจัดสภาพแวดล้อมและเตรียมพื้นที่ตามรูปที่ 3.12 โดยเลือกระยะทดลองให้เกิดการหักล้างกันของเสียงที่หน้าลำโพง และใช้อัตรายายของซอฟต์แวร์ที่ 33.962
2. ทำการป้อนสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ให้กับแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน แล้วอ่านค่าระดับความดังเสียงขณะนั้น
3. ทำการเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวนแล้วบันทึกผลที่ได้
4. ทำการเลื่อนเครื่องวัดระดับเสียงไปที่ระยะต่างๆ บันทึกผลที่ได้
5. ทำการปรับค่าอัตรายายดังนี้ บันทึกผลที่ได้
6. ทำการทดลองดังข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนสัญญาณอินพุตให้เป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน และสัญญาณเสียงคนตรีตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.2.1 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์

ตารางที่ 4.7 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-1.5	0	75	80	-5
-1	0	85	93	-8
-0.5	0	99.5	98	1.5
0	0	105.5	110	-4.5
0.5	0	94	91.5	2.5
1	0	77.5	86	-8.5
1.5	0	83.5	84.5	-1
-1.5	0.5	90	86	4
-1	0.5	91	83.5	7.5
-0.5	0.5	98	99.5	-1.5
0	0.5	106	108	-2
0.5	0.5	96	96	0
1	0.5	92	86	6
1.5	0.5	80	81	-1
-1.5	1	88.5	86	2.5
-1	1	95.5	95.5	0
-0.5	1	91	92.5	-1.5
0	1	91	83	8
0.5	1	92	91.5	0.5
1	1	88	84.5	3.5
1.5	1	86	86.5	-0.5
-1.5	1.5	91	90.5	0.5
-1	1.5	94	93.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงานของ ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-0.5	1.5	91.5	91	0.5
0	1.5	91	91	0
0.5	1.5	85.5	84	1.5
1	1.5	91	87	4
1.5	1.5	90	91	-1
-1.5	2	91	90.5	0.5
-1	2	92	92.5	-0.5
-0.5	2	88	89	-1
0	2	93	93.5	-0.5
0.5	2	85	56	29
1	2	82	82	0
1.5	2	84	84.5	-0.5
-1.5	2.5	89	91	-2
-1	2.5	89	89	0
-0.5	2.5	90	91	-1
0	2.5	93	92	1
0.5	2.5	89.5	89	0.5
1	2.5	84	84.5	-0.5
1.5	2.5	82	83	-1
-1.5	3	93	91	2
-1	3	87	84	3
-0.5	3	83	86	-3
0	3	90.5	90	0.5
0.5	3	81	84	-3
1	3	85	86	-1

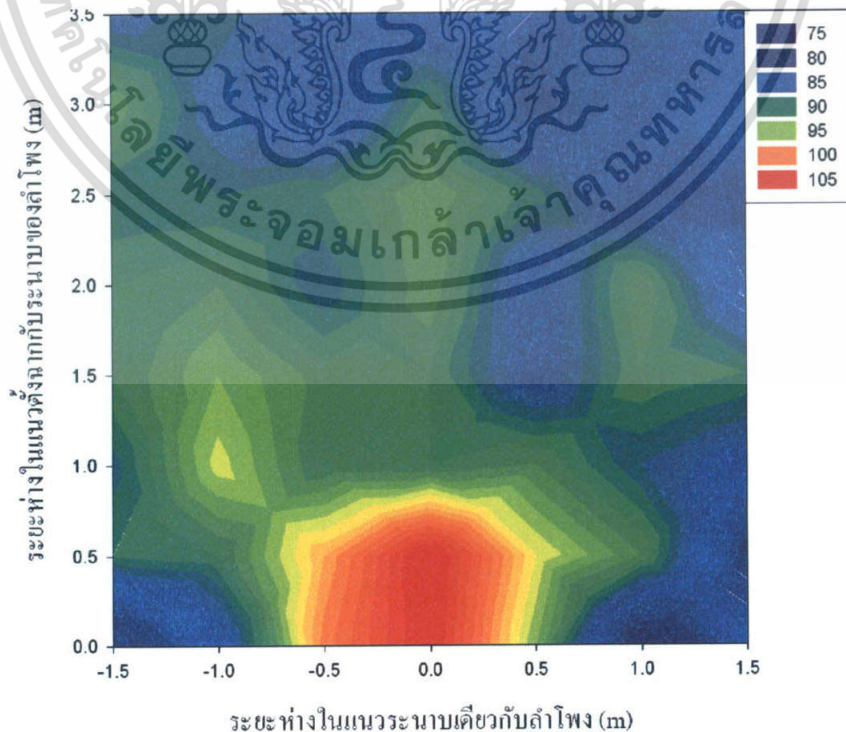
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณรูปไซน์ ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์

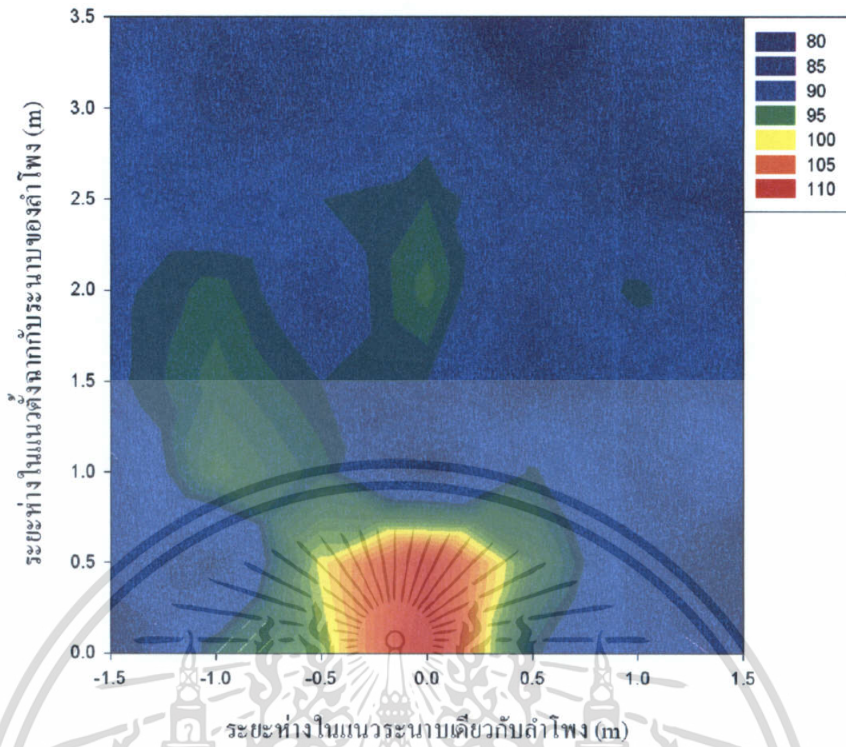
X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงานของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
1.5	3	87	89	-2
-1.5	3.5	87	85	2
-1	3.5	89	85	4
-0.5	3.5	85	86	-1
0	3.5	85	88	-3
0.5	3.5	85	78	7
1	3.5	88	88.5	-0.5
1.5	3.5	85	84	1

หมายเหตุ: Y = ระยะห่างในแนวตั้งฉากกับระนาบของลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง

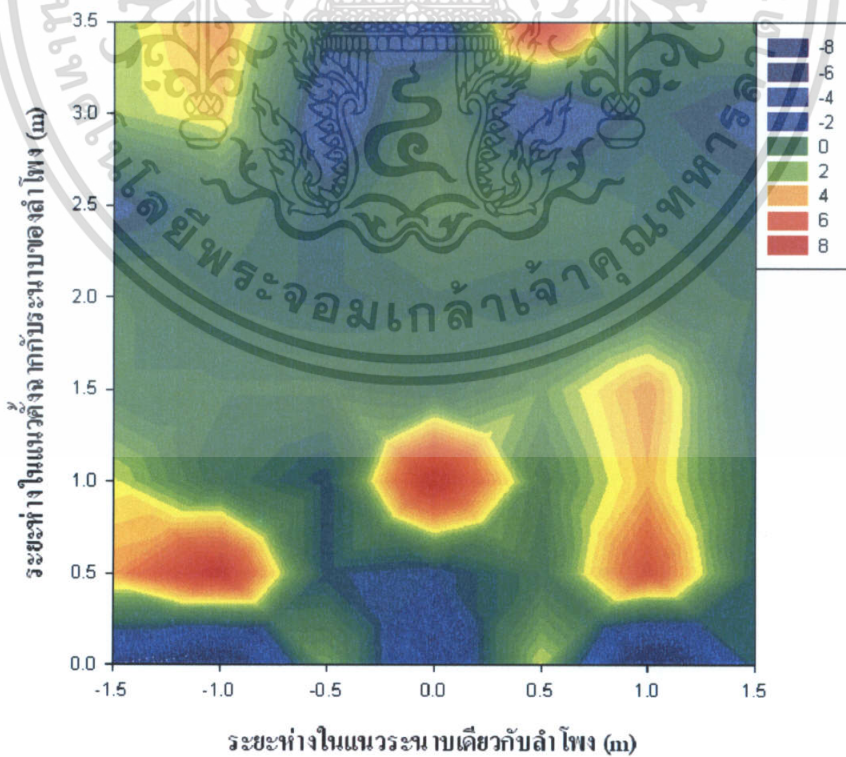
X = ระยะห่างในแนวระนาบเดียวกับลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.32 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงระดับของสัญญาณเสียงหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน



รูปที่ 4.34 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นใบเซอร์ไอเซนตันการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.2.2 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงดนตรี

ตารางที่ 4.8 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงดนตรี

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-1.5	0	71	71	0
-1	0	75.5	76.5	-1
-0.5	0	84	84	0
0	0	94	98	-4
0.5	0	80	81	-1
1	0	79	79.5	-0.5
1.5	0	81	80.5	0.5
-1.5	0.5	72	74	-2
-1	0.5	78	79	-1
-0.5	0.5	82	81	1
0	0.5	92	94	-2
0.5	0.5	80	80	0
1	0.5	80.5	81.5	-1
1.5	0.5	78	79	-1
-1.5	1	74	75	-1
-1	1	76	77	-1
-0.5	1	75	76	-1
0	1	78	79	-1
0.5	1	76	76.5	-0.5
1	1	77	77	0
1.5	1	76	76	0
-1.5	1.5	72.5	72	0.5
-1	1.5	73.5	73.5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงคนตรี

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-0.5	1.5	73	72.5	0.5
0	1.5	76	75	1
0.5	1.5	74	74	0
1	1.5	71	71.5	-0.5
1.5	1.5	72.5	71.5	1
-1.5	2	72	72	0
-1	2	72	72	0
-0.5	2	73	72	1
0	2	74	72	2
0.5	2	74	73.5	0.5
1	2	73	73	0
1.5	2	75	75.5	-0.5
-1.5	2.5	69.5	70	-0.5
-1	2.5	68.5	68	0.5
-0.5	2.5	73	71.5	1.5
0	2.5	72	71	1
0.5	2.5	71	70.5	0.5
1	2.5	74	74	0
1.5	2.5	72	71.5	0.5
-1.5	3	69	69.5	-0.5
-1	3	69	68.5	0.5
-0.5	3	72	71	1
0	3	71	70.5	0.5
0.5	3	71	72	-1
1	3	69	69	0

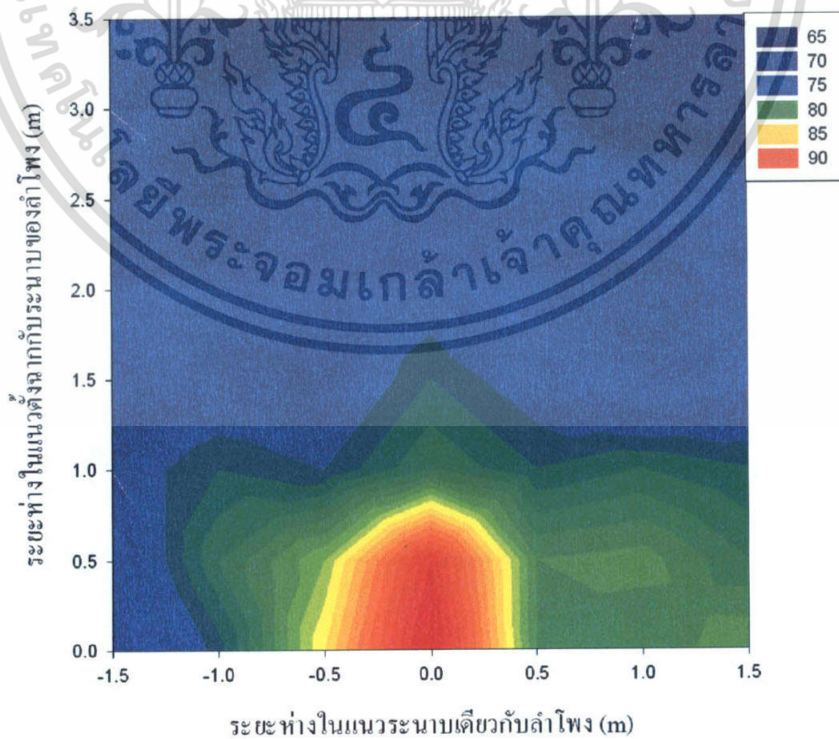
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงดนตรี

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
1.5	3	66	65.5	0.5
-1.5	3.5	72	72.5	-0.5
-1	3.5	68	68	0
-0.5	3.5	67	67.5	-0.5
0	3.5	69	68	1
0.5	3.5	68	68.5	-0.5
1	3.5	65	64.5	0.5
1.5	3.5	64	63	1

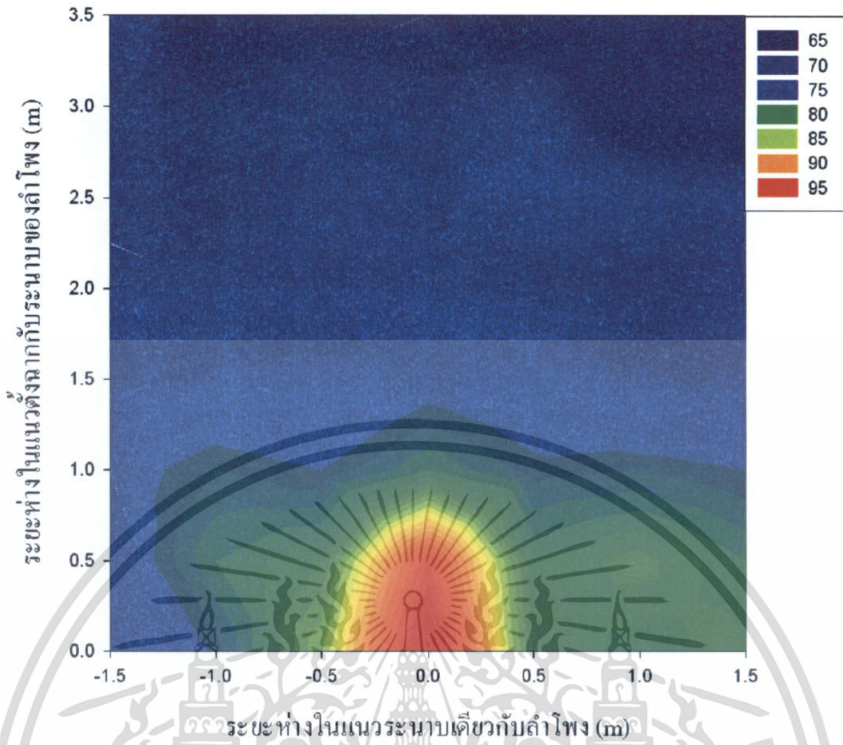
หมายเหตุ: Y = ระยะห่างในแนวตั้งฉากกับระนาบของลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง

X = ระยะห่างในแนวระนาบเดียวกับลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง

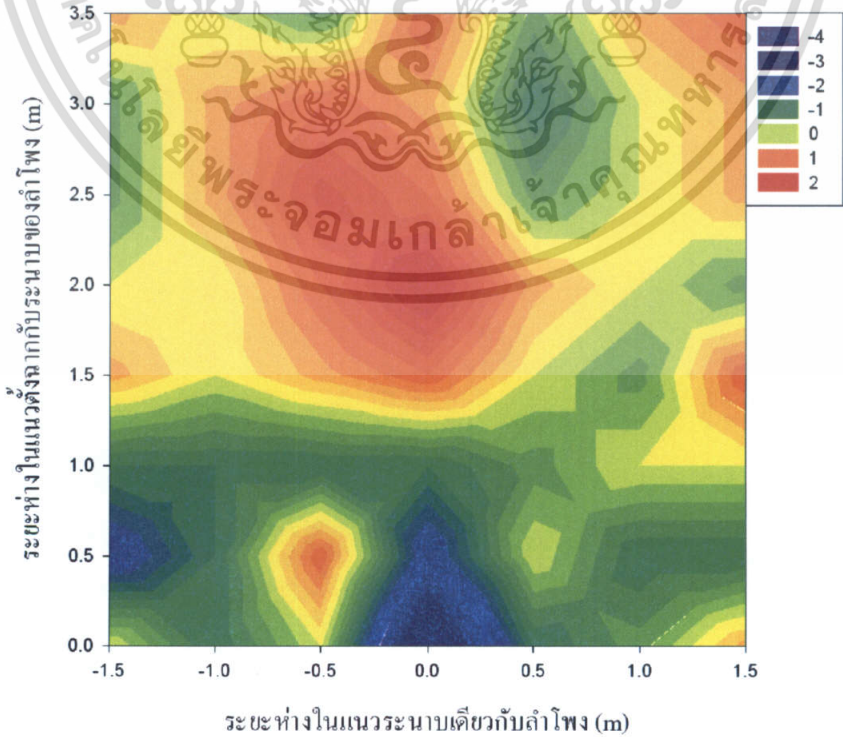


รูปที่ 4.35 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงระดับของของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน  
หลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน



เอกสารนี้รูปที่ 4.37 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน การค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7.2.3 ใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

ตารางที่ 4.9 แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-1.5	0	83.5	83	0.5
-1	0	86	86.5	-0.5
-0.5	0	93.5	94	-0.5
0	0	99.5	100.5	-1
0.5	0	91	91	0
1	0	84.5	85	-0.5
1.5	0	81.5	82	-0.5
-1.5	0.5	84.5	84	0.5
-1	0.5	88	89	-1
-0.5	0.5	93	93.5	-0.5
0	0.5	95	98	-3
0.5	0.5	93	92.5	0.5
1	0.5	87.5	88.5	-1
1.5	0.5	83.5	84	-0.5
-1.5	1	85.5	85	0.5
-1	1	87.5	87	0.5
-0.5	1	89	89.5	-0.5
0	1	92	92.5	-0.5
0.5	1	88.5	90	-1.5
1	1	87	87	0
1.5	1	85	85	0
-1.5	1.5	85	84.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงานของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

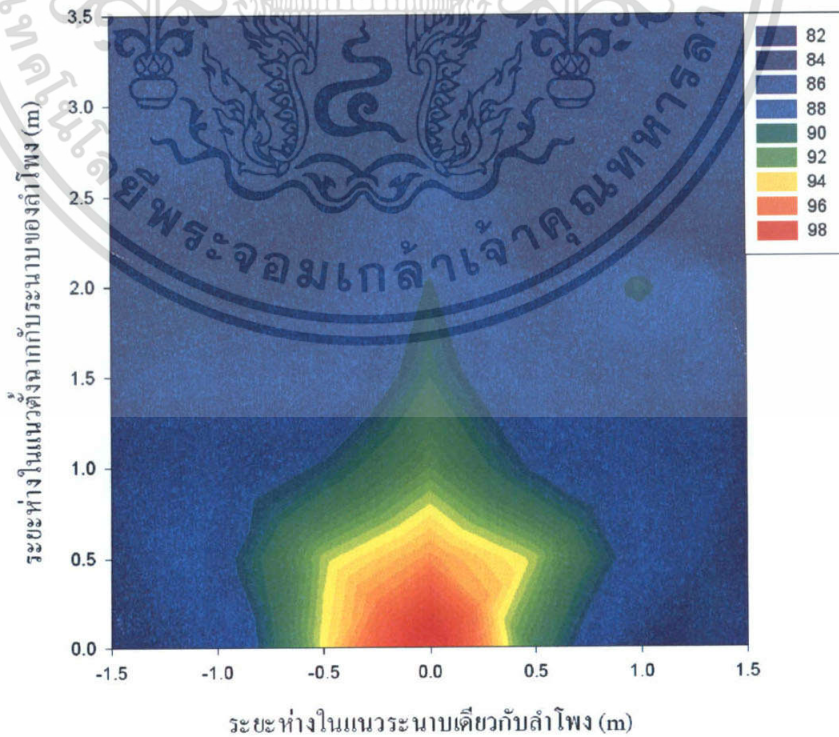
X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงานของ ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
-0.5	1.5	86	85.5	0.5
0	1.5	90	89.5	0.5
0.5	1.5	86.5	86.5	0
1	1.5	86	86.5	-0.5
1.5	1.5	85	85.5	-0.5
-1.5	2	84	84	0
-1	2	84	84	0
-0.5	2	85	85	0
0	2	89	88	1
0.5	2	85	85	0
1	2	89.5	85	4.5
1.5	2	84	84.5	-0.5
-1.5	2.5	89	89	0
-1	2.5	82	82.5	-0.5
-0.5	2.5	84	84	0
0	2.5	87	86	1
0.5	2.5	84	84	0
1	2.5	82	82.5	-0.5
1.5	2.5	83	83	0
-1.5	3	81.5	82	-0.5
-1	3	82	82.5	-0.5
-0.5	3	83.5	83.5	0
0	3	84.5	85	-0.5
0.5	3	83	83.5	-0.5
1	3	82	82.5	-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

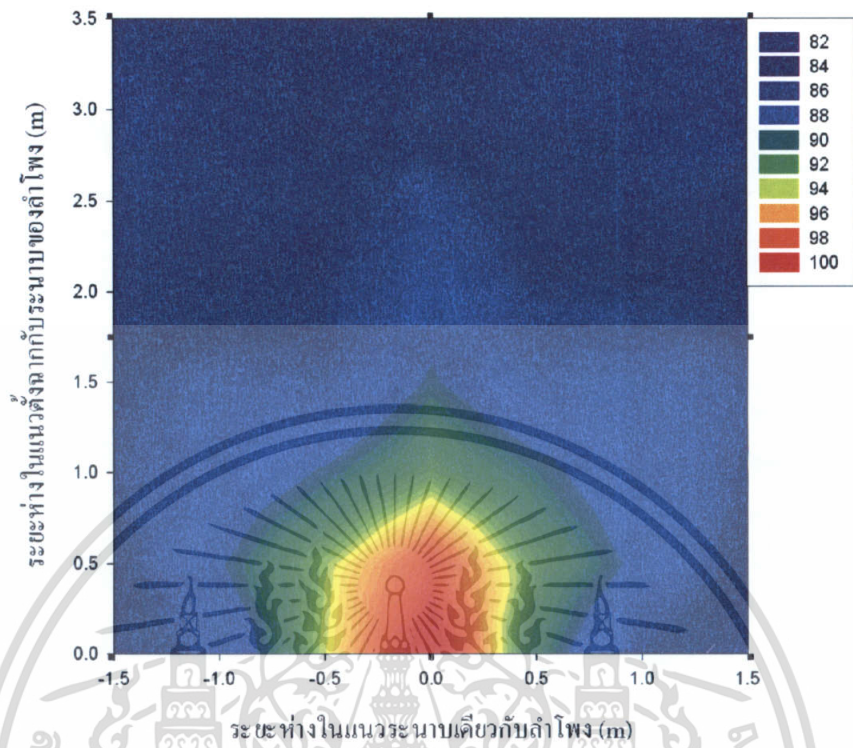
ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงระดับความดังของเสียงที่ระยะต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการทำงาน  
ของระบบเมื่อใช้สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณเสียงเครื่องบิน

X	Y	ระดับความดังเสียง ก่อนเริ่มการทำงาน ของระบบ	ระดับความดังเสียง ภายหลังระบบ ทำงาน	ระดับการลดลง ของเสียงภายหลัง ระบบทำงาน
1.5	3	82	82	0
-1.5	3.5	81.5	81.5	0
-1	3.5	82.5	83	-0.5
-0.5	3.5	83	83	0
0	3.5	85	84.5	0.5
0.5	3.5	83.5	83.5	0
1	3.5	82.5	82	0.5
1.5	3.5	81.5	82	-0.5

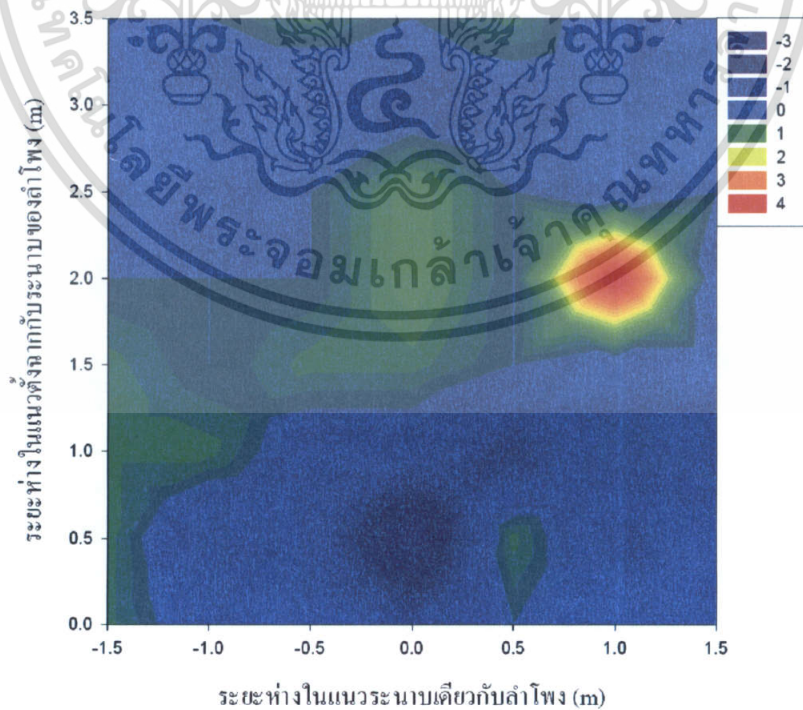
หมายเหตุ: Y = ระยะห่างในแนวตั้งฉากกับระนาบของลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง  
X = ระยะห่างในแนวระนาบเดียวกับลำโพงโดยวัดจากจุดกึ่งกลางของลำโพง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.38 แสดงระดับของสัญญาณเสียงก่อนเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน



รูปที่ 4.40 แสดงระดับของการลดลงของสัญญาณเสียงก่อนและหลังเปิดระบบกำจัดเสียงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองที่ 4.7.2.1, 4.7.2.2 และ 4.7.2.3 จะเห็นได้ว่าในบริเวณที่ทดลองมีทั้งส่วนที่ระดับความดังของเสียงเพิ่มขึ้น และลดลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการแทรกสอดของคลื่นเสียง แต่ในส่วนที่ระดับความดังลดลงนั้นจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณเดียวกัน คือบริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ทดลอง นั่นหมายความว่าเสียงส่วนใหญ่จะถูกลดทอนมากที่ระยะใกล้เคียงกับลำโพงหักล้าง เพราะฉะนั้นจากการทดลองนี้ เราจึงสามารถนำเอาระบบนี้ไปใช้งานจริง กับการกำจัดเสียงรบกวนได้ แต่อย่างไรก็ดี การนำระบบนี้ไปใช้ยังคงต้องคำนึงถึงเรื่องเสียงที่ดังขึ้นในจุดที่ระบบนี้ไม่สามารถควบคุมได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และบทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C6713 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรกรองสัญญาณแบบปรับตัวได้ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดเสียงรบกวนแบบแอดทีฟได้ โดยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดเสียงรบกวนด้วยวิธีนี้ควรทำควบคู่ไปกับการกำจัดเสียงรบกวนแบบแพสซีฟ ซึ่งจะช่วยให้ระบบการกำจัดเสียงรบกวนมีความสามารถที่จะกำจัดเสียงรบกวนได้ทั้งเสียงที่มีความถี่ต่ำและความถี่สูง

#### 5.2 ปัญหาที่พบจากการทดลอง

5.2.1 บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลค่อนข้างที่จะมีความยุ่งยากในการใช้งาน จึงทำให้ต้องเสียเวลาค่อนข้างมากในการศึกษาและใช้งาน ได้อย่างถูกต้อง

5.2.2 ปัญหาการสะท้อนของเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องทดลองที่มีขนาดเล็ก และไม่มีกรปรับปรุงคุณภาพทางอคูสติก จึงทำให้ขณะทดลองเกิดการสะท้อนของเสียง ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงยึดเยื่อ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าการลดทอนของเสียงจริงๆ ได้ ดังนั้นทางกลุ่มจึงได้ทำการทดลองในที่โล่ง เพื่อลดผลจากการสะท้อนของเสียง แต่ก็ยังคงได้รับผลกระทบจากเสียงภายนอก และสภาพของลมที่จะทำให้ผลการทดลองมีค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

5.2.3 ความสามารถในการกำจัดเสียงรบกวนของระบบมีความสามารถที่ค่อนข้างต่ำ เพราะในการทดลองมีอุปกรณ์ในการกำจัดเสียงเพียงชุดเดียว จึงไม่มีความสามารถที่จะทำการลดระดับของสัญญาณเสียง ซึ่งมีลักษณะเป็น 3 มิติได้มากเท่าที่ควร

## หนังสืออ้างอิง

- 1.“Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK”, Rulph Chassing, Wiley Interscience
- 2.“Adaptive Filter Structure for noise cancellation”, R.B. Wallace, R.A. Goubran, System and computer engineering Carleton University, Ottawa, Canada
3. “Adaptive filtering algorithms for acoustic echo and noise cancellation” , Geert Rombouts  
KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN FACULTEIT TOEGEPASTE WETENSCHAPPEN  
DEPARTEMENT ELEKTROTECHNIEK
- 4.“Statistical and Adaptive Signal Processing”, Dimitris G.Manolakis, Vinay K. Ingle and Stephen M. Kogon, McGraw-Hill
- 5.Digital Signal Processing Concept and Applications, Bernard Mulgrew, Peter Grant and John Thompson, Department of Electronics and Electrical Engineering The University of Edinburgh, Macpress
- 6.DSP Primer, C.Britton Rorabaugh, McGraw-Hill
- 7.Lecture Digital Signal Processing in Communication System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Sine generation

```

#include "dsk6713_aic23.h"           //support file for
codec,DSK                           //set sampling rate
Uint32 fs = DSK6713_AIC23_FREQ_8KHZ; //table index
short loop = 0;                      //gain factor
short gain = 10;                    //sine values
short sine_table[8]={0,707,1000,707,0,-707,-1000,-707};
void main()
{
    comm_poll();                    //initDSK, codec, McBSP
    DSK6713_LED_init();             //init LED from BSL
    DSK6713_DIP_init();             //init DIP from BSL
    while(1)                        //infinite loop
    {
        if(DSK6713_DIP_get(0)==0)  //!=0 if DIP switch #0
            pressed
        {
            DSK6713_LED_on(0);      //turn LED #0 ON
            output_sample(sine_table[loop]*gain); //output for on-
            time sec
            if (loop < 7) ++loop;    //check for end of
            table
            else loop = 0;           //reinitialize loop
            index
        }
        else DSK6713_LED_off(0);    //turn LED off if not
        pressed
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Send input to output

```

#include "dsk6713_aic23.h"           //codec-DSK support
file
Uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_8KHZ; //set sampling rate

interrupt void c_int11()           //interrupt service
                                   routine
{
    short sample_data;
    sample_data = input_sample();   //input data
    output_sample(sample_data);     //output data
    return;
}
void main()
{
    comm_intr();                   //init DSK, codec,
                                   McBSP
    while(1);                       //infinite loop
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

Echo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Echo

```

#include "dsk6713_aic23.h" //codec-DSK support
                             file
Uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_8KHZ; //set sampling rate
short input, output;
short bufferlength = 3000; //buffer size for
                             delay
short buffer[3000]; //create buffer
short i = 0;
short sample_data;

interrupt void c_int11() //interrupt service
                             routine
{
    sample_data = 5*input_sample(); //input data
    output=sample_data + 0.5*buffer[i];
    output_sample(output); //output data
    buffer[i] = sample_data; //store newest input
                             sample
    i++; //increment buffer
                             count
    if (i >= bufferlength) i = 0; //if end of buffer
                             reinitialize
}
void main()
{
    comm_intr(); //init DSK, codec,
                             McBSP
    while(1); //infinite loop
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

FIR filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### FIR filter

```

#include "hp2200.cof" //coefficient file
#include "dsk6713_aic23.h" //codec-dsk support
                          file
Uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_8KHZ; //set sampling rate
int yn = 0; //initialize filter's
output
short dly[N]; //delay samples
interrupt void c_int11() //ISR
{
    short i;
    dly[0]=input_sample(); //input newest sample
    yn = 0; //initialize filter's
                          output

    for (i = 0; i < N; i++)
        yn += (h[i] * dly[i]);
    for (i = N-1; i > 0; i--)
        dly[i] = dly[i-1];
    output_sample(yn >> 15);
    return;
}
void main()
{
    comm_intr(); //init DSK, codec,
                //McBSP
    while(1); //infinite loop
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

**Adaptive filter using MATLAB**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Adaptive filter using MATLAB

```

u=0.1;
t=[0:0.001:10];
n1=randn(1,length(t));
s=2*sin(2*pi*t)+sin(6*pi*t);
d=s+n1;
n2=n1;

```

```

h0(2)=0;

```

```

for n=2:length(t);

```

```

x(n)=n2(n);

```

```

y(n)=h0(n)*x(n);

```

```

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

```

```

h0(n+1)=h0(n)+u*e(n)*x(n);

```

```

z(n)=x(n)-e(n);

```

```

end

```

```

subplot(511);

```

```

plot(s);

```

```

subplot(512);

```

```

plot(n2);

```

```

subplot(513);

```

```

plot(d);

```

```

subplot(514);

```

```

plot(e);

```

```

subplot(515);

```

```

plot(z);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Adaptive filter

```

#include "DSK6713_AIC23.h" //codec-DSK support
file
uint32 fs=DSK6713_AIC23_FREQ_48KHZ; //set sampling rate
#define beta 1E-40 //rate of convergence
#define N 30 //# of weights
(coefficients)
#define LEFT 0 //left channel
#define RIGHT 1 //right channel
float w[N]; //weights
float delay[N]; //input
short output_1,output_2; //overall output

volatile union{unsigned int uint; short channel[2];}AIC23_data;
interrupt void c_int11()
{
    short i;
    float yn=0, E=0, input=0, noise=0;
    AIC23_data.uint = input_sample(); //input
    input = (AIC23_data.channel[LEFT]); //input left channel
    noise = (AIC23_data.channel[RIGHT]); //input right channel
    delay[0] = noise; //noise as input
    for (i = 0; i < N; i++) //to calculate output
        yn += (w[i] * delay[i]); //output
    E = input - yn; //error
    signal=x(n)-yn
    for (i = N-1; i >= 0; i--)
    {
        w[i] = w[i] + beta*E*delay[i]; //update weights
        delay[i] = delay[i-1]; //update delay
    }
    samples
    output_2=4*((short)E); //error signal
    output_sample(output_1); //overall output
    result
    return;
}
void main()
{
    short T=0;
    for (T = 0; T < 30; T++)
    {
        w[T] = 0;
        delay[T] = 0;
    }
    comm_intr();
    while(1); //infinite loop
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้