

การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้องประชุม  
โดยใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด

**STUDYING AND IMPROVING SPEECH SIGNAL QUALITY  
IN MEETING ROOM USING FFT WITH FIR FILTER**

เอกรัตน์ สุขสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้องประชุม  
โดยใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด

เอกรัตน์ สุขสุคนธ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้อง  
ประชุมโดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด  
Studying and Improving Speech Signal Quality in Meeting  
Room using FFT with FIR Filter

ชื่อ - นามสกุล      นายเอกรัตน์ สุขสุคนธ์

สาขาวิชา      วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา      ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.

ปีการศึกษา      2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนวยการ เรืองวาริ, Dr.-Ing.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ อุดมहरรรษากุล, Ph.D.)



กรรมการ

(อาจารย์วิเชียร อุบแก้ว, Ph.D.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 10 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้องประชุมโดยใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด
ชื่อ – นามสกุล	นายเอกรัตน์ สุขสุคนธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรี ศรีนนท์ฉัตร, Ph.D.
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

เสียงรบกวนและเสียงสะท้อนเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเสียงสำหรับห้องประชุมและโรงละครต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดเสียงที่ไม่เป็นธรรมชาติและคุณภาพของเสียงลดลง ดังนั้นในการออกแบบห้องประชุมหรือโรงละครจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคุณภาพเสียงจากแหล่งกำเนิดของเสียงไปสู่ผู้ฟังในตำแหน่งต่างๆภายในสถานที่นั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงในห้องประชุม โดยใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วร่วมกับตัวกรองดิจิทัลจำกัด

ในการทดลองสัญญาณเสียงจะถูกบันทึกจาก 54 ตำแหน่งในห้องประชุม จากนั้นเทคนิคการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ที่คลาดเคลื่อนของเสียงเหล่านั้น โดยได้ทำการทดลอง 2 แบบ คือ 1) การเทียบกันตลอดทั้งสัญญาณ และ 2) การเทียบแบบเฟรมต่อเฟรม จากนั้นทำการสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด เพื่อทำการกรองความถี่ของสัญญาณเสียงที่คลาดเคลื่อนและนำสัญญาณเสียงที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง

จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วที่ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงสามารถแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบแบบเฟรมต่อเฟรมให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องกว่าแบบตลอดทั้งสัญญาณ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 500 เฮิรต์ และในช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2.5 กิโลเฮิรต์ จากนั้นตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน สามารถเปรียบเทียบและปรับปรุงสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงช่วยให้ค่าความถี่ของสัญญาณเสียงในทุกตำแหน่งมีค่าความใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 70.77%

**คำสำคัญ:** การประมวลผลสัญญาณเสียง การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ตัวกรองดิจิทัลจำกัด

<b>Thesis Title</b>	Studying and Improving Speech Signal Quality in Meeting Room using FFT with FIR Filter
<b>Name – Surname</b>	Mr. Aekkarat Suksukont
<b>Program</b>	Electronics and Telecommunication Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Jakkree Srinonchat, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2017

## ABSTRACT

Noises and echo are significant variables that affect the quality of the sound in the meeting rooms and theaters. It causes an unnatural sound and a lower-quality sound. To design a meeting room or a theater, it is necessary to consider the sound quality from the sound sources to the audience in a different location. This study proposes the way of studying and improving the speech signal quality in the meeting room by using Fast Fourier Transform (FFT) with Finite Impulse Response (FIR) filter.

In the experiment, speech signal was recorded from 54 points from the same source in the meeting room. The FFT technique was used to analyze the frequencies of the speech by 1) the comparison of all signals and 2) the comparison from the frame-to-frame. The band pass filter was then designed by using FIR filter to filter frequency error and compare the original sound in each position.

The results show that FFT technique, which is used to analysis of the speech frequencies, provides more accuracy when using the frame-to-frame comparison. Moreover the lower 500 Hz and higher 2.5 kHz are the bandwidth error at the low and high frequency respectively. The band pass filter, which designed by using FIR filter, was then used to compare and adjust the speech signal at the approximately range 70.77%.

**Keywords:** speech signal quality, fast fourier transform, finite impulse response filter

## กิตติกรรมประกาศ

สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีก็เพราะความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ท่านให้คำปรึกษาและแก้ไขปัญหาต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด

ผู้จัดทำขอขอบคุณ คณะกรรมการคุมสอบทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ รวมถึงข้อแนะนำในส่วนของการจัดพิมพ์รูปเล่มอย่างถูกต้องต่อผู้จัดทำ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและระลึกถึงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิดเลี้ยงดู ให้กำลังใจและให้ทุนทรัพย์ในการศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษา

เอกรัตน์ สุขสุคนธ์



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	14
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 ไฟล์เสียงและคุณสมบัติ.....	16
2.2 การสะท้อนของเสียงและการแก้ไขเสียงสะท้อน.....	25
2.3 คุณภาพของเสียง.....	29
2.4 ระบบเสียงเบื้องต้น.....	30
2.5 วงจรกรองความถี่.....	33
2.6 พื้นฐานการออกแบบห้องประชุม.....	36
2.7 การคำนวณการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว.....	37
2.8 การวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเสียงเบื้องต้น.....	38
2.9 ตัวกรองดิจิทัลจํากัด.....	40
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41

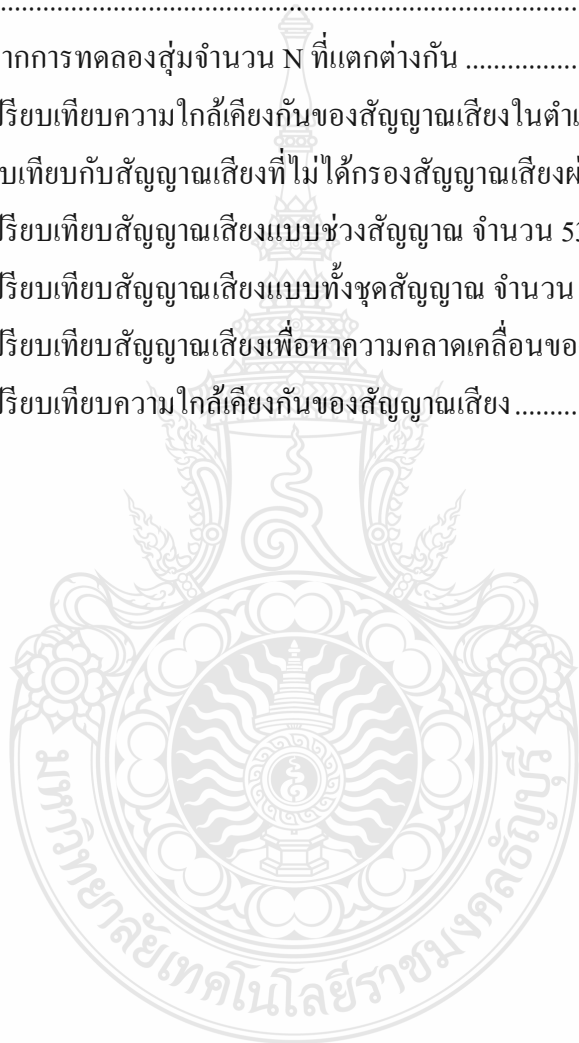
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	46
3.1 ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณเสียง .....	47
3.2 กระบวนการ Pre – Process.....	48
3.3 กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว .....	49
3.4 การเปรียบเทียบหาค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนในสัญญาณเสียง .....	50
3.5 การใช้งานตัวกรองดิจิทัลจํากัด.....	50
3.6 การใช้งานตัวกรองดิจิทัลจํากัดร่วมกับการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว.....	56
3.7 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง.....	60
3.8 การวิเคราะห์เสียงสะท้อนของสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ.....	61
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	65
4.1 ผลการทดลองการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว .....	65
4.2 ผลการทดลองการใช้ตัวกรองดิจิทัลจํากัด.....	69
4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ .....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม	75
5.2 สรุปผลการสุ่มค่า N ที่เหมาะสมของตัวกรองดิจิทัลจํากัด .....	75
5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ .....	76
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต .....	76
บรรณานุกรม .....	78
ภาคผนวก.....	81
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ .....	82
ประวัติผู้เขียน.....	106



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศ .....	26
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ จำนวน 53 ตำแหน่ง.....	69
ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดลองสุ่มจำนวน N ที่แตกต่างกัน .....	70
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียงในตำแหน่งต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงที่ไม่ได้กรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรอง FIR.....	73
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบช่วงสัญญาณ จำนวน 53 ตำแหน่ง.....	74
ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณ จำนวน 53 ตำแหน่ง.....	74
ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ .....	75
ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียง .....	76



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM.....	16
รูปที่ 2.2 กราฟของสัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM.....	17
รูปที่ 2.3 ความถี่ของสัญญาณที่ประกอบอยู่ในรูปแบบ PCM.....	17
รูปที่ 2.4 กราฟสเปกตรัมของความถี่.....	18
รูปที่ 2.5 การสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเสียง.....	18
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการ Quantization แบบ 3-bit.....	19
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงการแบ่งระดับแบบไม่เป็นเชิงเส้นของอัลกอริทึม $\mu$ -law และ A-law.....	20
รูปที่ 2.8 สัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM แบบเชิงเส้น.....	20
รูปที่ 2.9 การวัดความดังของสัญญาณเสียงโดยมีการกำหนด Alignment level.....	21
รูปที่ 2.10 การเรียงรหัสของข้อมูลของสัญญาณเสียง.....	22
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการเข้ารหัสและจัดเรียงข้อมูลในไฟล์ Wave.....	22
รูปที่ 2.12 ความถี่.....	24
รูปที่ 2.13 แผนผังการทำงานของภาคขยายสัญญาณเสียง.....	30
รูปที่ 2.14 แผนผังการทำงานของ Active Crossover.....	31
รูปที่ 2.15 แผนผังการทำงานของ Passive Crossover.....	31
รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานของ Mixer.....	32
รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของ Signal Processor.....	33
รูปที่ 2.18 กราฟของวงจรกรองความถี่ประเภทต่างๆ.....	34
รูปที่ 2.19 วงจรครอสโอเวอร์แบบพาสซีฟ.....	35
รูปที่ 2.20 วงจรครอสโอเวอร์แบบแอกทีฟ.....	35
รูปที่ 2.21 ไฟล์เสียงต้นฉบับ.....	39
รูปที่ 2.22 ไฟล์เสียงที่ทำการตัดหัว-ตัดท้าย เรียบร้อยแล้ว.....	39
รูปที่ 2.23 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว.....	40
รูปที่ 2.24 กระบวนการของสัญญาณเสียงเมื่อกรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด.....	40

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 46
รูปที่ 3.2	การบันทึกเสียงภายในห้องประชุม..... 47
รูปที่ 3.3	สัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 ที่บันทึกด้วยอัตราการสุ่มที่ 8,000 Sampling..... 48
รูปที่ 3.4	สัญญาณเสียงที่ตัดแล้วของตำแหน่งที่ 1 ที่บันทึกด้วยอัตราการสุ่มที่ 8,000 Sampling. 48
รูปที่ 3.5	สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ..... 49
รูปที่ 3.6	สัญญาณเสียงตัวอย่างเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ..... 50
รูปที่ 3.7	รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน N=10 ..... 51
รูปที่ 3.8	รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน N=30 ..... 52
รูปที่ 3.9	รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน N=50 ..... 53
รูปที่ 3.10	รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน N=80 ..... 54
รูปที่ 3.11	รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน N=100 ..... 55
รูปที่ 3.12	สัญญาณเสียงต้นฉบับ..... 56
รูปที่ 3.13	สัญญาณเสียงที่กรองด้วยตัวกรองดิจิทัล ชนิดแถบความถี่ผ่าน ในช่วงความถี่ 500 Hz–2.5 kHz..... 56
รูปที่ 3.14	การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=10..... 57
รูปที่ 3.15	การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=30 ..... 57
รูปที่ 3.16	การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=50..... 58
รูปที่ 3.17	การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=80..... 58
รูปที่ 3.18	การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=100..... 59
รูปที่ 3.19	ขั้นตอนการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับตำแหน่งอ้างอิง ..... 60
รูปที่ 3.20	การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งใดๆ กับตำแหน่งอ้างอิง..... 61
รูปที่ 3.21	ผลต่างของสัญญาณเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง..... 62
รูปที่ 3.22	ผลต่างของสัญญาณเสียงเมื่อทำการ Absolute ..... 62
รูปที่ 3.23	การนับค่าผลต่างที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งอ้างอิง ..... 63
รูปที่ 3.24	ผลรวมการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ..... 64
รูปที่ 4.1	ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงแบบทั้งช่วงสัญญาณตำแหน่งที่ 1–9 ..... 66

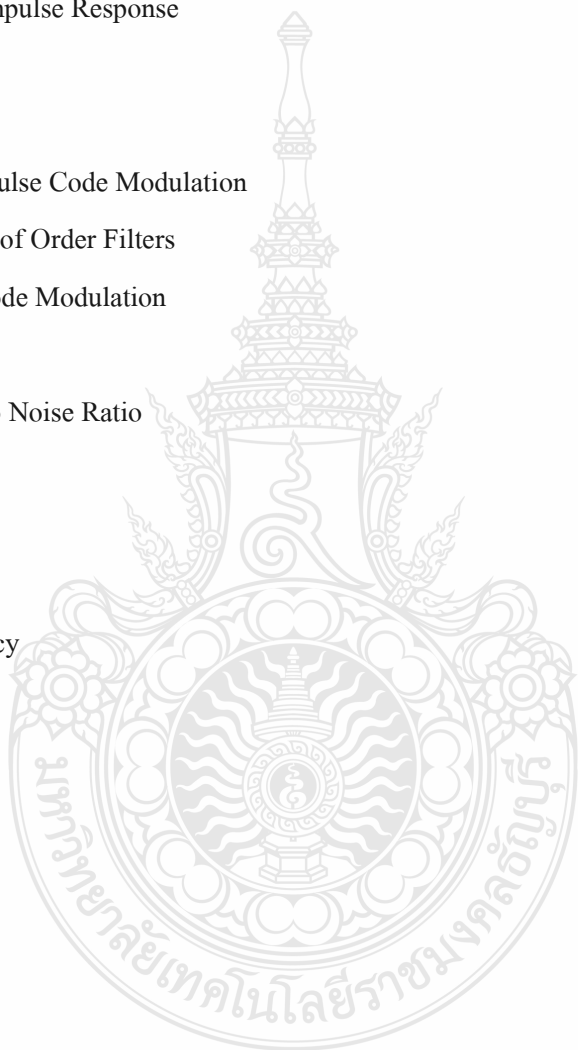
## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรม เฟรมที่ 10 ของตำแหน่งที่ 1-9 .....	67
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งมูมห้องทั้ง 4 ด้าน .....	68
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1-9.....	71
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการแสดงผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียง .....	72



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$ a $	Absolute
C	Capacitor
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response
Hz	Hertz
L	Inductor
LPCM	Linear Pulse Code Modulation
N	Number of Order Filters
PCM	Pulse Code Modulation
R	Resistor
SNR	Signal to Noise Ratio
T	Period
dB	Decibel
$\Sigma$	Epsilon
$f$	Frequency
$\theta$	Theta
$\infty$	Infinite
k	Kilo
$\lambda$	Lambda
m	Metra
s	Second
$\mu$	Mu
$\Omega$	Ohms
$\pi$	Pi
$\rho$	Rho
$\emptyset$	Phi
$\sqrt{a}$	Square root



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเสียงมีการพัฒนาไปอย่างมากซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้เข้ามามีบทบาทและถูกนำมาใช้งานอย่างมากมาย ทั้งในด้านการศึกษา ความบันเทิงหรือแม้กระทั่งด้านอุตสาหกรรม เมื่อกล่าวถึงการพัฒนาคุณภาพของสัญญาณเสียงในด้านการศึกษาแล้ว การใช้เสียงสำหรับการเรียนการสอนของนักเรียนนักศึกษา คุณภาพของสัญญาณเสียงที่ผู้ฟังจะได้รับเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง หากผู้ฟังได้รับฟังคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือสัญญาณเสียงที่ไม่ชัดเจนซึ่งหากผู้ฟังได้รับฟังเป็นเวลานานๆ อาจทำให้ผู้ฟังเบื่อหน่าย รำคาญ หรืออาจสื่อสารความหมายจากผู้พูดมาสู่ผู้ฟังได้อย่างไม่ถูกต้อง วิธีการแก้ไขและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การแก้ไขลักษณะของห้อง การปรับแต่งระบบเสียงด้วยกระบวนการ Equalization การแก้ไขระบบเสียงที่ล่าช้า โดยใช้ Crossover Network หรือแม้กระทั่ง การสร้างตัวกรองสัญญาณเสียง ดังนั้น หากมีการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงให้ดีขึ้นก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพของการรับฟังมีประสิทธิผลที่ดีมากยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การวิเคราะห์เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงแต่ละตำแหน่งที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม โดยวิเคราะห์จากสัญญาณเสียงทั้งหมด 54 สัญญาณเสียง โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนความถี่ในสัญญาณเสียง และสร้างตัวกรองสัญญาณเสียงสำหรับกรองความถี่ที่คลาดเคลื่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงให้เหมาะสมสำหรับห้องประชุมต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วสำหรับหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียง

1.2.2 เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงสำหรับห้องประชุม

1.2.2 ศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงโดยใช้ตัวกรองสัญญาณเสียง

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สามารถตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงที่บันทึกเป็นแบบ PCM โดยมีสัญญาณเสียงทั้งหมดจำนวน 54 ตำแหน่ง และทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงด้วยตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อให้มีคุณภาพของสัญญาณเสียงใกล้เคียงกับตำแหน่งอ้างอิง ประมาณ 70%

### 1.4 ข้อกำหนดของการศึกษา

1.4.1 การบันทึกเสียงสำหรับงานวิจัยนี้ บันทึกเสียงในสภาพห้องที่ไม่มีผู้นั่งฟัง

1.4.2 เครื่องเล่นเสียงตั้งอยู่สูงจากพื้นห้อง 2 เมตร

1.4.3 บันทึกเสียงที่ห้องประชุม ขนาด 6 x 9 เมตร

1.4.4 คุณสมบัติเฉพาะของไมโครโฟน

1.4.4.1 Microphone Unit: 9 x 7 mm. Dia. Electret condenser.

1.4.4.2 Microphone Directivity: Omnidirectional.

1.4.4.3 Microphone Sensitivity: -58 dB $\pm$ 3dB

1.4.4.4 Microphone Impedance: 2.2 k $\Omega$

1.4.4.5 Frequency Response: 30 Hz – 16 kHz

1.4.4.6 Cable Length: 2.4 $\pm$ 0.5 m.

1.4.4.7 Plug Type: Stereo.  $\varnothing$ 3.5 mm.

### 1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 บันทึกเสียงภายในห้องประชุม โดยทำการแบ่งแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 ตารางเมตร จะได้สัญญาณเสียงทั้งหมด จำนวน 54 สัญญาณเสียง

1.5.2 กระบวนการ Pre-Process โดยทำการตัดสัญญาณเสียงส่วนหัวและท้ายของสัญญาณเสียง เพื่อให้สัญญาณเสียงมีขนาดที่เท่ากัน

1.5.3 นำสัญญาณเสียง เข้าสู่การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

1.5.4 วิเคราะห์ผล เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงของแต่ละตำแหน่ง

1.5.5 กรองสัญญาณเสียงในช่วงความถี่ที่คลาดเคลื่อนผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน

1.5.6 กระบวนการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงให้ใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 มีความรู้ความเข้าใจ การประมวลผลและวิเคราะห์ผลสัญญาณเสียง

1.6.2 ประยุกต์ใช้ในสถาบันการศึกษา โรงแรม ห้องประชุม และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงได้

1.6.3 สามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการปรับปรุง แก้ไขและพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณเสียง





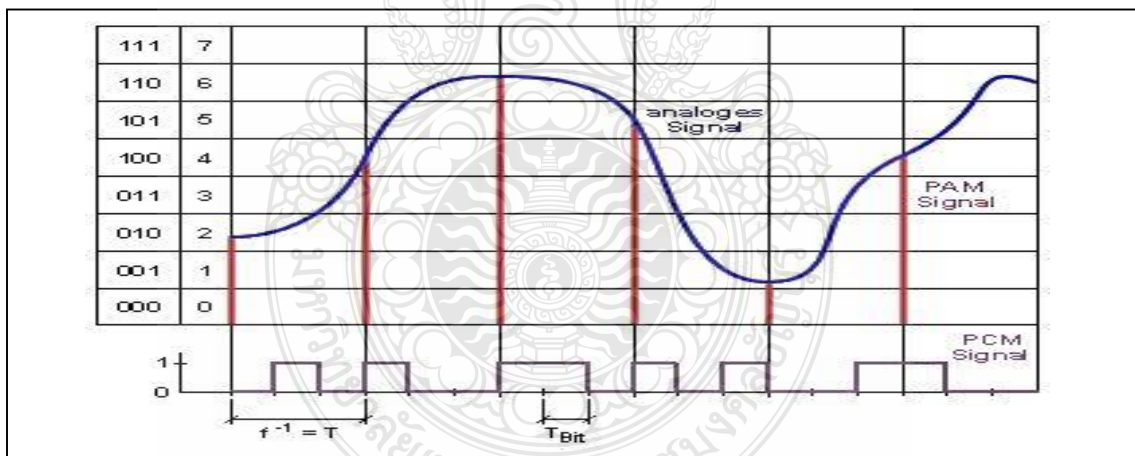
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณเสียงโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม และการสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆภายในห้องประชุมกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งประกอบด้วย

#### 2.1 ไฟล์เสียงและคุณสมบัติ

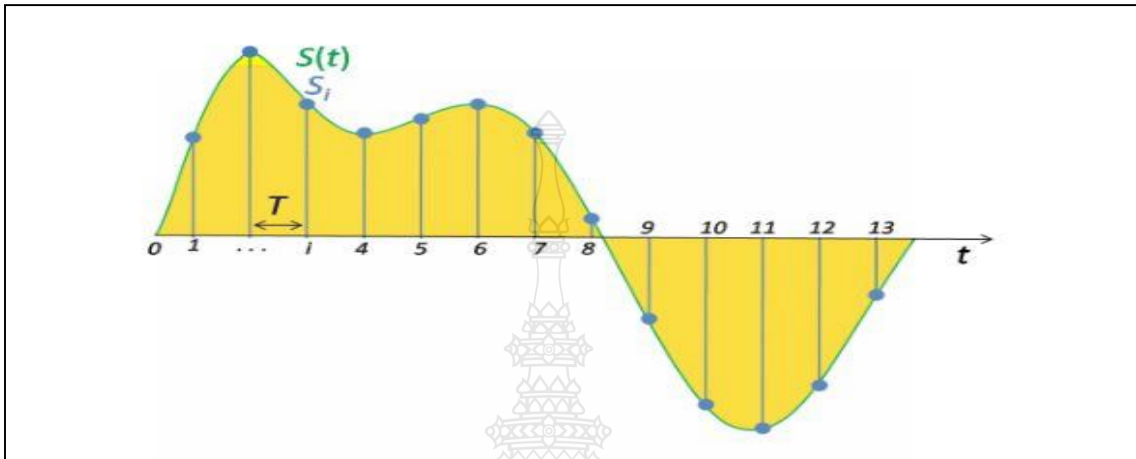
2.1.1 Pulse Code Modulation (PCM) ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1937 โดย Alec Reeves นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เมื่อ PCM ถูกนำไปใช้เข้าสู่สัญญาณภาพของยานอวกาศ Mariner IV จากดาวอังคารมายังโลก การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) การแบ่งนัย (Quantization) และการเข้ารหัส (Coding)



รูปที่ 2.1 สัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM

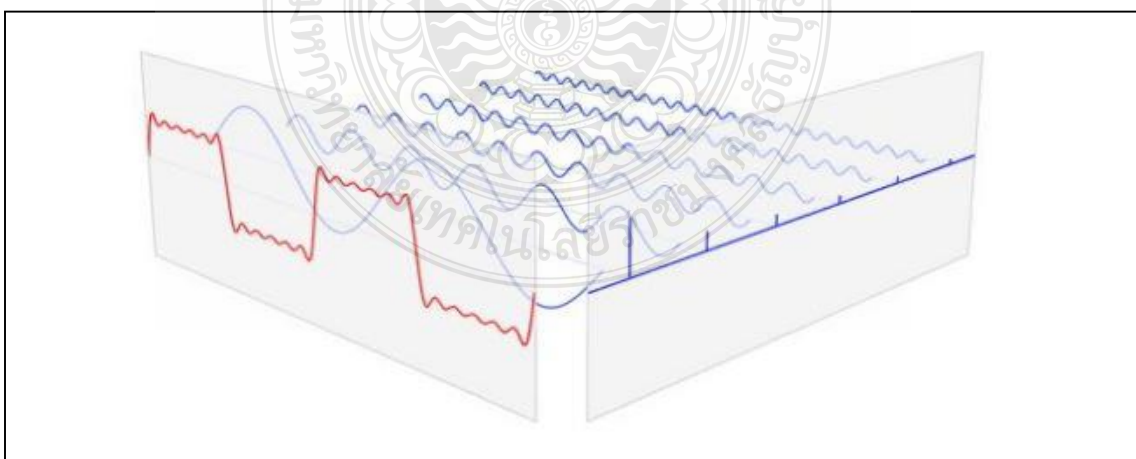
การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) คือ การแปลงสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องทางเวลา (Continuous Signal) ให้อยู่ในรูปไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Signal) การสุ่มเก็บตัวอย่าง (Sample) ของสัญญาณนั้นๆ ในช่วงเวลาที่เท่าๆกัน ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวก็คือ ค่าอัตราสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) การสุ่มสัญญาณจำเป็นต้องเลือกอัตราสุ่มสัญญาณที่เหมาะสมกับความถี่ของสัญญาณนั้นๆ

เพื่อให้การแปลงกลับของสัญญาณได้สัญญาณต้นฉบับที่ถูกต้องและครบถ้วน ซึ่งในสัญญาณเสียงแบบแอนะล็อกจะประกอบด้วยสัญญาณในความถี่ต่างๆ ประกอบกัน หากอัตราที่เลือกใช้นั้นมีความถี่ที่ไม่เพียงพอก็จะไม่สามารถเก็บ Sample ของสัญญาณในความถี่นั้นๆ ได้

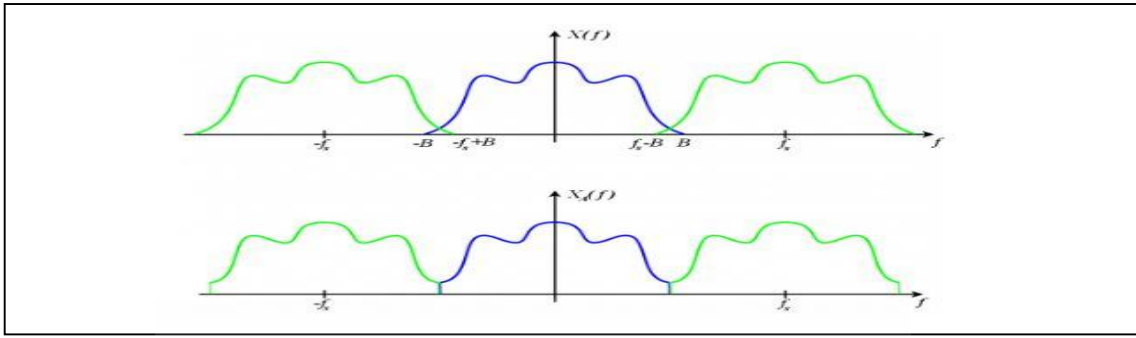


รูปที่ 2.2 กราฟของสัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM

นอกจากนี้ การเลือกอัตราสุ่มสัญญาณที่ไม่เหมาะสมยังก่อให้เกิด Aliasing หรือการ Sample การสุ่มสัญญาณนั้นสามารถแทนสัญญาณได้มากกว่าสัญญาณต้นฉบับทำให้สัญญาณที่ได้นั้นแตกต่างจากสัญญาณต้นฉบับที่ถูกสุ่มสัญญาณออกมา

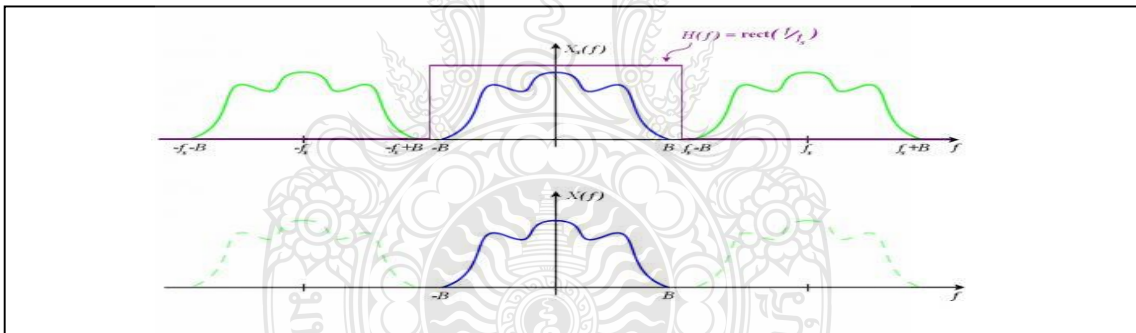


รูปที่ 2.3 ความถี่ของสัญญาณที่ประกอบอยู่ในรูปแบบ PCM



รูปที่ 2.4 กราฟสเปกตรัมของความถี่

จากรูปที่ 2.4 เมื่อสัญญาณต้นฉบับถูกสุ่มสัญญาณ (กราฟสีน้ำเงิน) จะทำให้เกิดสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกัน (Alias) ที่ความถี่ของอัตราสุ่มสัญญาณ (กราฟสีเขียว) ซึ่งหากอัตราสุ่มสัญญาณที่ใช้มีความถี่น้อยเกินไป สัญญาณ Alias ที่เกิดขึ้นจะหักล้างกับสัญญาณต้นฉบับทำให้สัญญาณมีความผิดเพี้ยนไป



รูปที่ 2.5 การสุ่มตัวอย่างของสัญญาณเสียง

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theorem) ระบุว่าให้ใช้ความถี่ของอัตราสุ่มมากเป็น 2 เท่าของความถี่จากสัญญาณต้นฉบับ เพื่อให้สัญญาณ Alias ที่เกิดขึ้นไม่ทับซ้อนกับสัญญาณต้นฉบับทำให้สามารถใช้ Low-pass filter (กราฟสีม่วง) เพื่อกรองเฉพาะสัญญาณต้นฉบับเก็บไว้ ค่าความถี่ของการสุ่มสัญญาณดังกล่าวเรียกว่า Nyquist Frequency ซึ่งตั้งชื่อตามชื่อผู้ค้นพบคือ Harry Nyquist วิศวกรไฟฟ้าชาวอเมริกา ตัวอย่างอัตราสุ่มสัญญาณที่นิยมใช้งาน มีดังนี้

8 kHz ใช้ในงานสื่อสารทางโทรศัพท์ทางโทรคมนาคมและวิทยุ ครอบคลุมช่วงความถี่ของเสียงพูดปกติ (4 kHz)

44.1 kHz ใช้ในมาตรฐาน Audio CD ครอบคลุมช่วงความถี่เสียงที่มนุษย์ได้ยิน ไม่เกิน 20 kHz Audio CD สามารถใช้บันทึกเสียงลงในม้วนเทปวิดีโอด้วยอุปกรณ์อ็ควิดีโอตามมาตรฐาน NTSC และ PAL

48 kHz ใช้งานในกล้องวิดีโอและอุปกรณ์ระดับมืออาชีพ เพราะสามารถครอบคลุมความถี่ได้ถึง 22 kHz และใช้งานร่วมกับมาตรฐานเฟรมเรตวิดีโอต่างๆ

88.2 kHz สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ระดับมืออาชีพ ในอดีตนิยมใช้งานเพราะมีความซับซ้อนในการลดอัตราสุ่มสัญญาณลงเหลือ 44.1 kHz

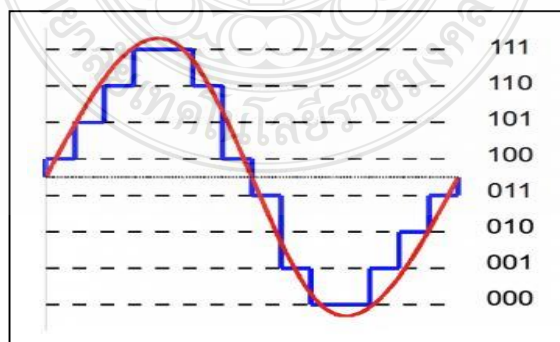
96 kHz และ 192 kHz ใช้ในมาตรฐาน DVD-Audio และเสียงในแผ่น DVD และ Blu-ray

176.4 kHz ใช้ในมาตรฐาน HDCD และอุปกรณ์สำหรับทำ Audio CD

352.8 kHz ใช้ในมาตรฐาน Digital Extreme Definition (DXD) สำหรับการบันทึก ดัดต่อ และผสมเสียงเพื่อทำแผ่น Super Audio CD

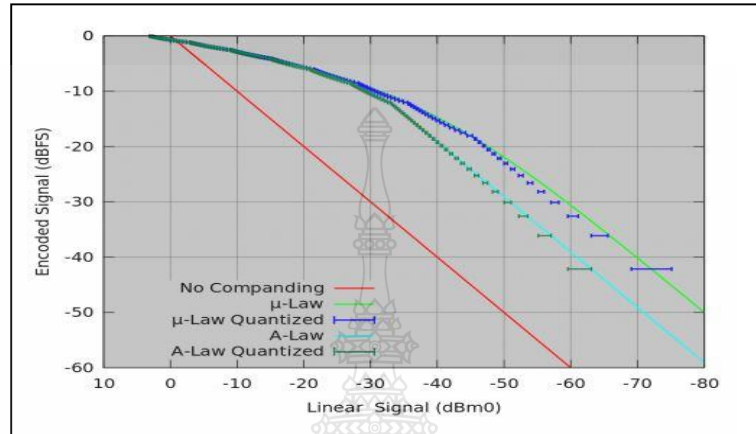
ถึงแม้ว่าการใช้งานอัตราสุ่มสัญญาณสูงๆ จะทำให้ต้องใช้กำลังในการประมวลผลสัญญาณหน่วยความจำ และพื้นที่จัดเก็บมากขึ้น แต่ต้องแลกกับการออกแบบ Filter เพื่อกรองช่วงความถี่เสียงที่ต้องการเก็บไว้ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ง่ายเพราะการสร้าง Filter เพื่อกรองช่วงความถี่ที่แคบมากๆ จะทำได้ยากกว่าช่วงความถี่ที่กว้าง

กระบวนการ Quantization ทำเมื่อมีการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ (Sample) จากการสุ่มตัวอย่างจะมีค่าของแอมพลิจูดตามสัญญาณแอนะล็อกที่สุ่มมา ซึ่งเราจะต้องทำการแบ่งนับ เพื่อนำ Sample ไปจัดเก็บในรูปแบบเลขฐานสองที่มีจำนวนหลักตามที่กำหนดไว้



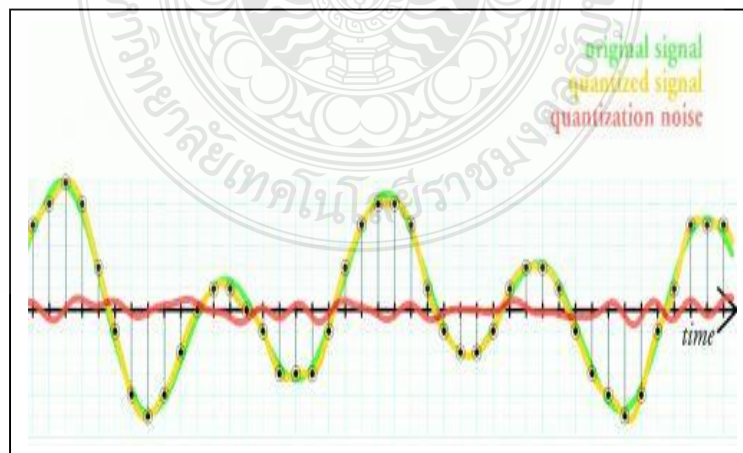
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการ Quantization แบบ 3-bit

การกำหนดจำนวนหลักของเลขฐานสอง (bit) จะเป็นตัวกำหนดความละเอียดของระดับขั้นที่ใช้ในการ Quantization ของค่าแอมพลิจูดตั้งแต่  $-\infty$  (เบาสุด) ไปจนถึง 0 dBFS (ดังที่สุด) ของสัญญาณเสียงซึ่งสามารถคำนวณได้จาก (จำนวน bit)<sup>2</sup>



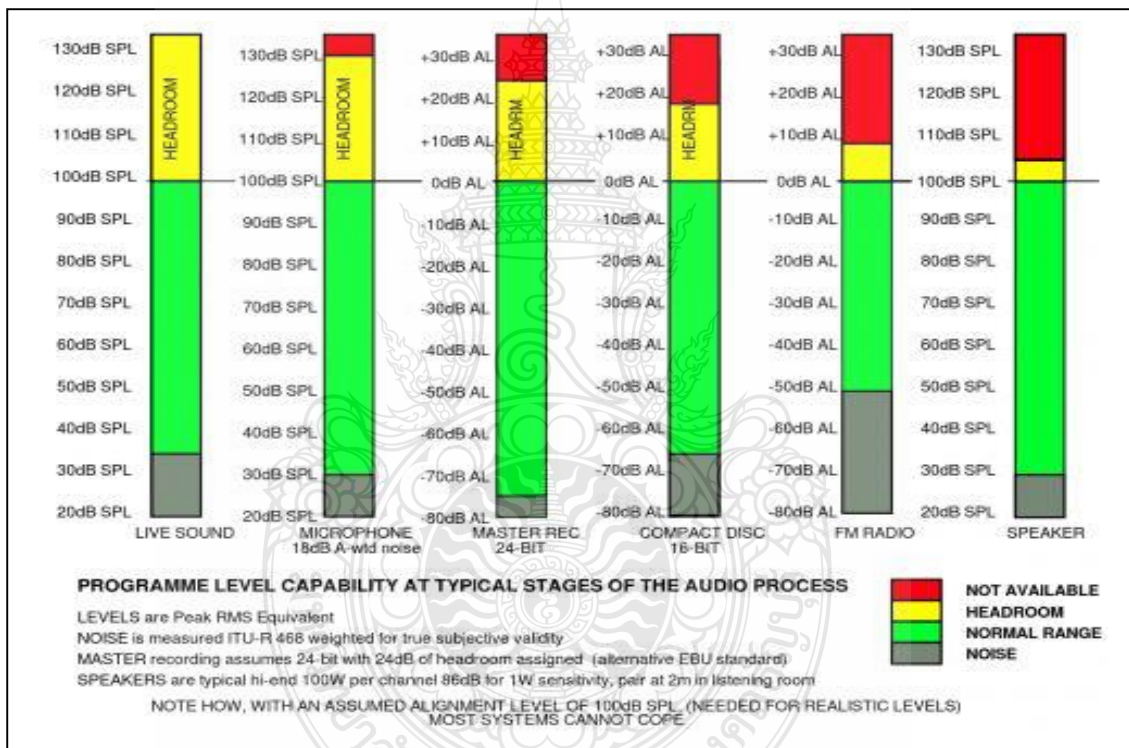
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงการแบ่งระดับแบบไม่เป็นเชิงเส้นของอัลกอริทึม  $\mu$ -law และ A-law

การแบ่งระดับขั้นมี 2 แบบ คือ แบ่งระดับแบบเชิงเส้นที่แต่ละระดับขั้นจะมีค่าเท่ากัน และแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งมีการปรับระดับขั้นในการแบ่งนับที่ไม่คงที่ เพื่อลด Dynamic range ของสัญญาณลง ซึ่งส่งผลให้การเข้ารหัสนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับสัญญาณ PCM ที่ใช้การแบ่งนับตามระดับขั้นแบบเชิงเส้น จะถูกเรียกว่า Linear Pulse Code Modulation (LPCM)



รูปที่ 2.8 สัญญาณเสียงในรูปแบบ PCM แบบเชิงเส้น

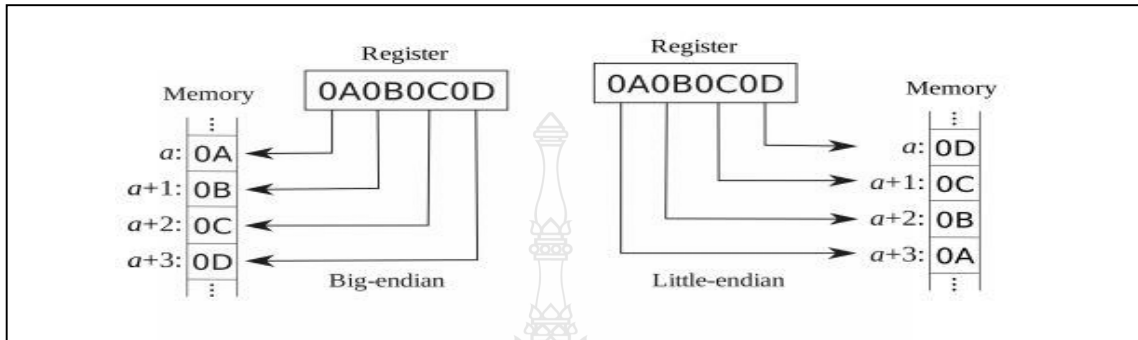
สัญญาณแอนะล็อกที่ทำการสุ่มสัญญาณจะมี Sample ที่มีค่าแอมพลิจูดไม่ตรงกับระดับขั้นที่กำหนดเอาไว้ ทำให้ต้องมีการปัดเศษ (Round) และตัดปลาย (Truncate) ค่าดังกล่าว เพื่อให้สามารถจัด Sample ให้อยู่ในระดับขั้นที่ใกล้เคียง การกระทำดังกล่าวทำให้เกิดสัญญาณรบกวน Quantization Noise ขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio – SNR) ที่ใช้ระบุคุณภาพของสัญญาณและ Dynamic range ที่กำหนดช่วงความดังที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของสัญญาณนั้นๆ ให้น้อยลงแต่ก็สามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มจำนวนบิตที่มากขึ้น ซึ่ง 1 bit ที่เพิ่มจะมีค่า SNR เพิ่มขึ้นประมาณ 6 dB หรือใช้การแบ่งระดับไม่เชิงเส้น เพื่อลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวให้น้อยลง



รูปที่ 2.9 การวัดความดังของสัญญาณเสียงโดยมีการกำหนด Alignment level

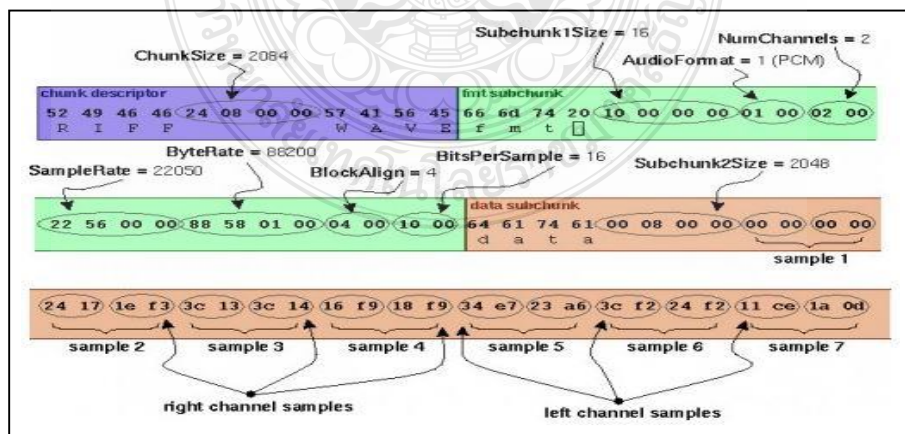
ข้อดีสำหรับการใช้จำนวนบิตมากๆ คือ การมีหัวเสียง (Headroom) ซึ่งสัญญาณเสียงแบบ PCM หากมีค่าความดังของเสียงมากกว่า 0 dBFS จะมีการเสียงแตก (Clipping) เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่ 0 dBFS คือ ค่า SNR สูงสุด ด้วยเหตุนี้ทำให้ในงานบันทึกเสียงและผสมเสียงจึงเลือกที่ 24 bit เพราะมีหัวเสียงมากกว่า เพื่อป้องกันการ Clipping นั้นเอง

ขั้นตอนการ Coding เมื่อนำ Sample ของสัญญาณไปแบ่งนับตามระดับขั้นที่กำหนดเอาไว้ จึงนำข้อมูลมาแทนด้วยบิตที่กำหนดไว้ในแต่ละระดับขั้น แต่เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลในลักษณะ byte หรือ 8-bit ซึ่งจะต้องการกำหนดว่าจะให้เรียงข้อมูล (Endianness) แบบใด



รูปที่ 2.10 การเรียงรหัสของข้อมูลของสัญญาณเสียง

การเรียงข้อมูลมี 2 แบบ คือ Big-endian นำข้อมูลในหลักแรกมาเรียงก่อน และ Little-endian นำข้อมูลหลักสุดท้ายมาเรียงก่อน ซึ่งไฟล์ Wave จะใช้การเรียงข้อมูลแบบ Little-endian ส่วนไฟล์ AIFF จะใช้การเรียงข้อมูลแบบ Big-endian ในกรณีที่เราเก็บสัญญาณเสียงแบบสเตอริโอ Sample ของเสียงข้างซ้ายจะถูกวางสลับกับ Sample ของเสียงข้างขวา แบบนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งจุดสุดท้ายจะได้ข้อมูลเสียงที่จะนำไปใช้งาน หรือนำไปใส่ไว้ใน Container format อื่นๆ เช่น RIFF เพื่อทำให้เป็นไฟล์ Wave เป็นต้น



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการเข้ารหัสและจัดเรียงข้อมูลในไฟล์ Wave

### 2.1.2 ไฟล์เสียงแบบ Wave

ไฟล์เสียงแบบ Wave หรือไฟล์เสียงที่มีนามสกุล .Wav เป็นไฟล์ที่เก็บข้อมูลในแบบดิจิทัล เป็นไฟล์ที่ไม่มีมีการบีบอัดข้อมูลจึงยังเป็นไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ ข้อมูลเสียงที่เก็บในรูปแบบไฟล์ .Wav จะเป็นแบบรูปคลื่นและรูปคลื่นเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกัน อัตราบิต (Bit rate) ที่ใช้ในการบันทึก 256 kbps อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling rate) 44.1 kHz การบันทึกค่าของเสียงเป็นการบันทึกความสูงของคลื่น (Amplitude) ดังนั้น ถ้าขนาดของการบันทึกมากขึ้นก็จะทำให้เสียงมีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วการบันทึกมีการกำหนดค่าเป็นแบบ 8 bit, 16 bit, 24 bit, 32 bit, 64 bit และ 128 bit

### 2.1.3 ความยาวคลื่น (Wavelength)

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางระหว่างส่วนที่ซ้ำกันของคลื่น สัญลักษณ์แทนความยาวคลื่นที่ใช้กันทั่วไป คือ แลมบ์ดา ( $\lambda$ ) แคนนอนในแผนภูมิแทนระยะทาง และแกนตั้งแทนค่า ณ เวลาหนึ่งของปริมาณหนึ่งซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลง (ตัวอย่างเช่น สำหรับคลื่นเสียง ปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลง คือ แรงดันอากาศหรือสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลง คือ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทาง ความยาวคลื่น  $\lambda$  สัมพันธ์แบบผกผันกับความถี่ของคลื่นนั้น โดยความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นนั้นๆ หากด้วยความถี่ ถ้าพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ ความเร็ว นั่น คือ ความเร็วแสง ความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น

$c$  คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 299,792.458 กิโลเมตรต่อวินาที

$f$  คือ ความถี่ของคลื่น

### 2.1.4 ความถี่ (Frequency)

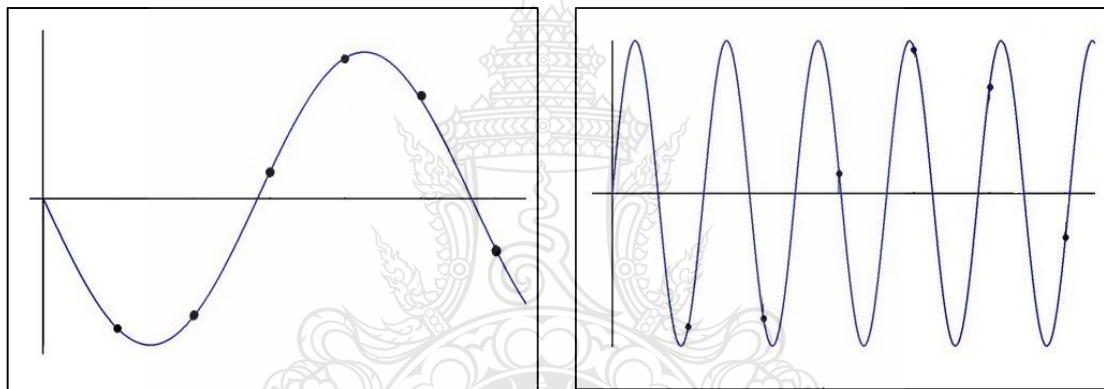
ความถี่ คือ ปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลาหนึ่ง การวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาหนึ่งที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนครั้งหารด้วยระยะเวลา และ คาบ เป็นส่วนกลับของความถี่ หมายถึง เวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ ระดับเสียง (Pitch) หมายถึง เสียงสูงต่ำ สิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้า นอกจากวัตถุที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนมากกว่าจะมีเสียงที่สูงกว่า หากความถี่มากขึ้นเป็นเท่าตัวจะมีระดับเสียงสูงขึ้นเท่ากับ



1 ออกเตฟ (Octave) หรือ 1 ช่วงคู่แปด ในระบบหน่วย SI หน่วยวัดความถี่คือเฮิรตซ์ (Hertz) ซึ่งมาจากชื่อของนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Heinrich Rudolf Hertz เหตุการณ์ที่มีความถี่หนึ่งเฮิรตซ์ หมายถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นหนึ่งครั้งทุก 1 วินาที อีกหนึ่งวิธีที่ใช้วัดความถี่ของเหตุการณ์ คือ การวัดระยะเวลาระหว่างการเกิดขึ้นแต่ละครั้ง (คาบ) ของเหตุการณ์นั้นๆ และคำนวณความถี่จากส่วนกลับของคาบเวลา

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $T$  คือ คาบ



รูปที่ 2.12 ความถี่

### 2.1.5 คาบ (Period)

คาบ เป็นระยะเวลาที่ตำแหน่งใดๆ บนคลื่นซึ่งเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ คาบ มีหน่วยเป็นวินาที เขียนแทนสัญลักษณ์คาบด้วยตัว  $T$

### 2.1.6 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูด คือ ระยะจัดสูงสุดของคลื่น วัดจากตำแหน่งสมดุล

### 2.1.7 อัตราเร็ว (Speed)

อัตราเร็ว คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

## 2.2 การสะท้อนของเสียงและการแก้ไขเสียงสะท้อน [1]

### 2.2.1 การสะท้อนของเสียง

เมื่อคลื่นเสียงเดินทางไปกระทบสิ่งกีดขวาง เช่น ฝาผนังห้อง ม่าน กำแพง ต้นไม้ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไปเป็นพลังงานความร้อน พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสามารถผ่านวัตถุนั้น เช่น ทำให้มนุษย์ในห้องถัดไปได้ยิน พลังงานส่วนสุดท้ายจะสะท้อนกลับ อย่างที่เราเห็นกันในเรื่องแสงสะท้อนที่กระจกเงาไม่ว่าสิ่งกีดขวางจะเป็นวัตถุชนิดใด จะเกิดเหตุทั้ง 3 อย่างในปริมาณต่างๆกัน

ในห้องที่มีฝาผนังแข็งมีการดูดกลืน (Absorption) และการส่งผ่านทะลุ อยู่น้อยมากจึงมีพลังงานที่สะท้อนมามาก เราจึงเห็นผลของการสะท้อนชัดเจน และสะท้อนไปมาหลายครั้ง บางครั้งมีจำนวน 200-300 ครั้ง ก่อนที่พลังงานที่สะท้อนอ่อนกำลัง จนไม่สามารถทำให้เราได้ยิน เราจะได้ยินเสียงนั้นมากกว่าปกติ และรู้สึกว่าเป็นเสียงนั้นยืดยาวออกไปไม่ใช่ได้ยินเป็นคำๆ ทั้งนี้เพราะแต่ละเสียงมาถึงหูในเวลาห่างกันน้อยมาก สมองไม่สามารถจะแยกออกให้เป็นคนละเสียงได้ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การยืดเยื้อเสียง

ในที่บางแห่งมีการยืดเสียงมากเกินไป ทั้งนี้อาจเป็นด้วยมีสิ่งสะท้อนเสียง ซึ่งเป็นสิ่งที่แข็งแรงเรียบๆ เช่น ฝาผนังหรือสิ่งล้อมรอบขนาดใหญ่ เช่น หอประชุม โรงภาพยนตร์ เหล่านี้ทำให้ได้ยินเสียงยุ่งยากสับสนจับใจความไม่ได้ หมดความน่าฟัง ซึ่งจะพบเสมอในการฟังปาฐกถา สุนทรพจน์ ในหอประชุมที่สร้างขึ้นไม่ถูกหลักการทางเสียง ในทางตรงข้ามหากเสียงที่ออกไปในตัวกลางไม่มีการสะท้อนกลับยังผู้ฟังเลย เช่น พูดในที่โล่ง หรือในที่ที่มีสิ่งดูดกลืนพลังงานเสียง ซึ่งมีลักษณะตรงกันข้ามกับสิ่งสะท้อนเสียง คือ อ่อนนุ่ม ขรุขระ เช่น ฝ้าม่าน ฝ้ายกำมะหยี่ สาลี ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงนั้นห้วนๆ ไม่มีมิติของเสียง

สมการอัตราเร็วของเสียง คำนวณได้จาก

$$C = \sqrt{\frac{C}{\rho}} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $C$  คือ สัมประสิทธิ์ของความแข็งแรง (Coefficient of Stiffness)

$\rho$  คือ ความหนาแน่น

อัตราเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้นตามความแข็งเกร็งของวัสดุและลดลง เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศ มีค่าดังนี้

$$C_{air} = 331 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \text{ m/s} \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 การเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศ

$\theta$ (°C)	ผลของอุณหภูมิ		
	$C$ ( $\frac{m}{s}$ )	$\rho$ ( $\frac{kg}{m^3}$ )	$Z$ ( $N \cdot \frac{s}{m^3}$ )
-10	325.4	1.341	436.5
-5	328.5	1.316	432.4
0	331.5	1.293	428.3
+5	334.5	1.269	424.5
+10	337.5	1.247	420.7
+15	340.5	1.225	417.0
+20	343.4	1.204	413.5
+25	346.3	1.184	410.0
+30	349.2	1.164	406.6

### 2.2.2 การแก้ไขปัญหาเสียงก้องและเสียงสะท้อน

การแก้ไขปัญหาเสียงก้องและเสียงสะท้อนในห้องสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงความถี่ คือ ช่วงเสียงความถี่ต่ำและช่วงความถี่เสียงกลาง-เสียงสูง โดยปัญหาในช่วงความถี่เสียงทุ้มต่ำจะมีความสัมพันธ์กับมิติและขนาดของห้องโดยตรง เนื่องจากความยาวช่วงคลื่นของความถี่ต่ำที่มีระยะเป็นสัดส่วนกับขนาดของห้องจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปกลับมา เกิดจุดที่คลื่นเสียงวิ่งเข้ามาเสริมและหักล้างกันกระจายไปในตำแหน่งต่างๆทั่วห้อง จึงทำให้เกิดปัญหาเสียงทุ้มในช่วงความถี่ต่างๆ มีอาการเสียงก้องหรือค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงลดลงในหลายๆ ตำแหน่ง

ปัญหาเสียงสะท้อนในช่วงความถี่ ตั้งแต่ช่วงทุ้มกลางถึงแหลมช่วงบนเพราะเป็นช่วงความถี่ที่มีผลต่อการแยกแยะมิติเสียงได้มากกว่าเสียงทุ้มต่ำตามธรรมชาติระบบการได้ยินของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ปัญหาเสียงทุ้มต่ำสามารถแก้ไขด้วยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดวางลำโพงร่วมกับการเลือกใช้

เฟอร์นิเจอร์ชนิดที่มีลักษณะเป็นพุกนี้มขนาดใหญ่มารวมไปถึงการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมเสียงประเภท เบสแทรปและรูมจูน (Room Tune) ในรูปแบบต่างๆ

อุปกรณ์ควบคุมเสียงทั้งชนิดที่ซับเสียงและกระจายเสียงสะท้อน โดยเบื้องต้นจะถูกนำมาใช้ ติดตั้งที่ตำแหน่งเสียงสะท้อนแรก (Early Reflections) ภายในห้อง เพื่อลดทอนสัดส่วนของเสียง สะท้อนที่จะเดินทางมาที่จุดนั่งฟัง ทั้งในแง่ของปริมาณและทิศทาง แต่อุปกรณ์ส่วนใหญ่จะใช้ได้ผลดี กับช่วงความถี่เฉพาะบางย่านความถี่เท่านั้น ซึ่งอุปกรณ์ควบคุมเสียงสะท้อนบางชนิดก็จะมีช่วงความถี่ ที่จะดูดกลืนหรือกระจายเสียงค่าหนึ่งๆ และหากพ้นช่วงความถี่การทำงานนี้ไปแล้วก็แทบจะไม่มีผล อะไรต่อเสียงที่มาตกกระทบเลย โดยเสียงอาจจะทะลุผ่านไปหรือสะท้อนกลับออกมาในสัดส่วนและ ทิศทางที่ไม่แตกต่างไปจากการไม่ได้ใช้วัสดุซับเสียงมากนัก จากข้อเท็จจริงนี้ทำให้ปริมาณเสียง สะท้อนทั้งหมดและแหลมภายในห้องฟังนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้อุปกรณ์ควบคุมเสียงสะท้อนซึ่ง จะส่งผลกระทบต่อสมดุลของความถี่เสียงตลอดย่าน

อุปกรณ์ปรับอคูสติคของห้อง ส่วนใหญ่ถูกออกแบบสำหรับใช้ควบคุมเสียงสะท้อนที่ บริเวณผนังด้านข้างรอบๆ เสียงสะท้อนแรกนั้นจะมีอยู่บนพื้นและเพดานห้องในช่วงบริเวณระหว่าง ลำโพงและจุดนั่งฟังรวมอยู่ด้วย สถานที่ซึ่งสะท้อนเสียงได้ดีเช่นในโรงยิมเนเซียมจะมีค่า RT60 โดย เฉลี่ยแล้วมากกว่าสถานที่ซึ่งสะท้อนเสียงได้น้อยกว่าเช่นในโรงภาพยนตร์ ด้วยเหตุนี้สำหรับห้องที่ใช้ ฟังทดสอบเสียงเช่นในห้องควบคุมของสตูดิโอบันทึกเสียงจึงต้องมีการออกแบบ ทดสอบและ ปรับแต่งสภาพห้องร่วมกับอุปกรณ์วิเคราะห์ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่า RT60 ที่เหมาะสมตลอดย่านความถี่

เนื่องจากห้องฟังดนตรี “จากเครื่องเสียงของห้องฟังดนตรี” กับ “จากเครื่องดนตรีจริงๆ” นั้น สามารถกล่าวได้ว่าไม่ควรจะมีคุณลักษณะและปริมาณความก้องกังวานที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถ ขยายความได้เป็นลำดับ ดังนี้

2.2.2.1 ถ้าเรานั่งฟังเสียงเปียโนสดๆ ภายในห้องดนตรีที่มีการซับและเกลี่ยกระจาย เสียงสะท้อนได้อย่างลงตัว ทำให้เกิดหางเสียงและความกังวานที่สอดคล้องกับต้นเสียงที่ดังออกมาจากตัว เปียโนได้อย่างไรเพราะสาเหตุ

2.2.2.2 การบันทึกเสียงของคนตรีต่างๆ จะทำโดยการนำชุดไมโครโฟนไปวางใน ตำแหน่งที่จะรับเสียงได้อย่างไพเราะมากที่สุด ซึ่งเปรียบไมโครโฟนได้กับหูของผู้ที่นั่งฟัง

2.2.2.3 หูของผู้ฟังและไมโครโฟนจะได้รับเสียงที่วิ่งตรงจากตัวเครื่องดนตรีพร้อม หางเสียงกังวานจากการสะท้อนรอบๆห้องดนตรีนั้นและไมโครโฟนก็จะแปลงกระแสคลื่นเสียง ทั้งหมดเป็นกระแสสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องบันทึกเสียง

สรุปคือ ลักษณะและระดับการสะท้อนของเสียง ภายใน “ห้องดนตรี” กับ “ห้องฟังเสียงจากลำโพง Playback Room” นั้น ไม่ได้หมายความว่าควรจะต้องเหมือนกัน ซึ่งห้องที่ใช้สำหรับงานบันทึกเสียงเครื่องดนตรีหลายชิ้นเล่นสดๆ พร้อมกัน (Live Recording Room) โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้อุปกรณ์ประเภทกระจายเสียงสะท้อน (Diffusor) มากกว่าการใช้วัสดุประเภทซับเสียงสะท้อน (Absorber) เพื่อให้ได้บรรยากาศทางเสียงกังวานหรือแอมเบียนซ์ที่เหมาะสมสำหรับงานบันทึกผลงานดนตรีหนึ่งๆ ส่วนห้องฟังเสียงจากลำโพงนั้นกลับควรต้องคำนึงถึงเรื่องแอมเบียนซ์ส่วนเกินของห้องในกรณีที่ต้องการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมเสียงสะท้อนประเภทเดียวกับที่ใช้ในห้องบันทึกเสียงของสตูดิโอ

### 2.2.3 ระดับเสียง

หูของมนุษย์ปกติสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ในย่าน 20 Hz – 20 kHz ซึ่งการตอบสนองความถี่สูงของแต่ละมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปตามวัย คือหากอายุยิ่งมากความสามารถที่จะรับรู้เสียงสูงๆ ยิ่งลดลง เสียงใดมีความถี่สูงกว่าอีกเสียงหนึ่งอาจเรียกได้ว่ามีระดับเสียงสูง (Higher pitch)

เสียงของผู้ชายอยู่ในความถี่ประมาณ 250 Hz–1 kHz

เสียงของผู้หญิงอยู่ในความถี่ประมาณ 500 Hz–1.5 kHz

ความถี่ของเสียงที่หูมนุษย์คุ้นเคยและตอบสนองไวที่สุด คือ ความถี่ 3 kHz ความเข้มของเสียง หากเสียงค่อย มีแอมพลิจูดต่ำเสียงที่ดังขึ้นมีความเข้มมากขึ้นทำให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้น ความเข้มของเสียง ณ จุดต่างๆ มีขนาดแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแอมพลิจูดกำลังสอง

ความไวของหูกับความเข้มของเสียงที่มีความถี่ขนาดหนึ่งมีความเข้มน้อยๆ ตั้งแต่ไม่สามารถจะได้ยิน จนค่อยๆเพิ่มความเข้มจนสามารถได้ยิน ณ จุดของความเข้มนั้นเราเรียกว่า Threshold of Hearing ของความถี่ เมื่อเพิ่มความเข้มขึ้นเรื่อยๆ จะได้ยินเสียงขึ้นเรื่อยๆ นับได้ว่าหูมนุษย์เราสามารถรับความเข้มของเสียงหนึ่งๆ มีย่านใหญ่โตมากจะต้องมีความเข้มอยู่ค่าหนึ่งเริ่มให้ความรู้สึกเจ็บปวดแทรกเข้ากับการได้ยิน ค่านี้เรียกว่า Threshold Value of Pain

เนื่องจากหูของมนุษย์สามารถรับความเข้มของเสียงย่านกว้างมาก จึงนิยามบอกค่าความเข้มของเสียงโดยการเปรียบเทียบกับค่าความถี่มาตรฐาน 1 kHz ที่มีความเข้มค่า  $10^{-16}$  watts/cm<sup>2</sup> ซึ่งเป็นค่า Threshold Value of Hearing ของเสียง 1 kHz นี้ แม้ว่าอัตราส่วนออกมาได้แล้ว บางเสียงยังมีค่ามากกว่าอีกจึงอาศัยความรู้เรื่อง Logarithm ฐาน 10 เข้าช่วยเพื่อให้เกิดเป็นหน่วยมีค่าน้อย นอกจากนี้ความเข้มที่ต่างกันเล็กน้อยอาจทำให้เรารู้สึกว่าดังกว่ากันเป็นร้อย ๆ เท่า จึงจะให้ความรู้สึกเช่นนั้นได้นั้นคือเป็นไปในลักษณะของ Logarithm

การคำนวณประกอบได้คือ เสียงหนึ่งมีความเข้ม  $I_1$  watts/cm<sup>2</sup> และเสียงมาตรฐานมีความเข้ม  $I_2$  หรือ  $10^{-16}$  watts/cm<sup>2</sup>

หน่วย Bel ให้เป็นเกียรติแก่ Alexander Graham Bell ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์แต่หน่วยนี้ยังมีขนาดใหญ่อยู่จึงนิยมใช้หน่วยย่อยลงไปเป็น dB หรือ 1 Bel = 10 dB

ค่ามาตรฐานของความเข้ม 1 kHz ที่ทำให้หูได้ยิน Zero Intensity Level และเสียงอื่นที่มีความเข้มเป็น 10 เท่าของเสียงมาตรฐานนี้ ถือว่ามีระดับของความเข้มเป็น 10 เท่าคือ 10 dB เหนือค่ามาตรฐาน ในทางวิศวกรรมโทรศัพท์นิยมใช้ค่ามาตรฐานเป็น 6 มิลลิวัตต์ ป้อนเข้าสาย 500 หรือ 600 โอห์ม ดังนั้น กำลัง 60 มิลลิวัตต์จะมีระดับความเข้ม เท่ากับ

$$10 \log_{10} 10 \text{ dB} = +10 \text{ dB} \text{ คือ } 0.6 \text{ มิลลิวัตต์ จะมีระดับความเข้มเท่ากับ } -10 \text{ dB}$$

### 2.3 คุณภาพของเสียง

คุณภาพของเสียง (Speech quality) คือ คุณลักษณะของเสียงที่เราได้ยินและสามารถแยกได้ว่าเสียงที่ได้ยินนั้นเป็นเสียงของอะไร คุณภาพที่ดีของเสียงนั้นมีมาตรฐานในการประเมินตามลักษณะดังต่อไปนี้

2.3.1 ความชัดเจนด้วยอักขระ น้ำเสียง และความหมาย (Intelligibility) ตัวอย่างเช่น เสียงพากย์ การสนทนาของตัวละคร หรือ เสียงของนักร้องร้องเพลง ต้องมีความชัดเจน ถูกต้องตามอักขระ และฟังง่าย

2.3.2 ความสมดุลของเสียงต่ำ กลาง และสูง (Tonal balance) ต้องมีความสมดุลระหว่างเสียงต่ำ เสียงกลาง และเสียงสูง เช่น ไม่ทุ้มจนเกินไป ไม่สูงปรี๊ดจนเสียบหู และต้องมีความเป็นธรรมชาติ

2.3.3 ความคมชัด (Definition) ในชิ้นงานหนึ่ง อาจจะได้มีแค่เพียงเสียงเดียว แต่อาจจะประกอบขึ้นจากหลายๆเสียง ซึ่งแต่ละเสียงนั้นต้องสามารถแยกแยะ ได้มีตำแหน่งและหน้าที่ของตัวเองอย่างชัดเจน

2.3.4 ความสมดุลของตำแหน่งและมิติของเสียง (Spatial balance and perspective) ตำแหน่งของเสียงต้องชัดเจนว่าอยู่ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้า หรือด้านหลัง โดยขึ้นอยู่กับบริบทของเสียงนั้นๆ

2.3.5 ช่วงไดนามิกของเสียง (Dynamic range) หรือไดนามิกเรนจ์ คือ ความแตกต่างระหว่าง เสียงที่ดังที่สุดของงานชิ้นหนึ่ง (Loudest part of the program) กับ เสียงที่ค่อยที่สุดของงานชิ้นนั้น (Quietest part of the program) เสียงที่ดีควรฟังได้ง่ายเมื่ออยู่ในช่วงเสียงที่ค่อยที่สุดและไม่แตกหรือบิดเบี้ยวเมื่ออยู่ในช่วงที่ดังที่สุด

2.3.6 ความโปร่งของเสียง (Airtiness) เสียงที่ดีต้องมีความสะอาด ไม่มีเสียงรบกวนอื่นๆ เช่น เสียงฮัมหรือเสียงคลื่น (เสียงจี้) ของกระแสไฟฟ้า และเสียงตึงไม่ก้องหรือทึบจนเกินไป

## 2.4 ระบบเสียงเบื้องต้น

พื้นฐานของระบบเสียงที่ใช้ในงานกลางแจ้งและในห้องประชุม สามารถแบ่งส่วนที่สำคัญตามลักษณะหน้าที่ของการทำงานได้ดังนี้

### 2.4.1 สัญญาณเสียง แบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1.1 Input transducer (อุปกรณ์แปลงรูปสัญญาณขาเข้า) คือ Microphone และ Magnetic pickups ทำหน้าที่รับเสียงที่กระจายตัวทางอากาศด้วยกฎความดันแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

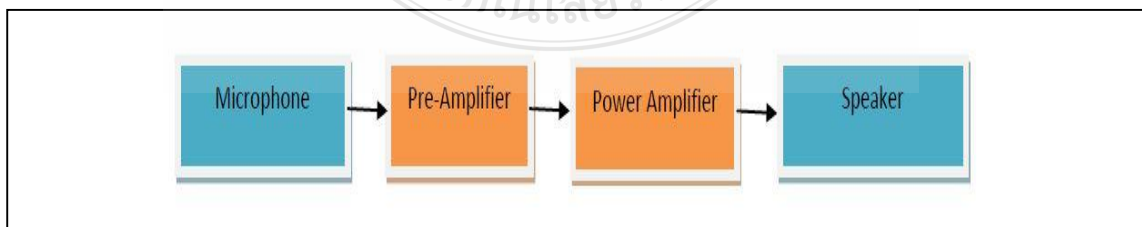
2.4.1.2 Output transducer (อุปกรณ์แปลงรูปสัญญาณขาออก) คือ ลำโพง ทำหน้าที่แปลงเสียงจากรูปสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นความดัน

สำหรับ CD-PLAYER หรือ เครื่องเล่นสัญญาณเสียงซ้ำ (Playback) ไม่ถูกจัดให้เป็น Transducer เพราะไม่เปลี่ยนรูปสัญญาณ เพียงแต่ส่งผ่านเสียงในรูปสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ระบบขยายเท่านั้น

### 2.4.2 ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) แบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.4.2.1 Pre-Amplifier (ภาคขยายสัญญาณปฐมภูมิ) ใช้สำหรับขยายสัญญาณที่ได้จาก Input Transducer เช่น ไมโครโฟน เพื่อให้มีความแรง (ความดัง) มากพอ สำหรับขับ Power Amplifier (ภาคขยายสัญญาณกำลัง)

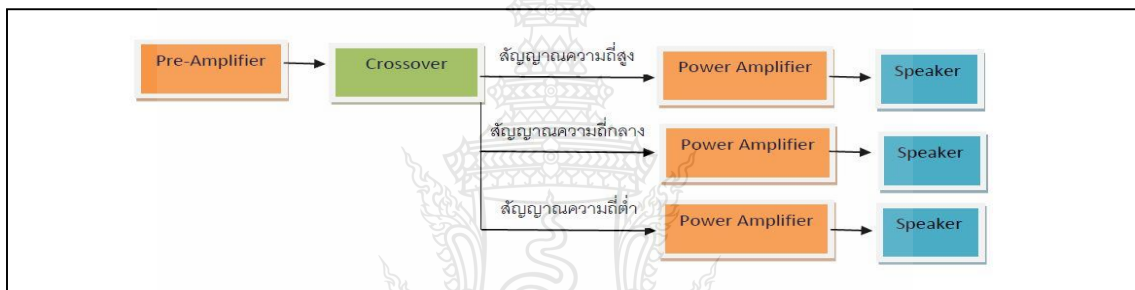
2.4.2.2. Power Amplifier (ภาคขยายสัญญาณกำลัง) มีหน้าที่ขยายสัญญาณที่ถูกขยายเบื้องต้นจากภาคขยายสัญญาณปฐมภูมิให้มีกำลังมากพอที่จะขับ Output transducer คือ ลำโพงที่ค่ากำลังกำหนด (Watt)



รูปที่ 2.13 แผนผังการทำงานของภาคขยายสัญญาณเสียง

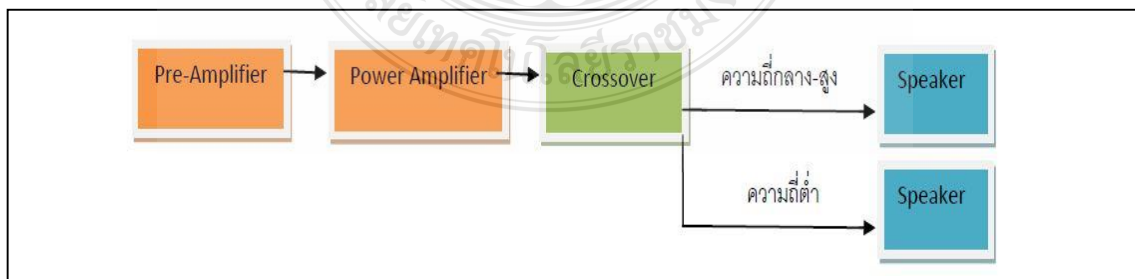
2.4.3 Crossover หรือ Frequency Divider คือ อุปกรณ์แบ่งความถี่เสียงออกเป็นช่วง เพื่อทำการขยายออกลำโพงที่สามารถทำงานได้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่แตกต่างกันเพราะลำโพงทุกดอกในตู้หนึ่งๆ ไม่สามารถตอบสนองความถี่ได้เท่ากันจึงต้องมี Crossover เพื่อแบ่งย่านความถี่ให้ลำโพงแต่ละดอกทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ หรืออาจกล่าวได้ว่า Crossover มีหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับดอกลำโพงจากการตอบสนองความถี่นอกเหนือจากที่ถูกออกแบบไว้ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.4.3.1 Active Crossover ถูกค้นคิดวางระหว่าง Pre-Amplifier กับ Power Amplifier โดยแบ่งความถี่เสียงก่อนถูกขยายออกสู่ดอกลำโพงต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันนี้สามารถแบ่งช่วงความถี่ได้ตามความสามารถของ Crossover แต่ละรุ่น



รูปที่ 2.14 แผนผังการทำงานของ Active Crossover

2.4.3.2 Passive Crossover บรรจุอยู่ในตู้ลำโพง มีลักษณะเป็นแผ่นวงจร โดยถูกจัดวางหลังจาก Power Amplifier มักใช้กับลำโพง 2 ทาง (ตู้ลำโพง 1 ใบมีลำโพง 2 ดอกตอบสนองความถี่ 2 ย่าน)



รูปที่ 2.15 แผนผังการทำงานของ Passive Crossover

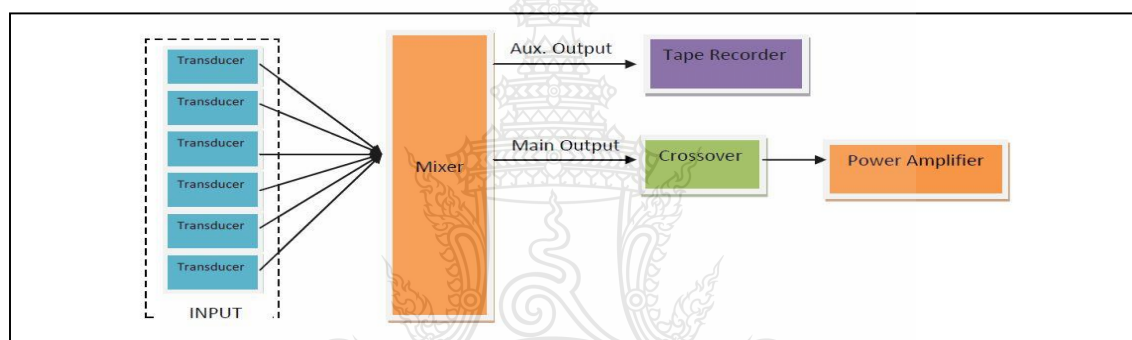


2.4.4 Mixer มีหน้าที่ในการรวมสัญญาณเสียงจากหลายๆ Input เข้าด้วยกัน (Pre-Amplifier 1 ชุด คือ 1 ช่องของสัญญาณขาเข้าบน Mixer) ซึ่งมีส่วนประกอบ ดังนี้

2.4.4.1 Input เป็นจุดรับสัญญาณขาเข้าจาก Input transducer และ Playback โดยความสามารถในการรองรับชนิดสัญญาณ Input ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะรุ่น

2.4.4.2 Tone Control นิยมเรียกว่า Equalizer มีหน้าที่ปรับโทนเสียงของสัญญาณขาเข้า เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องหรือปรับแต่งสัญญาณให้ผิดไปจากเดิม

2.4.4.3 Output เป็นจุดปล่อยสัญญาณจาก Pre-Amplifier แต่ละชุดที่ถูกรวม (Summing) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว มี 2 ประเภทคือ Main Output (สัญญาณขาออกหลัก) และ Auxiliary output (สัญญาณขาออกเสริม)



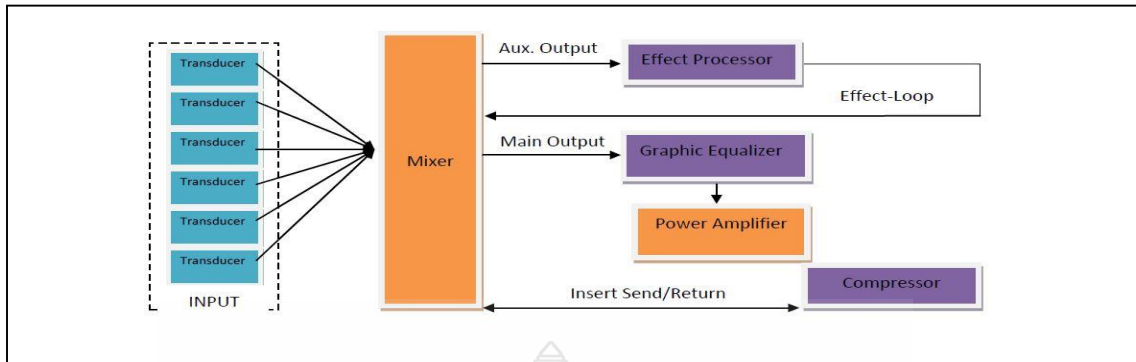
รูปที่ 2.16 แผนผังการทำงานของ Mixer

2.4.5 Signal Processor คือ อุปกรณ์ประมวลเสียงเฉพาะหน้าที่ถือเป็นอุปกรณ์ชนิดสุดท้ายของระบบเสียงที่มีหน้าที่เฉพาะทาง โดยแบ่งวิธีการเชื่อมต่อออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

2.4.5.1 Graphic Equalizer คือ Equalizer ชนิดหนึ่งที่แบ่งความถี่เสียงออกเป็น 31 ย่าน และมักใช้ในการปรับแก้ไข โทนเสียงจาก Output ของ Mixer

2.4.5.2 Effect Processor คือ ตัวสร้างมิติเสียงเช่น เอ็คโค หรือทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงรูปเสียงให้มีความแปลกไปจากเดิม มักใช้รับสัญญาณจาก Auxiliary output มาประมวลผลและส่งกลับไปอยู่ที่ Input ที่ยังว่างอยู่ของ Mixer ซึ่งเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า Effect-loop

2.4.5.3 Compressor คือ อุปกรณ์สร้างความสม่ำเสมอด้านความดังของสัญญาณเสียง โดยมักใช้ที่ตำแหน่ง Insert ของ Mixer



รูปที่ 2.17 แผนผังการทำงานของ Signal Processor

## 2.5 วงจรกรองความถี่ [2]

วงจรกรองความถี่ (Filter Circuit) คือ วงจรที่มีคุณสมบัติในการเลือกความถี่ให้สามารถผ่านไปได้ โดยใช้คุณสมบัติของ RLC ที่มีการตอบสนองต่อความถี่ที่ต่างกัน วงจรกรองความถี่นิยมใช้งานในวงจรของวิทยุ ที่ใช้การตัดความถี่คลื่นพาหะออกไป หรือใช้ในวงจรดีมอดูเลชันของโทรทัศน์ หากในวงจรเครื่องเสียง ก็จะใช้เลือกความถี่ให้เหมาะสมกับลำโพงที่จะใช้งาน หรือปรับแต่งความถี่ที่ผ่านได้ เพื่อให้ระบบเสียงโดยรวมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

### 2.5.1 คุณสมบัติของ RLC ที่มีผลกับความถี่

#### 2.5.1.1 ตัวต้านทาน (R: Resistor)

คุณสมบัติของ R คือ ตัวต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อตัวต้านทานมาอยู่ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ก็จะมีคุณสมบัติแบบเดียวกัน โดยที่

$$XR = R \quad (2.5)$$

#### 2.5.1.2 ตัวเหนี่ยวนำ (L: Inductor)

คุณสมบัติของ L จะยอมให้ความถี่ต่ำผ่านเท่านั้น หากความถี่สูงมากเท่าใด ความต้านทานภายในตัวของมันก็ยิ่งสูงขึ้น สูตรการคำนวณ คือ

$$XL = 2\pi fL \quad (2.6)$$

### 2.5.1.3 ตัวเก็บประจุ (C: Capacitor)

คุณสมบัติโดยปกติของตัวเก็บประจุจะยอมให้ความถี่สูงผ่าน สูตรการหาความต้านทานของ C เมื่ออยู่ในไฟฟ้ากระแสสลับ คือ

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} \quad (2.7)$$

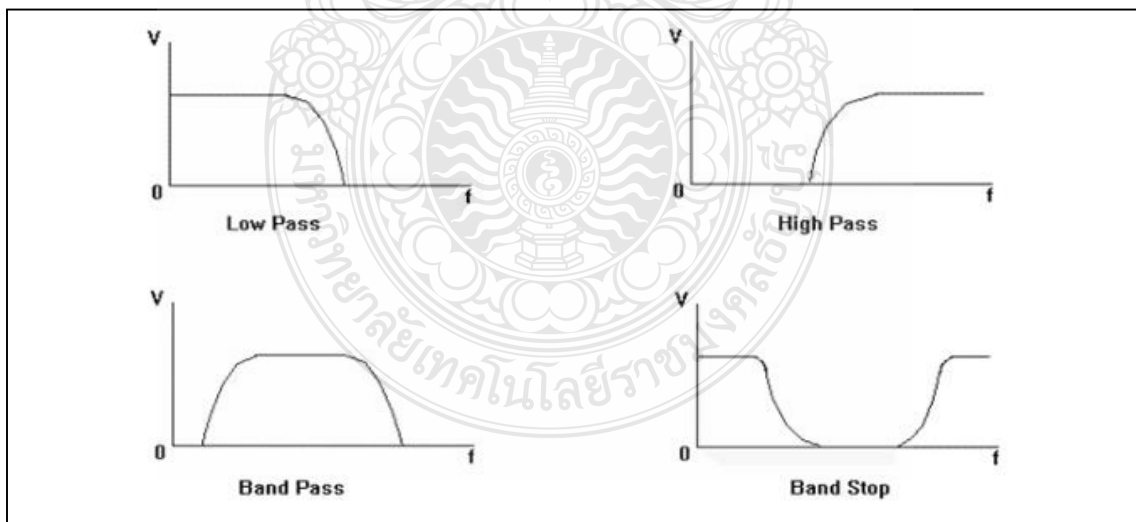
## 2.5.2 การแบ่งประเภทของวงจรกรองความถี่แบ่งตามการตัดความถี่ ดังนี้

2.5.2.1 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) จะตัดความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดทิ้งไป (ความถี่ที่กำหนด จะถูกเรียกว่าความถี่ตัดผ่าน)

2.5.2.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) จะยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าที่กำหนดทิ้งไป และจะตัดความถี่ที่กำหนดทิ้งไป

2.5.2.3 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band pass filter) จะตัดความถี่ให้ผ่านไปได้ ช่วงหนึ่งเริ่มจากที่กำหนด และสิ้นสุดในความถี่ที่กำหนด

2.5.2.4 วงจรหยุดแถบความถี่ผ่าน (Band stop filter) จะยอมให้ความถี่ที่นอกเหนือจากความถี่ที่กำหนดไว้ให้ผ่านไปได้



รูปที่ 2.18 รูปสัญญาณของวงจรกรองความถี่ประเภทต่างๆ

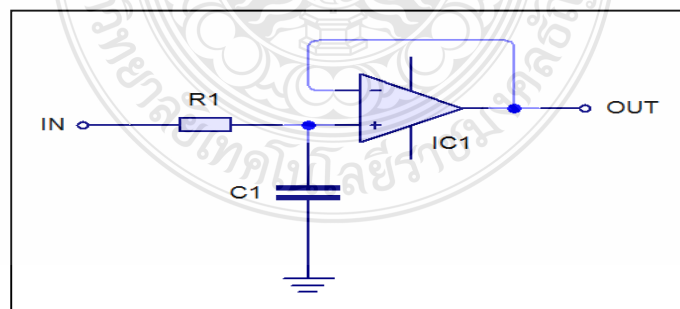
### 2.5.3 การแบ่งตามการใช้งานแหล่งจ่ายไฟภายนอก แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

2.5.3.1 แบบพาสซีฟ (Passive) เป็นวงจรที่ไม่ต้องการแหล่งจ่ายไฟภายนอก ก็สามารถทำให้วงจรทำงานได้ โดยใช้เพียงคุณสมบัติของ RLC เป็นพื้นฐานของวงจร ซึ่งวงจรแบบพาสซีฟ มีข้อดี คือ ใช้อุปกรณ์น้อย มีคุณภาพการตัดความถี่ดี ส่วนข้อเสีย คือ ตัว L สร้างได้ยากและไม่มีการขยายทำให้มีความสูญเสียที่สูง



รูปที่ 2.19 วงจรครอสโอเวอร์แบบพาสซีฟ

2.5.3.2 แบบแอคทีฟ (Active) เป็นวงจรที่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟภายนอก เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้สมบูรณ์ ใช้คุณสมบัติของ RLC เช่นเดิม แต่เพิ่มวงจรขยายขึ้นมา โดยส่วนใหญ่ นิยมใช้ออปแอมป์ (Op-Amp) มาใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณเสียง



รูปที่ 2.20 วงจรครอสโอเวอร์แบบแอคทีฟ

## 2.6 พื้นฐานการออกแบบห้องประชุม

พื้นฐานการออกแบบห้องประชุม (Auditorium Design) มีหลักเกณฑ์ในการออกแบบห้องให้มีการรับฟังเสียงที่ดี ได้แก่ การขจัดปัญหาเกี่ยวกับเสียงที่ไม่ต้องการออกไปการเพิ่มหรือลดระดับเสียงในห้องและการเลือกใช้รูปแบบและทรงของห้องที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบห้องประชุมที่มีการรับฟังเสียงที่ดี สิ่งที่จะนำไปสู่การออกแบบห้องประชุมที่มีการรับฟังเสียงที่ดี คือ

2.6.1 ขนาดของห้องประชุม (Capacities) ขนาดความจุของผู้เข้าชมในห้องประชุม โดยทั่วไปจะเรียกความจุเป็นจำนวนมนุษย์หรือจำนวนที่นั่งซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนมนุษย์เป็นหลัก ส่วนประโยชน์ใช้สอยอาจแตกต่างกันบ้าง ดังต่อไปนี้

2.6.1.1 ห้องประชุมขนาดเล็ก ขนาด 35 – 750 คน

2.6.1.2 ห้องประชุมขนาดกลาง ขนาด 750 -2,000 คน

2.6.1.3 ห้องประชุมขนาดใหญ่ ขนาด 2,000 คนขึ้นไป

2.6.2 รูปแบบห้องประชุม (Auditorium shape) รูปแบบห้องประชุมมีหลายลักษณะตามแต่สถาปนิกจะออกแบบในรูปแบบใดบ้าง ตัวอย่างเช่น

2.6.2.1 แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular floor shape)

2.6.2.2 แบบรูปพัด (Fan shape)

2.6.2.3 แบบรูปเกือกม้า (House shoe, ellipse floor shape)

2.6.2.4 แบบรูปวงกลม (Form circular floor shape)

2.6.2.5 แบบรูปอิสระ (Free form shape or irregular form)

2.6.3 รูปแบบเวทีห้องประชุม (Stage types) ตำแหน่งและรูปแบบเวทีมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบห้องประชุมต่างๆ ไป รูปแบบเวทีสามารถแบ่งได้ดังนี้ คือ

2.6.3.1 End Stage เป็นรูปแบบของเวทีในห้องประชุมต่างๆ ไป คืออยู่ทางปลายด้านหนึ่งของรูปทรงห้องประชุม เป็นรูปทรงที่เหมาะสมที่สุดและสามารถควบคุมการดูแลการรับฟังของผู้ชมได้ง่าย ควบคุมเสียงได้ดีเหมาะสำหรับการชมดนตรี การแสดง และการปาฐกถา

2.6.3.2 Open Stage เป็นเวทีที่เน้นการชมการแสดงมากกว่าการฟัง เช่น ใช้ดินแพชั่น โข่ว ฯลฯ การควบคุมเสียงกระทำได้ยาก แต่การแสดงนั้นผู้ชมและผู้แสดงมีโอกาสได้สัมผัสใกล้ชิดมากขึ้น

2.6.3.3 Central Stage or Island Stage or Arena Stage เหมาะสำหรับการแสดงต่างๆ ที่มองดูรอบตัวการแสดง รวมทั้งการชมมวยแต่ไม่เหมาะสำหรับการให้เสียงที่ดี พื้นที่ทุกด้านของเวที

เปิดผู้ชมทั้งหมดทุกด้าน การกระจายเสียงจะคำนึงถึงการกระจายเสียงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียง โดยตรงเป็นหลักมากกว่าการสะท้อน เพราะมีพื้นที่ของการสะท้อนเสียงน้อย

2.6.3.4 Adaptable Stage เป็นเวทีที่สามารถปรับได้และดัดแปลงรูปทรงได้ตามความจำเป็นของงานและจุดประสงค์ของประโยชน์ใช้สอยที่ต่างกัน การควบคุมเพื่อให้ได้รับฟังเสียงได้ดี กระทำได้ยากมาก เวทีประเภทนี้โดยมากเป็นเวทีเอนกประสงค์ เช่น เวทีห้องประชุมประจำโรงเรียน ซึ่งใช้สำหรับเล่นกีฬา ประชุม แสดงละคร และการแสดงดนตรี ฯลฯ

## 2.7 การคำนวณการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT)

ในการคำนวณการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว นั้นเป็นการลดทอนการคำนวณให้สั้นลงแต่ยังคงมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการคำนวณ โดยซึ่งยุ่งยากซับซ้อน โดยเฉพาะเมื่อ  $N$  มีค่ามากและเพื่อลดความซับซ้อนความซับซ้อนของการคำนวณจาก  $2N^2$  จึงกลายมาเป็น  $N \log_2 N$  วิธีดังกล่าวนี้ อาศัยการลดทอนทางเวลา โดยเริ่มจากการแบ่งจากกลุ่มของข้อมูล  $x(n)$  ก่อน หรือการลดทอนทางความถี่ (เริ่มการแบ่งจากกลุ่มของผลลัพธ์ของ  $X(k)$  ก่อน) ดังสมการที่ (2.8)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-i2\pi k \frac{n}{N}}, k = 0, \dots, N-1 \quad (2.8)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนตัวอย่างในหนึ่งกรอบสัญญาณ

$k$  คือ ลำดับของกรอบสัญญาณ  $k = 1, 2, \dots, N$

ความหนาแน่นพลังงานสเปกตรัมและความหนาแน่นกำลังงาน สเปกตรัม (Energy Spectral Density and Power Spectral Density) การวิเคราะห์การกระจายตัวของสเปกตรัมพลังงานหรือกำลังงานของสัญญาณเสียงใน โดเมนของความถี่ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องนั้น การหาค่าความหนาแน่นสเปกตรัมพลังงานสามารถหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$|X(f)|^2 = \left| \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m) e^{-j2\pi f m} \right|^2 \quad (2.9)$$

สเปกตรัมพลังงานของ  $x(m)$  อาจจะแปลงเป็นฟูริเยร์ของฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ของ  $x(m)$  ได้ตามสมการที่ (2.10)

$$|X(f)|^2 = (f)X * (f)$$

$$= \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m)e^{-j2\pi fm} \quad (2.10)$$

ในกรณีที่ตัวแปร  $r(m)$  เป็นฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์ของ  $x(m)$  การแปลงฟูริเยร์จะหาได้เฉพาะพลังงานของสัญญาณซึ่งในสัญญาณจะประกอบด้วยสัญญาณสุ่มที่มีสถานะนิ่งและเนื่องจากสัญญาณมีสถานะนิ่งมีความยาวและมีพลังงานที่ไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้นจึงไม่สามารถแปลงเป็นฟูริเยร์ได้ สำหรับการสุ่มสัญญาณ สิ่งที่เราควรคำนึงถึงก็คือความหนาแน่นของพลังงานสเปกตรัมซึ่งต้องแปลงเป็นฟูริเยร์ของฟังก์ชัน อัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function)

การประมาณค่าพลังงานสเปกตรัมแบบวิธีไม่ใช่พารามเมตริก (Non-Parametric power spectrum estimation) วิธีคลาสสิกของการประมาณค่าของคลื่นความหนาแน่นของพลังงานของจำนวน  $N$  ตัวอย่าง โดยวิธี Periodogram ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดย เซอร์ อาร์เธอร์ ชุสเตอร์ (Sir Arthur Schuster) ในปี 1939 วิธี Periodogram สามารถหาได้จากสมการที่ (2.11)

$$\hat{P}_{xx}(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{m=0}^{N-1} x(m)e^{-j2\pi fm} \right|^2$$

$$= \frac{1}{N} |X(f)|^2 \quad (2.11)$$

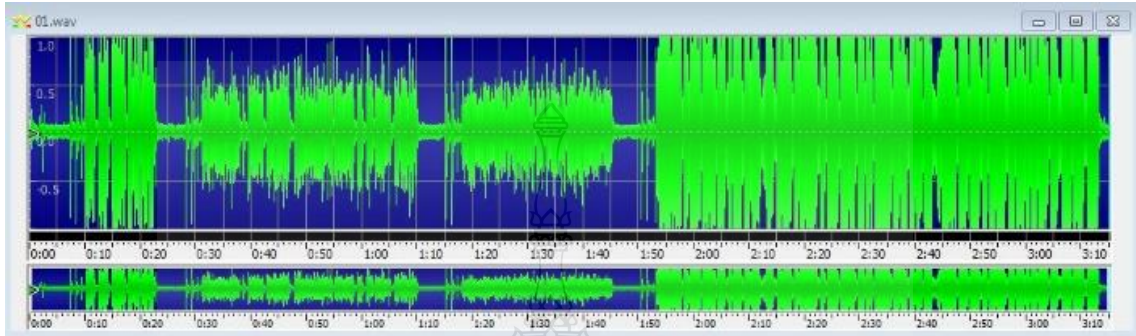
การหาค่าพลังงานความหนาแน่นสเปกตรัมหรือค่าพลังงานของสเปกตรัมสามารถหาได้จากสมการ (2.8) ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีแบบไม่ใช่พารามเมตริก (Non-Parametric) ของการประมาณค่าสเปกตรัมเนื่องจากความยาวจำกัด และการสุ่มแบบธรรมชาติของสัญญาณส่วนใหญ่สเปกตรัมที่ได้จะมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย ดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีที่จะลดความแปรปรวนของวิธี Periodogram

## 2.8 การวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเสียงเบื้องต้น

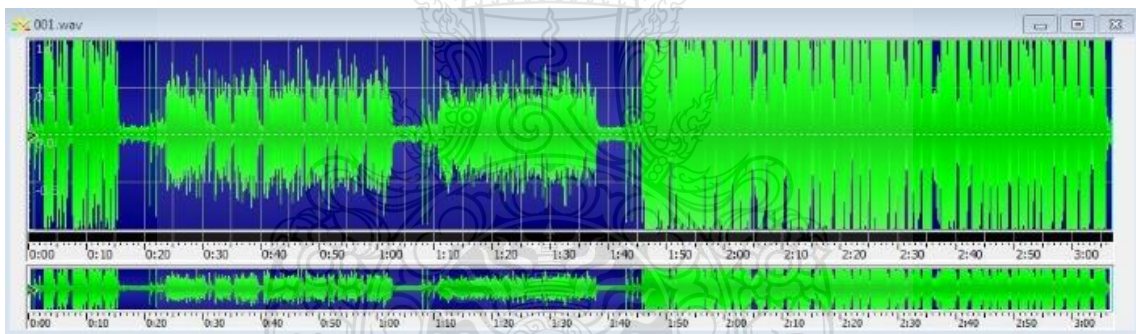
การวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเสียงเบื้องต้น เป็นขั้นตอนเพื่อจัดเตรียมไฟล์เสียงซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ทำการบันทึกเสียงผ่านกระบวนการทางดิจิทัล นามสกุล .Wav สัญญาณเสียงนั้นเป็นแบบไม่คงตัวคือจะเปลี่ยนไปตามเวลา (Non-Stationary) จึงจำเป็นต้องนำไฟล์เสียงมาแบ่งเป็นส่วนเพื่อจะได้สามารถนำแต่ละส่วนมาคำนวณและสามารถวิเคราะห์ได้

### 2.8.1 ไฟล์เสียงต้นฉบับ (Original Speech Waveform)

ไฟล์เสียงต้นฉบับจะมีส่วนหัวและท้ายของรูปแบบของคลื่น (Waveform) ที่ไม่ใช่สัญญาณเสียง จึงจำเป็นต้องทำการตัดส่วนนี้ออก เพื่อให้สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์สัญญาณเสียง



รูปที่ 2.21 ไฟล์เสียงต้นฉบับ

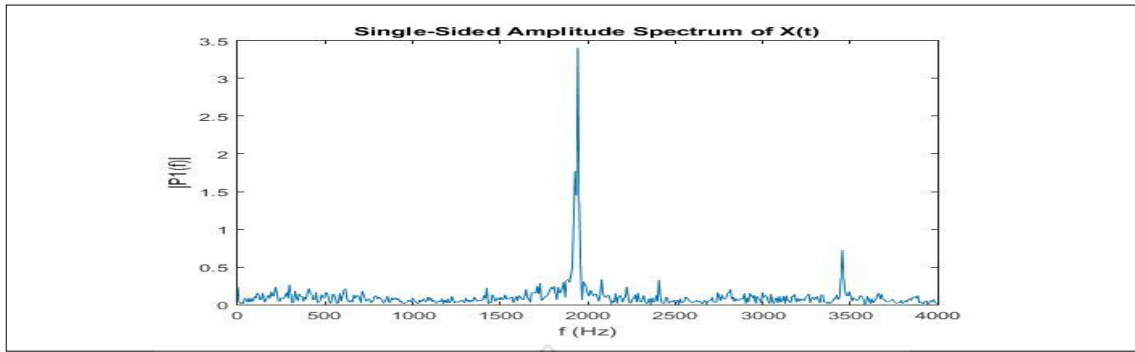


รูปที่ 2.22 ไฟล์เสียงที่ทำการตัดหัว-ตัดท้าย เรียบร้อยแล้ว

### 2.8.2 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียง

เมื่อได้ไฟล์เสียงที่สมบูรณ์แล้ว จึงนำสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความถี่ในสัญญาณเสียง เพื่อหาค่าของความถี่ของสัญญาณเสียงในแต่ละไฟล์ ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละตำแหน่งของสัญญาณเสียงต่อไป





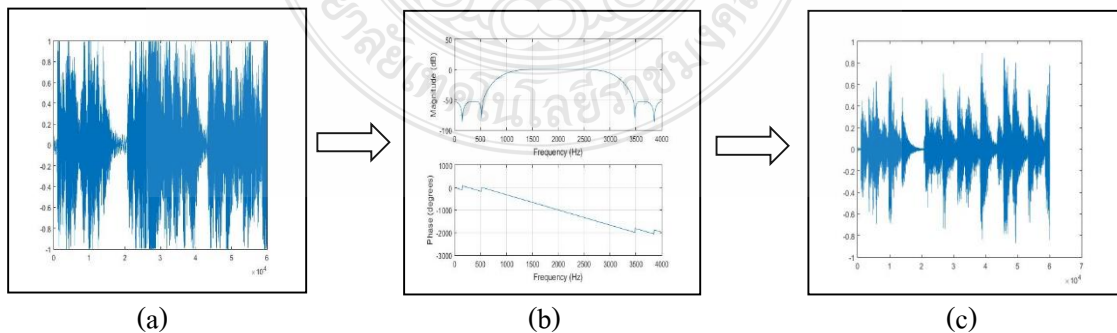
รูปที่ 2.23 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

จากรูปที่ 2.23 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว กระบวนการนี้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วจะสกัดค่าของความถี่ที่เกิดขึ้นในสัญญาณเสียงออกมา จะพบว่า รูปที่ 2.23 สัญญาณเสียงนี้มีค่าความถี่ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ที่ 2 kHz

## 2.9 ตัวกรองดิจิตอลจำกัด (Finite Impulse Response: FIR)

ตัวกรองดิจิตอลจำกัด ให้ผลตอบสนองตามระยะเวลาที่แน่นอน หรืออาจกล่าวได้ว่าผลตอบสนองเกิดขึ้นได้โดยการใช้จำนวนลำดับของตัวเลขอินพุตที่แน่นอน ตัวกรองดิจิตอลจำกัดที่มี  $M$  ซึ่งสัมประสิทธิ์ของแต่ละชุด คือ  $\{h[0], h[1], \dots, h[M-1]\}$  ผลสุดท้ายของอินพุตสามารถเขียนด้วยสมการ ดังนี้

$$y(n) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(n-k) \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.24 กระบวนการของสัญญาณเสียงเมื่อกรองผ่านตัวกรองดิจิตอลจำกัด

จากรูปที่ 2.24 จะพบว่า เมื่อนำสัญญาณเสียงต้นฉบับ (a) กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด (b) ผลปรากฏว่าสัญญาณเสียงจะที่ได้ (c) จะถูกบีบอัดให้เรียบมากขึ้นแต่จะมีค่าของแอมพลิจูดที่ลดลง ในการสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัดจะต้องคำนึงถึงจำนวนออร์เดอร์ (N) ของตัวกรอง ค่า N ที่ได้คือค่าสัมประสิทธิ์สามารถนำไปใช้ในการสร้างวงจร Filter และจะเป็นตัวบ่งบอกประสิทธิภาพของการกรองสัญญาณเสียง หากค่า N น้อยเกินไป ประสิทธิภาพของการกรองสัญญาณเสียงก็จะน้อยลงแต่ไม่ได้หมายความว่าค่า N มากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการกรองสัญญาณเสียงดีขึ้น เพราะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานจริงด้วย ข้อดีและประโยชน์ของตัวกรองดิจิทัลจำกัดทางด้านการประมวลผลทางสัญญาณเสียง มีดังนี้

2.9.1 ตัวกรองดิจิทัลจำกัด สามารถเปลี่ยนการตอบสนอง Magnitude ของลำโพงโดยไม่ต้องเปลี่ยนการตอบสนอง Phase สามารถช่วยให้เกิด Steep Crossover filters ที่สูงมากและทำให้เกิด Phase shift ในการตอบสนองด้วย

2.9.2 ตัวกรองดิจิทัลจำกัด สามารถปรับปรุงซอฟต์แวร์ในการตั้งค่าต่างๆ เช่น การใช้ Gratis Volver เพื่อการตอบสนอง Impulse ของห้อง

2.9.3 ตัวกรองดิจิทัลจำกัด สามารถที่จะนำไปใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์ เพื่อนำไปใช้ใช้งานในการประมวลผลสัญญาณแบบ Real-Time.

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงของห้องประชุมและการสร้างตัวกรองดิจิทัลชนิดแถบความถี่ผ่านทำการกรองความถี่ของสัญญาณเสียงที่คลาดเคลื่อน เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงแต่ละตำแหน่งของห้องประชุมให้ใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งงานวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณเสียงมีการพัฒนาอย่างหลากหลายแนวทางและมีความแตกต่างกันออกไป ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยนั้นๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยที่กำลังศึกษา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.10.1 ในงานวิจัยของ [3] นำเสนอในหัวข้อ “A Block Least Squares Approach to Acoustic Echo Cancellation” วิธีการนี้จะทำการสร้างกรอบ เพื่อครอบสัญญาณเสียงแล้วทำการกำจัดเสียงสะท้อน เพื่อให้เสียงมีความเหมาะสมกับห้องแบบอะคูสติก จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถกำจัดเสียงสะท้อนได้ในระดับหนึ่งแต่เมื่อสัญญาณเสียงถูกบันทึกในระดับที่ไกลมากๆระดับเสียงสะท้อนก็เพิ่มมากขึ้นด้วย

2.10.2 ในงานวิจัยของ [4] นำเสนอในหัวข้อ “A Design Method of Low Delay FIR Band-Pass Filters” เป็นการออกแบบตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน โดยที่ตัวกรองชนิดนี้เปรียบเทียบกับจำนวนออร์เดอร์ (N) เท่ากัน แต่จะเกิดความล่าช้าของสัญญาณเสียงที่น้อยกว่า จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนออร์เดอร์แล้วมีความล่าช้าต่ำกว่าแต่สัญญาณเสียงจะถูกบีบอัดจนทำให้สัญญาณเสียงเกิดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณเสียงต้นฉบับ

2.10.3 ในงานวิจัยของ [5] นำเสนอในหัวข้อ “Fast Noise Compensation For Speech Separation In Diffuse Noise” เป็นการชดเชยและแยกสัญญาณเสียงรบกวนโดยใช้กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ในการประมวลผลและสกัดจุดเด่นสัญญาณเสียงรบกวนนั้นๆ จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่าสามารถชดเชยสัญญาณเสียงได้ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อความดังของสัญญาณเสียงเพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้เกิดสัญญาณเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น

2.10.4 ในงานวิจัยของ [6] นำเสนอในหัวข้อ “Objective Measurement of Colouration in Reverberation” เป็นการวัดระดับเสียงก้องด้วยการแสดงผลเป็นระดับสี โดยใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของสัญญาณและบอกเป็นแถบระดับสี จากนั้นใช้กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วในการวิเคราะห์แถบระดับสี ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงการแสดงถึงลักษณะการใช้งานเมื่อเทียบกับสัญญาณสัญญาณเสียงจริงเท่านั้น

2.10.5 ในงานวิจัยของ [7] นำเสนอในหัวข้อ “Joint Derverberation and Noise Reduction Based On Acoustic Multichannel Equalizatio” เป็นการกรองสัญญาณเสียงเพื่อลดเสียงรบกวนและเสียงสะท้อนของห้องแบบอะคูสติก โดยหาคำนวณค่า SNR ของสัญญาณเสียงเพื่อเปรียบเทียบกับเสียงรบกวน จากผลการทดลองในการใช้เทคนิคนี้ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ในขณะที่การลดทอนเสียงรบกวนก็มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย

2.10.6 ในงานวิจัยของ [8] นำเสนอในหัวข้อ “Speech Emotion Classifier using support Vector Machine with FFT and MFCC” เป็นการสกัดคุณลักษณะเด่นของการแสดงออกทางอารมณ์ของเสียงออกมาใช้ โดยมีการประยุกต์นำเอาการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วเข้าช่วยเพื่อหาคุณลักษณะพิเศษของเนื้อเสียงพูด ผลการทดลองสามารถใช้งานได้ดีในบางอารมณ์ แต่อาจมีปัญหาในการสกัดคุณลักษณะของอารมณ์บางประเภท

2.10.7 ในงานวิจัยของ [9] นำเสนอในหัวข้อ “Equiripple Band-Pass FIR Filter Design for Speech Signals Order Optimization for frequency range of 300 Hz to 4000 Hz” การออกแบบตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อให้เหมาะสมสำหรับเสียงพูด โดยกรองความถี่ที่ 300 Hz –

4000 Hz ทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งใช้จำนวน  $N=405$  ทำให้เกิดความล่าช้าและเกิดการสูญเสียของสัญญาณเสียง

2.10.8 ในงานวิจัยของ [10] นำเสนอในหัวข้อ “การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อน โดยใช้ FFT” เป็นการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม ซึ่งในกระบวนการทดลองได้ทำการบันทึกสัญญาณเสียงภายในห้อง โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการบันทึกเสียงมีระยะห่างกัน  $1 \times 1$  ตารางเมตร เมื่อได้สัญญาณเสียงแล้วมีการนำกระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนในสัญญาณเสียง จากการทดลองพบว่าในย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 1 kHz มีค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงเกิดขึ้น

2.10.9 ในงานวิจัยของ [11] นำเสนอในหัวข้อ “Multichannel Identification of Room Acoustic System with Adaptive Filters Based on Orthonormal Basic Functions” เป็นการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียง สำหรับห้องแบบอคูสติก ในกระบวนการวิเคราะห์มีการบันทึกสัญญาณเสียง โดยแต่ละตำแหน่งมีระยะห่าง  $2 \times 1$  ตารางเมตร ในผลการทดลองของงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าหากลดระยะห่างของตำแหน่งที่บันทึกให้น้อยลงอาจทำให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นมีความละเอียดมากขึ้น

2.10.10 ในงานวิจัยของ [12] นำเสนอในหัวข้อ “Acoustic Noise and Echo Canceling with Microphone Array” เป็นการลดเสียงสะท้อนภายในห้องคนขับของรถยนต์ ซึ่งมีกระบวนการสร้างไมโครโฟนอาร์เรย์ ในระดับสัญญาณเสียงที่ 10 dB ถึง 20 dB จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่าค่าสัญญาณเสียงที่ดีที่สุดคือ 19 dB โดยใช้ความเร็วที่ 90 km/h และมีขนาดของตัวกรองที่ 256 filters แต่ในการลดทอนเสียงรบกวนนั้นต้องทำการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นกว่านี้

2.10.11 ในงานวิจัยของ [13] นำเสนอในหัวข้อ “A Variable Step-Size Affine Projection Algorithm Designed for Acoustic Echo Cancellation” เป็นการจำลองและการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อแก้ไขเสียงสะท้อนสำหรับห้องแบบอคูสติก พบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นคือ 1) สภาพแวดล้อมมีผลอย่างมากต่อการสะท้อนของเสียง 2) การจัดวางตำแหน่งของระบบที่นำมาทดสอบรวมถึงการตอบสนองต่อการสะท้อนของสัญญาณเสียง จากการทดลองพบว่า การจำลองอัลกอริทึมที่เกิดขึ้นมีสัญญาณเสียงที่ซ้อนทับกันมาก ซึ่งเกิดจากหลักการทางธรรมชาติจึงเป็นการยากที่จะแก้ไขให้ดีขึ้น โดยในการแก้ไขควรคำนึงถึงปัจจัยที่ทนทานต่อสะท้อนของเสียงภายในวัตถุด้วย

2.10.12 ในงานวิจัยของ [14] นำเสนอในหัวข้อ “FIR Digital Filter Banks for Speech Analysis” งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบตัวกรองแบบแบนด์วิดท์ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของ

หน้าต่างตัวกรอง โดยพิจารณาความยืดหยุ่นของความถี่และแบนด์วิดท์ของตัวกรองแต่ละชนิด จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า การใช้ตัวกรองชนิด Kaiser window และ Filter-bank สามารถตอบสนองความถี่ได้ดี ในจำนวนที่  $N=101$

2.10.13 ในงานวิจัยของ [15] นำเสนอในหัวข้อ “Finite Impulse Response Filter for Speech Analysis and Synthesis” การใช้งาน FIR Filter สำหรับการวิเคราะห์คำพูดและสังเคราะห์ โดยใช้ตัวจำลองคลื่น A และ B ใน FIR Filter เพื่อวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูดและทำการสังเคราะห์จากนั้นมีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า การใช้ตัวกรองการสังเคราะห์เสียงพูดด้วย FIR filter เชิงเฟสที่ต่ำมีค่าความชัดเจนและตอบสนองสัญญาณเสียงมากกว่า FIR filter เชิงเส้น และสำหรับค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์โคไซน์ที่ไม่ต่อเนื่องทำให้คุณภาพเสียงพูดดีขึ้นเมื่อเทียบกับสเปกตรัมในการพูดในรูปแบบของการจำลองที่ใช้เพื่อแก้ไขความถี่แบบเส้นตรง (Linear scale)

2.10.14 ในงานวิจัยของ [16] นำเสนอในหัวข้อ “A Comparison of FIR Filter Bank Design Methods with Applications to Intelligibility Enhancement of Noise-Corrupted Speech Signals” เป็นการเปรียบเทียบการออกแบบของตัวกรอง เพื่อนำมาพัฒนาสัญญาณเสียงร่วมกับการประมวลผลสัญญาณรบกวนที่ไม่เสถียร จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า ตัวกรอง FIR เชิงเส้นที่มีการตอบสนองต่อความถี่ที่ดีคือลักษณะแบบ Hanning ร่วมกับ ตัวกรองชนิด Band pass filter โดยใช้ Filter length=175 ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างตัวกรองได้ดีขึ้น

2.10.15 ในงานวิจัยของ [17] นำเสนอในหัวข้อ “Improvement of the Clustering Technique to Design a Codebook in Speech Coding” การศึกษาอัลกอริทึมการจัดกลุ่ม (Cluster) โดยใช้สองวิธีการร่วมกัน เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้นและใช้ค่าของกลุ่มน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในการแสดงกลุ่มข้อมูล ซึ่งวิธีการจัดการกลุ่มที่มีการศึกษาในที่นี้จะใช้สำหรับสัญญาณเสียงพูด จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า เทคนิค Clustering centre จะเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าที่เกินมาแต่คุณภาพของการสังเคราะห์คำพูดยังดีเท่าเดิม

2.10.16 ในงานวิจัยของ [18] นำเสนอในหัวข้อ “Combined Feedback and Noise Suppression in Hearing Aids” มีการใช้ตัวกรองสัญญาณเสียงที่ออกนอก Side lobe และควบคุมสัญญาณป้อนกลับเพื่อลดสัญญาณเสียงรบกวน จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า หากค่า SNR ที่ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการยกเลิกสัญญาณการป้อนกลับทำได้ดีขึ้น แต่หากค่า SNR มีค่าสูงขึ้นก็จะเกิดผลเสียในการกำจัดเสียงสะท้อน

2.10.17 ในงานวิจัยของ [19] นำเสนอในหัวข้อ “An FIR Implementation of Zero Frequency Filtering of Speech Signals” เป็นการระบุถึง ข้อดีของ FIR filter เพื่อใช้ประโยชน์ในการกรองสัญญาณเสียง โดยมีความแม่นยำและมีความเสถียรภาพของสัญญาณเสียงสูง ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงการเปรียบเทียบตัวกรอง FIR กับ ตัวกรอง IIR จากผลการทดลองบ่งบอกถึงความแม่นยำของตัวกรอง FIR filter ที่มีผลการตอบสนองดีกว่าตัวกรอง IIR

2.10.18 ในงานวิจัยของ [20] นำเสนอในหัวข้อ “Design Criteria for FIR-Based Echo Cancellers” การใช้ตัวกรอง FIR Filter ในการดำเนินการจะใช้ตัวปรับช่องสัญญาณ การหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมากที่สุดที่เกิดขึ้นจาก Repeater หรือการสะท้อนกลับของสัญญาณบนช่องสัญญาณ ซึ่งจะช่วยในการแก้ไขสัญญาณเสียงสะท้อนออกจากสัญญาณเสียงหลัก

2.10.19 ในงานวิจัยของ [21] นำเสนอในหัวข้อ “Room Acoustics Response Modeling and Equalization with Linear Predictive Coding and Parametric Filter for Speech and Audio Enhancement” การสร้างแบบจำลองการตอบสนองต่อเสียงสะท้อนในห้องและการทำให้สัญญาณเสียงเท่าเทียมกัน โดยที่มีการเข้ารหัสเชิงเส้นและตัวกรองพารามิเตอร์ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพเสียงพูดและตัวกรอง LPC ถูกใช้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับค่า Q และ G

2.10.20 ในงานวิจัยของ [22] นำเสนอในหัวข้อ “Improving the Quality of the Speech Signal using a FIR band pass filter with Fast Fourier Transform” เป็นการสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัดชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อกรองความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม เป็นการศึกษาและปรับปรุงสัญญาณเสียงในช่วงความถี่ที่ 500 Hz–2.5 kHz รวมไปถึงการสุ่มและเปรียบเทียบจำนวน N ของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อหาค่า N ที่เหมาะสมสำหรับห้องประชุม จากผลการทดลอง พบว่า ค่า N ที่เหมาะสมคือ N=80 โดยที่ตัวกรองดิจิทัลจำกัดจะกรองสัญญาณเสียงได้ดี โดยมีความถี่อื่นๆ ที่กรองไม่หมดและความถี่ที่รบกวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

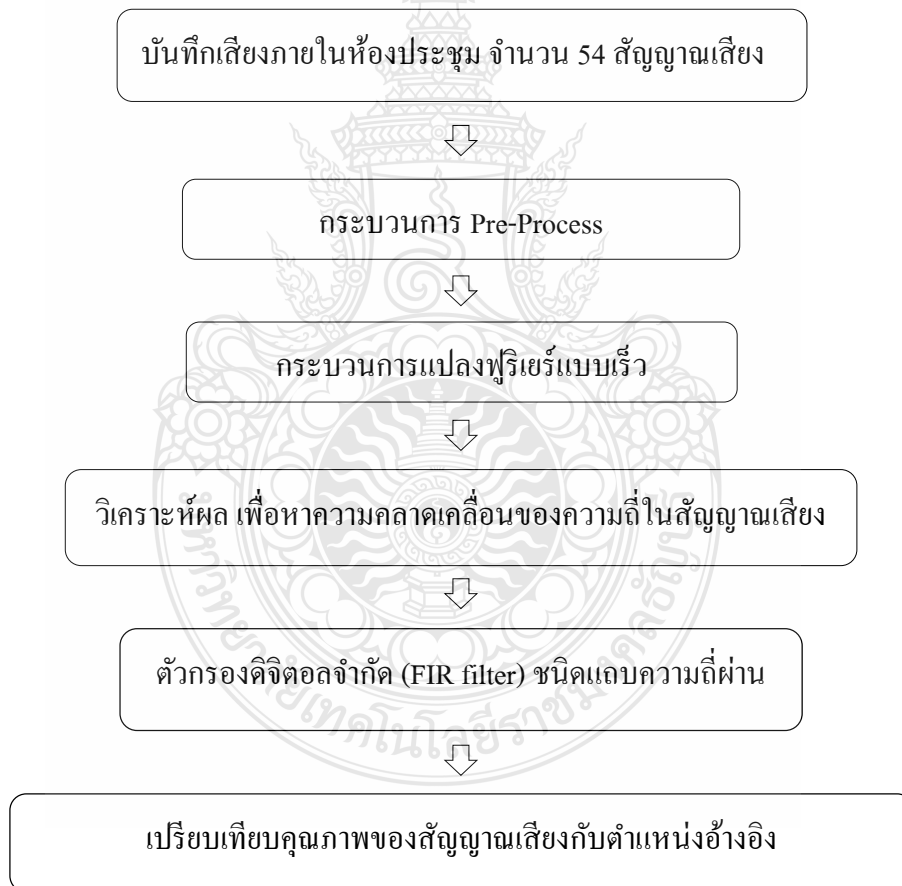
จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า การวิเคราะห์สัญญาณเสียงในหลายส่วนยังเกิดข้อผิดพลาด เช่น ในส่วนของการแยกสัญญาณเสียงรบกวน และการวิเคราะห์ค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียง เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงให้เหมาะสมสำหรับห้องประชุมและห้องแบบอะคูสติก

ดังนั้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียง ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงโดยการประยุกต์ใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็วร่วมกับการใช้ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อกรองสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม เพื่อให้คุณภาพของสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุมให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงมากที่สุด

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม ที่บันทึกจากห้องประชุม ขนาด 6 x 9 เมตร จำนวน 54 ตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 ตารางเมตร จากนั้นสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อกรองความถี่ในสัญญาณเสียงแต่ละตำแหน่งภายในห้องประชุม และนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง โดยมีกระบวนการวิเคราะห์ ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

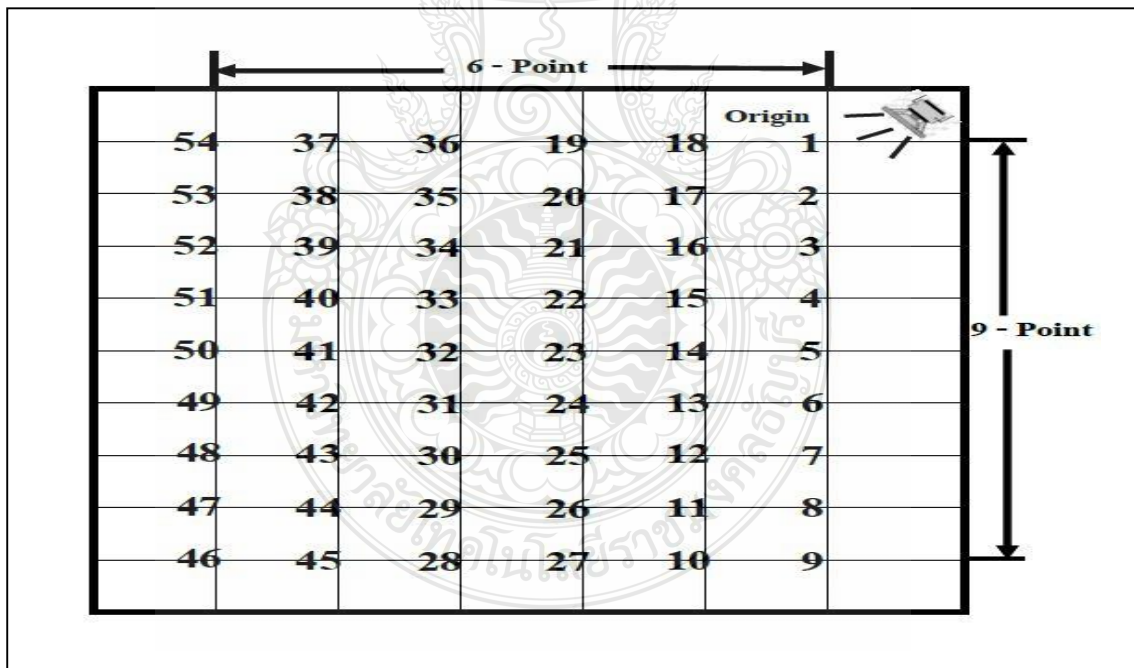
### 3.1 ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณเสียง

#### 3.1.1 สัญญาณเสียง

การเก็บตัวอย่างสัญญาณเสียง ขั้นตอนแรกนำสัญญาณเสียงต้นฉบับมาตรฐานที่บันทึกจากสตูดิโอ ซึ่งมีลักษณะที่เป็นการบรรยายเปรียบเสมือนการพูดในห้องประชุม โดยประกอบด้วย เสียงของผู้ชาย เสียงของผู้หญิงและเสียงที่บันทึกมาจากการปราศรัย ซึ่งสัญญาณเสียงแต่ละชุดจะถูกเปิดด้วยเครื่องขยายเสียงที่ตั้งอยู่สูงจากพื้น 2 เมตร ซึ่งมีระดับความดังของเสียงอยู่ในช่วง 60 dB – 70 dB โดยที่ตำแหน่งของการบันทึกเสียงจะถูกเปลี่ยนไปเมื่อทำการบันทึกตำแหน่งก่อนหน้าเสร็จสิ้น และทำการบันทึกซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการนำมาวิเคราะห์ผลที่ละเอียดยิ่งขึ้น

#### 3.1.2 การบันทึกสัญญาณเสียง

ขั้นตอนการบันทึกสัญญาณเสียงในแต่ละตำแหน่ง โดยทำการแบ่งแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 ตารางเมตร ซึ่งห้องประชุมมีขนาด 6 x 9 เมตร จึงได้สัญญาณเสียงจำนวน 54 สัญญาณเสียง สามารถเขียนแผนผังของห้อง ดังรูปที่ 3.2



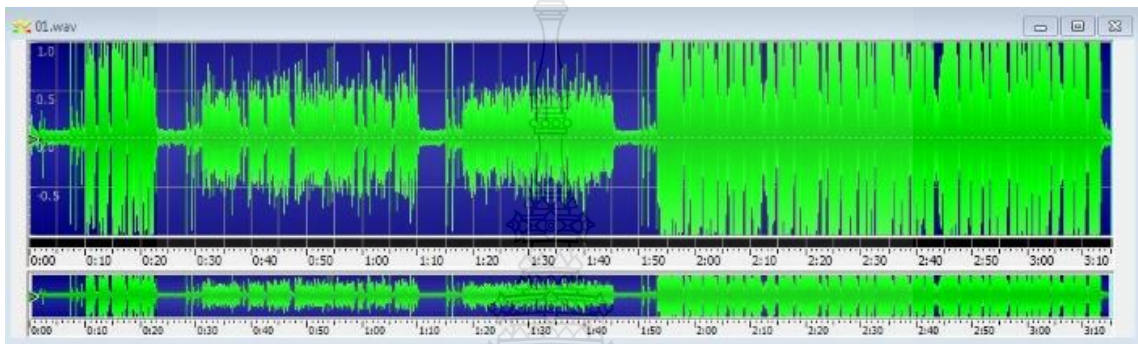
รูปที่ 3.2 การบันทึกเสียงภายในห้องประชุม



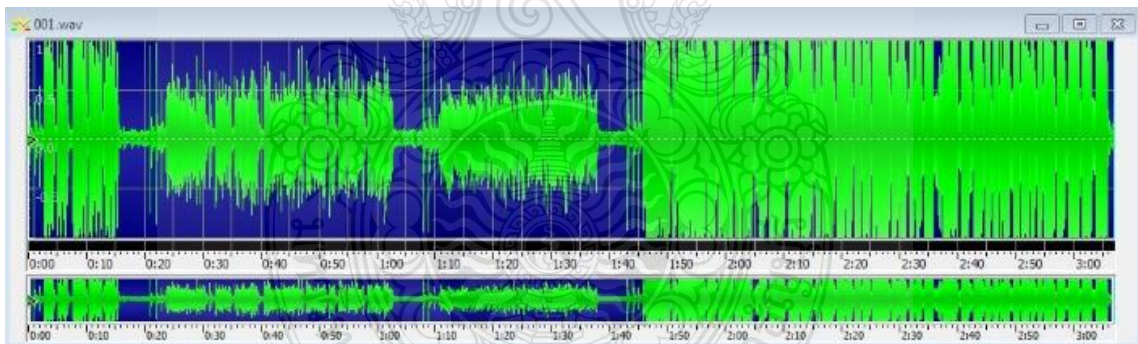
## 3.2 กระบวนการ Pre – Process

### 3.2.1 ไฟล์เสียง

ทั้งนี้ไฟล์เสียงที่ทำการบันทึกได้จะมีส่วนหัวและท้ายในรูปแบบของคลื่น (Waveform) ที่ไม่ใช่สัญญาณเสียงจึงจำเป็นที่จะต้องทำการตัดส่วนนี้ออก เพื่อให้สัญญาณเสียงของทุกตำแหน่งมีจุดเริ่มต้นที่เท่ากันและทำให้สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์สัญญาณเสียง ดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 สัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 ที่บันทึกด้วยอัตราการสุ่มที่ 8,000 Sampling



รูปที่ 3.4 สัญญาณเสียงที่ตัดแล้วของตำแหน่งที่ 1 ที่บันทึกด้วยอัตราการสุ่มที่ 8,000 Sampling

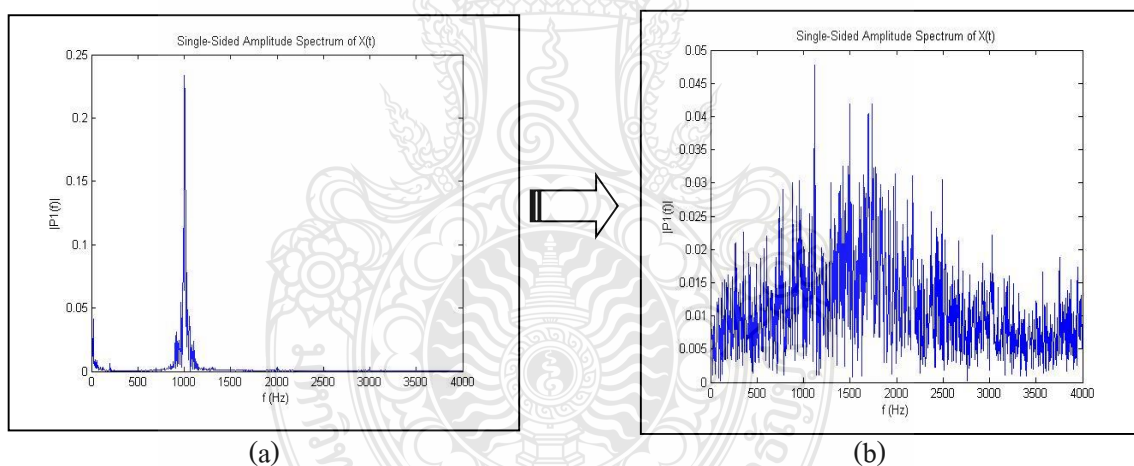
จากรูปที่ 3.3 เป็นการนำสัญญาณเสียงที่บันทึกได้จากห้องประชุมเข้าทำการประมวลผล โดยสัญญาณเสียงที่บันทึกได้แต่ละตำแหน่งจะมีจุดเริ่มต้นของสัญญาณเสียงที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการในการบันทึกเสียง จากรูปที่ 3.4 เป็นสัญญาณเสียงที่ตัดส่วนหัวและส่วนท้ายของสัญญาณเสียงออกเรียบร้อยแล้วทำให้สัญญาณเสียงในแต่ละตำแหน่งจะมีจุดเริ่มต้นที่เท่ากัน

### 3.2.2 การแบ่งเฟรมสัญญาณเสียง

การแบ่งเฟรมสัญญาณเสียงทำได้โดยการกำหนดขนาดความยาวของสัญญาณเสียงเป็น 10,000 Sample จากนั้นทำการแบ่งสัญญาณเสียงเป็นเมตริกซ์ขนาด 50 x 200 Sample ซึ่งจะได้เฟรมของสัญญาณเสียงทั้งหมด 50 เฟรม การแบ่งสัญญาณเสียงแบบเฟรมต่อเฟรมจะช่วยให้การวิเคราะห์สัญญาณเสียงในรูปแบบของความถี่มีความละเอียดมากขึ้นและยังสะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียง

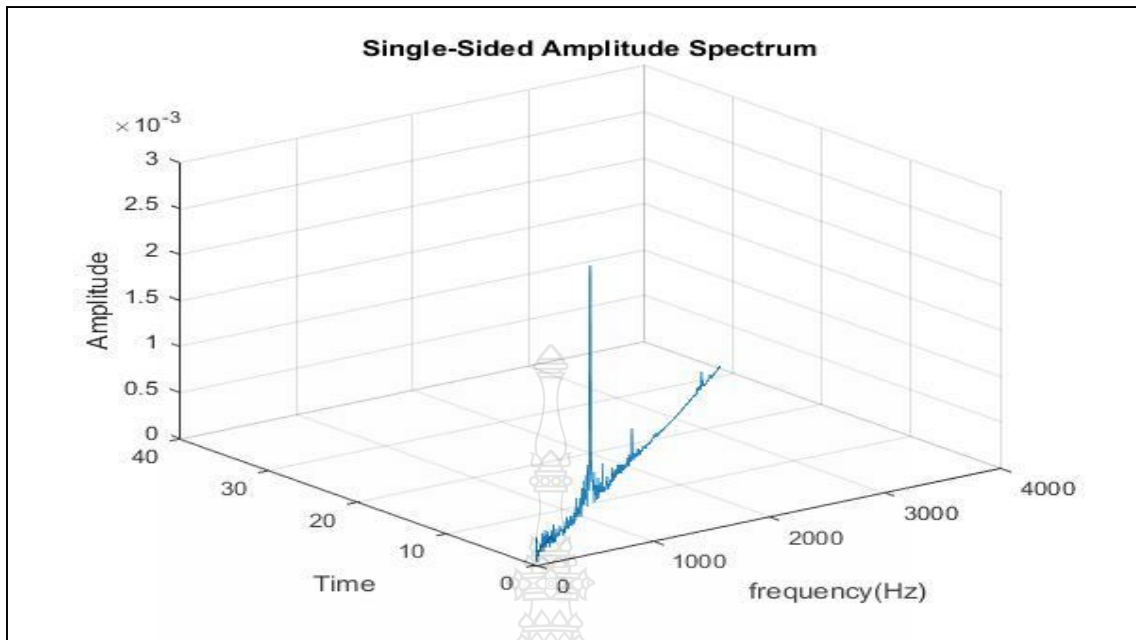
### 3.3 กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

เมื่อได้สัญญาณเสียงที่สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว นำสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 เข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ซึ่งในที่นี้จะให้สัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 เป็นสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียง ณ ตำแหน่งใดๆ กับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

จากรูปที่ 3.5 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว รูป (a) คือการนำสัญญาณเสียงทั้งหมดเข้าสู่การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว และรูป (b) คือการนำเฉพาะเฟรมใดเฟรมหนึ่งของสัญญาณเสียงเข้าสู่แปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว จะเห็นได้ว่าการนำเฉพาะเฟรมใดเฟรมหนึ่งเข้าสู่แปลงฟูรีเยร์แบบเร็วจะได้ความถี่ของสัญญาณเสียงที่ละเอียดมากกว่าการนำสัญญาณเสียงทั้งหมดเข้าสู่การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ทำให้สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ



รูปที่ 3.6 สัญญาณเสียงตัวอย่างเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

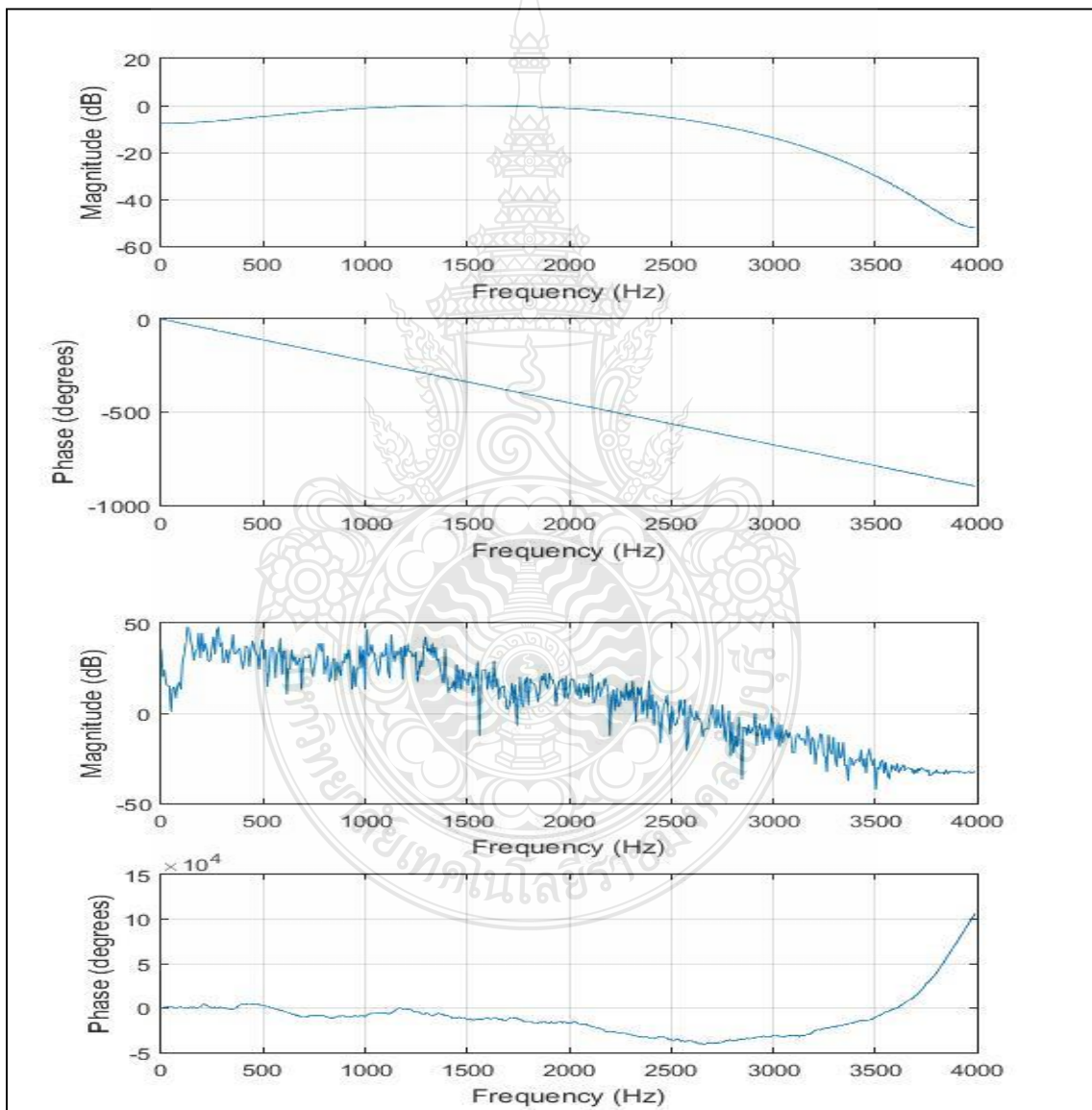
จากรูปที่ 3.6 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว กำหนดให้ แกน  $x$  แทนค่าของ ความถี่ ตั้งแต่ 1 Hz- 4 kHz แกน  $y$  แทนค่าของ เวลา และแกน  $z$  แทนค่าของ แอมพลิจูด จะพบว่า ค่าของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่บันทึกได้มีค่าที่ต่ำซึ่งเกิดขึ้นจากการที่กำหนดค่า อัตราขยายของสัญญาณเสียงขณะบันทึกเสียง ทั้งนี้อาจแก้ไขโดยการปรับอัตราขยายให้เหมาะสมตาม ขนาดของสภาพของห้องประชุม

### 3.4 การเปรียบเทียบค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนในสัญญาณเสียง

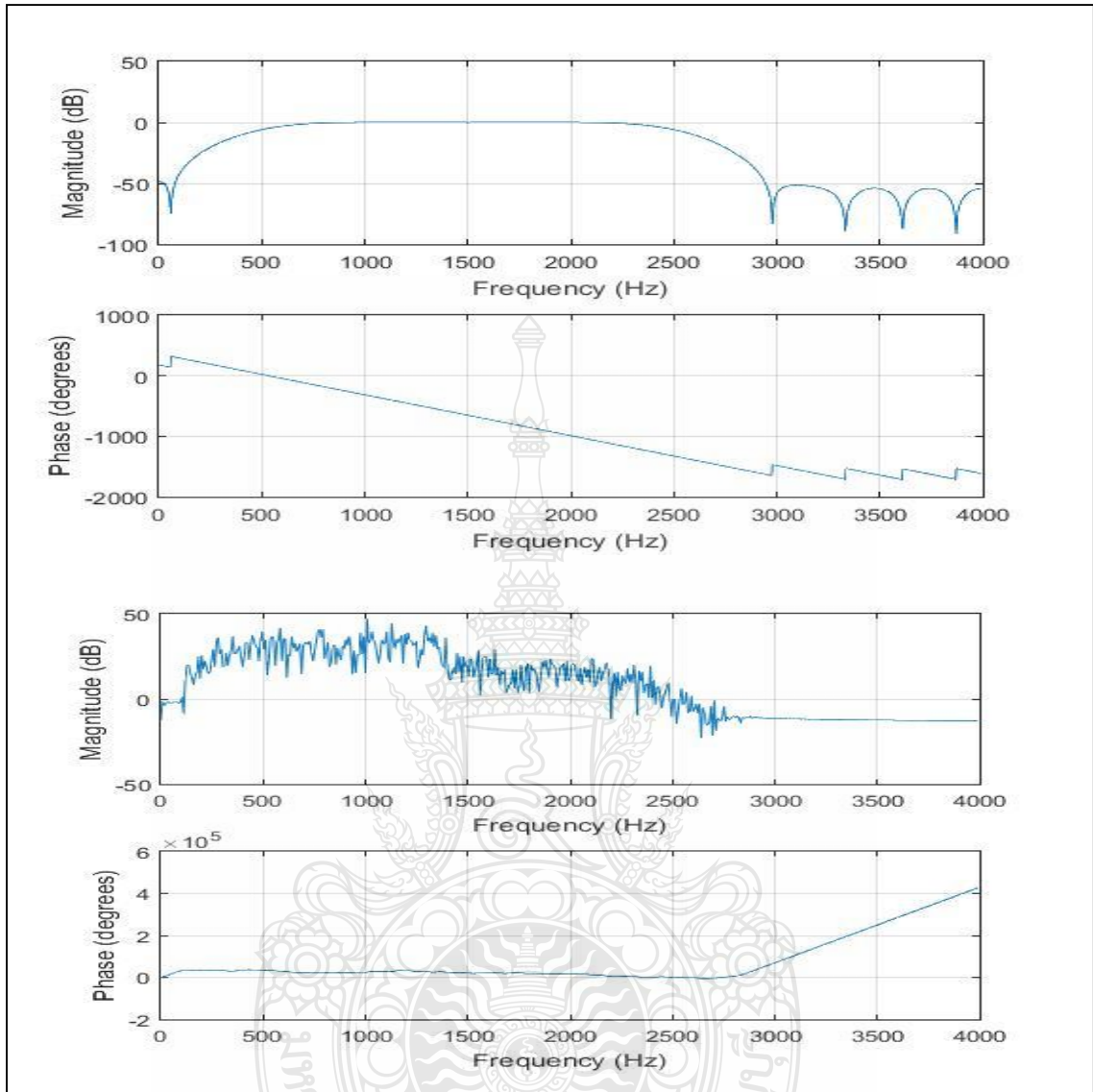
เมื่อนำสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วแล้ว โดยที่กราฟกำหนดให้ แกน  $x$  แทนค่า ความถี่ของสัญญาณเสียงตั้งแต่ 1 Hz-4 kHz และแกน  $y$  แทนค่า แอมพลิจูดของ สัญญาณเสียง โดยสามารถเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงจากการ พิจารณาค่าผลต่างในแนวแกน  $x$  มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน โดยแบ่งช่วงความถี่ดังนี้ ความถี่ช่วงแรก คือ ต่ำกว่า 500 Hz ช่วงความถี่ที่ 2 คือ 500 Hz-1 kHz ช่วงความถี่ที่ 3 คือ 1 kHz-1.5 kHz ช่วงความถี่ที่ 4 คือ 1.5 Hz-2.5 kHz และช่วงความถี่ที่ 5 คือ ช่วงความถี่มากกว่า 2.5 kHz หากค่าความถี่ในช่วงใดมี ค่าผลต่างที่แตกต่างกันซึ่งคำนวณได้จากค่าผลต่างของความถี่ โดยการกำหนดค่า Threshold ผลที่ได้ จะแสดงว่าช่วงความถี่นั้นๆ เกิดค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียง

### 3.5 การใช้งานตัวกรองดิจิทัลจำกัด

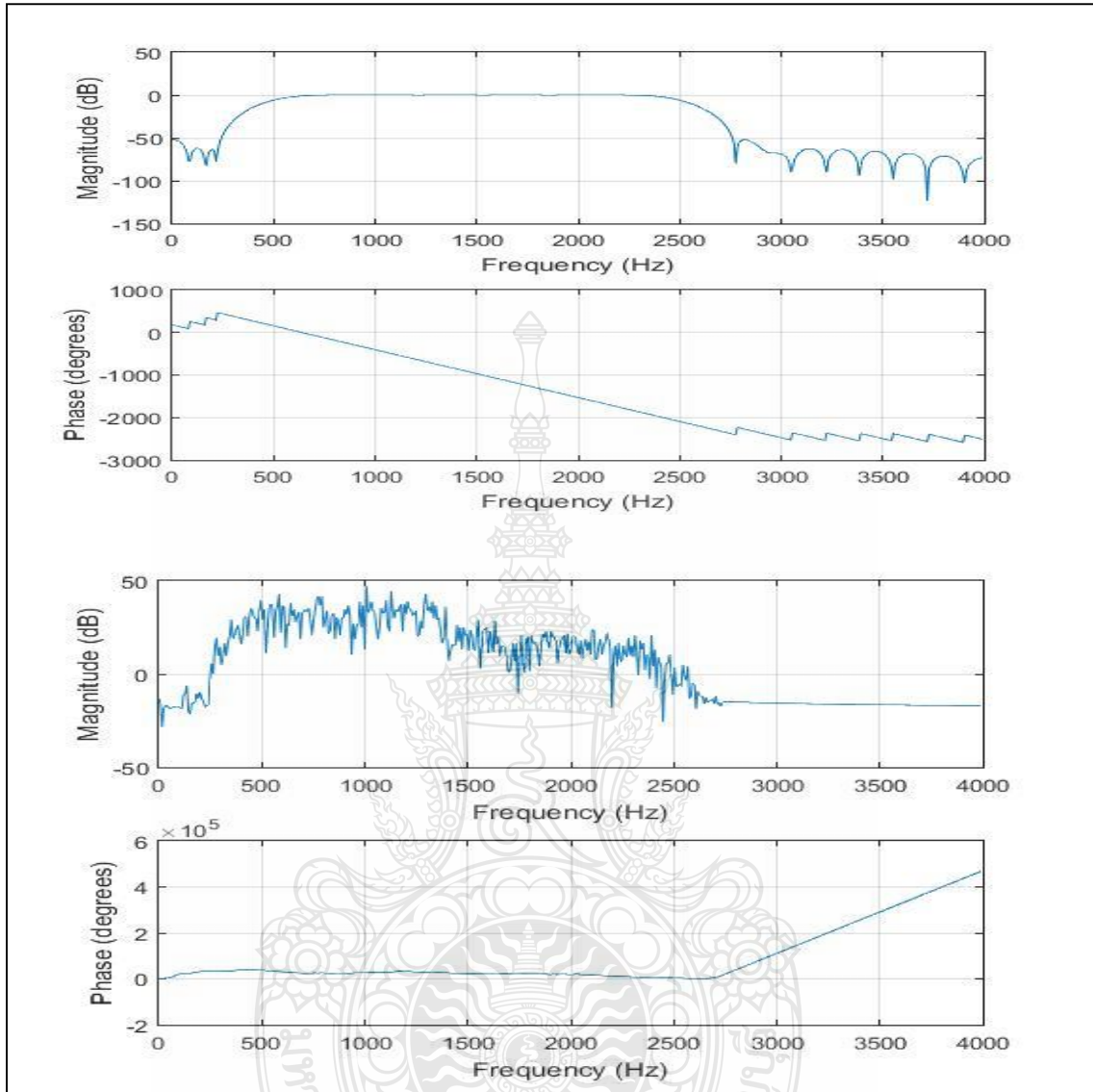
วิธีการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียง โดยการนำตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านร่วมกับการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว เพื่อกรองความถี่ของสัญญาณเสียงที่คลาดเคลื่อน ทั้งนี้พบว่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงความถี่ที่ 500 Hz–2.5 kHz ในการออกแบบตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านจึงกำหนดช่วงความถี่ของการกรองสัญญาณเสียงเป็นช่วงความถี่ระหว่าง 500 Hz–2.5 kHz ตัวอย่างการสุ่มค่า  $N$  ที่แตกต่างกัน ดังรูปต่อไปนี้



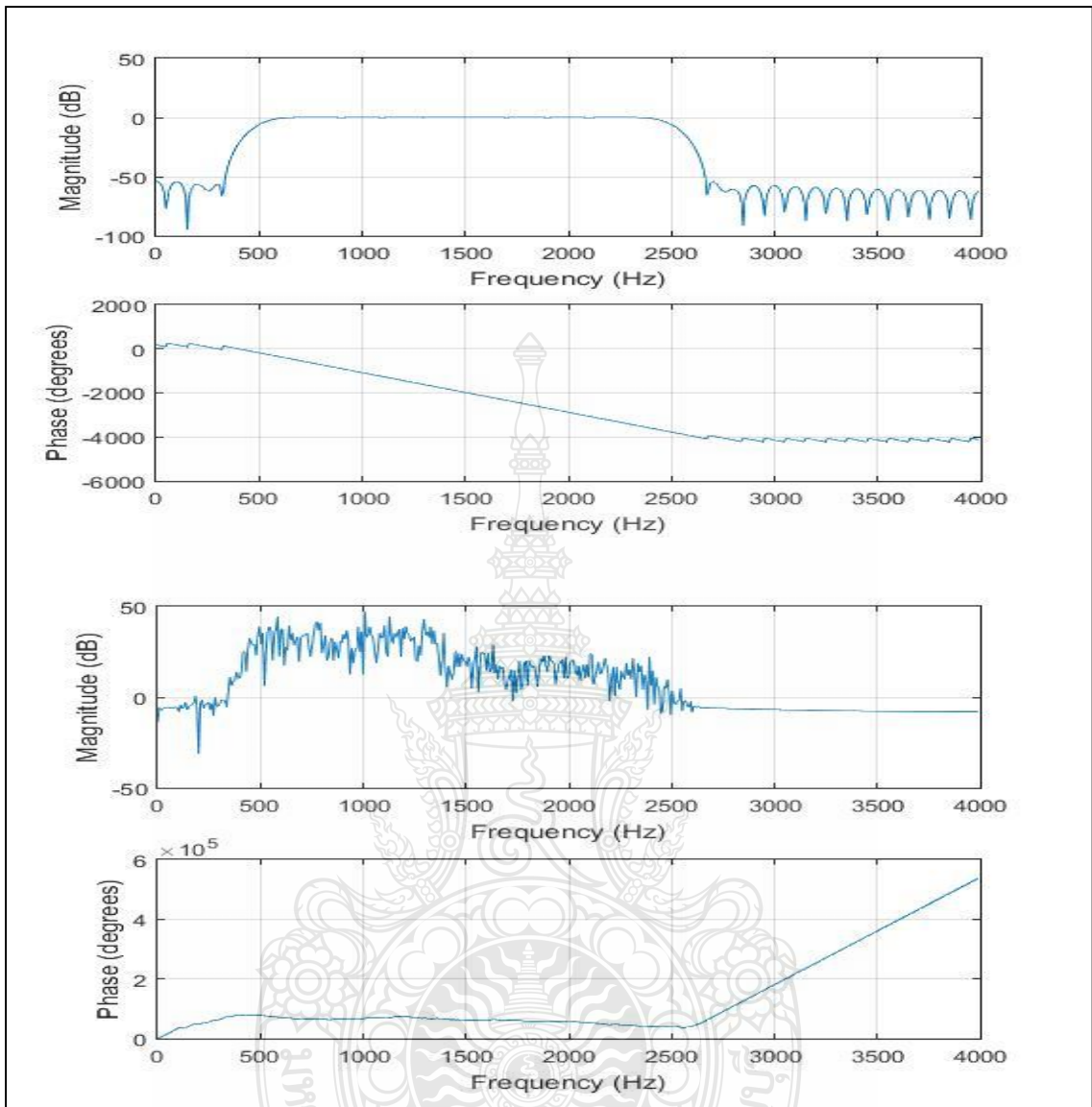
รูปที่ 3.7 รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน  $N=10$



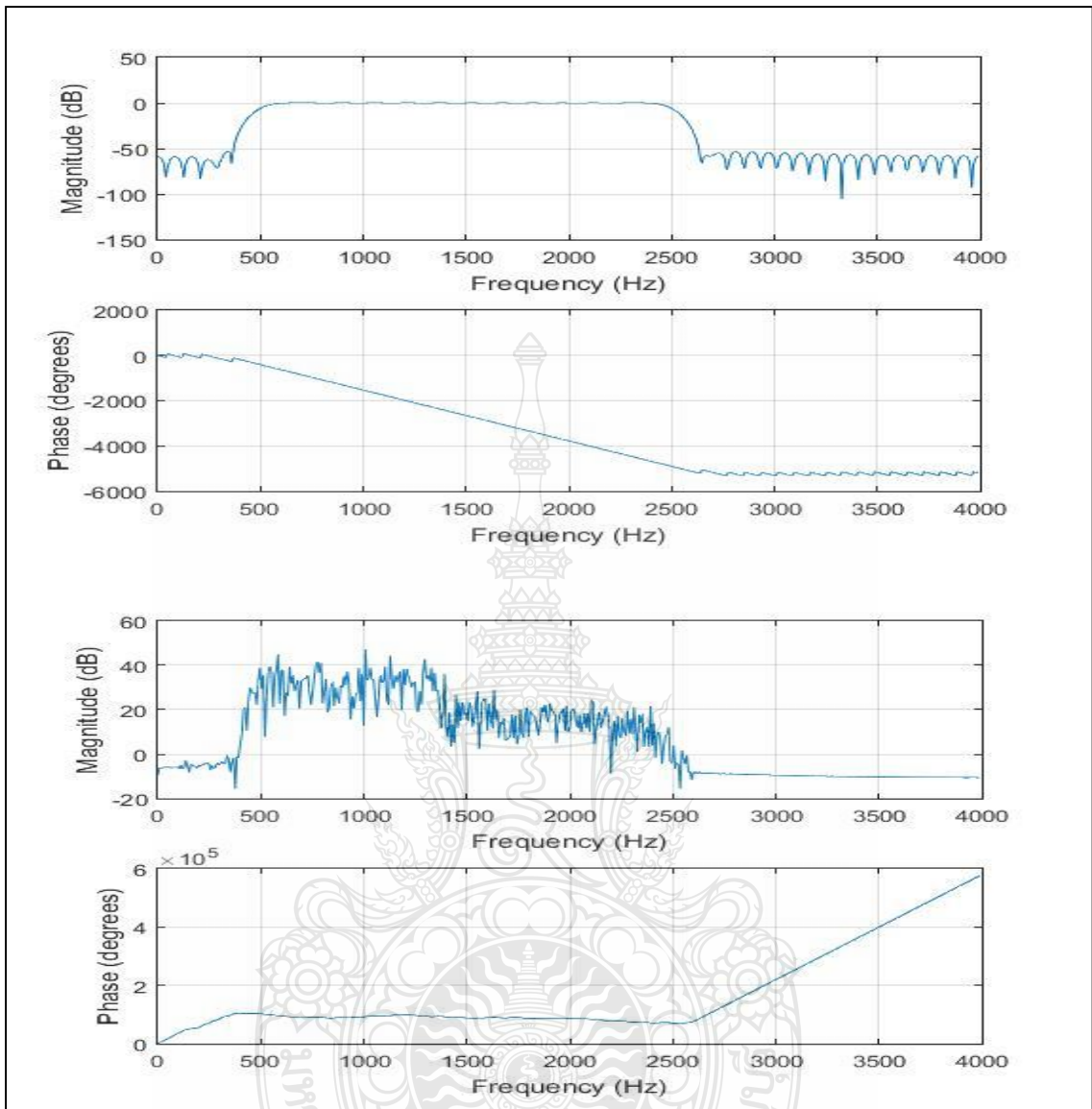
รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิตอลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน  $N=30$



รูปที่ 3.9 รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน  $N=50$

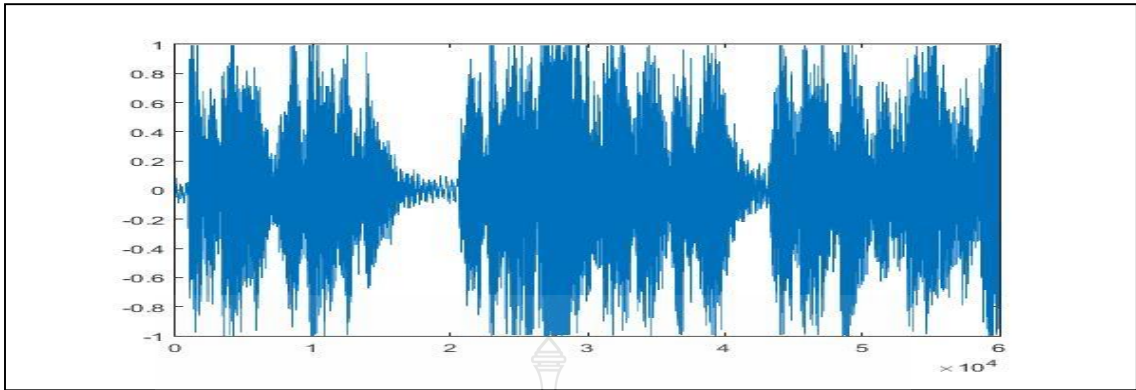


รูปที่ 3.10 รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจํากัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน  $N=80$

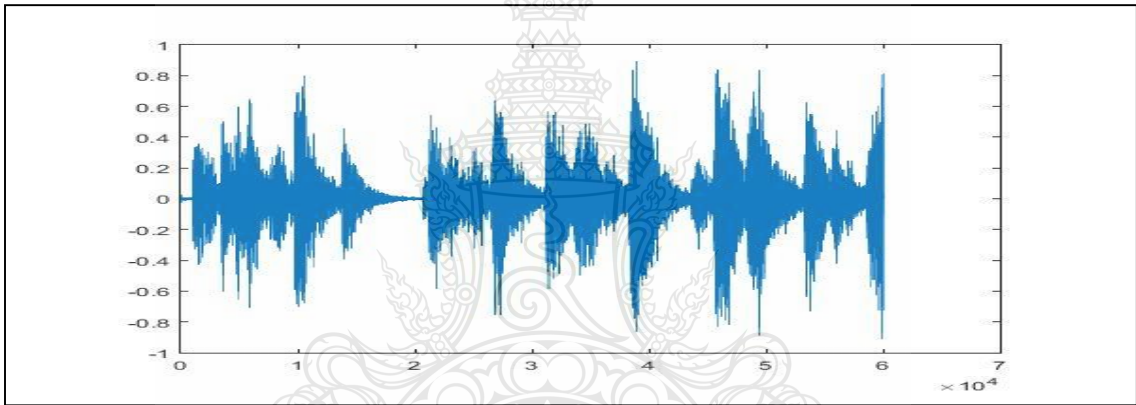


รูปที่ 3.11 รูปสัญญาณของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่จำนวน  $N=100$





รูปที่ 3.12 สัญญาณเสียงต้นฉบับ

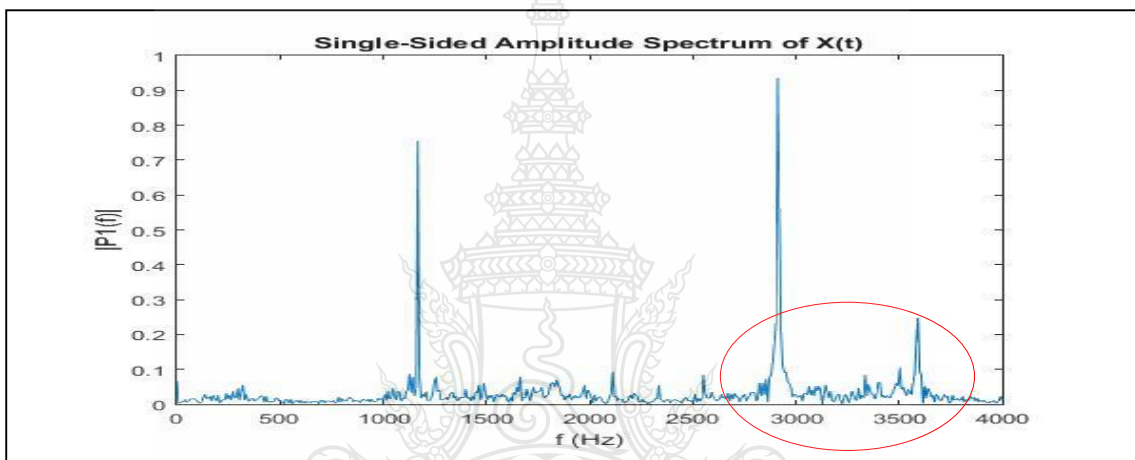


รูปที่ 3.13 สัญญาณเสียงที่กรองด้วยตัวกรองดิจิทัล ชนิดแถบความถี่ผ่าน ที่ช่วงความถี่ 500 Hz–2.5 kHz

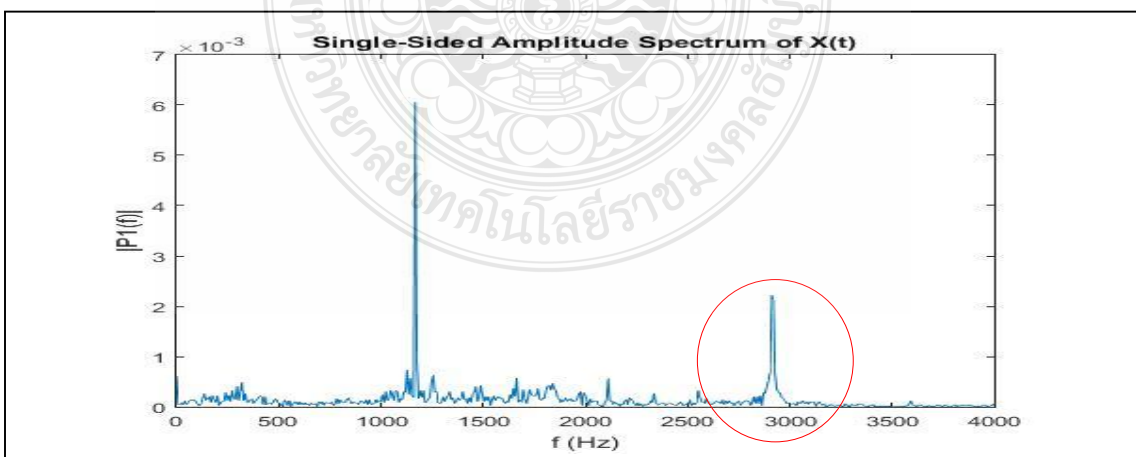
จากรูปที่ 3.7-3.11 คือ การสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่ช่วงความถี่ 500 Hz–2.5 kHz ที่มีการสุ่มจำนวน  $N$  ที่แตกต่างกันจะเห็นได้ว่าการสุ่มจำนวน  $N$  มีผลต่อการกรองสัญญาณเสียง โดยที่หากค่า  $N$  น้อยเกินไปทำให้การกรองสัญญาณเสียงของตัวกรองมีผลให้ส่วนตัดของความถี่ (Cut off) ผิดพลาดมีความถี่ที่ต้องการตัดออกเข้ามาบรรจบกันในสัญญาณเสียง และหากมีการสุ่มจำนวน  $N$  ที่สูงเกินไปจะส่งผลให้สัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองมีค่าแอมพลิจูดที่ต่ำลงรวมไปถึงเกิดความล่าช้าในสัญญาณเสียง

### 3.6 การใช้งานตัวกรองดิจิทัลจำกัดร่วมกับการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

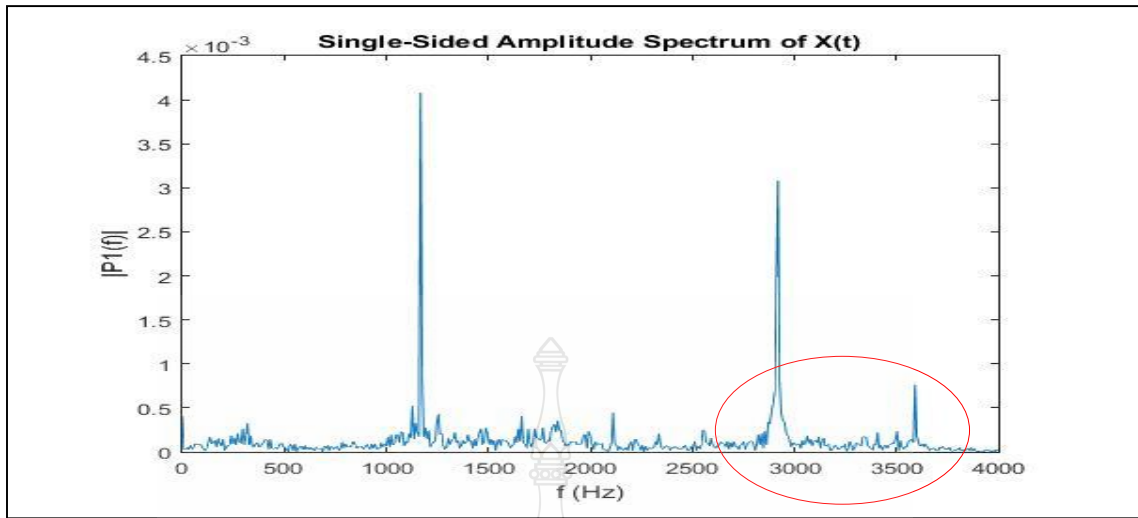
นอกจากกระบวนการกรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน การประยุกต์ใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วก็มีความจำเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วจะช่วยในการวิเคราะห์ค่าของความที่เกิดขึ้นหลังจากการนำสัญญาณเสียงเข้าสู่ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ทำให้สะดวกต่อกำหนดค่า  $N$  ในตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อให้ได้ค่า  $N$  ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานสำหรับห้องประชุมนี้อีกด้วย ตัวอย่างการสุ่มค่า  $N$  ในตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ในกรณีที่กำหนดค่า  $N$  ที่แตกต่างกัน ดังรูปต่อไปนี้



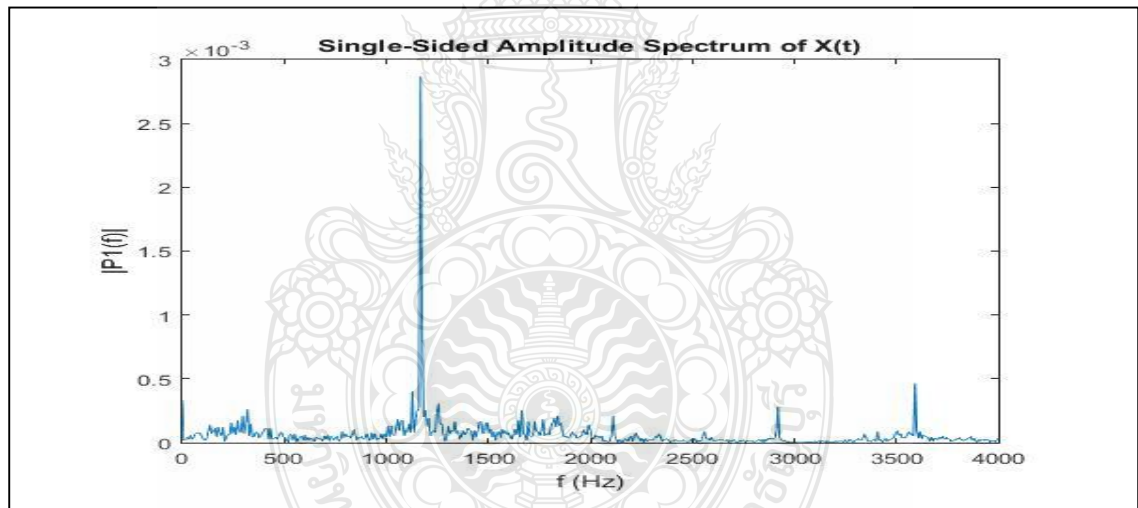
รูปที่ 3.14 การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่  $N=10$



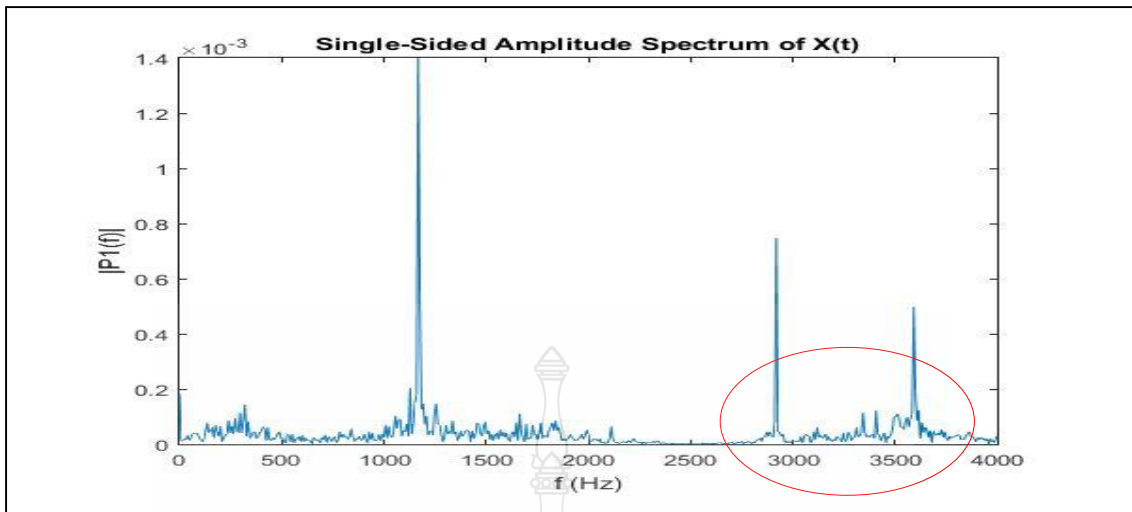
รูปที่ 3.15 การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่  $N=30$



รูปที่ 3.16 การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=50



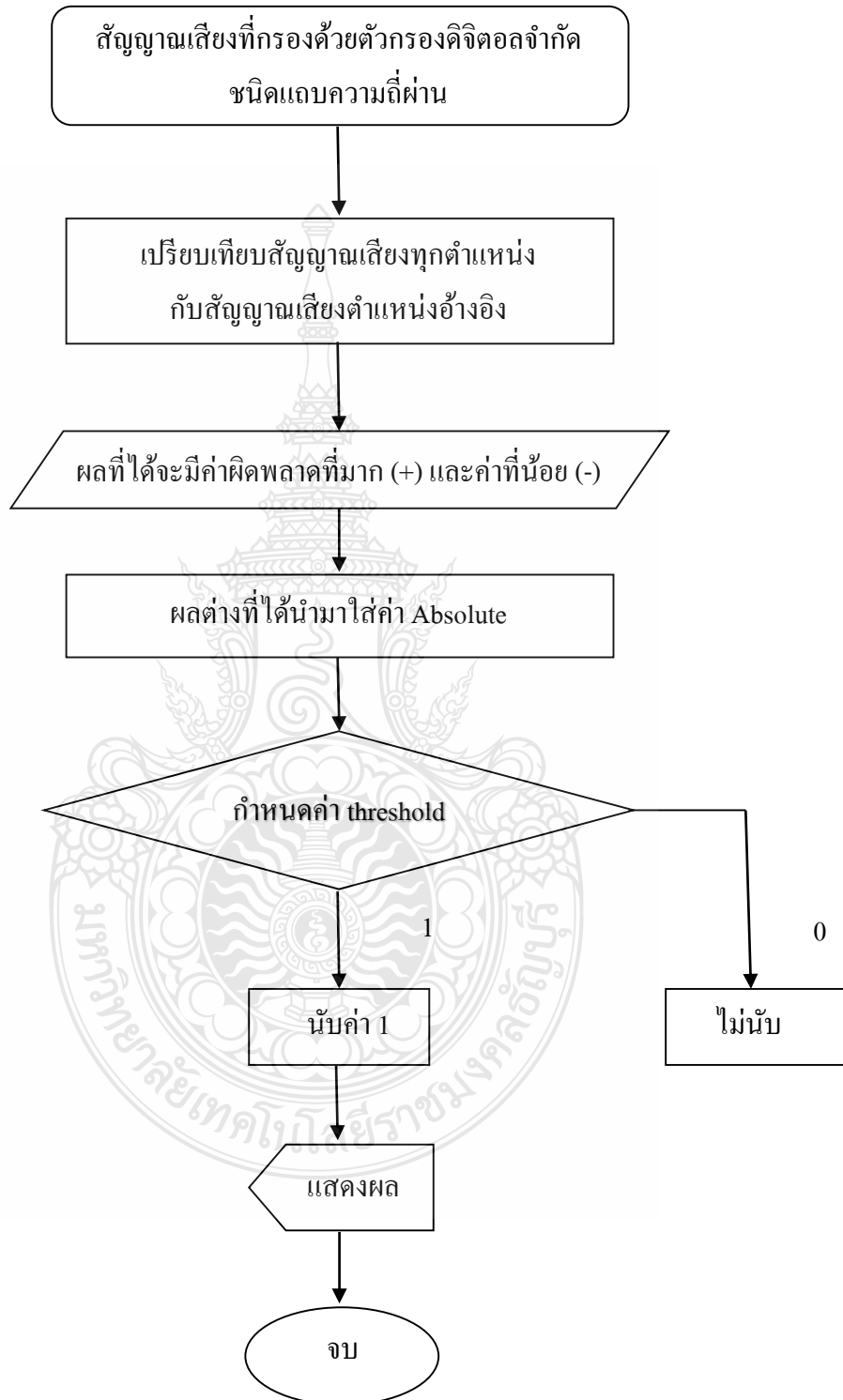
รูปที่ 3.17 การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่ N=80



รูปที่ 3.18 การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว วิเคราะห์ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ที่  $N=100$

จากรูปที่ 3.14-3.18 คือ การสุ่มค่า  $N$  ในตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน สำหรับค่า  $N$  ที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลต่อการกรองสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เมื่อค่า  $N$  ที่มีจำนวนน้อยเกินไปจะส่งผลให้ค่าความถี่ของสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน มีค่าความถี่อื่นๆ ที่ไม่สามารถกรองได้หมดติดเข้ามาด้วย และหากใช้ค่า  $N$  ที่มากเกินไปจะส่งผลให้สัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านเกิดความล่าช้าและการนำไปใช้งานจะซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

### 3.7 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง

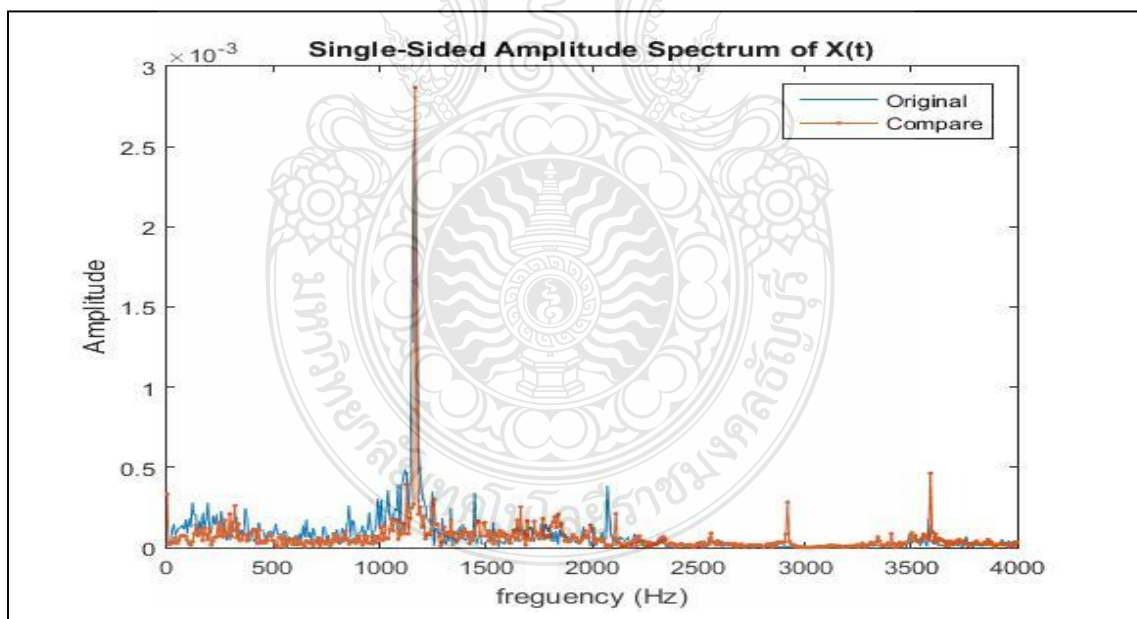


รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับตำแหน่งอ้างอิง

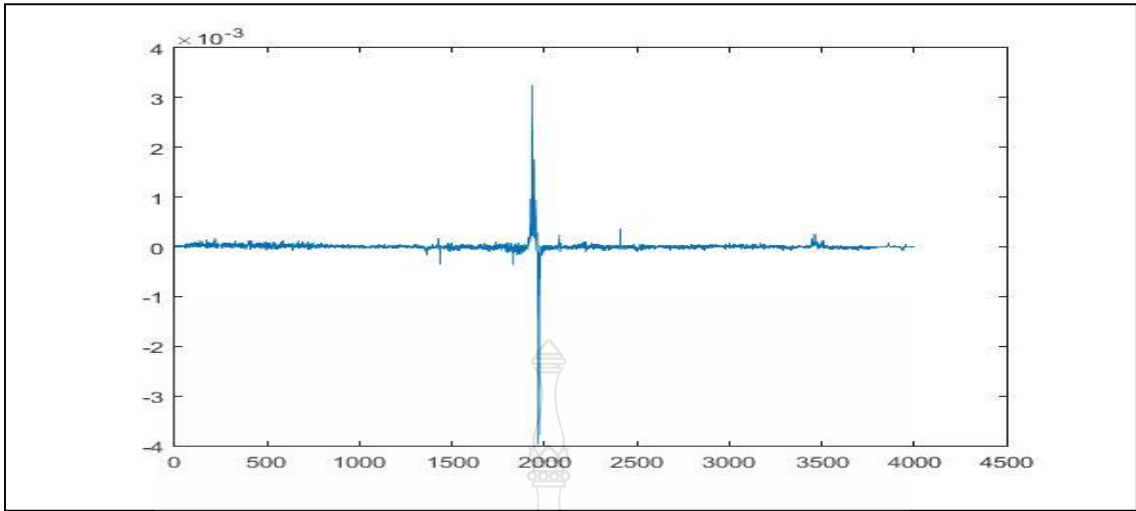
เมื่อนำสัญญาณเสียงในตำแหน่งต่างๆ เข้าสู่ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านแล้ว นำสัญญาณเสียงที่ได้ในทุกตำแหน่งมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดและตรวจสอบว่าสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน มีค่าความถี่ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงเท่าใด

### 3.8 การวิเคราะห์เสียงสะท้อนของสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ นอกจากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงภายในห้องประชุมแล้ว นำสัญญาณเสียงในตำแหน่งต่างๆ เข้าสู่ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ กับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ทั้งนี้การที่นำสัญญาณเสียงอ้างอิงในตำแหน่งที่ 1 มาเป็นตำแหน่งเปรียบเทียบเนื่องด้วยตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับจุดกำเนิดเสียงจึงรับสัญญาณเสียงได้โดยตรง อีกทั้งการสะท้อนของสัญญาณในตำแหน่งนี้จะมีค่าของการสะท้อนของสัญญาณเสียงที่น้อยมาก จึงทำให้สามารถนำตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับตำแหน่งอื่นๆ ได้

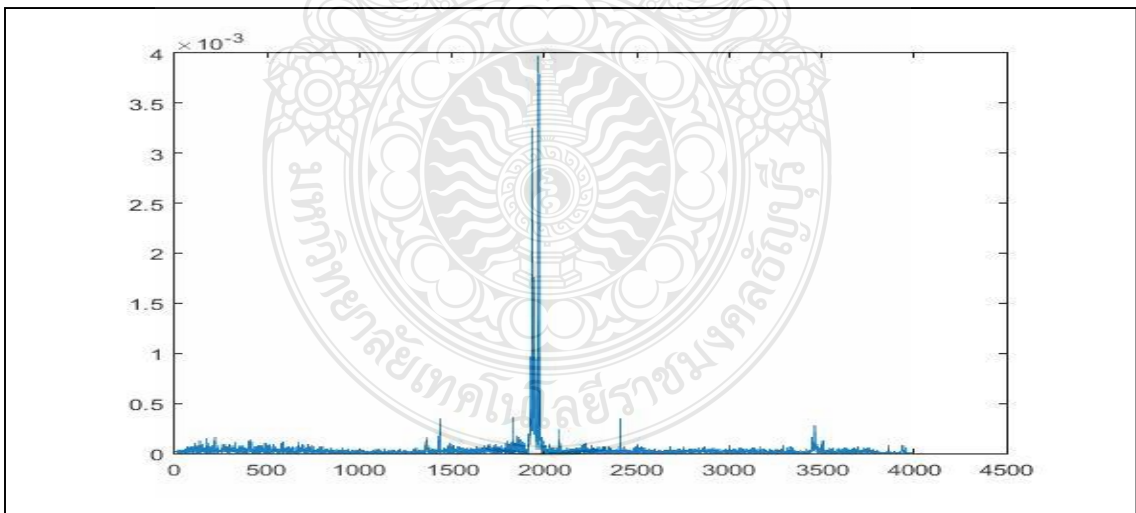


รูปที่ 3.20 การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งใดๆ กับตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ 3.21 ผลต่างของสัญญาณเสียงเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง

จากรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 คือ การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง โดยค่าของผลต่างที่ได้จะมีทั้งผลบวกและผลลบ ดังนั้นจึงต้องทำการ Absolute ค่าผลต่างของสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.22 ผลต่างของสัญญาณเสียงเมื่อทำการ Absolute

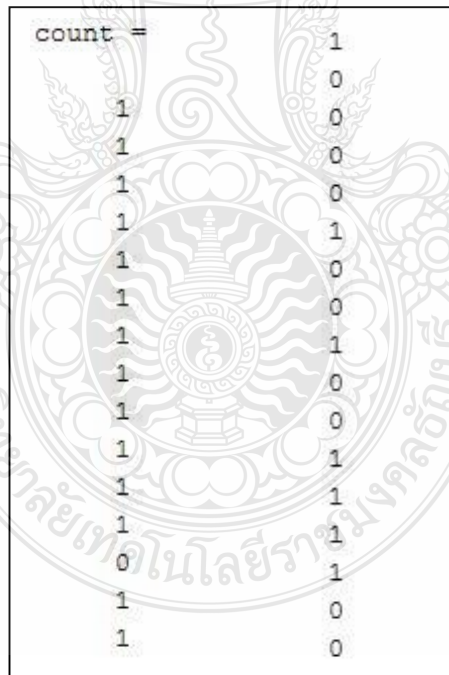
จากรูปที่ 3.22 เมื่อทำการ Absolute ค่าผลต่างของสัญญาณเสียงที่นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงแล้ว ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีผลค่าเป็นบวก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความใกล้เคียงกันได้สะดวกมากขึ้น

ค่าผลต่างของสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เมื่อนำสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ทำการ Absolute ค่านั้นแล้ว จึงทำการกำหนดค่า Threshold ดังสมการที่ (3.1)

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $g(x, y)$  เป็นข้อมูล ณ ตำแหน่งที่  $x, y$

$T$  เป็นค่า Threshold



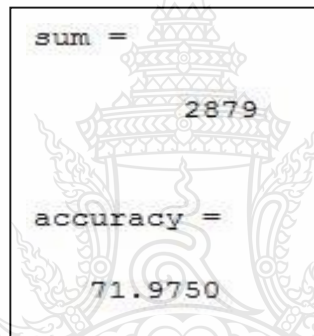
รูปที่ 3.23 การนับค่าผลต่างที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งอ้างอิง



จากรูปที่ 3.23 คือ การนับผลของการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกัน หากค่าผลต่างใกล้เคียงกันอยู่ในค่าที่กำหนดให้แสดงผลเป็น 1 และหากค่าผลต่างสูงกว่าค่าที่กำหนดให้แสดงผลเป็น 0

เมื่อทำการรวมค่าที่เป็น 1 ดังรูปที่ 3.24 คือ การรวมค่าที่เป็น 1 โดยให้แสดงผลในตัวแปร Sum ซึ่งการเปรียบเทียบค่าความถี่จากความถี่ทั้งหมดที่นับได้จะให้เป็นค่า Accuracy ซึ่งคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ (3.2)

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{จำนวนตำแหน่งที่ใกล้เคียง}}{\text{จำนวนตำแหน่งที่เปรียบเทียบ}} \times 100 \quad (3.2)$$



```
sum =  
2879  
accuracy =  
71.9750
```

รูปที่ 3.24 ผลรวมการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

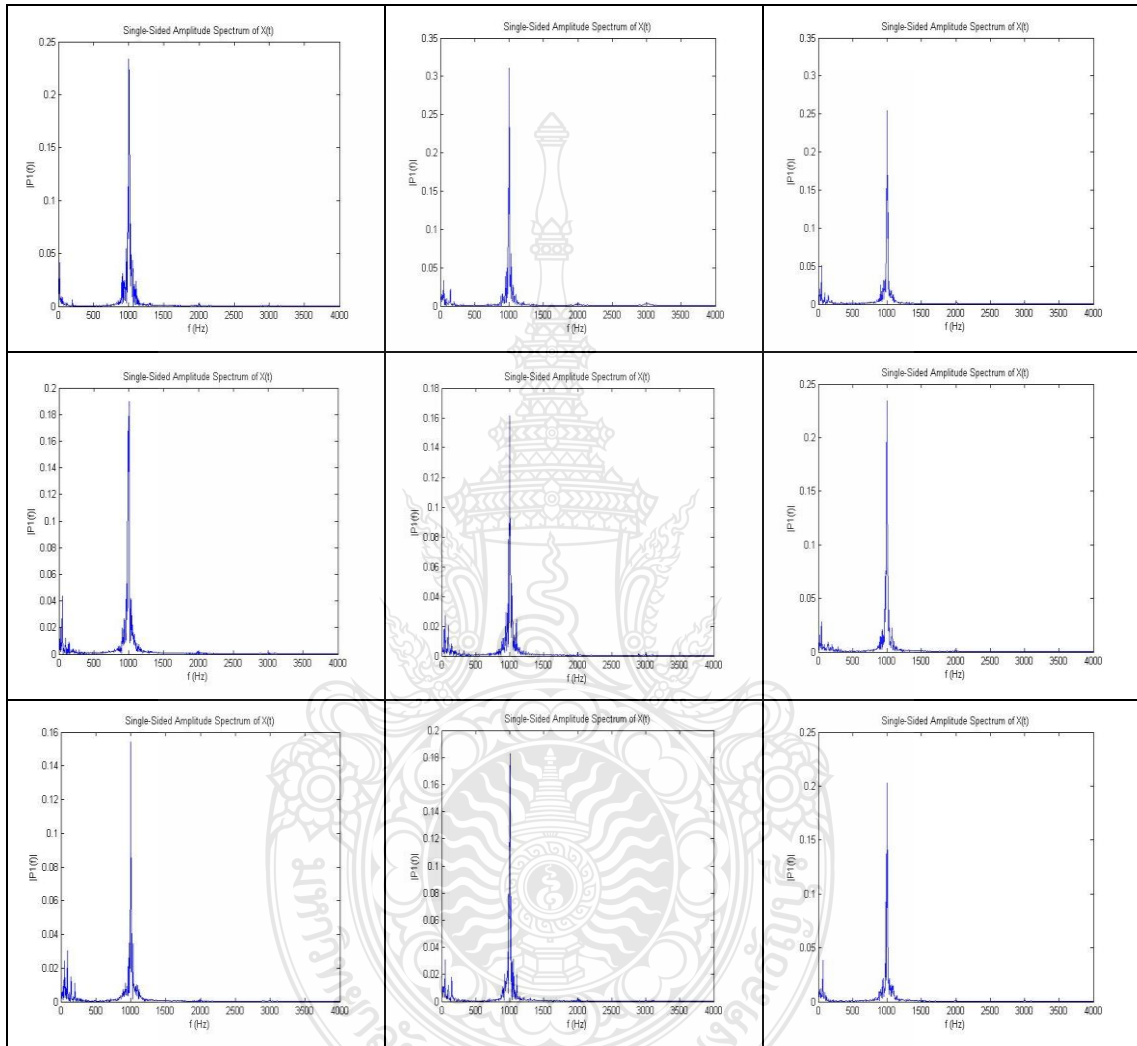
งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงของห้องประชุมและสร้างตัวกรองเพื่อกรองสัญญาณเสียงในความถี่ที่คลาดเคลื่อน ซึ่งได้ทำการทดลองหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงเป็นแนวทางสำหรับการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาของสัญญาณเสียงจากผู้พูดไปสู่ผู้ฟัง อันเนื่องมาจากในแต่ละตำแหน่งภายในห้องประชุมมักมีความถี่ของสัญญาณเสียงที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เข้ามาเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับงานวิจัย ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ภายในห้องประชุม การวิเคราะห์หาค่าความถี่ในที่นี่จะนำไปใช้ในการสร้างตัวกรองสำหรับกรองความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียง เมื่อได้สัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านแล้ว นำสัญญาณเสียงที่ได้ในตำแหน่งต่างๆ ไปทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง เพื่อทำการวิเคราะห์ผลให้ได้สัญญาณเสียงที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 4.1 ผลการทดลองการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

กระบวนการนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความถี่ที่ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงภายในประชุม โดยใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เพื่อหาค่าความถี่ที่มีในสัญญาณเสียงออกมา ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้ได้ผลการประมวลที่เร็วและเกิดค่าความผิดพลาดน้อย โดยการวิเคราะห์หาค่าความถี่ที่เกิดขึ้นนี้จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์สัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณเสียงและการวิเคราะห์สัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรม

#### 4.1.1 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณเสียง

การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ ด้วยกระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วสามารถนำตัวอย่างรูปสัญญาณมาทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.1

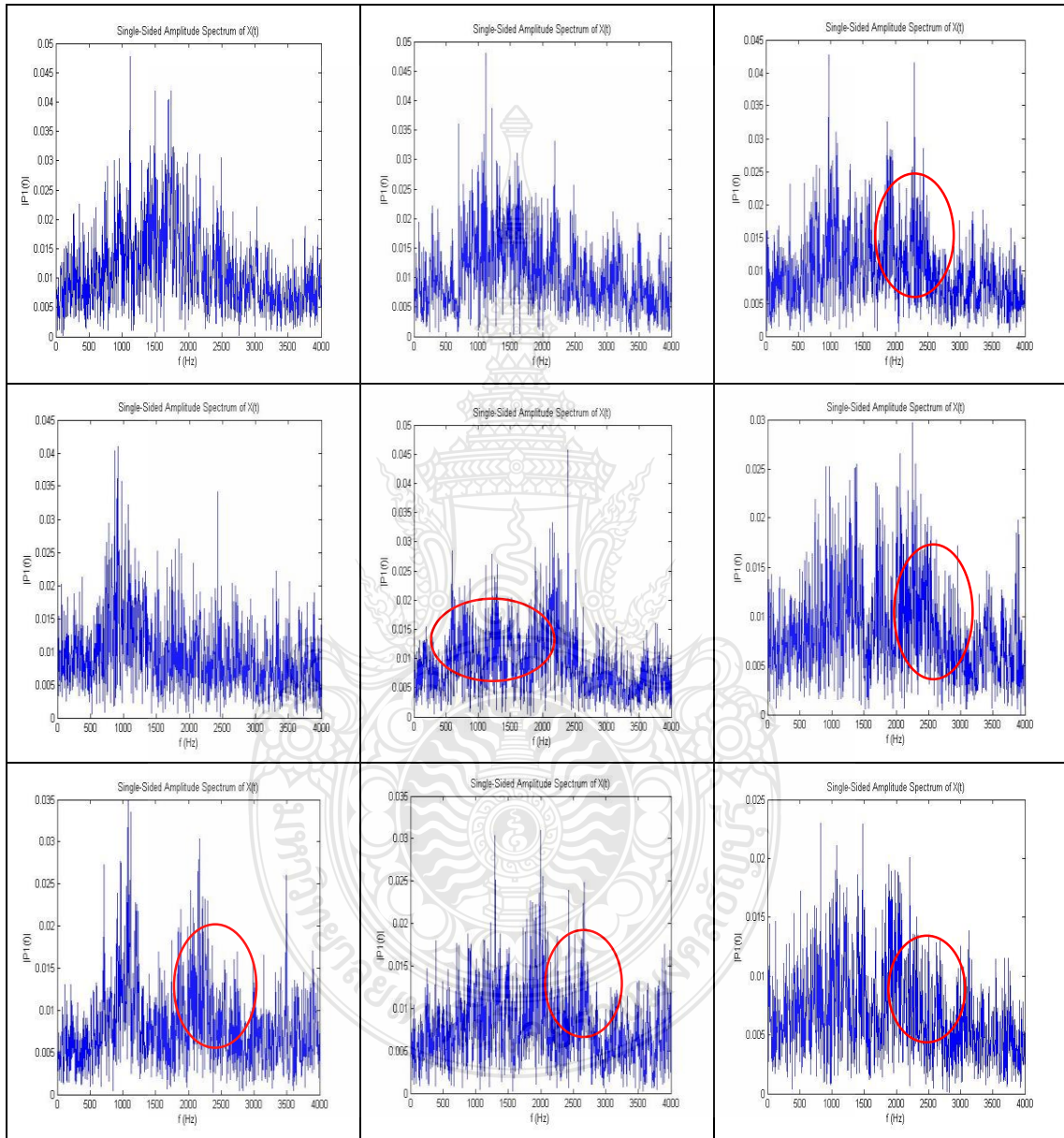


รูปที่ 4.1 ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงแบบทั้งช่วงสัญญาณตำแหน่งที่ 1-9

จากรูปที่ 4.1 จากการทดลองพบว่า เมื่อนำสัญญาณเสียงแบบทั้งช่วงสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว ความถี่ที่ได้จะอยู่ในช่วงความถี่ที่ 1 kHz เพราะสัญญาณเสียงทั้งชุดสัญญาณมี Sample ของสัญญาณเสียงมากทำให้ไม่สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงนี้

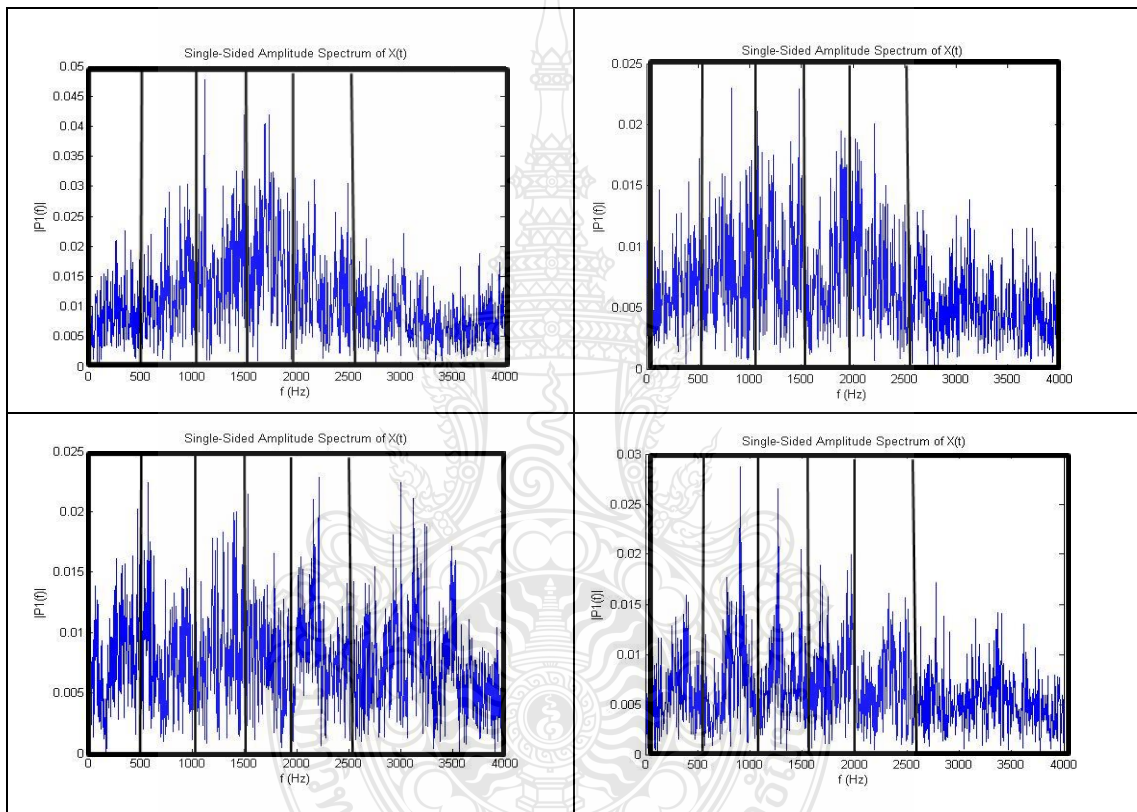
#### 4.1.2 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรม

นำสัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรมของตำแหน่งต่างๆ เข้าสู่กระบวนการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว สามารถนำตัวอย่างรูปสัญญาณมาทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรม เฟรมที่ 10 ของตำแหน่งที่ 1-9

จากรูปที่ 4.2 จากการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ 2-5 มีค่าความถี่ประมาณ 700 Hz – 2.7 kHz ตำแหน่งที่ 6-9 มีค่าความถี่ประมาณ 500 Hz – 3 kHz เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ 1 แล้ว พบว่า ความถี่ของตำแหน่งที่ 1-5 มีความถี่ส่วนมากอยู่ในย่านความถี่ที่ใกล้เคียงกัน แต่ในตำแหน่งที่ 6-9 ในย่านความถี่ต่ำมีค่าความถี่ที่ทับซ้อนกันมากเกินไป เป็นเพราะมีการสะท้อนกลับของสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นในห้องประชุม จึงทำให้สัญญาณเสียงที่บันทึกได้จากการทดลองพบค่าความถี่ที่ความคลาดเคลื่อนในสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งมุมห้องทั้ง 4 ด้าน (ตำแหน่งที่ 1, 9, 46, 54)

จากรูปที่ 4.3 คือสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1-9 สามารถพิจารณาตำแหน่งของสัญญาณเสียงในตำแหน่งของมุมห้องทั้ง 4 ด้าน

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียง จำนวน 53 ตำแหน่ง โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 ผลปรากฏว่า จากรูปที่ 4.1 เมื่อนำสัญญาณเสียงทั้งหมดเข้าสู่การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว ความถี่ของสัญญาณเสียงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 800 Hz–1.2 kHz

ใกล้เคียงกันทุกตำแหน่ง โดยค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงส่วนมากจะอยู่ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 500 Hz และจากรูปที่ 4.2 เมื่อนำสัญญาณเสียงแบบแบ่งเฟรมเข้าสู่การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว พบว่า ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 500 Hz และช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2.5 kHz พบความคลาดเคลื่อนของความถี่ ซึ่งผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

**ตารางที่ 4.1** การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของความถี่ จำนวน 53 ตำแหน่ง

ช่วงความถี่	จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อน	คิดเป็น (%)
ต่ำกว่า 500 Hz	50	94 %
500 Hz – 1 kHz	40	75 %
1 kHz – 1.5 kHz	30	56 %
1.5 Hz – 2.5 kHz	35	66 %
มากกว่า 2.5 kHz	42	80 %

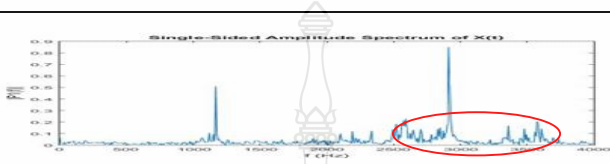
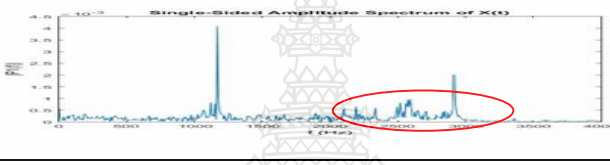
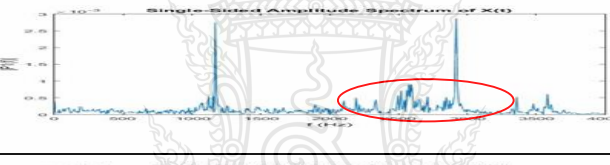
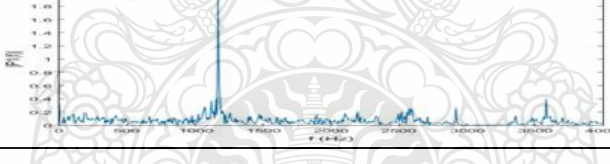
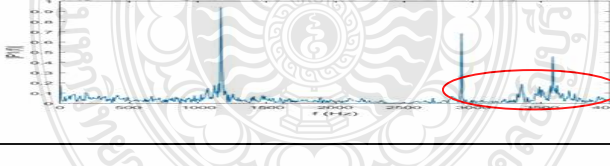
จากตารางที่ 4.1 กำหนดให้ตำแหน่งที่ 1 เป็นสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงในหลายๆตำแหน่งทั้ง 53 ตำแหน่ง โดยแบ่งช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน ได้แก่ ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 500 Hz จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด 50 ตำแหน่ง คิดเป็น 94% ช่วงความถี่ที่ 500 Hz–1 kHz จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด 40 ตำแหน่ง คิดเป็น 75% ช่วงความถี่ที่ 1 kHz–1.5 kHz จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด 30 ตำแหน่ง คิดเป็น 56% ช่วงความถี่ที่ 1.5 Hz–2.5 kHz จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด 35 ตำแหน่ง คิดเป็น 66% และช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2.5 kHz จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด 42 ตำแหน่ง คิดเป็น 80% จะเห็นได้ว่าช่วงความถี่ที่คลาดเคลื่อนจะอยู่ในช่วง 500 Hz–2.5 kHz ดังนั้น ในการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงจึงมีการนำตัวกรองดิจิตอลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เข้ามาช่วยในการกรองความถี่ที่คลาดเคลื่อนในสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น

## 4.2 ผลการทดลองการใช้ตัวกรองดิจิตอลจำกัด

การปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียง โดยการนำตัวกรองดิจิตอลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านร่วมกับการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เพื่อกรองความถี่ของสัญญาณเสียงที่คลาดเคลื่อน และใช้การแปลงฟูรีเยร์แบบเร็วในการวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิตอลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน โดยมีการสุ่มจำนวนของ  $N$  เพื่อให้ได้ค่า  $N$  ที่เหมาะสมสำหรับสัญญาณเสียงนี้

ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่กรองผ่านความถี่ตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ในช่วงความถี่ 500 Hz–2.5 kHz ดังตารางที่ 4.2

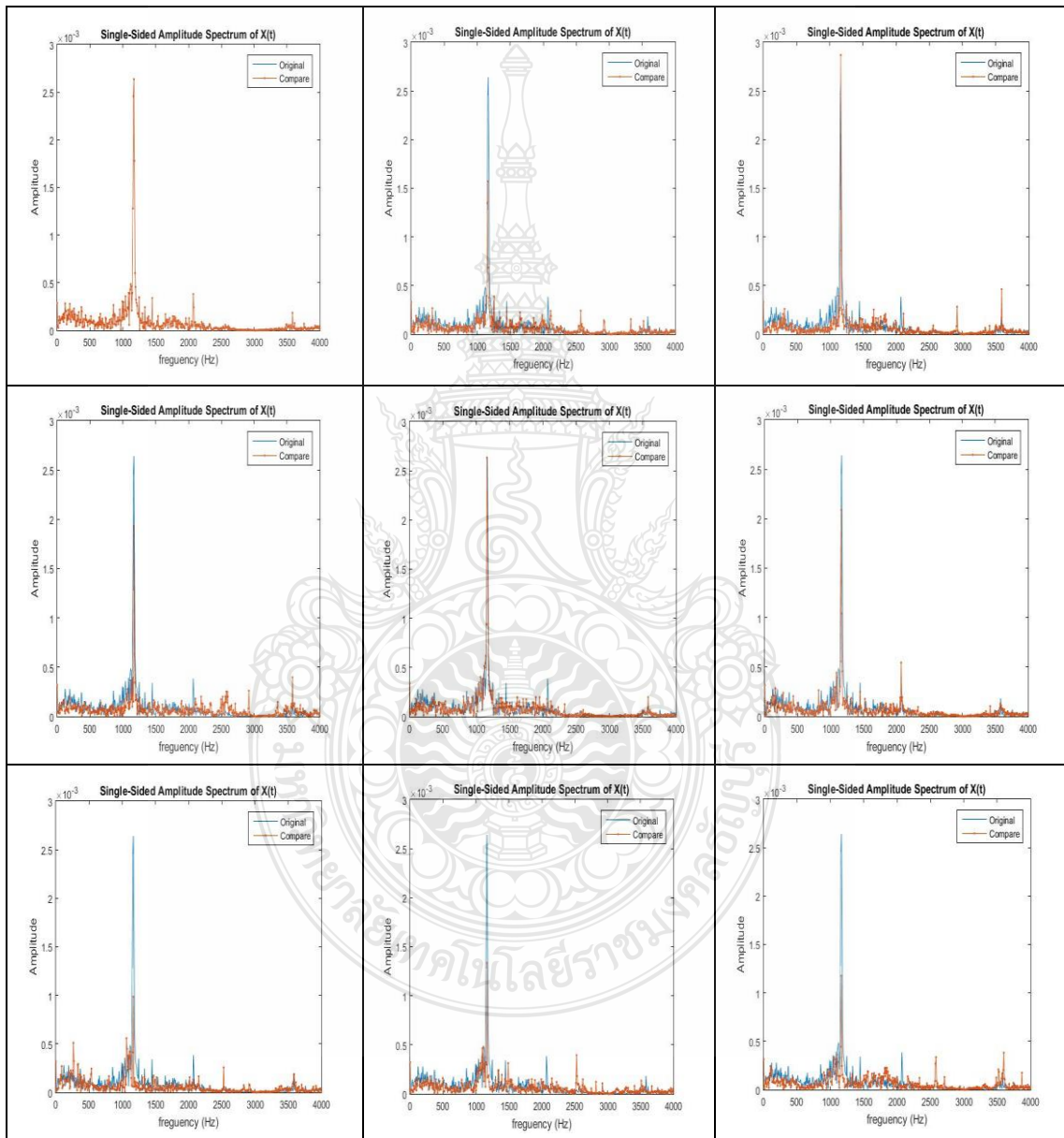
ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการทดลองสุ่มจำนวน N ที่แตกต่างกัน

จำนวน N	สัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรอง FIR	ผลของการกรอง สัญญาณเสียง
N = 10		25 %
N = 30		60 %
N = 50		50 %
N = 80		80 %
N = 100		50 %

จากตารางที่ 4.2 เมื่อกรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ซึ่งกรองความถี่ในช่วง 500 Hz–2.5 kHz จากการสุ่มจำนวน N ของตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ผลปรากฏว่า จำนวน N=10 สามารถกรองสัญญาณเสียงได้เพียง 25% จำนวน N=30 สามารถกรองสัญญาณเสียงได้ 60% จำนวน N=50 สามารถกรองสัญญาณเสียงได้ 50% จำนวน N= 80 สามารถกรองสัญญาณเสียงได้ 80% และจำนวน N=100 สามารถกรองสัญญาณเสียงได้ 50% ซึ่งพบว่าจำนวน N มีผลต่อการกรองสัญญาณเสียง โดยจำนวน N ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงที่ N=80 เพราะเมื่อทำการกรองสัญญาณเสียงแล้ว พบสัญญาณรบกวนหรือความถี่ที่กรองได้ไม่หมดเพียง 20%

### 4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ

เมื่อนำสัญญาณเสียงที่กรองด้วยตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง ตัวอย่างสัญญาณการเปรียบเทียบสัญญาณเสียง ตำแหน่งที่ 1-9 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1-9



จากรูปที่ 4.4 คือ ตัวอย่างการนำสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1-9 เพื่อทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง โดยที่กราฟของสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง(กราฟสีน้ำเงิน) และกราฟของสัญญาณเสียงตำแหน่งที่นำมาเปรียบเทียบ(กราฟสีน้ำตาล) ผลการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้นคือค่าของความถี่ที่มีความใกล้เคียงกันแต่อาจมีบางย่านความถี่ที่คลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ของความถี่ที่เกิดขึ้น

การเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ กับสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาร้อยละของความถี่ใกล้เคียงกัน โดยใช้เทคนิคการกำหนดค่า Threshold ซึ่งค่าผลต่างที่เกิดขึ้นอยู่มีค่าที่ต่ำมาก ดังนั้นการกำหนดค่า Threshold จะอยู่ในช่วงที่  $2 \times 10^{-5}$  ถึง  $5 \times 10^{-5}$  เมื่อค่าความถี่ใกล้เคียงกันมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะทำการรวมค่าความถี่ใกล้เคียงกันและแสดงผล ดังรูปที่ 4.5

accuracy = 70	accuracy = 70.4000	accuracy = 64.2000
(ตำแหน่งที่ 2)	(ตำแหน่งที่ 3)	(ตำแหน่งที่ 4)

#### รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการแสดงผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 4.5 คือ ผลการเปรียบเทียบความถี่ใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียง จากผลการเปรียบเทียบจะสังเกตได้ว่า ค่าความแม่นยำของตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 4 มีค่าความแม่นยำที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุม ทั้ง 53 ตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียงในตำแหน่งต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบ  
กับสัญญาณเสียงที่ไม่ได้กรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรอง FIR

ตำแหน่ง	สัญญาณเสียง ต้นฉบับ(%)	สัญญาณเสียง กรองผ่าน FIR(%)	ตำแหน่ง	สัญญาณเสียง ต้นฉบับ(%)	สัญญาณเสียง กรองผ่าน FIR(%)
1	-	-	28	43.20	72.00
2	39.40	70.00	29	41.40	72.80
3	35.40	70.40	30	37.20	65.60
4	32.80	64.20	31	37.20	69.80
5	44.60	72.00	32	41.20	71.40
6	40.20	72.00	33	38.80	71.40
7	43.00	72.00	34	39.20	70.20
8	37.60	72.60	35	43.40	72.60
9	38.00	69.40	36	45.40	72.20
10	42.80	68.40	37	44.40	72.60
11	45.40	71.20	38	42.00	71.00
12	43.00	71.20	39	36.40	70.20
13	41.00	71.20	40	44.60	72.20
14	43.40	70.40	41	43.80	68.40
15	33.40	66.60	42	39.60	72.40
16	43.80	71.20	43	40.80	68.40
17	40.40	68.40	44	43.40	71.00
18	34.20	69.20	45	41.00	70.80
19	41.80	72.60	46	43.00	70.80
20	42.20	73.00	47	40.20	70.80
21	40.60	71.60	48	33.20	65.00
22	45.60	75.40	49	41.00	69.80
23	42.00	72.00	50	44.60	72.00
24	43.20	72.00	51	40.20	72.00
25	27.40	66.40	52	44.20	72.40
26	38.60	69.40	53	42.20	76.00
27	42.00	72.00	54	41.00	72.20
	<u>เฉลี่ย</u>			<u>40.65%</u>	<u>70.77%</u>

**ตารางที่ 4.4** ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบช่วงสัญญาณ จำนวน 53 ตำแหน่ง

ความใกล้เคียง	จำนวนตำแหน่ง	คิดเป็น
มากกว่า ร้อยละ 70	39	73.5 %
น้อยกว่า ร้อยละ 70	14	26.5 %

จากตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบช่วงสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงกับตำแหน่งต่างๆ จำนวน 53 ตำแหน่ง ผลปรากฏว่า จำนวนค่าความใกล้เคียงของสัญญาณเสียงที่มีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 มีจำนวน 39 ตำแหน่ง คิดเป็น 73.5% และค่าความใกล้เคียงน้อยกว่า ร้อยละ 70 มีจำนวน 14 ตำแหน่ง คิดเป็น 26.5% ซึ่งค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น คิดเป็น 70.77% และจากตารางที่ 4.3 นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงที่ไม่ได้กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัดชนิดแถบความถี่ผ่านที่มีค่าเฉลี่ย คิดเป็น 40.65% คุณภาพของสัญญาณเสียงเกิดขึ้นมีผลลัพธ์ที่ดีกว่า คิดเป็น 30.12% นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงทั้งชุดสัญญาณ ดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณ จำนวน 53 ตำแหน่ง

ความใกล้เคียง	จำนวนตำแหน่ง	คิดเป็น
มากกว่า ร้อยละ 70	53	100%
น้อยกว่า ร้อยละ 70	-	-

จากตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิงกับตำแหน่งต่างๆ จำนวน 53 ตำแหน่ง ผลปรากฏว่า จำนวนค่าความใกล้เคียงของสัญญาณเสียงที่มีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 มีจำนวน 53 ตำแหน่ง คิดเป็น 100% ทั้งนี้ เพราะชุดสัญญาณเสียงที่มีค่า Sample ของสัญญาณมาก ทำให้ผลของการเปรียบเทียบค่าความถี่มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม โดยการนำสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ จำนวน 53 ตำแหน่ง นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ 1) การนำสัญญาณเสียงทั้งชุดสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว 2) การแบ่งสัญญาณเสียงแบบเฟรมต่อเฟรมและทำการวิเคราะห์ผลด้วยกระบวนการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่

ช่วงความถี่	จำนวนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อน	คิดเป็น (%)
ต่ำกว่า 500 Hz	50	94 %
500 Hz – 1 kHz	40	75 %
1 kHz – 1.5 kHz	30	56 %
1.5 Hz – 2.5 kHz	35	66 %
มากกว่า 2.5 kHz	42	80 %

จากผลการทดสอบ พบว่า ช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 500 Hz และช่วงความถี่ที่สูงกว่า 2.5 kHz พบค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงมากกว่าช่วงความถี่ในช่วงความถี่อื่น โดยที่การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงแบบเฟรมต่อเฟรม มีผลการวิเคราะห์ที่สะดวกและชัดเจนกว่าการนำสัญญาณเสียงแบบทั้งชุดสัญญาณเข้ามาวิเคราะห์

#### 5.2 สรุปผลการหาค่า N ที่เหมาะสมของตัวกรองดิจิทัลจำกัด

สำหรับการออกแบบตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน เพื่อกรองความถี่ที่คลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม จะถูกสร้างสำหรับการกรองความถี่ของสัญญาณเสียงในช่วง 500 Hz–2.5 kHz ทั้งนี้ในกระบวนการสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัดจะต้องทำการหาค่า N เพื่อให้เหมาะสมกับสถานะของความถี่ในสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้น

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อกรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ซึ่งกรองความถี่ในช่วง 500 Hz–2.5 kHz จำนวน N มีผลต่อการกรองสัญญาณเสียง โดยจำนวน N ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงที่ N=80 เพราะเมื่อทำการกรองสัญญาณเสียงแล้ว พบสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณความถี่ที่กรองได้ไม่หมดเพียง 20% หากจำนวน N มากกว่านี้จะส่งผลทำให้เกิดความล่าช้าและเป็นการเพิ่มความถี่รบกวนเข้ามาในสัญญาณเสียง

### 5.3 สรุปผลการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงกับสัญญาณเสียงต้นฉบับ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงที่กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงจำนวน 53 ตำแหน่งภายในห้องประชุมกับตำแหน่งของสัญญาณเสียงตำแหน่งอ้างอิง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกัน ผลปรากฏว่า จำนวนค่าความใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียงที่มีค่ามากกว่า ร้อยละ 70 มีจำนวน 39 ตำแหน่ง คิดเป็น 73.5% และค่าความใกล้เคียงที่มีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 70 มีจำนวน 14 ตำแหน่ง คิดเป็น 26.5% ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นทุกตำแหน่ง คิดเป็น 70.77% ดังตารางที่ 5.2 และหากนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเปรียบกับสัญญาณเสียงที่ไม่ได้กรองผ่านตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่านที่มีค่าเฉลี่ย คิดเป็น 40.65% คุณภาพของสัญญาณเสียงเกิดขึ้นมีผลลัพธ์ที่ดีกว่า คิดเป็น 30.12%

ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของสัญญาณเสียง

ความใกล้เคียง	จำนวนตำแหน่ง	คิดเป็น
มากกว่า ร้อยละ 70	39	73.5 %
น้อยกว่า ร้อยละ 70	14	26.5 %

### 5.4 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุม และสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด ชนิดแถบความถี่ผ่าน ร่วมกับการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว เพื่อปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นภายในห้องประชุมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากการทดลองและผลการทดลองที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้จะสังเกตได้ว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ผลเพื่อค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณภายในห้องประชุม สัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นมีค่าของความถี่ที่มาก การวิเคราะห์ค่าความถี่ด้วยการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ววิธีการเดียวอาจไม่เพียงพอ จึง

ควรนำวิธีการอื่นๆ เข้ามาร่วมวิเคราะห์ผลด้วย เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของความถี่ในสัญญาณเสียงภายในห้องประชุมที่ละเอียดมากขึ้น และในส่วนของ การสร้างตัวกรองดิจิทัลจำกัด ควรคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์ Q และ G ของตัวกรองสัญญาณเสียง หรืออาจมีการกำหนดชนิดของตัวกรองสัญญาณเสียงแบบอื่นๆ ให้หลากหลายขึ้น รวมไปถึงการชดเชยสัญญาณเสียงก็เป็นส่วนสำคัญ หากสัญญาณเสียงที่ใช้ในการทดลองถูกทำการบันทึกในสภาพห้องที่กว้างและใหญ่กว่านี้ จำเป็นต้อง ใช้การชดเชยสัญญาณเสียงเข้ามาร่วมด้วย เพื่อให้การแก้ไขปัญหาการสะท้อนของสัญญาณและการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณเสียงมีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้ความรู้และหลักการต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสัญญาณเสียงตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องประชุม ซึ่งสามารถให้ค่าความถูกต้องที่ยอมรับได้เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ใช้เทคนิคที่ซับซ้อน หากใช้กระบวนการวิเคราะห์และตรวจสอบละเอียดเพื่อปรับปรุงหรือแก้ไขโดยวิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น เพื่อเป็นการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ต่อไปในอนาคต



## บรรณานุกรม

- [1] รำพึง มังคละสวัสดิ์. (2517). วิศวกรรมเสียง. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] มนต์รี ศิริปรัชญานันท์. วงจรกรองความถี่แบบแอกทีฟเบื้องต้น: หนังสือออกแบบวงจรไอซี.
- [3] Eric, W., Frank S. K., & Juan B. H. (1999). A Block Least Squares Approach to Acoustic Echo Cancellation. In **IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing**. (pp. 869–872).
- [4] Atsushi, O., Naoyuki, A., & Masamitsu, S. (2000). A Design Method of Low Delay FIR Band-pass filters. In **IEEE International Symposium on Circuits and Systems**. (pp. 92–95).
- [5] Rong, H., & Yunxin, Z. (2006). Fast Noise Compensation for Speech Separation in Diffuse Noise. In **IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing**. (pp. 865-868).
- [6] Jimi, Y. C. W., & Patrick, A. N. (2007). Objective Measurement of Coloration in Reverberation. In **IEEE 15<sup>th</sup> European Signal Processing Conference**. (pp. 1615–1619).
- [7] Ina, K., & Simon, D. (2014). Joint Derverberation and Noise Reduction Based on Acoustic Multichannel Equalization. In **IEEE 14<sup>th</sup> International Workshop on Acoustic Signal Enhancement**. (pp. 139–143).
- [8] Chaideaw, T., & Jakkree, S. (2015). Speech Emotion Classifier using Support Vector Machine with FFT and MFCC. In **The 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering and Technology**. (pp. 190–193).
- [9] Pandey, V. (2015). Equiripple Band-pass FIR Filter Design for Speech Signals Order Optimization for Frequency range of 300 Hz to 4000 Hz. In **IEEE International Conference on Computing Communication and Automation**. (pp. 1368–1371).
- [10] เอกรัตน์ สุขสุคนธ์ และ จักรี ศรีนนท์ฉัตร. (2559). การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อนโดยใช้ FFT. ใน **งานประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8** (น. 591–594).

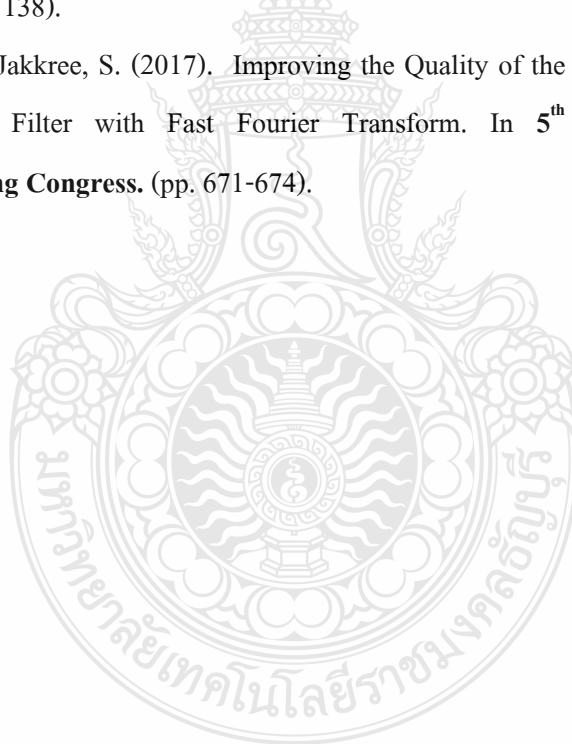
## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Giacomo, V., Soren H., Jensen, Enzo, D. S., Marc, M., Michael, C. & Toon, V. W. (2016). Multichannel Identification of Room Acoustic System with Adaptive Filters Based on Orthonormal Basic Functions. In **IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing**. (pp. 16–20).
- [12] Mattias, D., & Ingvar, C. (1999). Acoustic Noise and Echo Canceling with Microphone Array. In **IEEE Transaction on Vehicular Technology**. (pp. 1518–1526).
- [13] Constantin, P., Jacob, B., & Silviu, C. (2008). A Variable Step-Size Affine Projection Algorithm Designed for Acoustic Echo Cancellation. In **IEEE Transaction on Audio Speech and Language Processing**. (pp. 1466–1478).
- [14] Schafer, R. W., Rabiner, L. R., & Herrmann, O. (1975). FIR Digital Filter Banks for Speech Analysis. In **IEEE American Telephone and Telegraph Company: The Bell System Technical Journal**. (pp. 531-544).
- [15] Stephen, A. Z., & Paul, E. G. (1983). Finite Impulse Response Filter for Speech Analysis and Synthesis. In **IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing**. (pp. 808-811).
- [16] Mike, V. C., James, A. H., & Russell, J. N. (1991). A Comparison of FIR Filter Bank Design Methods with Applications to Intelligibility Enhancement of Noise Corrupted Speech Signals. In **IEEE International Conference on Systems Engineering**. (pp. 386-390).
- [17] Jakkree, S. (2005). Improvement of the Clustering Technique to Design a Codebook in Speech Coding. In **IEEE 5<sup>th</sup> International Conference on Information Communications & Signal Processing**. (pp. 199-202).
- [18] Ann, S., Geert R., Marc, M., & Jan, W. (2007). Combined Feedback and Noise Suppression in Hearing Aids. In **IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing**, vol. 15. (pp. 1777-1790).



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] Kruthiventi, S., Srinivas S., & Prahallad K. (2012). An FIR Implementation of Zero Frequency Filtering of Speech Signals. In **IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing**. (pp. 2613-2617).
- [20] Flavio, Z., Gianni, P., & Oreste, A. (2016). Design Criteria for FIR-Based Echo Cancellers. In **IEEE Transactions on Broadcasting**, vol. 62. (pp. 562-578).
- [21] Bharitkar, S., Zhang, Y., & Kyriakakis, C. (2006). Room Acoustics Response Modeling and Equalization with Linear Predictive Coding and Parametric Filter for Speech and Audio Enhancement. In **IEEE 40<sup>th</sup> Asilomar Conference on Signals Systems and Computers**. (pp. 1135-1138).
- [22] Aekkarat, S., & Jakkree, S. (2017). Improving the Quality of the Speech Signal using a FIR Band-pass Filter with Fast Fourier Transform. In **5<sup>th</sup> International Electrical Engineering Congress**. (pp. 671-674).



ภาคผนวก



ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่





# EENET2016

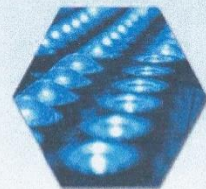
Innovation for Sustainability Entrepreneur

25-27 May 2016, Duangjitt Resort & Spa,  
Patong Beach, Phuket



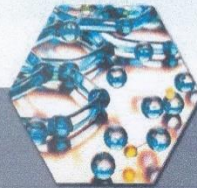
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

The 8th Conference of Electrical Engineering Network  
of Rajamangala University of Technology



## Conference Topics

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)
- งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร. กิรติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร. เดชา พวงดาวเรือง	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร. ทวีพล ชื้อศักดิ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. ปิยะ โควินท์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
รองศาสตราจารย์ ดร. พานิช อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์รี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ อุดมหรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร. สัมพันธ์ พรหมพิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัชัย สุขสกุลชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร. อาริต ธรรมโน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร. อิทธิพงษ์ ชัยสายัณห์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ บุญเลิศ สือเฉลย	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ สิริวิห ทัดสวน	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไกรฤกษ์ เขยชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรี ศรีนนท์นัคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เงินศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย แสงดาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนัตถ์ เพ็ชรตระกูล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพพร พันธ์ประภคิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัฐ โชคธิ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัฐพร ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นาดยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย บุญชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศรีพรรณ อารีย์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ปวงราษฎร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิริวีร์ ธนารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสพโชค ให้อทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณชภัทร ภูมิภาค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชิต กิดดีสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพบูรณ์ เกียรติสุขคนธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี คำเงิน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สมคุดยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชงยุทธ นารายณ์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ทีแก่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ดาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร วงศ์ปัญญา	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัน ไชย คำสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑล จิรจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ชัยมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ศรีสกุลเดชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเริง อินทามิ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริภ ฐีประภาย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิมาน กาญจนวาปสติดิษฐ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เถลิงพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เค่น คอกพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทง ถานธาทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ เสาร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประวิษ เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิญญู แสงสินกสิกิจ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชาวัฒน์ นาคทรัพย์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิชัย ส่ง่างาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริชัย แดงแอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ นวสุนทรเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศุภวัฒน์ ลาวัฒน์ยิวสุทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิชัย บุญปัทสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อธิศักดิ์ วัฒนกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรุณชัย เจริญ	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.กรัญญา สิทธิสงวน	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ดร.กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น
ดร.กัญจนา ชัยอมฤต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.คณน สุจาวี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.คมกฤษ บุญยั้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.จรินทร์ศักดิ์ แซ่เตี๋ย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จักรกฤษ ครอบพาณิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.ณัฐทิ ถึงสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
ดร.ดนอม โทมัส	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
ดร.ทศพล ทิพย์โพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ธีรวิสิษฐุ์ เลหาะเพ็ญแสง	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ดร.นิตกรณ สิลปีศิริวานิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.นิตศักดิ์ เจริญรูป	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ดร.มัณฑนา เหลือแคง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.บัณฑิต เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.ประมวดี ชูรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ปรัชญา มงคลไวย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ปรีชา สาครรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.พงษ์เทพ รักษากวางค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ดร.พรพิมล วิญญูชาคริต	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.พัชรวดี พูลสำราญ	มหาวิทยาลัยบูรพา

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ดร.พิชัย อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ไพวรรณ เกิดดวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ดร.มงคล มีคุณ	กรมสอบสวนคดีพิเศษ (DSI)
ดร.มติน รามย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ดร.มาลีชา ดั่งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.ยอด สุขะมงคล	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.ยุทธพงศ์ ทัพคอง	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ดร.รัศมี สิทธิชินแก้ว	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.วรินทร์ สุดคนึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.วฤทธิ์ วิชกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.วันวิสา ชัชวงษ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณตากกระบัง
ดร.วุฒิพร เลิศวาสนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ดร.ศรัณญา ปะสะกะวี	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
ดร.โยชศักดิ์ ธรรมบุษดี	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ตีญา ควรรคิด	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ดร.สันติ นุราช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สายชล ชุตเจื้อจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.สุกฤดา ปริประณะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.สุธาสิณี คุปตะบุตร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ดร.สุเมธชา เกษมวิลาส	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.สุภัทษา มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.อรพิน ชาญนำสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.อรรถ พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
ดร.อาคม ปะหลามานิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.เอกสิทธิ์ นุกุลเจริญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
นายชำนาญ ปัญญาใส	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
นายวุฒิกิจ เชาว์ประมวถกุล	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)



สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัยสาขาคอมพิวเตอร์ (CP) ต่อ		หน้า
CP21	ศึกษาการใช้วีรฟ์สพรีอกรี 2 ชั้นตอนเพื่อลดผลกระทบจากการโจมตีแบบ Denial-of-service attack วชิรพันธ์ ปุ่ม เทวา แก้วศักดิ์ศิริ และ รสสุคลธ์ สุวรรณบุญ มหาวิทยาลัยนครพนม.....	533
CP22	ผู้เก็บกู้แอด โนมติ ประสิทธิ์ จัจะพานิชกุล กิตตินันท์ สายทอง และ ณัฐพงษ์ คำสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.....	537
CP23	การเพิ่มเสถียรภาพระบบที่สูญเสียด้วยวิธีการสำเนาฐานข้อมูล วีรธรรม ไชยงค์ วีระ รัตนงาม และ วชิรพันธ์ ปุ่ม มหาวิทยาลัยนครพนม.....	541
CP24	การออกแบบโปรแกรมชุดฝึกถ่ายภาพบังคับข้อเข้าเสื่อม จิตติธรรมา พานิชชาติ นที เจริญตระกูลชีพ วิสันต์ ศังวงษ์เจริญ และ ทิวา โกลส 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง'มหาวิทยาลัยรังสิต.....	545
CP25	การพัฒนาโปรแกรมชุดฝึกถ่ายภาพบังคับข้อเข้าเสื่อมและแขนในสภาพแวดล้อม 3 มิติ ธนวัฒน์ กิตติทรงคุณ' รณกพ อินทร์เดื่อ' ปาจริย์ หวังวิไล' วิสันต์ ศังวงษ์เจริญ' และ อาทิตยา ทะสม' 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง'มหาวิทยาลัยรังสิต.....	549
บทความวิจัยสาขาการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)		
DS01	การรวมตัวกันของการหาลักษณะเด่นกับการตรวจสอบการวางมือบนอุปกรณ์วัดขนาดมือแบบไร้หมุด บทความ กำกับ ชมเชย อภิวัฒน์ สวัสดิรัตน์' ประสาน เอื้อทาน' และ จักรี ศรีนนท์จิตร' 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี'.....	553
DS02	วิธีการตรวจจับพื้นที่บนใบหน้าและค้นหาสิ่งบดบังบริเวณดวงตาบนพื้นฐานของภาพสี YCbCr ศุภกิตติ โสภาสถ และ จักรี ศรีนนท์จิตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	557
DS03	การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อน โดยใช้ FET เอกรัตน์ สุขสุคนธ์ และ จักรี ศรีนนท์จิตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....	561

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

# การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อนโดยใช้ FFT Frequency Analysis of Speech and Resonance Speech using FFT

เอกรัตน์ สุขสุคนธ์<sup>1</sup> และ จักรี ศรีนนท์จักร<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ห้องปฏิบัติการวิจัยทางด้านการประมวลผลสัญญาณ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 ม.1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

E-mail: aekkarat\_s@mail.mut.ac.th<sup>1</sup>, jakkree.s@en.mut.ac.th<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของ ความถี่ในสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อน เพื่อใช้แก้ไขปัญหาคุณภาพของ เสียง โดยความถี่ที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นสัญญาณที่ไม่อยู่นิ่งและไม่เป็นราย คาบ ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว เพื่อหา ค่าความถี่ของสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อน โดยในการทดลองได้เก็บ ข้อมูลตัวอย่างของเสียง 54 ตำแหน่ง แบ่งช่องระหว่างตำแหน่งเป็น 1 ตารางเมตรและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบ จากการทดลองพบว่า ในย่านความถี่ต่ำของสัญญาณเสียงจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนของ สัญญาณเสียง โดยเฉพาะตำแหน่งที่อยู่ไกลจากต้นเสียงและตำแหน่ง สุดท้ายของสัญญาณเสียง ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์นี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ ในการปรับปรุงคุณภาพของเสียงในห้องประชุมให้มีประสิทธิภาพของเสียง ให้ดีขึ้นได้

**คำสำคัญ:** การแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว การสะท้อนของเสียง การประมวลผลสัญญาณเสียง

## Abstract

This article presents an analysis of the frequency error in speech and resonance signal to improve the speech quality. Those frequency are the non-stationary and non-periodic signal. The Fast Fourier Transform is applied to this experiment to determine the frequency of speech and resonance speech. There are 54 speech position, which each position is located in 1 square meter, to use as input signal. Also the results are compared to the original speech. The results show that the low frequencies of the speech signal give an error more than the high frequencies specially in the far location and the corner of the room. Therefore, these analysis results will be more focus to improve the speech quality of meeting room.

**Keywords :** Fast Fourier Transform, Reverberations, Speech processing

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเสียงมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้เข้ามามีบทบาทและถูกนำมาใช้งานอย่างมากมาย การใช้เสียงสำหรับการเรียนการสอนของนักเรียนนักศึกษาหรือแม้กระทั่งโรงแรมหรือห้องประชุมต่างๆ คุณภาพของเสียงที่ผู้ฟังจะได้รับเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก โดยการพัฒนาเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของเสียงที่เกิดขึ้นในห้องประชุมนั้นมีการพัฒนาและแก้ไขโดยวิธีการต่างๆ มากมาย เช่น ในงานวิจัยที่ [1] การสกัดคำพูดกับลักษณะอารมณ์ของเสียง โดยการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็วกับ MFCC เป็นการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็วเพื่อหาคุณลักษณะพิเศษของเนื้อเสียงพูด งานวิจัยที่ [2] การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบ 4 ทาง โดยใช้ทฤษฎีของ Bernstein Polynomial เพื่อให้ลำโพงมีการตอบสนองในย่านความถี่ต่างๆ ได้ครบทุกย่านความถี่ซึ่งผลก็คือการตอบสนองของความถี่ต่ำได้ดีแต่ยังตอบสนองความถี่สูงจะต้องมีการแก้ไขแต่โดยรวมการตอบสนองของเฟสก็ถือว่าดี ในงานวิจัยที่ [3] การออกแบบวงจร ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบ 3 ทาง โดยใช้สมการทางตรีโกณมิติ เพื่อให้ค่าความถี่ของเสียงที่ออกมามีค่าเสถียรซึ่งผลการทดลองก็ออกมาออกมามีค่าที่ใกล้เคียงกับอัตราขยายของเสียงด้วย ในงานวิจัยที่ [4] การลดเสียงและแยกเสียงรบกวนโดยใช้กระบวนการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว ในการประมวลผลและสกัดจุดเด่นเสียงรบกวนนั้นๆ ในงานวิจัยที่ [5] ตำแหน่งของไมโครโฟนและการลดการรบกวนของเสียงโดยหาค่า SNR สูงสุด และลดค่า MSE เพื่อให้เกิดการบิดเบือนของสัญญาณเสียงในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยที่ [6] การกรองเสียงเพื่อลดเสียงรบกวนและเสียงสะท้อนของห้องแบบอะคูสติก ซึ่งงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่างานวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้คุณภาพของเสียงแบบอะคูสติกมีวิธีการแก้ไขได้หลายวิธี

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เสนอการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของ ความถี่ในสัญญาณเสียงและเสียงสะท้อน ในแต่ละตำแหน่งของ สัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นในห้องประชุมโดยใช้วิธีการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็ว

25-27 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 โรงแรมดวงจิตต์ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดภูเก็ต

**บทความวิจัย**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

**2. ทฤษฎี**

**2.1) การแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว**

การแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว (FFT) เป็นชื่อเรียกโดยรวมของอัลกอริทึมใดๆที่มีการเปลี่ยนแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่องอย่างรวดเร็ว โดยที่การแปลงฟูรีเยร์อย่างรวดเร็ว ก็คือการแปลงฟูรีเยร์แบบไม่ต่อเนื่อง แต่เป็นการสลับตำแหน่งข้อมูลและเทคนิคการรวมสัญญาณเพื่อให้จำนวนการแปลงค่าลดลง เรียกว่า Decimation in Time (DIT)

ให้  $x(n)$  เป็นลำดับเชิงซ้อนหรือลำดับจำนวนจริง  $N = 2^k$  จุด โดย  $n = 1, 2, \dots, N-1$  แล้ว  $X(m)$  คือ DFT ของ  $x(n)$  โดย  $m = 1, 2, \dots, N-1$  จะได้

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi mn/N} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{mn} \tag{1}$$

เมื่อ  $W_n = e^{-j2\pi 1/N}$  (2)

ถ้าเราแบ่งอินพุต  $x(n)$  เป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนที่เป็นตัวชี้กำลังเลขคู่และอีกส่วนหนึ่งเป็นเลขคี่ ซึ่งจะเขียน  $x(m)$  ได้ สมการดังนี้

$$x(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_N^{2mn} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_N^{(2n+1)m} \tag{3}$$

$$x(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) (W_N^2)^{mn} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_N^m (W_N^2)^{mn} \tag{4}$$

และเนื่องจาก  $W_N^2 = e^{-j2\pi 2/N} = e^{-j2\pi 1/N/2} = W_{N/2}$  (5)

$$x(m) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_{N/2}^{mn} + W_N^m \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_{N/2}^{mn} \tag{6}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า  $\sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_{N/2}^{mn}$  และ  $\sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_{N/2}^{mn}$  คือการคำนวณ (N/2)-point DFT ดังนั้นวิธีการแบ่งการคำนวณ N-point DFT ออกเป็นการคำนวณ (N/2)-point DFT จำนวนสองส่วน โดยการนำ  $W_N^m$  ซึ่งเป็นตัวเลขเชิงซ้อนไปคูณกับผลที่ได้จากส่วนที่สอง แล้วนำกลับไปบวกกับส่วนที่หนึ่ง สังเกตว่าในขั้นตอนแรกเป็นการแบ่งตัวชี้ n ออกเป็นสองส่วน

ทำนองเดียวกันเราสามารถแบ่งตัวชี้ m ออกเป็นสองส่วน เช่นเดียวกันคือ ส่วนแรก  $m = 1, 2, \dots, N/2-1$  ซึ่งในการคำนวณตามสมการที่ (6) และส่วนที่สองคือ  $m = 1, 2, \dots, N-1$  ซึ่งเท่ากับตัวชี้ส่วนนี้จะเป็น

$(m + \frac{N}{2})$  เมื่อ m เป็นตัวชี้ในส่วนแรกพิจารณา  $x(m + \frac{N}{2})$  โดยแทน m ด้วย  $(m + \frac{N}{2})$  ในสมการที่ (6) ดังนี้

$$x\left(m + \frac{N}{2}\right) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_{N/2}^{(m+\frac{N}{2})n} + W_N^{m+\frac{N}{2}} \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_{N/2}^{(m+\frac{N}{2})n} \tag{7}$$

$$x\left(m + \frac{N}{2}\right) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_{N/2}^{mn} (W_{N/2}^N)^n + W_N^m + W_N^{N/2} \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_{N/2}^{mn} (W_{N/2}^N)^n \tag{8}$$

และเนื่องจาก  $W_{N/2}^N = e^{-j2\pi} = 1$  (9)

และ  $W_N^{N/2} = e^{-j2\pi(\frac{N}{2})} = e^{-j\pi} = -1$  (10)

เราจะได้

$$x\left(m + \frac{N}{2}\right) = \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n) W_{N/2}^{mn} - W_N^m \sum_{n=0}^{N/2-1} x(2n+1) W_{N/2}^{mn} \tag{11}$$

**2.2) การสะท้อนของเสียง**

การสะท้อนของเสียงเกิดขึ้นเมื่อเสียงเคลื่อนที่ไปกระทบตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า รวมไปถึงขนาดวัตถุหรือตัวกลางที่ไปตกกระทบต้องมีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าความยาวคลื่นเสียงนั้น เสียงสะท้อนจะสะท้อนได้ดีกับวัตถุผิวเรียบ แข็ง คลื่นเสียงความถี่สูงจะสะท้อนได้ดีกว่าความถี่ต่ำ เมื่ออัตราเร็วเสียงคงตัว จะได้ความถี่เสียงแปรผกผันกับความยาวคลื่นเสียง ดังนั้นความถี่สูงจึงมีความยาวคลื่นสั้น จึงสามารถสะท้อนได้ดีกับวัตถุที่มีขนาดเล็กๆ

สมการอัตราเร็วของเสียง คำนวณได้จาก

$$C_{speed} = \sqrt{\frac{c}{\rho}} \tag{12}$$

โดย

c คือ สัมประสิทธิ์ของความแข็งเกร็ง (coefficient of stiffness)

p คือ ความหนาแน่น

อัตราเร็วของเสียงจะเพิ่มขึ้นตามความแข็งเกร็งของวัสดุและลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศ มีค่าดังนี้

$$C_{air} = 331 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \text{ m/s} \tag{13}$$

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)

ตารางที่ 1 การเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศ

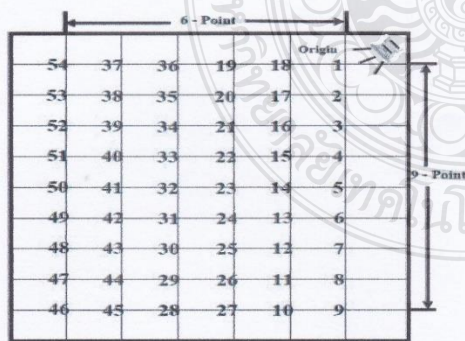
ผลของอุณหภูมิ			
$\theta$ (°C)	$C$ ( $\frac{m}{s}$ )	$\rho$ ( $\frac{kg}{m^3}$ )	$Z$ ( $N \cdot \frac{s}{m^3}$ )
-10	325.4	1.341	436.5
-5	328.5	1.316	432.4
0	331.5	1.293	428.3
+5	334.5	1.269	424.5
+10	337.5	1.247	420.7
+15	340.5	1.225	417.0
+20	343.4	1.204	413.5
+25	346.3	1.184	410.0
+30	349.2	1.164	406.6

## 3. การทดลอง

### 3.1 การเตรียมการทดลอง

โดยเบื้องต้นมีการเตรียมข้อมูลของเสียงต้นฉบับ จำนวน 4 ช่วง โดยแบ่งเป็น เสียงที่บันทึกจากสตูดิโอ เสียงพูดของผู้ชาย เสียงพูดของผู้หญิง และเสียงที่บันทึกมาจากการปราศรัย โดยความดังของเสียงและความยาวของเสียงแต่ละส่วนที่แตกต่างกันออกไป

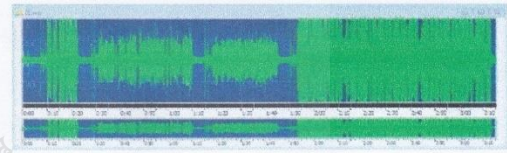
จากนั้นนำสัญญาณเสียงต้นฉบับที่ได้ไปเปิดด้วยเครื่องเล่นเสียงที่ตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของห้องประชุม แล้วทำการบันทึกเสียงของแต่ละตำแหน่ง โดยแต่ละตำแหน่งห่างกัน 1 เมตรรวมเมตร ทำให้ได้เสียงที่จัดเก็บมาทั้งหมด 54 สัญญาณเสียง



รูปที่ 1 การบันทึกเสียงภายในห้องประชุมขนาด 6 x 9 เมตร

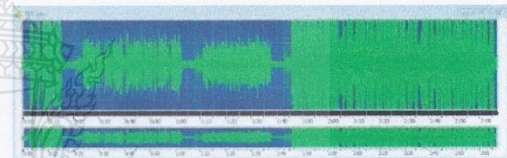
### 3.2) การนำข้อมูลของเสียงมาวิเคราะห์ผล

เมื่อได้สัญญาณเสียงที่บันทึกมาครบทั้ง 54 ตำแหน่งแล้ว ขั้นตอนแรกจะทำ pre-processing โดยจะตัดต้นเสียงของสัญญาณเสียงในแต่ละตำแหน่งให้มีจุดเริ่มต้นของเสียงพร้อมกันซึ่งจะทำให้สัญญาณเสียงแต่ละตำแหน่งนั้นมีมาตรฐานและมีความยาวของเสียงที่เท่ากัน



รูปที่ 2 สัญญาณเสียงต้นฉบับของตำแหน่งที่ 1

ขนาด 8,000 Sampling



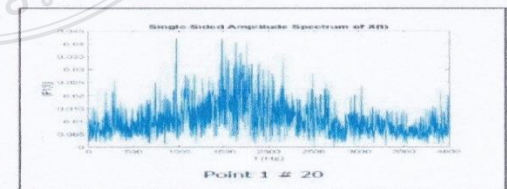
รูปที่ 3 สัญญาณเสียงที่ตัดต้นเสียงแล้วของตำแหน่งที่ 1

ขนาด 8,000 Sampling

จากนั้นแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นเฟรม ในที่นี้ได้ทำการแบ่งสัญญาณเสียงแต่ละตำแหน่งออกเป็นขนาด 50 x 2000 เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและวิเคราะห์สัญญาณเสียงแบบเฟรมต่อเฟรมของทุกตำแหน่งที่เก็บข้อมูลได้จากห้องประชุมนี้

## 4. ผลการทดลอง

ในการทดลองแบ่งสัญญาณเสียงออกเป็นเฟรม เพื่อให้สามารถใช้ในการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียง ไปยังการเปรียบเทียบสัญญาณเสียงเฟรมนั้นๆกับตำแหน่งที่บันทึกสัญญาณเสียงตำแหน่งอื่น เพื่อพิจารณาหาค่าความถี่ที่คลาดเคลื่อน พิจารณาได้จากกราฟ ดังนี้

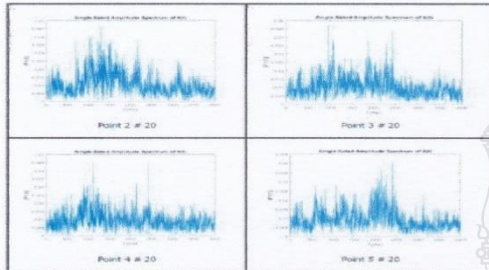


รูปที่ 4 ความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1 (Origin) เฟรมที่ 40

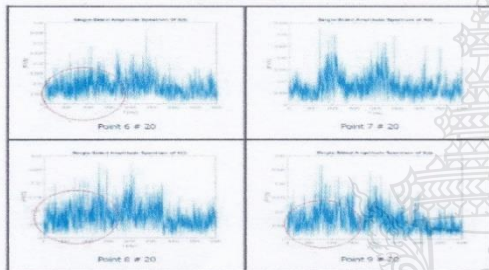
## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

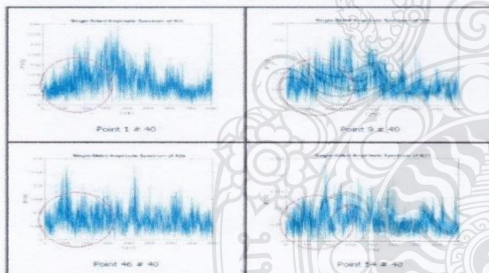
Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2016 (EENET 2016)



รูปที่ 5 ความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 2-5



รูปที่ 6 ความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 6-9



รูปที่ 7 ความถี่ของสัญญาณเสียงตำแหน่งที่ 1,9,46,54

จากรูปที่ 5 คือตำแหน่งที่ 2 - 5 มีความถี่ในช่วงประมาณ 700 Hz - 2.7 kHz รูปที่ 6 คือตำแหน่งที่ 6 - 9 มีความถี่ในช่วงประมาณ 500 Hz - 3 kHz เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4 คือตำแหน่งที่ 1 (Origin) พบว่าความถี่ของตำแหน่งที่ 1 - 5 มีความถี่ส่วนมากอยู่ในย่านความถี่ที่ใกล้เคียงกัน แต่ในตำแหน่งที่ 6 - 9 ในย่านความถี่ต่ำมีความถี่ที่ทับซ้อนกันมากเกินไปโดยพิจารณาจากค่าผลต่างเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ 1 ของแต่ละย่านความถี่ ในรูปที่ 7 เป็นการวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ตำแหน่งมุมห้องทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ตำแหน่งที่ 1,9,46,54 เห็นได้ว่าในย่านความถี่ที่ต่ำกว่า 1 kHz มีความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียงเกิดขึ้นเป็

มีจำนวนมากกว่าในช่วงของย่านความถี่สูง รวมถึงการซ้อนทับกันของเสียงสะท้อนอีกด้วย

## 5. สรุป

จากการทดลองพบว่าการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณเสียง โดยเลือกใช้วิธีการแปลงฟูรีเยอร์อย่างรวดเร็วสามารถหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดและความถี่ที่เกิดขึ้นได้โดยมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน เวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่มากทำให้เกิดการผิดพลาดสะสมลดลง เมื่อได้ความคลาดเคลื่อนของความถี่นั้นๆแล้ว การแก้ไขคุณภาพของสัญญาณเสียง โดยการใช้วงจรกรองความถี่ของสัญญาณเสียงก็จะสามารถทำให้ดีขึ้นได้อีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaideaw Thiangtham, Jakkree Srinonchat, "Speech Emotion Classifier using support Vector Machine with FFT and MFCC," The 7<sup>th</sup> International Conference on Engineering and Technology (ICET), 2015, pp. 190-193.
- [2] Kriangsak Hlurprasert, Paitoon Raklua, "Design of 4-Way Crossover Network by using Bernstein Polynomial," IEEE International Electrical Engineering Congress (IEECON), 2014, pp. 1-4.
- [3] Vanvisa Chutchavong, Tapakorn Muantoei, Kanok anchitrapongvej, "A New Method for Design of the Three-way Crossover Networks," IEEE The 4<sup>th</sup> Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering, 2014, pp. 1-5.
- [4] Rong Hu and Yunxin Zhao, "Fast Noise Compensation For Speech Separation In Diffuse Noise," IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2006, pp. 865-868.
- [5] Mehrez Souden, Jacob Benesty, Sof'ene Affès, "Microphone Arrays For Noise Reduction With Low Signal Distortion in Room Acoustics," IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2008, pp. 77-80.
- [6] Ina Kodrasi, Simon Doclo, "Joint Derivation and Noise Reduction Based On Acoustic Multichannel Equalization," IEEE 14<sup>th</sup> International Workshop on Acoustic Signal Enhancement (IWAENC), 2014, pp. 139-143.

# IEEECON 2017

The 2017 International Electrical Engineering Congress

8-10 MARCH 2017, PATTAYA THAILAND



Abstract Book



Organized by



POWER & ENERGY

COMMUNICATIONS

Technical Co-sponsored by

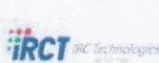


ELECTRONICS & CONTROL

DIGITAL SIGNAL PROCESSING

COMPUTER & IT

Sponsored by





## Message from President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Electrical Engineering Academic Association of Thailand (EEAAT) in collaboration with Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT), Thailand, is pleased to host the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017). This conference is not only giving an opportunity for Thai and foreign researchers to present and discuss their research works and update their expertise but also to initially stimulate the development of research works on electrical engineering. The program consists of six research tasks; power and energy, communications, electronics & control, digital signal processing, computer and information technology.



I would like to take this opportunity to express my sincere gratitude to the plenary speakers for accepting our kind invitation. I deeply appreciate the very strong support given by Electrical Engineering Academic Association of Thailand. Thanks to the spirited works of the organizing committee, the technical program committee, the invited speakers, and paper contributors and excellent program have been assembled to cover a broad spectrum of interesting topics.

I warmly welcome you to the iEECON2017 on March 8-10, 2017, Pattaya, Thailand.

Associate Professor Prasert PINPATHOMRAT, Ph.D.  
President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi and  
Honorary Advisory Chair of iEECON2017



### **Message from President of Electrical Engineering Academic Association of Thailand**

It is such a great honor to have Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) to host the 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON2017) with the Electrical Engineering Academic Association (Thailand), EEAAT.



On behalf of EEAAT, we would like to express our warm welcome to all participants of the iEECON2017. So far the conference has been expanded in its scientific contents as well as the academic network. Currently, this congress is aiming at realization of smart mobility for smart future. We sincerely hope that the conference gives a good opportunity for participants to share their knowledge and widen their collaboration research. We also would like to extend sincere thanks to all participants as well as the iEECON2017 organizers who made the congress possibly successful.

The iEECON2017 is an ambitious symposium covering an unusually broad range of science related to electrical engineering, which promise lifestyle improvements. We assure you will find this time fruitful and gain new perspectives and inspiration for your research idea and network.

Associate Professor Athikom ROEKSABUTR, Ph.D.  
President of the Electrical Engineering Academic Association (Thailand),  
EEAAT





### **Message from Dean of Faculty of Engineering, RMUTT**

Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) is pleased to host the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017). Faculty of Engineering, RMUTT has a major mission on encouraging and supporting all areas of research. One of the key reasons is to assist in developing capability in science and technology in order to cope with recent rapid change in this field. We have jointly set up an academic symposium on the iEECON2017 with the perception on the significance of exchanging knowledge and research experiences between researchers in the field of electrical engineering. This symposium is not only giving an opportunity for Thai and foreign researcher to present and discussion their research works and update their expertise but also to initially stimulate the development of research works on electrical engineering. Once the cooperation among researchers has been created, the closer future cooperation incorporate with joint-research works will be developed. Thus, to support the aforesaid role, the symposium working committee would like to express our sincere thanks to the organizing committee, participants and contributors for your kind corporation to this symposium. I wish this conference proceeding will be a useful reference for future scientific research development.



**Assistant Professor Sivakorn ANGTHONG, Ph.D.  
Dean of Faculty of Engineering, RMUTT and  
Honorary Advisory Co-Chair of iEECON2017**



### Message from General Chair of iEECON2017

It is our great pleasure to welcome all of the participants to the international Electrical Engineering Congress 2017 (iEECON2017) in Pattaya, on March 8-10, 2017 that is organized by Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) and the Electrical Engineering Academic Association (Thailand)-EEAAT. The technical program of iEECON2017 covers topics of all electrical engineering areas under “*Smart Mobility for Smart Future*” theme



including power and energy, communications, electronics & control, digital signal processing, computer and information technology field of research.

Over 270 submission papers were made mainly from 19 countries around the world, and the technical program committee selected 207 papers for oral presentation. Presentations for accepted papers are organized into 34 sessions in the three days conference presentation at holiday Inn Hotel. All submitted papers were reviewed by these members about 190 members. Based on the scores of the review reports, acceptance and rejection of the submitted papers, and the assignment of the accepted papers to oral sessions were determined. This number of papers is quite large enough to bring together researchers, engineers, students, and others to present and discuss their works on electrical engineering and related topics.

We are grateful to all of the authors, reviewers, and members of the technical program committee for their enthusiastic efforts and contributions. Handling of submission and review of papers could not completed along a tight schedule without their helps and cooperation. We also appreciate the great effort by session chairs who accept our request to manage sessions of the conference.

Finally, we would like to express our sincere gratitude to all participants of iEECON2017. Their contributions are indispensable for the success of the conference.

Enjoy your stay in Pattaya!

*KBhumkittipich*

Associate Professor Krischonme BHUMKITTIPICH, D.Eng.  
General Chair of iEECON2017



### Message from Technical Program Chair of iEECON2017

The 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON2017) is the fifth year premier international conference organized by the Electrical Engineering Academic Association Thailand, (EEAAT). Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT) has a major mission on encouraging and supporting all areas of research, therefore, we are very pleased to host the iEECON2017.



As the Technical Program Chair (TPC) of iEECON2017, I would like to report you that there are totally 270 submitted papers to the iEECON2017 from 19 countries around the world. With our strong 190 guest reviewers, only 206 papers are accepted to the iEECON2017, the percentage of acceptance is 76%.

From this key reason, it is the perception on the significance of exchanging knowledge and research experiences between researcher in the field of electrical engineering technologies and related fields. I believe that the iEECON2017 will not be only giving an opportunity for researchers to present and discuss their research works and update their expertise but also to initially stimulating the cooperation among them. Only the closer future cooperation with joint-research works will be able to cope with recent rapid change in the fields.

On behalf of TPC, I would like to express our sincere thanks to all authors for your kind effort preparing your valuable manuscript to this conference. I am sure that the iEECON2017 will be successfully managed and the proceeding will be also a useful reference for future research development.

Associate Professor Boonyang PLANGKLANG, Dr.-Ing.  
Technical Program Chair of iEECON2017

## Committees

### Honorary Advisory Chair

Prasert Pinpathomrat (President of RMUTT, Thailand)

### International Advisory Committees

Wanlop Surakamponorn (TAIST, Thailand)  
Vichate Ungvichian (Florida Atlantic University, USA)  
Sarah Thompson (University of York, UK)  
Mark Re (Seagate Technology, USA)  
Hiroschi Natsuno (University of Yamaguchi, Japan)  
Tim Mews (University of Alabama, USA)  
Athikom Roeksbutr (MUT, Thailand)

### Technical Advisory Committee

Somchai Hiranvarodom (RMUTT, Thailand)  
Wekin Piyarat (SWU, Thailand)  
Kosin Chamnongthai (KMUTT, Thailand)  
Prayoot Akkarackthalin (KMUTNB, Thailand)  
Apirat Siritaratiwat (KKU, Thailand)  
Decha Wilairat (MU, Thailand)  
Boonchouy Supmonchai (CU, Thailand)  
Pinit Thepsatorn (SWU, Thailand)  
Nathaphop Nimpitiwan (BU, Thailand)  
Suttichai Premrudeepreechacham (CMU, Thailand)  
Sivakorn Angthong (RMUTT, Thailand)  
Wanchai Subsingha (RMUTT, Thailand)

### General Chair

Krischonme Bhumkittipich (RMUTT, Thailand)

### General Co-Chair

Virote Pirajnanchai (RMUTT, Thailand)  
Patrapee Sunanthapoj (RMUTT, Thailand)  
Chatchai Suppitaksaku (RMUTT, Thailand)

### Technical Program Chair

Boonyang Plangklang (RMUTT, Thailand)

### Technical Conference Committees

Paul Nutter (University of Manchester, UK)  
Hideaki Ohgaki (Kyoto University, Japan)  
Nadarajah Mithulananthan (UQ, Australia)  
Takeshi Yao (Kayawa College., Japan)

Yuichi Anada	(Hokkaido Info. Uni., Japan)
K. Srinivas REDDY,	(IIT-Madras, India)
Young S. CHAI	(Youngnam Uni., Korea)
Ken Miyata	(Yamagata University, Japan)
Lui Ying	(Beijing Jiaotong University, China)
Ingo Stadler	(TH Köln, Germany)
Franz Dunkel	(RWTH Aachen University)
Arkorn Kaewrawang	(KKU, Thailand)
Kitipich Meesawas	(KKU, Thailand)
Singthong pattanasetthanon	(MSU, Thailand)
Pichipong Soontornpipit	(MUT, Thailand)
Chanon Warisan	(KMUTL, Thailand)
Wannaree Wongthirarat	(RMUTI, Thailand)
Surachai Ongkittikul	(MUT, Thailand)
Yuttana Kamsuwan	(CMU, Thailand)
Jukkrit Tugapanij	(MUT, Thailand)
Worawat Sa-ngiamwibool	(MSU, Thailand)
kitipong Tonmitr	(KKU, Thailand)
<b>Publicity Chair</b>	
Somchai Biansoongnern	(RMUTT, Thailand)
<b>Website Chair</b>	
Patrapee Sunanthapoj	(RMUTT, Thailand)
<b>Registration Chair</b>	
Cattareeya Suwannasri	(KMUTNB, Thailand)
Sumonman Niamlang	(RMUTT, Thailand)
<b>Financial Chair</b>	
Wanchai Chankaipol	(SPU, Thailand)
Aphichata Thongrak	(RMUTP, Thailand)
Sommart Sang-ngern	(MUT, Thailand)
<b>Local Arrangement Chair</b>	
Amnoiy Reungwaree	(RMUTT, Thailand)
Phongsak Ampha	(RMUTT, Thailand)
Sorapong Pawasupree	(RMUTT, Thailand)
<b>General Secretariat</b>	
Nathabhat Phankong	(RMUTT, Thailand)

CONTENTS

<b>DS022</b>	<b>Empirical Experiment on Origin Destination Estimation Using Automatic Licence Plate Matching on a Rural Road of Thailand</b>	<b>667</b>
	Pakorn Watanachaturaporn, Karn Chalermwongphan, Achaya Huntajidkul, Charoen Vongchumyen, Jettarin Wathanakul, Jatupon Benjaprakairat, Nattha Chuerboonchai and Kritsada Lohaumnuay <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>DS023</b>	<b>Improving the quality of the speech signal using a FIR band pass filter with Fast Fourier Transform</b>	<b>671</b>
	Aekkarat Suksukont and Jakkree Srinonchat <i>RMUTT, Thailand</i>	
<b>DS025</b>	<b>Image Analysis Algorithms for Vehicle Color Recognition</b>	<b>675</b>
	Damitha S.B. Tilakaratna, Ukrit Watchareeruetai, Supakorn Siddhichai and Nattachai Natcharapinchai <i>King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand</i>	
<b>DS026</b>	<b>Image authentication based on salient regions of image</b>	<b>679</b>
	Utkarsh Arya, Ghanapriya Singh, Rishabh Singhal, Saroj Kumar and Huzaifa Usmaan <i>NIT Uttarakhand</i>	
<b>DS028</b>	<b>Sub-Window Inverse Distance Weighting Method for Removing Salt-and-Pepper Noise</b>	<b>683</b>
	Chaipichit Cumpim and Rachu Puchalard <i>Mahanakorn University of Technology, Thailand</i>	
<b>DS029</b>	<b>Sliding Block Shepard Interpolation Method for Removing High-Density Impulse Noise</b>	<b>687</b>
	Chaipichit Cumpim and Rachu Puchalard <i>Mahanakorn University of Technology, Thailand</i>	
<b>DS031</b>	<b>Robust Face Recognition based on Weighted DeepFace</b>	<b>691</b>
	Sanun Srisuk and Surachai Ongkittikul <i>NPU, Thailand</i>	
<b>DS032</b>	<b>Application of Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System with Fast Fourier Transform for Waveform Analysis and Classification</b>	<b>695</b>
	Adisorn Kamlungpetch, Prajuab Inrawong and Wutthichai Sa-nga-ngam <i>RMUTI, Thailand</i>	
<b>DS033</b>	<b>Facial Space detection and Eyes Surrounded Object detective Technique on Color Image YCbCr and HSV</b>	<b>699</b>
	Suppakitti Sopasoap and Jakkree Srinonchat <i>RMUTT, Thailand</i>	
<b>DS035</b>	<b>A Table Tennis Performance Analyzer via A Single-View Low-Quality Camera</b>	<b>703</b>
	Sirichai Triamlumlerd, Manoch Pracha, Pauline Kongsuwan and Pongtorn Angsuchotmetee <i>RMUTT, Thailand</i>	
<b>EC001</b>	<b>Optimal PID Controller Design for Three-Tank Liquid-Level Control System by Cuckoo Search</b>	<b>707</b>
	S. Hlungnamtip, A. Nawikavatan, C. Thammarat and D. Puangdownreong <i>Southeast Asia University, Thailand</i>	
<b>EC002</b>	<b>Application of Flower Pollination Algorithm to Parameter Identification of DC Motor Model</b>	<b>711</b>
	D. Puangdownreong, S. Hlungnamtip, C. Thammarat and A. Nawikavatan <i>Southeast Asia University, Thailand</i>	
<b>EC003</b>	<b>Optimal design of 5.5 GHz CMOS LNA using hybrid Fitness based Adaptive DE with PSO</b>	<b>715</b>
	S. Mallick, J. R. Akhil, A. Dasgupta, R. Kar, D. Mandal and S. P. Ghoshal <i>National Institute of Technology, India</i>	
<b>EC005</b>	<b>Sizing of Two Stage Op-Amp Using OHS algorithm</b>	<b>719</b>
	S. Mallick, J. R. Akhil, A. Dasgupta, Rajib Kar, Durbadal Mandal and Sakti Prasad Ghoshal <i>National Institute of Technology, India</i>	

# Improving the quality of the speech signal using a FIR band pass filter with Fast Fourier Transform

Aekkarat Suksukont  
Signal Processing Research Laboratory  
Department of Electronics and Telecommunication  
Engineering, Faculty of Engineering  
RMUTT, Pathumthani  
aekkarat\_s@mail.rmutt.ac.th<sup>1</sup>

Jakkree Srinonchat\*  
Signal Processing Research Laboratory  
Department of Electronics and Telecommunication  
Engineering, Faculty of Engineering  
RMUTT, Pathumthani  
jakkree.s@en.rmutt.ac.th<sup>2\*</sup>

**Abstract**—Noise and echo is a key factor for the quality of speech signal that the listener will be less effective. This article proposes an improving the quality of speech signal using FIR band pass filter with Fast Fourier Transform (FFT) to filter the noise and echo signal. Each speech signal from 54 positions in a room is used to be the input signal in this experiment. These speech signal are then pass through the FIR band pass filter  $N = 80$  and also uses the FFT to analysis the frequency speech. The experiment results show that the FIR band pass filter  $N = 80$  can reduce the noise and echo speech signal in the range of 500 Hz - 2.5 kHz when comparing in the frequency domain with FFT. It provides the approximately 80% improving of the quality speech signal.

**Keywords**—Finite Impulse Response; Band-Pass Filter; Fast Fourier Transform; Speech processing

## I. INTRODUCTION

An integrated speech signal processing system which provides adaptive noise cancellation, speech echo cancellation, and adaptive active noise control for improving speech quality is developed. Those technique can be exploited to music hall, meeting room and classroom. Many variable factors are effected to the quality of speech or sound which it takes into account for many research.

The Finite Impulse Response (FIR) digital filter banks is employed for Speech Analysis [1]. This research is designed band pass filter which based on the unique properties of filtering windowing by determining the flexibility of the frequency and bandwidth of each filter. Moreover, The FIR filters are used for speech analysis and synthesis [2]. It used the simulate spectrum A and B in FIR to analyst and synthesis speech signal and then analyzed for parameters comparison. Also a comparison of FIR filter bank design methods with applications to intelligibility enhancement of noise-corrupted speech signals [3]. An acoustic echo canceller with sub-band noise cancelling that employs a cascade configuration is proposed [4]. The adaptation control adopted to match the occurrence of intermittent speech/echo and continuous room noise using the NLMS algorithm is very effective in echo and noise cancellation. Also, an integrated acoustic signal processing system which provides adaptive noise cancellation, acoustic echo cancellation, and adaptive active noise control for hands-

free cellular phones is developed [5]. This system provides high-quality, full-duplex voice communication, and reduces the acoustic noise inside an automobile. The integration of this system with the existing automobile audio system reduces the overall system cost. The musical interference suppression (MIS) process is developed to cancel the interference of the music while updating the coefficients of the adaptive filters. A novel method of performing acoustic echo cancelling using microphone arrays is presented [6]. The method employs a digital self-calibrating microphone system. The calibration process is a simple indirect on-site calibration that adapts to the particulars of the acoustic environment and the electronic equipment in use. Primarily intended for hands-free telephones in automobiles, the method simultaneously suppresses the hands-free loudspeaker and car noise. Clustering algorithms [7] are used in data compression or coding to classify data into groups with similar properties. This paper studies a new clustering technique aimed at enhancing the performance of the cluster process to provide more accuracy and also endeavors to use as few cluster centers as possible to represent the data group. Two clustering methods are studied here and applied to the speech signal. A solutions for combined feedback and noise suppression in hearing aids are developed [8]. The techniques presented are based on the generalized sidelobe canceller (GSC) and adaptive feedback canceller (AFC), with a prediction error method (PEM) adaptation to avoid speech distortion. Two possible cascades of GSC-based noise reduction and AFC. The adaptive algorithms [9] used for acoustic echo cancellation (AEC) have to provide (1) high convergence rates and good tracking capabilities, since the acoustic environments imply very long and time-variant echo paths, and (2) low misadjustment and robustness against background noise variations and double-talk. The simulation results indicate the good performance of the proposed algorithm as compared to other members of the APA family. An FIR implementation of zero frequency filtering of speech signals is proposed [10]. This research discusses the advantages of digital filter limit with precision and high stability. The band-pass FIR filter design for speech signals order optimization for frequency range of 300 Hz to 4000 Hz is presented [11]. Sampling frequency and the amount of N in a different sequence, which has delayed the process, are

implemented. Speech emotion feature extraction using Fast Fourier Transform (FFT) spectrum analysis for improve the feature extraction process is proposed [12]. This article uses the standard Berlin Database of Emotion Speech (BDES), which is open source form website, to be the input signal. It contains 7 emotions: anger, boredom, disgust, fear, happiness, neutral and sadness. The results shown that these speech emotion features requires the amplitude, magnitude and pitch frequency to be the parameters of the speech emotion recognition. It can suitable for the support vector machine (SVM) for speech emotion recognition. Moreover, a design criteria for FIR-based echo cancellers is presented [13]. The most relevant impairment experienced by on-channel repeaters (OCRs) in single frequency networks scenarios is the presence of a coupling-channel between the transmitting and receiving antennas, that generates unwanted echoes. This phenomenon causes a degradation of the repeated signal and, above all, could lead to the instability of OCRs, owing to the positive feedback that could result. For this reason, OCRs are usually equipped with echo canceller units, aimed at removing the coupling contributions. A room acoustics response modeling and equalization with linear predictive coding and parametric filter for speech and audio enhancement is presented [14]. LPC filter is employed by using the parameters to be optimized for a Q and G Also frequency analysis of speech and resonance speech using FFT is presented [15]. Speech analysis of each position in the room are determined the accuracy of the speech signal using a FFT.

This paper presents improving the quality of the speech signal using a FIR band pass filter with Fast Fourier transform. The frequency of the speech signal and the echo in the room by filter the signal in different locations of this meeting room.

## II. METHODOLOGY

### A. Finite Impulse Response

Finite Impulse Response filter (FIR) responses by a certain time which it can identify that the response caused by using of the exact sequence of numeric input. It has  $M$  coefficients of each set  $\{h[0], h[1], \dots, h[M-1]\}$ . The final results of the input can be expressed by the following equation.

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

Using theory of Z-Transform.

$$y(z) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(z)z^{-k} \quad (2)$$

Equation (2) into a function transfer.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)z^{-k} \quad (3)$$

Real-time processing can receive the signals into one charge and the calculation of the output instantly without waiting for the incoming signal.

$$Y(z) = h(0)X(z) + \dots + h(k)x(z)z^{-k} \quad (4)$$

Considering, the equation is the frequency response of the filter.

$$H_d(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_d(n)e^{-j\omega n} \quad (5)$$

$H_d(\omega)$  Frequency response of Finite Impulse Response

$h_d(n)$  Impulse response of Finite Impulse Response

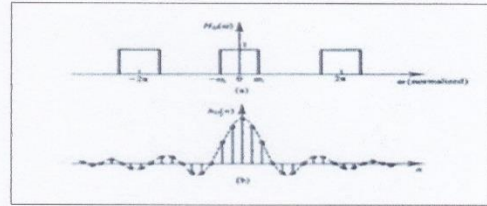


Fig. 1. Frequency response and the impulse response of the filter's low pass in the ideal.

Considering Figure 1 is a graph showing the frequency response of a low pass filter with a frequency normalized  $\omega_c$  with the following equation.

$$f = \frac{f_c}{f_s} \quad (6)$$

$f$  is Frequency cut-off normalized

$f_c$  is Frequency cut-off

$f_s$  is Sampling

### B. Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transformation (FFT) is an offset to calculate a shorter but still effective when compared to the calculations by which complex. Where  $N$  is very valuable, and simplify the complexity of the calculations by  $2N^2$  to reduce the time away. It starts by dividing the bulk of the data  $x(n)$  or reducing the frequency.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}, k = 0, \dots, N-1 \quad (7)$$

$N$  is the number of samples in one frame of the signal.

$k$  is the order of the signal  $k = 1, 2, \dots, k$

Energy spectral density and power spectral density analysis the spectral distribution of energy or power in the speech signals in the term of frequency domain. The spectral energy density can be obtained from the equation.

$$|X(f)|^2 = \left| \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m) e^{-j2\pi f m} \right|^2 \quad (8)$$

Power spectrum of  $x(m)$  can be converted to Fourier's autocorrelation function of  $x(m)$  according to the equation.

$$\begin{aligned} |X(f)|^2 &= X(f)X^*(f) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m) e^{-j2\pi f m} \end{aligned} \quad (9)$$



In the case of variable  $r(m)$  is the autocorrelation of  $x(m)$  conversion, fourier will find only the power of the signal, which signal comprises a signal sampling at a standstill, and the signal is steady state there long and endless energy.

### III. EXPERIMENTAL

#### A. Experimental

The speech signals are recorded in the square position which will have a total of 54 speech signal as show in fig. 2.

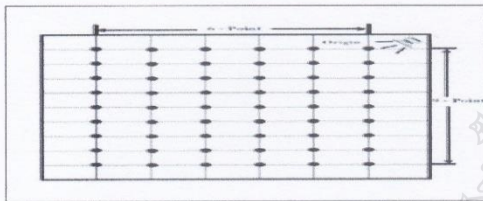


Fig. 2. Recorder a meeting room 6 x 9 meters.

#### B. Pre – Processing

A speech signal has entered the pre-processing to analyze the errors of the speech signal.

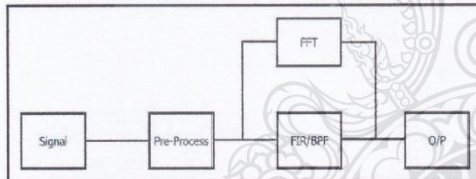


Fig. 3. Block diagram.

#### C. Finite Impulse Response

In experiments, a finite impulse response of band pass filter is used to filter the noise frequency of the speech signal. It shows that it has the frequency range between 500 Hz to 1 kHz.

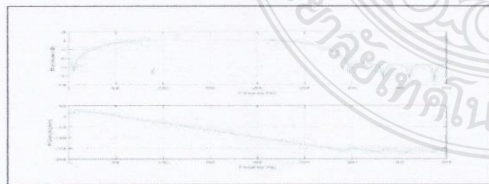


Fig. 4. Design Band Pass filter.

### IV. RESULTS

When the speech signal is pass through to the finite impulse response of band pass filter and fast fourier transform, the results are as follows.

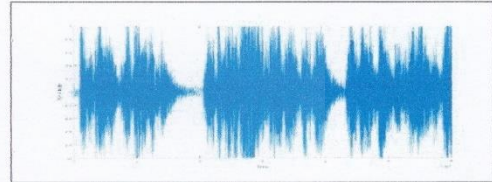


Fig. 5. Original speech signal.

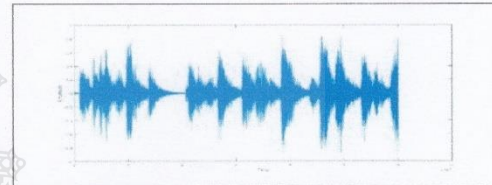


Fig. 6. Speech signal using FIR filter.

TABLE I. RESULTS OF FILTER THE SPEECH SIGNAL THEN "N" DIFFERENT

N	Speech Signal using FIR filter	Accuracy
10		25%
30		60%
50		50%
80		80%
100		50%

The experiments show that the finite impulse response of band pass filter frequency range 500 Hz - 2.5 kHz are suitable and appropriate bandwidth for speech signal. The

random  $N$  number of finite impulse response of band pass filter is totally equaled  $N = 10$ , speech filter can be 25%. If  $N = 30$ , speech filter can be 60%. Moreover if  $N = 50$  speech filter can be 50%. Also if  $N = 80$ , speech filter can be 80% and  $N = 100$  speech filter can be 50%. Therefore number of  $N$  from 10 until 80 affects to the speech signal by the number. If the number of  $N$  is least than 10, the speech filter can be reduce the noise at least 20% only. If the number  $N$  is greater than 100, it makes a delays and increase noise into the speech signal.

#### V. CONCLUSIONS

This article presents an improving the quality of the speech signal using a FIR band pass filter with Fast Fourier Transform. The 54 speech signals in each square meter are recorded using bandwidth frequency as 500 Hz - 2.5 kHz. The results show that the 80% of noise can be filtered. The finite impulse response can be applied to hardware processing, real-time design crossover network and the equalization to correct resonance and improve the quality of speech signal for the meeting room.

#### ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my special thanks to National Research Council of Thailand for the financial support in this project (project code: 255337, NRMS: 2560A16502095). Also I would like to thank all staff and friends in Signal Processing Research Laboratory, Department of Electronics and Telecommunication engineering, Faculty of Engineering, RMUTT for experiment and equipment support.

#### REFERENCES

- [1] R. W. Schafer, L. R. Rabiner and O. Herrmann, "FIR Digital Filter Banks for Speech Analysis," IEEE American Telephone and Telegraph Company The Bell System Technical Journal, pp.531-544, March 1975.
- [2] Stephen A. Zahorian and Paul E. Gordy, "Finite Impulse Response Filter for Speech Analysis and Synthesis," IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), pp.808-811, 1983.
- [3] Mike V. Chan, James A. Heinen and Russell J. Niederjohn, "A Comparison of FIR Filter Bank Design Methods with Applications to Intelligibility Enhancement of Noise-Corrupted Speech Signals," IEEE International Conference on Systems Engineering, pp. 386-390, 1991.
- [4] H. Yasukawa, "Acoustic echo canceller with sub-band noise cancelling," Electronics Letters, vol. 28, pp. 1403-1404, August 2002.
- [5] M. Kuo, H. Chuang and P. P. Mallela, "Integrated automotive signal processing and audio system," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 39, pp. 522-532, June 1993.
- [6] M. Dahl and I. Claesson, "Acoustic noise and echo cancelling with microphone array," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 48, pp. 1518-1526, 1999.
- [7] J. Srinonchat, "Improvement of the Clustering Technique to Design a Codebook in Speech Coding," 5<sup>th</sup> International

- Conference on Information Communications & Signal Processing, pp. 199-202, December 2005.
- [8] Ann Spriet, Geert Rombouts, Marc Moonen and Jan Wouters, "Combined Feedback and Noise Suppression in Hearing Aids," IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 15, pp. 1777-1790, August 2007.
- [9] Constantin Paleologu, Jacob Benesty and Silviu Ciochina, "A Variable Step-Size Affine Projection Algorithm Designed for Acoustic Echo Cancellation," IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 16, pp. 1466 - 1478, November 2008.
- [10] S. Kruthiventi, S. Srinivas and K. Prahallad, "An FIR Implementation of Zero Frequency Filtering of Speech Signals," IEEE Transactions on Audio Speech and Language Processing, pp. 2613-2617, November 2012.
- [11] V. Pandey, "Equiripple Bandpass FIR Filter Design for Speech Signals Order Optimization for frequency range of 300 Hz to 4000 Hz," IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), pp.1368-1371, 2015.
- [12] C. Thiangtham and J. Srinonchat, "Speech Emotion Feature Extraction using FFT Spectrum Analysis," Applied Mechanics and Materials, vol. 781, pp. 551-554, 2015.
- [13] Flavio Zabini, Gianni Pasolini and Oreste Andrisano, "Design Criteria for FIR-Based Echo Cancellers," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 62, pp. 562-578, September 2016.
- [14] S. Bharitkar, Y. Zhang and C. Kyriakakis, "Room Acoustics Response Modeling and Equalization with Linear Predictive Coding and Parametric Filter for Speech and Audio Enhancement," IEEE 40th Asilomar Conference on Signals Systems and Computers, pp.1135-1138, 2006.
- [15] A. Suksukont and J. Srinonchat, "Frequency Analysis of Speech and Resonance Speech using FFT," Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET), pp. 561-564, 2016.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายเอกรัตน์ สุขสุคนธ์
วัน เดือน ปี เกิด	23 มิถุนายน 2531
ที่อยู่	2 หมู่ที่ 5 ต. บ้านแค อ. ผักไห่ จ. พระนครศรีอยุธยา 13120
การศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ. ปทุมธานี
ประสบการณ์การทำงาน	อาจารย์ผู้สอน วิทยาลัยเทคโนโลยีฐานเทคโนโลยี ต. บางน้ำจืด อ. เมือง จ. สมุทรสาคร ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2558 อาจารย์(พิเศษ) วิทยาลัยเทคโนโลยีไทยบริหารธุรกิจ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ พ.ศ. 2560 – ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	084-7261752
อีเมล	ekk_ele@hotmail.com, aekkarat_s@mail.rmutt.ac.th

