



การพัฒนาประสิทธิภาพของการส่งกำลังด้วยเสียงสำหรับระบบนำทางในรถยนต์

วิทยานิพนธ์  
ของ  
เอกวิทย์ เพ็งพินิจ

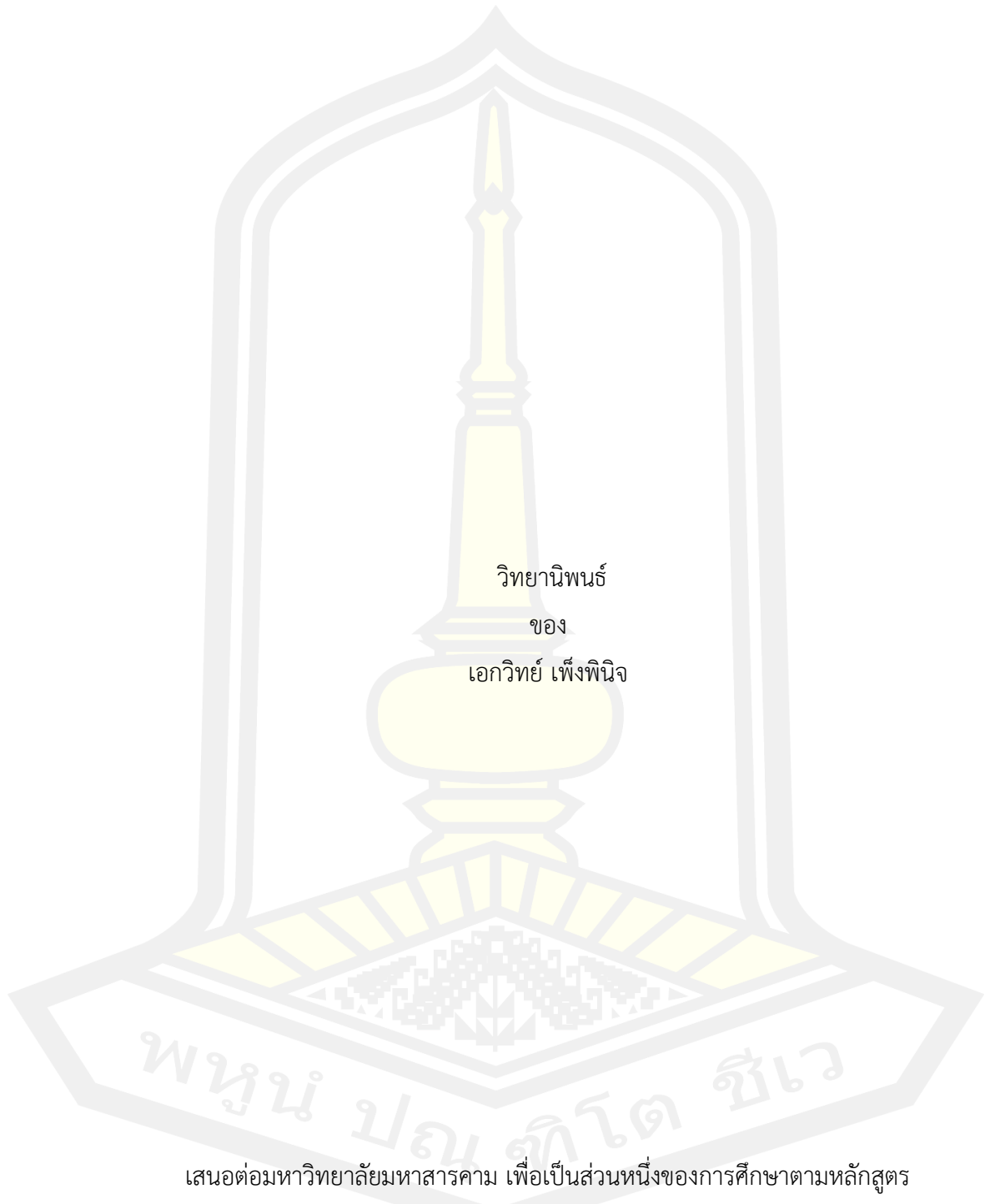
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มีนาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การพัฒนาประสิทธิภาพของการสื่อสารด้วยเสียงสำหรับระบบนำทางในรถยนต์

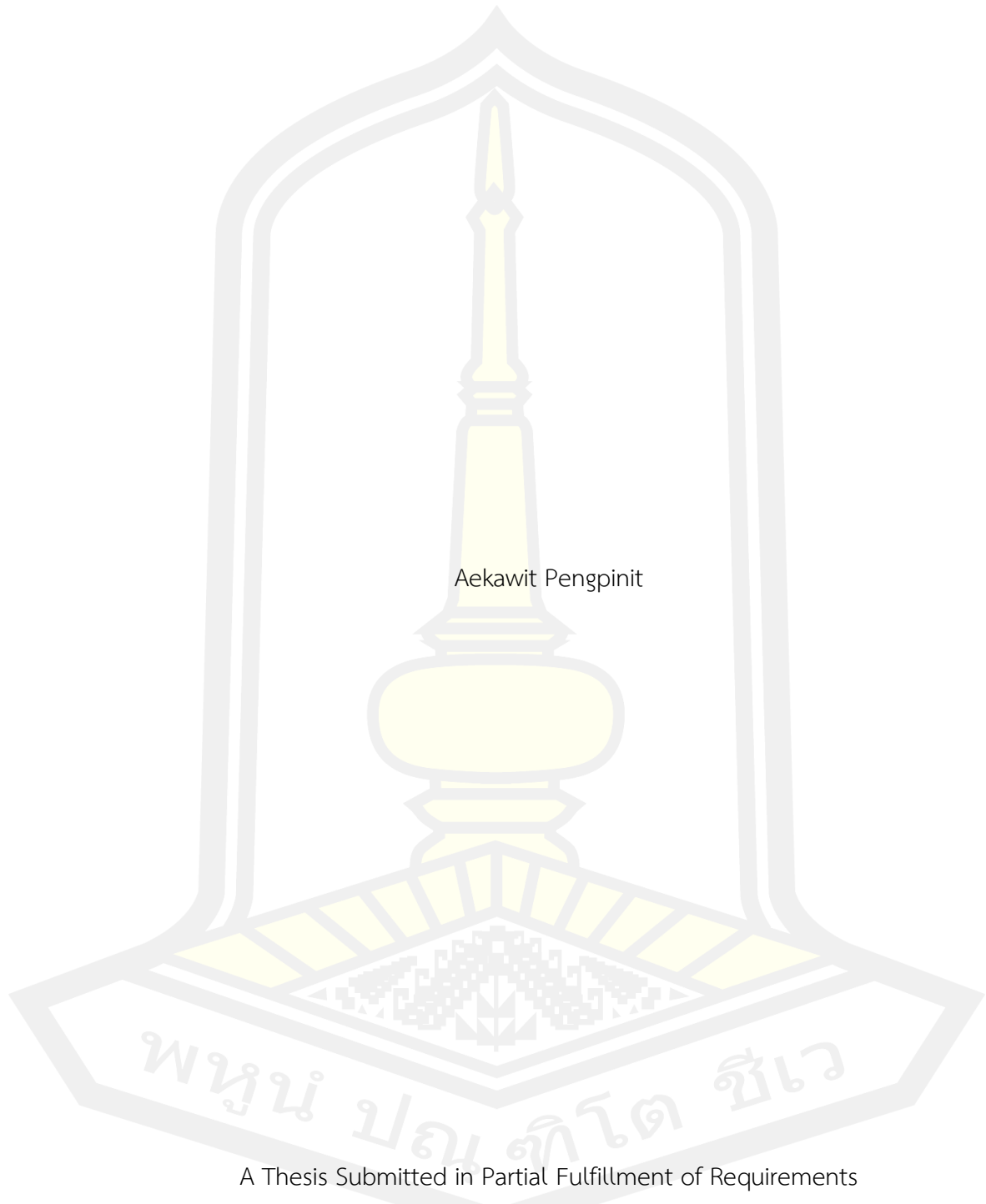


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มีนาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Efficiency Development of Voice Control for Car Navigation System



Aekawit Pengpinit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

March 2023

Copyright of Mahasarakham University





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเอกวิทย์ เพ็งพินิจ  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

( ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ )

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผศ. ดร. ชัยยงค์ เสริมผล )

..... กรรมการ

( ผศ. ดร. นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์ )

..... กรรมการ

( รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง )

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม

.....  
( รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....  
( รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การพัฒนาประสิทธิภาพของการส่งการด้วยเสียงสำหรับระบบนำทางในรถยนต์		
<b>ผู้วิจัย</b>	เอกวิทย์ เฟ็งพินิจ		
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยงค์ เสริมผล		
<b>ปริญญา</b>	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	<b>สาขาวิชา</b>	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
<b>มหาวิทยาลัย</b>	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	<b>ปีที่พิมพ์</b>	2566

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของการส่งการด้วยเสียงโดยใช้เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ตัวกรองเชบีเชฟ 2 และ ตัวกรองอิลิปติก ที่มาจากการนำสัญญาณเสียงในฐานข้อมูลของกลุ่มคนที่มีความแตกต่างกันของเสียงพูด 9 คำ รวมทั้งสิ้น 225 ไฟล์เสียง โดยพบว่าสัญญาณเสียงพูดที่ใช้มีความถี่อยู่ในช่วง 150 เฮิรตซ์ ถึง 4500 เฮิรตซ์ และนำสัญญาณเสียงพูดในช่วงดังกล่าวมารวมกับสัญญาณเสียงแวลล่อมรถยนต์ ได้แก่ สัญญาณเสียงรบกวนฮิตเตอร์ที่ความถี่ของสัญญาณ 430 เฮิรตซ์ ความถี่สัญญาณรบกวนผ่าน 1000 เฮิรตซ์ และความถี่ของสภาพแวลล่อมของรถยนต์ขณะขับที่ 580 เฮิรตซ์ จากผลการทดสอบโดยใช้เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ตัวกรองเชบีเชฟ 2 และ ตัวกรองอิลิปติก พบว่า เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ตัวกรองเชบีเชฟ 2 และ ตัวกรองอิลิปติก ที่นำมาใช้สามารถกรองสัญญาณได้ โดยใช้ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ที่อORDERเท่ากับ 5 และ ตัวกรองอิลิปติก ที่อORDER 11 เป็นต้นไป แต่ตัวกรองเชบีเชฟ 2 ไม่สามารถกรองเสียงรบกวนรอบข้างที่ 500 เฮิรตซ์ได้ จึงสรุปได้ว่า เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ และ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 คือ จึงเป็นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ : ระบบนำทางในรถยนต์, เทคนิคกรองความถี่สูง, สัญญาณรบกวน

<b>TITLE</b>	Efficiency Development of Voice Control for Car Navigation System		
<b>AUTHOR</b>	Aekawit Pengpinit		
<b>ADVISORS</b>	Assistant Professor Chaiyong Soemphol , Ph.D.		
<b>DEGREE</b>	Master of Engineering	<b>MAJOR</b>	Electrical and Computer Engineering
<b>UNIVERSITY</b>	Maharakham University	<b>YEAR</b>	2023

### ABSTRACT

The thesis presents the efficiency development of voice control for car navigation systems using the high-pass technique with Butterworth filter, Chebyshev1 filter, Chebyshev2 filter, and Elliptic filter. The comparison of various filter techniques able to analyze the human voice audio database by 9 wordings from 225 audio files which are range of frequency from 150 Hz to 4500 Hz. An ambient noise when car is driving, heater, and passing have frequencies at 580 Hz, 430 Hz, and 1000 Hz, respectively. The specification parameters of filter order are from 1 to 24, cutoff frequency is 500 Hz and sampling frequency is 16000 Hz. The results have been shown that Butterworth filter and Chebyshev1 filter with filter order 5 and Elliptic filter with order 11 can use to reduce ambient noise. However, Chebyshev2 filter cannot filter ambient noise at 500 Hz. Therefore, the high-pass filter technique with Butterworth filter and Chebyshev1 filter are the optimization techniques.

Keyword : Car Navigation System, The High-pass Technique, Noise Signal

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการ "กระบวนการพัฒนาเพื่อวิจัยในอุตสาหกรรม (RDI)" สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และเอาใจใส่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ชัยยงค์ เสริมผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง รวมทั้งให้คำแนะนำองค์ความรู้แนวทางการศึกษา ค้นคว้ามาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทองที่กรุณาเป็นเกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้

ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านที่ได้กล่าวถึงและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการสนับสนุนและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่าน ด้วยใจจริง และขอมอบคุณประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตเวทิตาคุณ แต่ บิดามารดา ครู อาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา ขอน้อมคารวะแต่ผู้เขียนตำรา วิชาการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและใช้อ้างอิงทุกท่าน

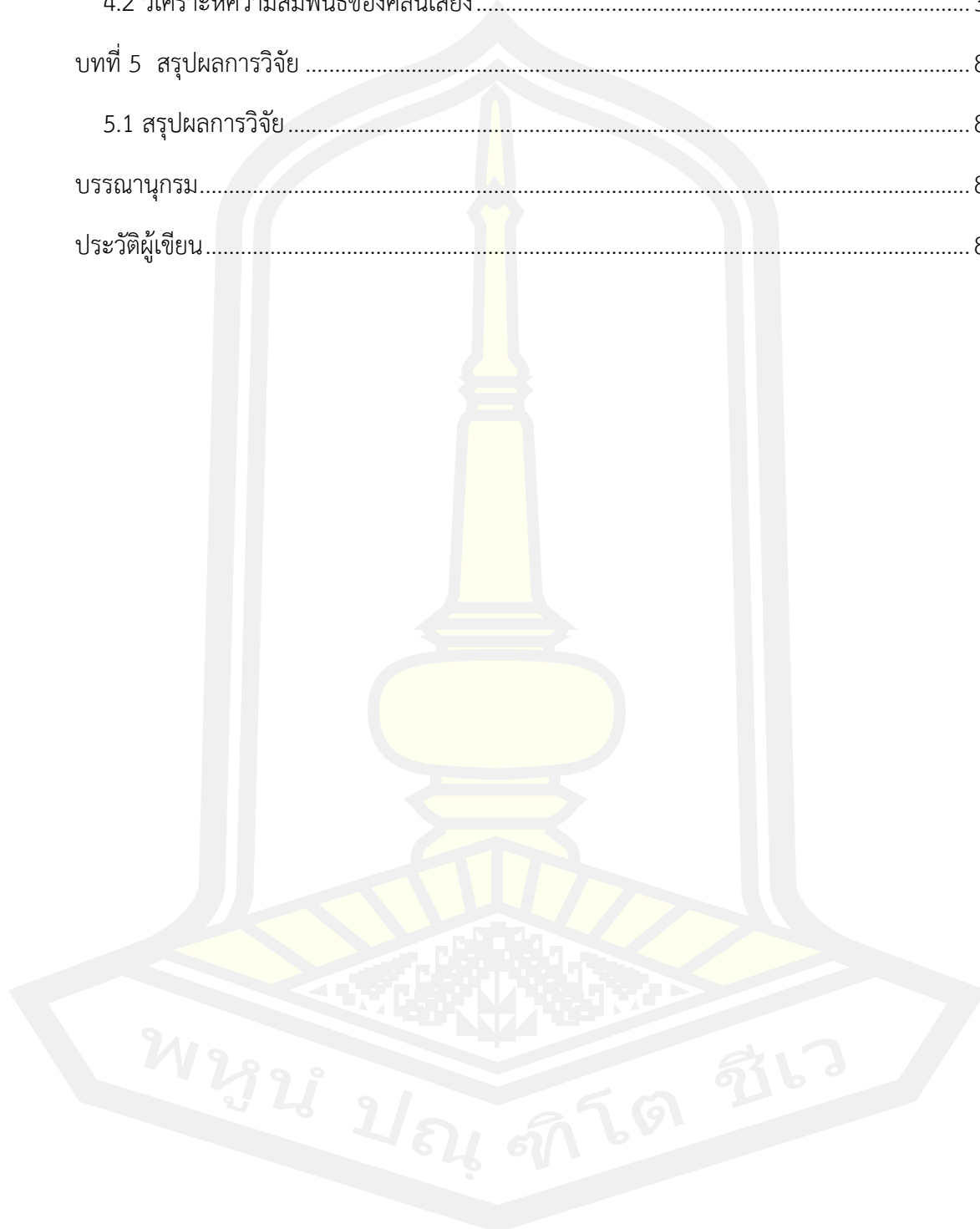
เอกวิทย์ เฟ็งพินิจ

พหุ อนุ ทิโต ชีเว

## สารบัญ

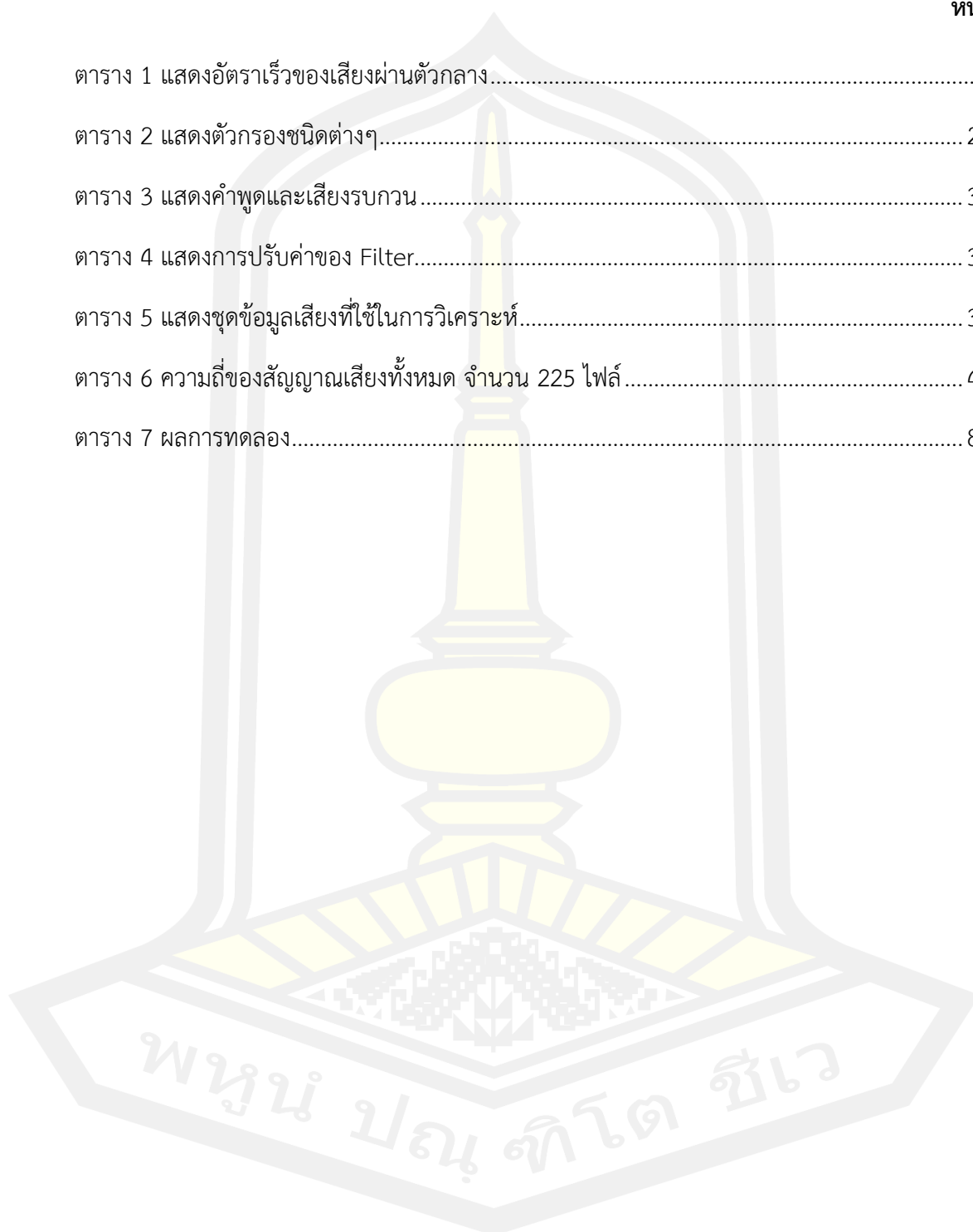
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ระบบนำทางรถยนต์.....	4
2.2 เสี่ยงและระบบสั่งการด้วยเสียง.....	5
2.3 Fast Fourier Transform (FFT).....	14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	28
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.2 เครื่องมือ และโปรแกรมในการออกแบบการทดสอบ.....	29
3.3 การวิเคราะห์ผลและทดสอบประสิทธิภาพ .....	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	35

4.1 ชุดข้อมูลเสียง.....	35
4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคลื่นเสียง.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
บรรณานุกรม.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	88



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงอัตราเร็วของเสียงผ่านตัวกลาง.....	6
ตาราง 2 แสดงตัวกรองชนิดต่างๆ.....	20
ตาราง 3 แสดงค่าพูดและเสียงรบกวน.....	33
ตาราง 4 แสดงการปรับค่าของ Filter.....	34
ตาราง 5 แสดงชุดข้อมูลเสียงที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	35
ตาราง 6 ความถี่ของสัญญาณเสียงทั้งหมด จำนวน 225 ไฟล์.....	49
ตาราง 7 ผลการทดลอง.....	83



## สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงระดับเสียงที่ความถี่ต่างๆ.....	8
ภาพประกอบ 2 แสดงกระบวนการของ Speech Recognition .....	10
ภาพประกอบ 3 แสดงการจับคู่ neural network .....	11
ภาพประกอบ 4 (ก) สัญญาณคาบ $x_p(t)$ และ (ข) สัญญาณไม่เป็นคาบ $x(t)$ .....	15
ภาพประกอบ 5 ภาพแสดงความหมายของสมการ (6).....	16
ภาพประกอบ 6 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว .....	19
ภาพประกอบ 7 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ .....	20
ภาพประกอบ 8 วงจรกรองมีค่าความถี่โพล 3 โพล.....	21
ภาพประกอบ 9 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบเชบีเชฟ 1.....	22
ภาพประกอบ 10 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบเชบีเชฟ 2 .....	22
ภาพประกอบ 11 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบอิลิปติก.....	23
ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	29
ภาพประกอบ 13 การกรองความถี่ในอุดมคติแบบต่างๆ.....	31
ภาพประกอบ 14 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Driving. 36	
ภาพประกอบ 15 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Heater. 36	
ภาพประกอบ 16 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Passing 37	
ภาพประกอบ 17 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 1 .....	37
ภาพประกอบ 18 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 238	
ภาพประกอบ 19 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 338	
ภาพประกอบ 20 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 1 .....	39



ภาพประกอบ 21 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 2 .....	39
ภาพประกอบ 22 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 3 .....	40
ภาพประกอบ 23 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1.....	40
ภาพประกอบ 24 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2.....	41
ภาพประกอบ 25 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3.....	41
ภาพประกอบ 26 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1.....	42
ภาพประกอบ 27 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2.....	42
ภาพประกอบ 28 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3.....	43
ภาพประกอบ 29 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1.....	43
ภาพประกอบ 30 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2.....	44
ภาพประกอบ 31 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียง รบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3.....	44
ภาพประกอบ 32 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมี เสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1.....	45
ภาพประกอบ 33 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมี เสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2.....	45

ภาพประกอบ 34 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 3..... 46

ภาพประกอบ 35 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1..... 46

ภาพประกอบ 36 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2..... 47

ภาพประกอบ 37 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 3..... 47

ภาพประกอบ 38 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1..... 48

ภาพประกอบ 39 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2..... 48

ภาพประกอบ 40 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2..... 49

ภาพประกอบ 41 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง “Driving noise” รวมกับ “Go” ..... 51

ภาพประกอบ 42 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter, chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz..... 52

ภาพประกอบ 43 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 , Cut-off 100 Hz..... 52

ภาพประกอบ 44 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 100 Hz ..... 53

ภาพประกอบ 45 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz..... 53

ภาพประกอบ 46 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic filter ที่ 54

ภาพประกอบ 47 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz..... 54

ภาพประกอบ 48 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 ,Cut-off 500 Hz..... 55

ภาพประกอบ 49 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 filter ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz ..... 55

ภาพประกอบ 50 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz ..... 56

ภาพประกอบ 51 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic filter ที่ 56

ภาพประกอบ 52 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz ..... 57

ภาพประกอบ 53 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz..... 57

ภาพประกอบ 54 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 filter ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz..... 58

ภาพประกอบ 55 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 filter ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz..... 58

ภาพประกอบ 56 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz..... 59

ภาพประกอบ 57 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz ..... 59

ภาพประกอบ 58 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 15, Cut-off 500 Hz..... 60

ภาพประกอบ 59 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav1 filter ที่ Order = 15 Cut-off 500 Hz..... 60

ภาพประกอบ 60 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav2 filter ที่ Order = 15 Cut-off 500 Hz..... 61

ภาพประกอบ 61 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz..... 61

ภาพประกอบ 62 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง “Heater noise” ร่วมกับ “Go” .....	62
ภาพประกอบ 63 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz.....	62
ภาพประกอบ 64 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 Cut-off 500 Hz.....	63
ภาพประกอบ 65 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 2, Cut-off 500 Hz .....	63
ภาพประกอบ 66 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 ที่ Order = 2, Cut-off 500 Hz .....	64
ภาพประกอบ 67 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่.....	64
ภาพประกอบ 68 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz.....	65
ภาพประกอบ 69 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 Cut-off 500 Hz.....	65
ภาพประกอบ 70 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 5, Cut-off 500 Hz .....	66
ภาพประกอบ 71 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 ที่ Order = 5, Cut-off 500 Hz.....	66
ภาพประกอบ 72 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่.....	67
ภาพประกอบ 73 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10, Cut-off 500 Hz.....	67
ภาพประกอบ 74 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz.....	68
ภาพประกอบ 75 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chabyshav1 ที่ Order = 10, Cut-off 500 Hz .....	68
ภาพประกอบ 76 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chabyshav1 ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz.....	69

ภาพประกอบ 77 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chabyshav1 ที่ 69

ภาพประกอบ 78 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 15, Cut-off 500 Hz..... 70

ภาพประกอบ 79 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz ..... 70

ภาพประกอบ 80 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz..... 71

ภาพประกอบ 81 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 ที่ 71

ภาพประกอบ 82 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic ที่..... 72

ภาพประกอบ 83 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง “Passing noise” ร่วมกับ “Go” ..... 72

ภาพประกอบ 84 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz..... 73

ภาพประกอบ 85 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 Cut-off 500 Hz..... 73

ภาพประกอบ 86 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz ..... 74

ภาพประกอบ 87 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 ที่ Order = 2 ,Cut-off 500 Hz ..... 74

ภาพประกอบ 88 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่..... 75

ภาพประกอบ 89 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz..... 75

ภาพประกอบ 90 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 Cut-off 500 Hz..... 76

ภาพประกอบ 91 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav1 .... 76

ภาพประกอบ 92 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav2 ที่ Order = 5 ,Cut-off 500 Hz ..... 77

ภาพประกอบ 93 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่..... 77

ภาพประกอบ 94 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz ..... 78

ภาพประกอบ 95 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz..... 78

ภาพประกอบ 96 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav1 ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz ..... 79

ภาพประกอบ 97 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav2 ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz..... 79

ภาพประกอบ 98 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่..... 80

ภาพประกอบ 99 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 13 , Cut-off 500 Hz ..... 80

ภาพประกอบ 100 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz..... 81

ภาพประกอบ 101 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 13 ,Cut-off 500 Hz ..... 81

ภาพประกอบ 102 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 ที่ ..... 82

ภาพประกอบ 103 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic ที่ ..... 82



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันเทคโนโลยีอัจฉริยะ (Smart technologies) ได้ถูกนำมาใช้กับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็น การสื่อสาร การขนส่ง การคมนาคม การเดินทางต่าง ๆ ล้วนมีเทคโนโลยีเข้ามาเพื่อให้เกิดความสะดวกในชีวิตประจำวัน[1] ในการเดินทางนั้นสามารถเดินทางได้หลายวิธี อาทิเช่น ทางอากาศ ในส่วนของเครื่องบินทาง ภาคพื้นดิน มีทั้ง รถไฟ รถยนต์ เป็นต้น การเดินทางด้วยรถยนต์เป็นอีกหนึ่งหนทางที่มีการใช้งานแพร่หลาย เนื่องจากมี ความสะดวก รวดเร็ว ในการเดินทาง เมื่อการเดินทางด้วยรถยนต์มีความเต็มโตขึ้น ระบบตอบสนองต่าง ๆ ในรถยนต์ จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผู้ขับขี่รู้สึกถึงการเดินทางที่มีความรวดเร็ว ปลอดภัย และถึงจุดหมายตามแผนที่วางไว้[2] เพื่อให้การเดินทางมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบนำทางรถยนต์ (Car Navigation) จึงเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยี ที่มีส่วนสำคัญให้ผู้ขับขี่สามารถไปถึงจุดหมายได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง[3] ในการเดินทางแต่ละครั้งระบบนำทางรถยนต์จะคอย นำทาง ในเส้นทางต่าง ๆ ให้ผู้ใช้สามารถไปตามเส้นทางที่ระบบนำทางได้แสดง

ระบบนำทางรถยนต์ (Car Navigation) ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง[4] เพื่อให้ได้ระบบนำทางที่มีการตอบสนองต่อผู้ใช้อย่างครบถ้วน เช่น การหาเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด การหลีกเลี่ยงถนนที่มีการจราจรหนาแน่น การหลีกเลี่ยงเส้นทางด่วน เป็นต้น ซึ่งการควบคุมการทำงานของฟังก์ชันดังกล่าวมาข้างต้น สามารถควบคุมได้หลายวิธี การควบคุมการรับข้อมูลผ่านหน้าจอ (Display Control) [5], การควบคุมการนำทางด้วยระบบสั่งการด้วยเสียง (Voice Control)[6] ในขณะที่ การควบคุมการใช้งานระบบนำทางผ่านหน้าจออาจเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเดินทาง ดังนั้นการควบคุมด้วยระบบระบบนำทางด้วยเสียงจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ตอบสนองการควบคุมได้อย่างรวดเร็ว และสะดวก โดยที่ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ในขณะที่บังคับทิศทางของรถยนต์[7]

มีงานวิจัยเพียงบางส่วนที่มีความพยายามและเผยแพร่ การพัฒนาและสร้างระบบการให้ข้อมูล และการตอบโต้กับผู้ใช้งานที่ของรถยนต์ผ่านระบบควบคุมด้วยเสียง ได้แก่

งานวิจัยเรื่อง Efficient and unique learning of in-car voice control for engineering education[8] การควบคุมระบบเสียงของรถยนต์ โดยการศึกษาเชิงโต้ตอบโปรแกรมประยุกต์ใน MATLAB การเปรียบเทียบดิจิทัลต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์คำพูดให้ทางออกที่ดีที่สุด และได้นำเสนอ การใช้ wiener, matched, low pass, high pass และ band pass มาใช้ เพื่อให้การจดจำเสียงได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องใช้สัญญาณเสียงพูดที่มีการรบกวนของสัญญาณเสียง



น้อย ด้วยเหตุนี้ GUI ที่ใช้งานง่ายแบบโต้ตอบอินเทอร์เน็ตเฟส ได้สร้าง MATLAB เพื่อช่วยให้จดจำและเข้าใจคำพูด

งานวิจัยเรื่อง Method of voice control functions of the UAV[9] เป็นการพัฒนาวิธีการควบคุมเสียงผ่านฟังก์ชันบน Unmanned Aerial Vehicle: UAV ในการควบคุมความแปรปรวนของคำสั่งเสียง ซึ่งขึ้นอยู่กับการระบุความหมายของคำสั่งเสียง วิธีที่เสนอในการระบุความหมายของคำสั่งเสียงซึ่งอิงกับการวิเคราะห์ Cepstral (เวกเตอร์หนึ่งแทนสัญญาณเสียงยาวประมาณ 20 มิลลิวินาที) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการจดจำความหมายของคำสั่งเสียงได้ให้มีความถูกต้อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการควบคุมเสียงผ่านหน้าที่ของ Unmanned Aerial Vehicle: UAV ซึ่งขึ้นอยู่กับความหมายของคำสั่งเสียง

งานวิจัยเรื่อง Integrated Smart Car Navigation and Voice Control System Design[6] ได้นำเสนอการใช้ไมโครการรู้จำเสียงและมอเตอร์ DC สองชุด เพื่อขับเคลื่อนเพลารถ ควบคุมทิศทางและการเคลื่อนไหว ให้รถสามารถควบคุมได้ด้วยคำสั่งเสียง

งานวิจัยเรื่อง Embedded vehicle control system based on voice processing technologies[10] นำเสนอรถไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นหนึ่งซึ่งใช้ประมวลผลคำพูด - ระบบจดจำเสียงพูดไมโครชิพ LINGYANG SPCE061A การรู้จำเสียงพูดในแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ฟังก์ชันของคิวพูดมีส่วนติดต่อที่ดีสำหรับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ในระบบ เพื่อให้ควบคุมการทำงานของรถไมโคร - คอนโทรลเลอร์ ได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยเรื่อง Real time voice identification based gear control system in LMV using MFCC[11] นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการที่การจดจำเสียงจากผู้พูด โดยการควบคุมเกียร์ที่ขยับในยานยนต์ การเรียนรู้การจำเสียงพูด ซึ่งคำสั่งข้อความเสียงมาตรฐานในระหว่างการทดสอบ มีวิธีการเช่น Linear Predictive Coding (LPC), Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) ใช้สำหรับการสกัดคุณลักษณะ หลังจากได้รับคุณสมบัติเหล่านี้แล้วเราจะจัดทำ codebook ซึ่งจะเก็บลักษณะเสียงพูดทั้งหมด ในการจับคู่คุณลักษณะเปรียบเทียบลักษณะของเสียงพูดและการตัดสินใจที่ชาญฉลาดโดยพิจารณาจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจะระบุว่าเสียงพูด คือ ไตรฟ์เวอร์ ในสถานการณ์ของเรา Hidden Markov Model, Gaussian Mixture Model, Vector Quantization และ Neural network เป็นตัวจำแนกประเภทหลายตัวแปรเป็นวิธีการที่ใช้ในการจับคู่คุณลักษณะขณะที่เราใช้โครงข่ายประสาทเทียม เมื่อตรวจพบคำสั่งของคนขับแล้วการเปลี่ยนเกียร์โดยใช้ระบบไฟฟ้าเครื่องกล



จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่า การพัฒนาระบบเรียนรู้ การจดจำเสียง เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของเสียงในวิธีการต่างๆ นั้น ยังมีความเสี่ยงที่ทำให้ประสิทธิภาพของการรับเสียงที่สภาพแวดล้อมต่างๆ ลดลง อาทิ เช่น ระยะห่างของผู้ใช้กับระบบรับเสียง, เสียงรบกวนในบริเวณรอบๆ ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของการสั่งการด้วยเสียงด้วยเทคนิคต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

## 1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบ Voice Control เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมระบบนำทาง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาระบบ HMI (Human Machine Interface) โดยการรับความถี่ของเสียงจากมนุษย์ ด้วยเทคนิคต่างๆ
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาวิเคราะห์เสียงในระบบนำทางรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบระบบการประมวลผลจากเสียงพูดในความถี่ต่าง ๆ ใช้เทคนิค การประมวลผลคำ, การแปลงความถี่ของเสียง ตามตัวแปรต่างๆ เช่น ความดังของเสียง ในสภาพแวดล้อม ระยะห่างของผู้ใช้กับอุปกรณ์
- 1.3.2 ทดสอบประมวลผลคำ หาความถูกต้อง แม่นยำ จากฐานข้อมูลเสียงของระบบ

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เรียนรู้การนำระบบ Voice Control มาควบคุมการนำทางบนระบบนำทางรถยนต์ได้
- 1.4.2 พัฒนาโปรแกรม มาทดสอบประสิทธิภาพ และความถูกต้องแม่นยำของเสียงได้
- 1.4.3 นำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมความถูกต้องประสิทธิภาพต้องเสียงของการนำทางรถยนต์ได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบนำทางรถยนต์

ระบบนำทางในรถยนต์ หรือ Car navigation system / Automobile navigation system คือ ส่วนหนึ่งของการใช้งานดาวเทียมสำหรับส่งค่าหรือมีการคำนวณตำแหน่งพิกัดของรถยนต์ มีการใช้ตัวรับสัญญาณ GPS (Global Positioning System) เพื่อทำการบอกตำแหน่งที่อยู่บนพิกัดโลก หลักการสำคัญคือเพื่อคำนวณระยะทางจากตำแหน่งที่กำลังอยู่ตอนนี้ไปจนถึงจุดหมายปลายทาง ร่วมกับการจับตำแหน่งต่างๆ ที่ได้จาก GPS (Global Positioning System) แล้วต่อไปยังตัวแผนที่ กระนั้นอาจมีการใช้เซนเซอร์อื่นๆ เพื่อช่วยให้การคำนวณระยะทางการเดินทางมีความแม่นยำมากขึ้น ระบบนำทาง ในรถยนต์ เริ่มจากระบบแผนที่ แผนที่ที่ใช้ใน ระบบ นำทาง รถยนต์ทั่วๆ ไปถือว่าเป็นมาตรฐานแบบไม่เป็นทางการ มาจาก 2 บริษัทใหญ่ คือ แผนที่จากบริษัท แนฟเทค (NavTeq) กับ บริษัท เทเลแอตลาส (Tele Atlas)

ซอฟต์แวร์พื้นฐานของ ระบบนำทาง

- GPS receiver & Positioning system ระบบรับตำแหน่งพิกัด ซอฟต์แวร์นี้ GPS (Global Positioning System) เป็นตัวกำหนดพิกัดโลกด้วยการอาศัยดาวเทียมอย่างน้อยๆ 3 ดวง สำหรับบอกพิกัด ละติจูด ลองจิจูด ของตัวนำร่อง แล้วใช้หาค่าตัวนำร่องในแผนที่
- Map drawer แผนที่ที่ปรากฏในตัวนำร่องต้องได้มาจากบริษัทแผนที่ด้วยการกำหนดวัตถุต่างๆ อาศัยเรื่องโครงสร้าง ขนาด พิกัด เช่น ตรงแม่น้ำจะเป็นโพลีกอนสีฟ้า, ภูเขาเป็นโพลีกอนสีเขียว, ถนนตรงไหนเป็นไฮเวย์ มอเตอร์เวย์, ถนนหลัก, ถนนรอง เป็นต้น ทุกอย่างจะมีการกำหนดลักษณะเอาไว้เพื่อให้การวาดถูกต้อง
- Address search การค้นหาที่อยู่ และ POI หรือ point of interest นี้คือพื้นฐานอีกเรื่องของบริษัทแผนที่ได้ทำเอาไว้ ซอฟต์แวร์ส่วนสำหรับการค้นหาที่อยู่และ POI ทำการค้นหาจากระบบดาตาเบสที่ส่วนใหญ่จะประมวลผลขึ้นมาเอง แยกคนละส่วนกับการวาดแผนที่ มีการนำเสนอฟังก์ชันบางอย่าง เช่น การค้นหาแบบฉลาด คือ ให้เลือกตัวพยัญชนะที่เป็นไปได้เท่านั้น, การค้นหา POI ประเภทต่างๆ อาจมีการใส่ระยะทางเข้าไปเอง เป็นต้น

- On board / Off board ช่วยในเรื่องการตรวจสอบกับประสานงานระบบ เช่น เมื่อมีการขับรถออกนอกเส้นทางระบบจะมีการคำนวณระยะทางจากเส้นทางใหม่ไปจนถึงปลายทางแบบอัตโนมัติ GPS มีการบอกพิกัดตำแหน่งปัจจุบัน พอส่วน On board เจอว่าตำแหน่งปัจจุบันไม่ตรงกับที่คำนวณไว้ตอนแรก ก็จะมีเสียงเตือนบอกออกมาพร้อมหาเส้นทางให้ใหม่เรียกว่า การ ทริกกระบบ แต่การทำงานของ Off board อาจแตกต่างไปเล็กน้อยเนื่องจากระบบนี้มันไม่ได้เป็นแบบเรียลไทม์

## 2.2 เสียงและระบบสั่งการด้วยเสียง

2.2.1 คลื่นเสียง ชีวิตประจำวันเราจะได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา การได้ยินเสียงของเราเกิดจากหูได้รับพลังงานจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงผ่านโมเลกุลของอากาศ ลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศจะอยู่ในรูปของคลื่นตามยาว มีผลทำให้ความดันของอากาศบริเวณที่มีการถ่ายทอดพลังงานมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากความดันปกติ

2.2.1.1 เสียง เป็นคลื่นกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือน ก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ไปยังหู แต่เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ เมื่อการสั่นสะเทือนนั้นมาถึงหู มันจะถูกแปลงเป็นพัลส์ประสาท ซึ่งจะถูกส่งไปยังสมอง ทำให้เรารับรู้และจำแนกเสียงต่างๆ ได้

2.2.1.2 คุณลักษณะเฉพาะของเสียง ได้แก่ ความถี่ ความยาวช่วงคลื่น แอมพลิจูด และความเร็ว เสียงแต่ละเสียงมีความแตกต่างกัน เสียงสูง-เสียงต่ำ, เสียงดัง-เสียงเบา, หรือคุณภาพของเสียงลักษณะต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง และจำนวนรอบต่อวินาทีของการสั่นสะเทือน

2.2.1.2.1 ความถี่ ระดับเสียง (pitch) หมายถึง เสียงสูงเสียงต่ำ สิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้า โดยจะมีหน่วยวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนต่อวินาที เช่น 60 รอบต่อวินาที, 2,000 รอบต่อวินาที เป็นต้น และนอกจาก วัตถุที่มีความถี่ในการสั่นสะเทือนมากกว่า จะมีเสียงที่สูงกว่าแล้ว หากความถี่มากขึ้นเท่าตัว ก็จะมีระดับเสียงสูงขึ้นเท่ากับ 1 ออกเตฟ (octave) ภาษาไทยเรียกว่า 1 ช่วงคู่แปด

2.2.1.2.2 ความยาวช่วงคลื่น (wavelength) หมายถึง ระยะทางระหว่างยอดคลื่นสองยอดที่ติดกันซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการอัดตัวของคลื่นเสียง (คล้ายคลึงกับยอดคลื่นในทะเล) ยิ่งความยาวช่วงคลื่นมีมาก ความถี่ของเสียง (ระดับเสียง) ยิ่งต่ำลง

2.2.1.2.3 แอมพลิจูด (amplitude) หมายถึง ความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง ที่แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือความดังของเสียงก็ยิ่งเพิ่มขึ้น

### 2.2.1.3 การเคลื่อนที่ของเสียงผ่านตัวกลาง

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ความถี่ของคลื่นเสียงจะมีค่าคงตัวเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ส่วนอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางนั้นคงตัว ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงอัตราเร็วของเสียงผ่านตัวกลาง

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (เมตร/วินาที)
แก๊ส	
อากาศ (0° C)	331
อากาศ (20° C)	343
ไฮโดรเจน (0° C)	1286
ออกซิเจน (0° C)	317
ฮีเลียม (0° C)	972
ของเหลว (25° C)	
น้ำ	1493
เมทิลแอลกอฮอล์	1143
น้ำทะเล	1533
ของแข็ง	
อลูมิเนียม	5100
ทองแดง	3560
เหล็ก	5130
ตะกั่ว	1322

2.2.1.4 ความเข้มเสียง เราอาจพิจารณาได้ว่าหน้าคลื่นของเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง มีการแผ่หน้าคลื่นออกเป็นรูปทรงกลม โดยมีจุดกำเนิดเสียงอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม กำลังของคลื่นเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหน้าคลื่นทรงกลม เรียกว่า ความเข้มเสียง ถ้ากำหนดให้กำลังเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงมีค่าคงตัว ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ หาได้จาก สมการ 1

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (1)$$

เมื่อ  $I$  เป็นความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ มีหน่วยวัตต์เป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

$P$  เป็นกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์

$R$  เป็นระยะห่างของแหล่งกำเนิดเสียงกับตำแหน่งที่จะหาความเข้มของเสียงมีหน่วยเป็นเมตร

#### 2.2.1.5 ระดับเสียง

การได้ยินเสียงของมนุษย์นอกจากขึ้นอยู่กับความเข้มเสียงแล้วยังขึ้นกับความถี่ของคลื่นเสียงอีกด้วย ความถี่เสียงต่ำสุดที่มนุษย์สามารถได้ยินคือ 20 เฮิรตซ์ และความถี่สูงสุดที่สามารถได้ยินคือ 20,000 เฮิรตซ์ เสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เราเรียกว่าคลื่นใต้เสียงหรือ อินฟราซาวด์ ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงขนาดใหญ่ เช่นการสั่นสะเทือนของสิ่งก่อสร้าง ส่วนเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เราเรียกว่าคลื่นเหนือเสียงหรือ อัลตราซาวด์ นอกจากนี้แหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ ก็ให้เสียงที่มีช่วงที่มีความถี่ต่างกันออกไป ดังภาพประกอบ 1





การคำนวณประกอบได้ คือ เสียงหนึ่งมีความเข้มไป 11 วัตต์/เซนติเมตรกำลังสอง และเสียงมาตรฐาน มีความเข้ม 12 คือ 10 กำลังลบ 6 วัตต์/เซนติเมตรกำลังสอง

หน่วย Bel ให้เป็นเกียรติแก่ Alexander Graham Bell ผู้ประดิษฐ์โทรศัพท์แต่หน่วยนี้ยังมีขนาดใหญ่อยู่จึงนิยมใช้หน่วยย่อยลงไปอีกเป็น dB หรือ 1 bel เท่ากับ 10 dB

ค่ามาตรฐานของความเข้ม 1kz ที่ทำให้หูได้ยินได้ยิน Zero Intensity Level และเสียงอื่นที่มีความเข้มเป็น 10 เท่าของเสียงมาตรฐานนี้ ถือว่ามีระดับของความเข้มเป็น 10 เท่าคือ 10 dB เหนือค่ามาตรฐานทางวิศวกรรม โทรศัพท์นิยมใช้ค่ามาตรฐานเป็น 6 มิลลิวัตต์ ป้อนเข้าสาย 500 หรือ 600 โอห์ม ดังนั้นกำลัง 60 กิโลวัตต์จะมีระดับความเข้มเท่ากับ

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

#### 2.2.1.6 คุณภาพของเสียง

คุณภาพของเสียง คือ คุณลักษณะของเสียงที่เราสามารถแยกได้ว่าเสียงที่ได้ยินเสียงอะไร คุณภาพที่ดีของเสียงหลักฐานในการประเมินตามลักษณะดังต่อไปนี้

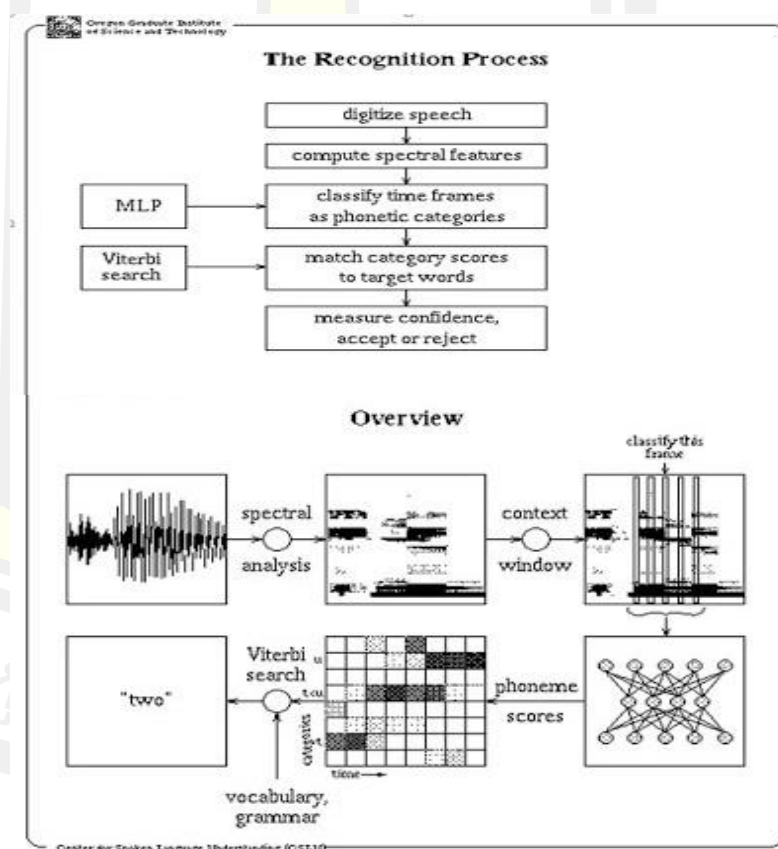
- ความชัดเจนด้วยอักขระ เสียงและความหมายตัวอย่างเช่นเสียงภาพการสนทนาของตัวละคร หรือเสียงนักร้องร้องเพลงต้องมีความชัดเจนถูกต้องตามอักขระและฟังง่าย
- ความสมดุลของเสียงต่ำกลางและสูง ต้องมีความสมดุลระหว่างเสียงต่ำเสียงกลางและส่วนสูง เช่นไม่คุ่มจนเกินไปไม่สูงจนแสบหูและต้องมีความเป็นธรรมชาติ
- ความคมชัด ในชิ้นงานหนึ่งอาจจะไม่ได้มีแค่เสียงเดียวแต่อาจจะประกอบขึ้นจากหลายๆเสียง แต่ละเสียงนั้นต้องสามารถแยกได้และมีตำแหน่งและหน้าที่ของตัวอย่างชัดเจน
- ความสมดุลของตำแหน่งและมิติของ เสียงตำแหน่งของเสียงต้องชัดเจนว่าอยู่ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าหรือด้านหลังโดยขึ้นอยู่กับบริบทของเสียงนั้นๆ
- ช่วงไดนามิกของเสียง หรือ Dynamic Range คือความแตกต่างระหว่างเสียงที่ตั้งที่สุดของงานชิ้นหนึ่งกับเสียงที่เบาที่สุดของงานชิ้นหนึ่งเสียงที่ดีควรจะทำให้ได้ง่ายว่าอยู่กับเสียงที่ค่อยที่สุดไม่แตกหรือบิดเบี้ยวอยู่ในช่วงที่ตั้งที่สุด
- ความโปร่งของเสียง เสียงที่ดีต้องมีความสะอาดไม่มีเสียงรบกวนอื่นๆเช่นเสียงห้ามมีเสียงคลื่นของกระแสไฟฟ้าและเสียงก้องไม่ก้องหรือเรอจนเกินไป



## 2.2.2 Speech Recognition

ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถแปลงเสียงพูด (Audio File) เป็นข้อความตัวอักษร (Text) โดยสามารถแจกแจงคำพูดต่างๆ ที่มนุษย์สามารถพูดใส่ไมโครโฟน โทรศัพท์หรืออุปกรณ์อื่นๆ และเข้าใจคำศัพท์ทุกคำอย่างถูกต้องเกือบ 100% โดยเป็นอิสระจากขนาดของกลุ่มคำศัพท์ ความดังของเสียงและลักษณะการออกเสียงของผู้พูด โดยระบบจะรับฟังเสียงพูดและตัดสินใจว่าเสียงที่ได้ยินนั้นเป็นคำ ใด เทคโนโลยีที่เป็นส่วนสำคัญในการทำ ASR เรียกว่า Hidden Markov Model (HMM) เทคโนโลยีชนิดนี้สามารถที่จะเข้าใจคำพูด จากการจำแนกความแตกต่างและการประมาณการถึงความเป็นไปได้ของส่วนประกอบของหน่วยที่เป็นพื้นฐานของเสียงที่อยู่ติดๆกันโดยอาศัยหลักการที่ว่าเสียงแต่ละเสียงจะมีขอบเขตของสัญญาณและลักษณะเฉพาะที่มีความแตกต่างกัน

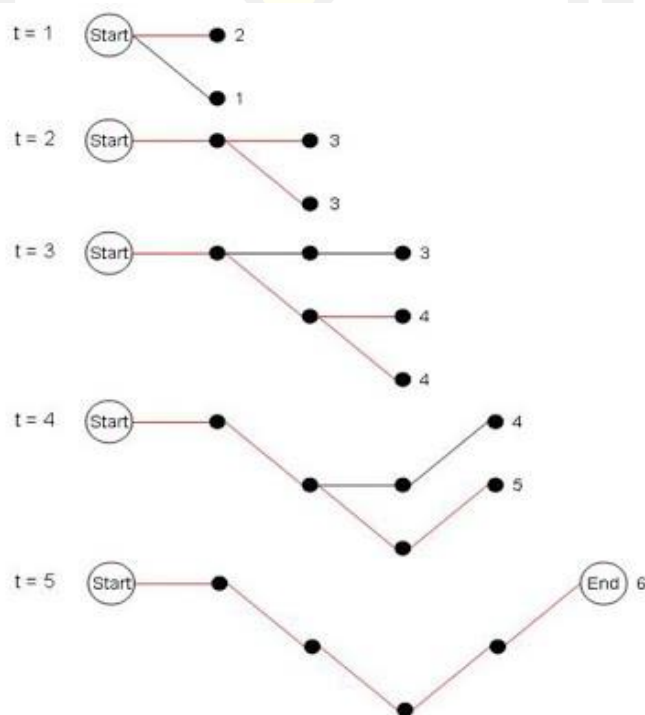
โดยปกติในการสร้าง Speech Recognition จะมีขั้นตอนการปฏิบัติอยู่ทั้งหมด 4 ขั้นตอน ซึ่งสรุปได้ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงกระบวนการของ Speech Recognition



- ขั้นที่ 1 แปลงคลื่นเสียงที่มากระทบในขั้นต้นให้เป็นตัวเลขที่เราต้องการเพื่อทำความเข้าใจ
- ขั้นที่ 2 คำนวณถึงลักษณะเฉพาะซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของ Spectral โดย domain ที่เป็นหัวเรื่องของ Speech ลักษณะ เหล่านี้จะถูกคำนวณทุกๆ 10 msec โดยแต่ละ 10 msec จะถูกเรียกว่า “Frame“
- ขั้นที่ 3 Artificial Neural Network (ANN) แบบ Multi – Layer Perceptron (MLP) จะถูกใช้เพื่อแยกชั้นของกลุ่มของลักษณะเหล่านั้นไปสู่ phonetic-based categories ในแต่ละ frame
- ขั้นที่ 4 Viterbi search จะทำการจับคู่ neural network output scores กับคำศัพท์ที่ต้องการ



ภาพประกอบ 3 แสดงการจับคู่ neural network

Viterbi Search ใช้กำหนดถึงความต่อเนื่องของหน่วยพื้นฐานของเสียงจากความเป็นไปได้สูงสุด โดยคำนวณผ่าน Gaussian Mixture Model ข้อดีของ Viterbi Search คือการประมวลผลข้อมูลเป็นแบบ Real time แต่ข้อเสียคือระบบจะเลือกตัด Path ที่ Prob ต่ำเกินกว่ากำหนดไปและไม่นำกลับมาพิจารณาอีกเลยทั้ง ๆ ที่บางครั้ง Path นั้นอาจจะมีค่าความน่าจะเป็นรวมสูงขึ้นไปกว่า Path อื่นเมื่อ Search ถึง Word ท้ายของประโยค Speech Recognition เป็นเทคโนโลยีที่

สามารถนำไปใช้ได้อย่างหลากหลาย อย่างเช่น ในอุตสาหกรรม Health Care ผู้ที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีนี้คือ ฝ่าย admin และหมอ พยาบาล เกสเซอร์ที่ไม่ถนัดหรือไม่ขึ้นชอบการพิมพ์, หรือแม้กระทั่งทางการแพทย์ ก็สามารถนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้เพื่อสั่งการระบบนักบินอัตโนมัติ (Autopilot), ติดตั้งความถี่คลื่นวิทยุ หรือควบคุม flight display เป็นต้น นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก เช่น การแปลอัตโนมัติ, การสั่งการรถยนต์, การโทรสนเทศ (Telematics), การรายงานในศาล (Court reporting หรือ Real time Voice Writing), คอมพิวเตอร์ แชนด์ ฟรี, โทรศัพท์มือถือ, หุ่นยนต์, video games, Interactive Voice Response (IVR), Speech-to-text (การแปลเสียงให้เป็นคำพูด) และการควบคุมการจราจรทางอากาศ เป็นต้น

### 2.2.3 ระบบสั่งการด้วยเสียง (Voice Assistant)

ระบบสั่งการด้วยเสียง (Voice Assistant) คือ เทคโนโลยีพื้นฐานที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ในการพัฒนาระบบการจดจำเสียง (Voice Recognition), การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) และการสังเคราะห์เสียงพูด (Speech Synthesis) เพื่อให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ใช้ผ่านโทรศัพท์ แท็บเล็ต ลำโพง กล้องสตรีมมิ่ง อุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตอื่น ๆ หรือแอปพลิเคชันการจดจำเสียงที่ปัจจุบันมีการติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์ สมาร์ทโฟน ส่วนใหญ่ ระบบสั่งการด้วยเสียงที่ได้รับความนิยม เช่น Alexa ของ Amazon, Cortana ของ Microsoft และ Google Assistant

### 2.2.4 ไฟล์เสียงแบบ Wav

ไฟล์เสียงแบบ Wav หรือไฟล์เสียงที่มีนามสกุล .wav เป็นไฟล์ที่เก็บข้อมูลในแบบดิจิทัลเป็นไฟล์ที่ไม่มีการบีบอัดข้อมูลจึงยังเป็นไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ ข้อมูลเสียงที่เก็บในรูปแบบลายจะเป็นรูปแบบรูปคลื่นและลูกคลื่นเหล่านี้จะมีคุณสมบัติเฉพาะแตกต่างกันอัตราบิตที่ใช้ในการบันทึก 256 kbps อัตราส่วนตัวอย่าง sampling rate 44.1 kHz การบันทึกค่าของเสียงเป็นการบันทึกความสูงของคลื่นแอมพลิจูด ดังนั้นถ้าขนาดของการบันทึกมากขึ้นก็จะทำให้เสียงมีความคมชัดมากขึ้นซึ่งโดยปกติแล้วการบันทึกมีการกำหนดค่าเป็นแบบ 8 Bit, 16 bit, 24 Bit, 32 Bit, 64 bit และ 128 bit

2.2.4.1 ความยาวคลื่น Wave Length ความยาวคลื่นคือระยะทางระหว่างส่วนที่ซ้ำกันของคลื่นสัญลักษณ์แทนความยาวคลื่นที่ใช้กันทั่วไป คือ แลมบ์ด่า แขนงอนในแผนภูมิแทนระยะทาง และแกนตั้งแทนค่าเวลาหนึ่งของปริมาณหนึ่งซึ่งกำลังเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น สำหรับคลื่นเสียง ปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลง คือ แร่งดันอากาศหรือสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปริมาณที่กำลังเปลี่ยนแปลงคือสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะทางความยาวคลื่นแลมบ์ด่าสัมพันธ์แบบผกผัน กับความถี่ของคลื่นนั้นโดยความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นนั้นหารด้วยความถี่ ถ้าพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศความเร็วนั้นคือความเร็วแสงความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนได้เป็น

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น

C คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 299,792.458 กิโลเมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่ของคลื่น

#### 2.2.4.2 ความถี่ frequency

ความถี่ คือ ปริมาณที่บ่งบอกจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้นในเวลา 1 การวัดความถี่สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง นับจำนวนครั้งที่เหตุการณ์เกิดขึ้น นำจำนวนฟ้าผ่าด้วยระยะเวลาและถ้าเป็นส่วนกลับของความถี่หมายถึง เวลาที่ใช้ไปในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

#### 2.2.4.3 ระดับเสียง

หมายถึง เสียงสูงต่ำซึ่งสิ่งที่ทำให้เสียงแต่ละเสียงสูงต่ำแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเร็วในการสั่นสะเทือนของวัตถุ วัตถุที่สั่นเร็วเสียงจะสูงกว่าวัตถุที่สั่นช้า วัตถุที่มีความ เป็นตัวเท่าตัวจะมีระดับเสียงสูงขึ้น

#### 2.2.4.4 คาบ (Period)

ถ้าเป็นระยะเวลาที่ตำแหน่งใดๆบนคลื่นซึ่งเคลื่อนที่ครบ 1 รอบถ้ามีแบบเป็นวินาทีเขียนแทนสัญลักษณ์ธาตุด้วยตัว T

#### 2.2.4.5 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูด คือ ระยะจัดสูงสุดของคลื่นวัดจากตำแหน่งสมดุล

#### 2.2.4.6 อัตราเร็ว (Speed)

แนวทางที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา

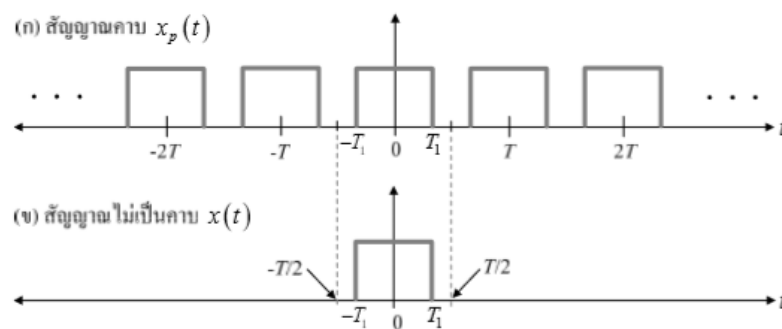
### 2.3 Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) คือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณ DFT (Discrete Fourier Transform) ตัว DFT นั้นเวลาแตกออกก็จะเห็นความถี่เต็มไปหมด เพราะว่าเวลาที่เรามองคลื่นๆหนึ่งนั้น ความจริงแล้วมีองค์ประกอบทางความถี่เยอะมาก ซึ่งการคำนวณที่แท้จริงนั้นเมื่อเราจะทำการคำนวณ DFT แล้วจะช้ามากๆ ดังนั้นตัว FFT ก็คือตัวเลือกหนึ่งที่เหมาะสมเพราะว่าให้ผลลัพธ์เดียวกันแต่ว่าเร็วกว่ามากมายๆ เวลาที่เราทำการคำนวณ DFT นั้น ถ้าสมมติว่าภาพที่จะทำการคำนวณมีพิกเซลส์ที่จะคำนวณเท่ากับ 256 พิกเซลส์ ตัว DFT นั้นจะทำการคำนวณทั้งหมด ครึ่ง หรือว่ามีค่าเท่ากับ ครึ่งแต่ถ้าเป็น FFT แล้วการคำนวณ จะเป็น มีกี่ครึ่งเรามาดูกันนะ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับสูตรดังนี้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เท่ากับ  $256 \times 2.4 = 614$  ครึ่งเท่านั้น ซึ่งน้อยกว่า  $65536 / 614 = 106$  เท่า

การแปลงฟูเรียรทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาหรือสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลา ให้อยู่ในรูปของสัญญาณในโดเมนความถี่หรือสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ ซึ่งจะเรียกกันทั่วไปว่า “สเปกตรัม (spectrum)” สเปกตรัมของสัญญาณมีประโยชน์มากสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ในระบบ สื่อสารต่างๆ เช่น วงจรกรอง (filter) และอีควอลไลเซอร์ (equalizer) เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์สัญญาณใน โดเมนความถี่จะง่ายกว่าการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลารวมทั้งสัญญาณในโดเมนความถี่ยังบอกให้ทราบ ถึงแบนด์วิดท์ (bandwidth) และรูปร่างสเปกตรัมของสัญญาณ ซึ่งช่วยทำให้เข้าใจคุณสมบัติต่างๆ ของสัญญาณ เหล่านั้นมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น วงจรกรองแต่ละแบบจะยอมให้สัญญาณช่วงแถบความถี่หนึ่งผ่านไปได้ ในขณะที่จะเกิดการลดทอน (attenuation) ในอีกช่วงแถบความถี่หนึ่ง เป็นต้น

### 2.3.1 การแปลงฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลาของสัญญาณไม่เป็นคาบ

ในสภวนนี้จะอธิบายที่มาของสูตรการแปลงฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลา (CtFT: continuous-time Fourier transform) พร้อมทั้งอธิบายเงื่อนไขการลู่เข้าของการแปลงฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลา เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าสัญญาณไม่เป็นคาบแบบใดจึงจะสามารถหาผลการแปลงฟูเรียร์ได้



ภาพประกอบ 4 (ก) สัญญาณคาบ  $x_p(t)$  และ (ข) สัญญาณไม่เป็นคาบ  $x(t)$

### 2.3.2 สูตรการแปลงฟูเรียร์

โดยทั่วไปสัญญาณไม่เป็นคาบสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นสัญญาณคาบที่มีคาบเวลาเท่ากับคานอนันต์ ตัวอย่าง เช่น ภาพประกอบ 4 แสดงสัญญาณคาบ  $x_p(t)$  ที่มีคาบเวลาเท่ากับ  $T$  และสัญญาณไม่เป็นคาบ  $x(t)$  ดังนั้นถ้าพิจารณาว่าคาบเวลา  $T$  มีค่าเข้าใกล้คานอนันต์ จะได้ว่าสัญญาณ  $x_p(t)$  และ  $x(t)$  คือสัญญาณเดียวกัน เนื่องจากสัญญาณคาบ  $x_p(t)$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอนุกรมฟูเรียร์ที่ต่อเนื่องทางเวลาได้ คือ

$$x_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k e^{jk\omega_0 t} \quad (3)$$

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_p(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (4)$$

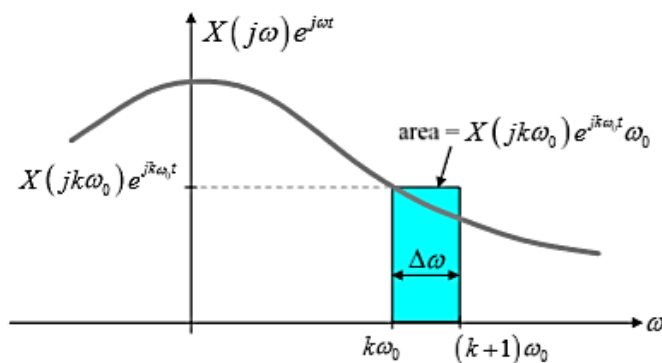
เมื่อ  $\omega_0 = 2\pi/T$  จากภาพประกอบ 4 พบว่าสัญญาณ  $x_p(t) = x(t)$  ในช่วงเวลา  $|t| < T/2$  และ  $x(t) = 0$  สำหรับ  $|t| > T/2$  ดังนั้นสมการ (4) สามารถเขียนได้เป็น

$$a_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_p(t) e^{jk\omega_0 t} dt = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x_p(t) e^{jk\omega_0 t} dt \quad (5)$$

ถ้ากำหนดให้

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{j\omega t} dt \quad (6)$$

เปรียบเทียบสมการ (5) และ (6) จะได้ว่า



ภาพประกอบ 5 ภาพแสดงความหมายของสมการ (6)

$$a_k = \frac{1}{T} x(jk\omega_0) \quad (7)$$

แทนค่า  $a_k$  จากสมการ (5) ลงในสมการ (6)

$$x_p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{T} X(jk\omega_0) e^{jk\omega_0 t} = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(jk\omega_0) e^{jk\omega_0 t} \omega_0 \quad (8)$$

เมื่อ  $T=2\pi/\omega_0$  = ภาพประกอบ 5 แสดงความหมายของสมการ (7) ซึ่งมีค่าเท่ากับการหาพื้นที่ใต้กราฟของ สัญญาณ  $X(j\omega)e^{-i\omega t}$  นอกจากนี้เมื่อ  $T \rightarrow \infty$  จะได้ว่า  $\omega_0 \rightarrow 0$  ดังนั้นถ้ากำหนดให้  $\omega_0 = \Delta\omega$  สมการ (8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการ (9)

$$x_p(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(jk\Delta\omega) e^{jk\omega_0 t} \Delta\omega \quad (9)$$

ดังนั้นเมื่อ  $\omega_0 \Delta \rightarrow$  เครื่องหมายผลรวม (summation) ในสมการ (9) จะเปลี่ยนเป็น เครื่องหมายปริพันธ์ (integral) และเป็นผลทำให้  $x_p(t) \rightarrow x(t)$  ดังนั้นสมการ (9) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} x_p(t) = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(jk\Delta\omega) e^{jk\Delta\omega t} \Delta\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (10)$$

เมื่อ  $\omega = 2\pi f$  คือ ความถี่เชิงมุมมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที เมื่อพิจารณาสมการ (10) พบว่า สัญญาณ  $x(t)$  สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของผลรวมแบบต่อเนื่องของฟังก์ชันเลขชี้กำลังที่มีความถี่ ในช่วง  $(-\infty, \infty)$  เมื่อ แอมพลิจูดของแต่ละองค์ประกอบความถี่  $\omega$  มีขนาดแปรผันตามฟังก์ชัน  $X(j\omega)$  ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์ ทำให้สามารถแปลงสัญญาณ  $x(t)$  ให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบของเลขชี้กำลังเชิงซ้อนที่ครอบคลุมตลอด ทุกย่านความถี่ โดยที่ค่าของ  $X(j\omega)$  จะเป็นตัวบอกขนาดแอมพลิจูดของแต่ละองค์ประกอบความถี่  $\omega$

### 2.3.3 การคำนวณการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)

ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว นั้น เป็นการลดทอนการคำนวณให้สั้นลง แต่ยังคงมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการคำนวณโดยซึ่งยุ่งยากซับซ้อนโดยเฉพาะเมื่อ  $n$  มีค่ามาก และเพื่อลดความซ้ำซ้อนของการคำนวณจาก  $2n$  กำลัง 2 จึงกลายมาเป็น  $N \log_2 N$  วิธีดังกล่าวนี้อาศัยการลดทอนทางเวลาโดยเริ่มจากการแบ่งจากกลุ่มของข้อมูล  $x(n)$  ก่อน หรือจะลดทอนทางความถี่เริ่มการแบ่งจากกลุ่มของผลลัพธ์ของ  $X(k)$  ก่อนดังสมการ

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}, k = 0, \dots, N-1 \quad (11)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนตัวอย่างใน 1 กรอบสัญญาณ

$K$  คือ ลำดับของกรอกสัญญาณ  $K = 1, 2, \dots, N$

ความหนาแน่นพลังงานสเปกตรัมและความหนาแน่นกำลังงานสเปกตรัมการวิเคราะห์การกระจายตัวของสเปกตรัมพลังงานหรือกำลังงานของสัญญาณเสียงในโดเมนความถี่ซึ่งเป็นสัญญาณที่ การหาค่าความหนาแน่นสเปกตรัมพลังงานสามารถได้จากสมการที่ 12

$$|X(f)|^2 = \left| \sum_{m=-\infty}^{\infty} x(m)e^{-j2\pi fm} \right|^2 \quad (12)$$

สเปกตรัมพลังงานของ  $x(m)$  อาจจะถูกแปลงเป็นผู้เรียนของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ของ  $x(m)$  ได้ตามสมการ (13)

$$|X(f)|^2 = (f)X * (f) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_{xx}(m)e^{-j2\pi fm} \quad (13)$$

ในกรณีตัวแปร  $r(m)$  เป็นฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์ของ  $x(m)$  การแปลงฟูเรียร์จะหาได้เฉพาะพลังงานของสัญญาณซึ่งในสัญญาณจะประกอบด้วยสัญญาณสูงที่มีสถานะนิ่งและเนื่องจากสัญญาณมีสถานะนิ่งมีความยาวและพลังงานที่ไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้นจึงไม่สามารถแปลงเป็นฟูเรียร์ได้ สำหรับการสุ่มสัญญาณ สิ่งที่เราควรคำนึงถึงก็คือ ความหนาแน่นของพลังงานสเปกตรัมซึ่งต้องแปลงเป็นฟูเรียร์ของฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์(Autocorrelation function)

การประมาณค่าพลังงานสเปกตรัมแบบวิธีไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-Parametric power spectrum estimation) วิเคราะห์ของการประมาณค่าของคลื่นความหนาแน่นของพลังงานของจำนวน  $N$  ตัวอย่างโดยวิธี Periodogram ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดย เซอร์ อาร์เธอร์ ชูสเตอร์ (Sir Arthur Schuster) ในปี 1989 วิธี Periodogram สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{xx}(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{m=0}^{N-1} x(m)e^{-j2\pi fm} \right|^2 = \frac{1}{N} |X(f)|^2 \quad (15)$$

การหาค่าพลังงานความหนาแน่นสเปกตรัมหรือค่าพลังงานของสเปกตรัมสามารถหาได้จากสมการ 15 ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-Parametric) ของการประมาณค่าสเปกตรัม เนื่องจากความยาวจำกัดและการส่งแบบธรรมชาติของสัญญาณส่วนใหญ่สเปกตรัมที่ได้จากมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยดังนั้นจึงมีการคิดค้นหาวิธีที่จะลดความแปรปรวนของวิธี Periodogram

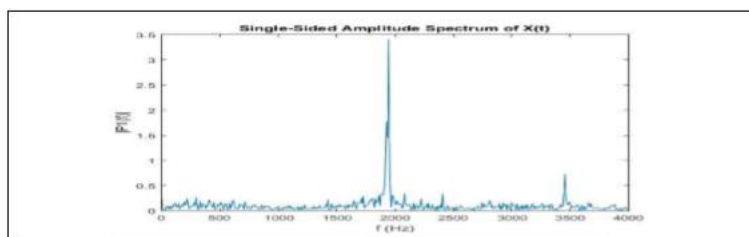
#### 2.3.4 การวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเบื้องต้น

การวิเคราะห์หาค่าความถี่ของสัญญาณเบื้องต้นเป็นขั้นตอนเพื่อ จัดเตรียมไฟล์เสียงซึ่งเป็นข้อมูลดิบที่ทำการบันทึกเสียงผ่านกระบวนการทางดิจิทัลนามสกุล .wav สัญญาณเสียงนั้นเป็นแบบไม่คงตัวคือจะเปลี่ยนไปตามเวลา (Non-Stationary) สิ่งจำเป็นที่ต้องนำไฟล์เสียงมาแบ่งเป็นส่วนเพื่อจะได้สามารถนำแต่ละส่วนมาคำนวณและวิเคราะห์ได้



### 2.3.5 การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณเสียง

เมื่อได้ไฟล์เสียงที่สมบูรณ์แล้ว จึงนำสัญญาณเสียงเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความถี่ในสัญญาณเสียง เพื่อหาค่าของความถี่ของสัญญาณเสียงในแต่ละไฟล์ ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ค่าความถี่ค่าตดเคลื่อนในแต่ละตำแหน่งของสัญญาณเสียงต่อไป



ภาพประกอบ 6 สัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

จากรูปสัญญาณเสียงเมื่อเข้าสู่กระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว กระบวนการนี้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วจะสกัดค่าของความถี่ที่เกิดขึ้นในสัญญาณเสียงออกมา จะพบว่า สัญญาณเสียงมีค่าความถี่ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ที่ 2 KHZ

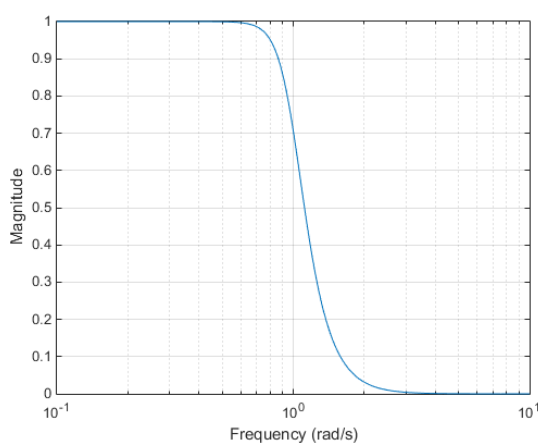
### 2.3.6 การใช้งานตัวกรองดิจิตอลจำกัดร่วมกับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

นอกจากกระบวนการกรองสัญญาณเสียงผ่านตัวกรองดิจิตอลจำกัดชนิดแถบความถี่ผ่านการประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วก็มีความจำเป็นอย่างมาก ทั้งนี้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็วจะช่วยในการวิเคราะห์ค่าของความถี่ที่เกิดขึ้น หลังจากการนำสัญญาณเสียงเข้าสู่ตัวกรองดิจิตอลจำกัดชนิดแถบความถี่ผ่าน ทำให้สะดวกต่อกำหนดค่า  $N$  ในตัวกรองดิจิตอลจำกัดชนิดแถบความถี่ผ่านเพื่อให้ได้ค่า  $N$  ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน

ตาราง 2 แสดงตัวกรองชนิดต่างๆ

Filter Type	Design Function
Butterworth	$[b,a] = \text{butter}(n,Wn,options)$
	$[z,p,k] = \text{butter}(n,Wn,options)$
	$[A,B,C,D] = \text{butter}(n,Wn,options)$
Chebyshev Type I	$[b,a] = \text{cheby1}(n,Rp,Wn,options)$
	$[z,p,k] = \text{cheby1}(n,Rp,Wn,options)$
	$[A,B,C,D] = \text{cheby1}(n,Rp,Wn,options)$
Chebyshev Type II	$[b,a] = \text{cheby1}(n,Rs,Ws,options)$
	$[z,p,k] = \text{cheby1}(n,Rs,Ws,options)$
	$[A,B,C,D] = \text{cheby1}(n,Rs,Wn,options)$
Elliptic	$[b,a] = \text{ellip}(n,Rp,Rs,Wn,options)$
	$[z,p,k] = \text{ellip}(n,Rp,Rs,Wn,options)$
	$[A,B,C,D] = \text{ellip}(n,Rp,Rs,Wn,options)$

### 2.3.6.1 Butterworth Filter

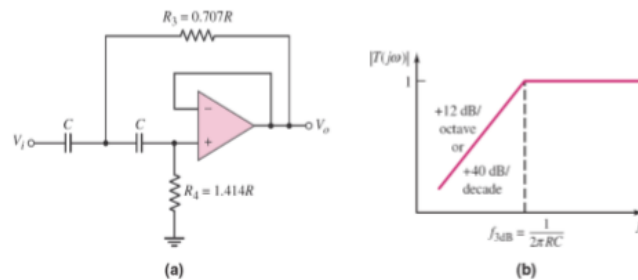


ภาพประกอบ 7 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ

ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Butterworth Filter จะมีลักษณะราบเรียบ และมีเฟสแบบเชิงเส้น อย่างไรก็ตามช่วงแถบความถี่จากช่วงแถบผ่าน (Pass Band) ไปสู่ช่วงแถบหยุด (Stop Band) จะมีความกว้างมาก ทำให้ต้องใช้ตัวกรองสัญญาณที่มีอันดับ (Order) สูงๆ

เราสามารถออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านได้ด้วยวิธีการนำวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านมาสลับตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุ ภาพประกอบ 7 แสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสองแบบบัตเตอร์เวิร์ธ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการที่ผ่านมา ทำการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อ  $s = j\omega = \infty$  ซึ่งเท่ากับศูนย์ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการความถี่ที่ -3 dB หรือ ความถี่คัทออฟใหม่ได้ว่า

$$\omega_{3dB} = 2\pi f_{3dB} = \frac{1}{RC} \quad (16)$$



ภาพประกอบ 8 วงจรกรองมีค่าความถี่โพล 3 โพล

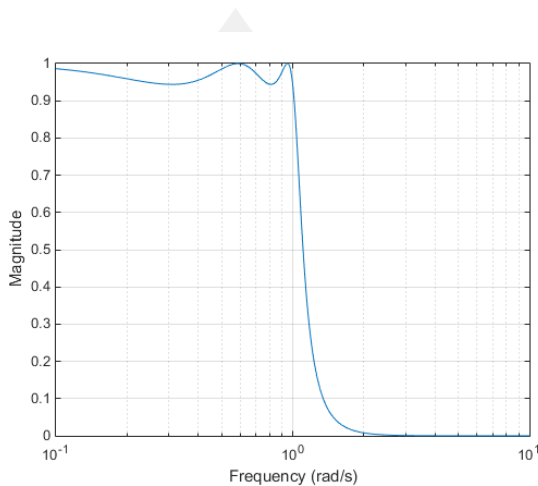
(a) วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ

(b) วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ

เราหาค่า  $R_3 = 0.707R$  และ  $R_4 = 1.414R$  ค่าขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบบัตเตอร์เวิร์ธ คือ

$$|T| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{3dB}}{f}\right)^4}} \quad (17)$$

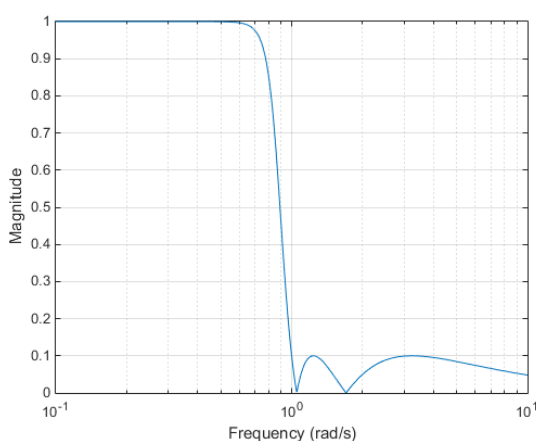
### 2.3.6.2 Chebyshev Type I Filter



ภาพประกอบ 9 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบเชบีเชฟ 1

ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Chebyshev Type 1 จะมีช่วงแถบความถี่จากช่วงแถบผ่าน (Pass Band) ไปสู่ช่วงแถบหยุด (Stop Band) จะมีความกว้างน้อยกว่า Butterworth แต่ช่วงแถบความถี่ ของช่วงแถบผ่าน (Pass Band) มีลักษณะเป็นริ้วๆ (Ripple)

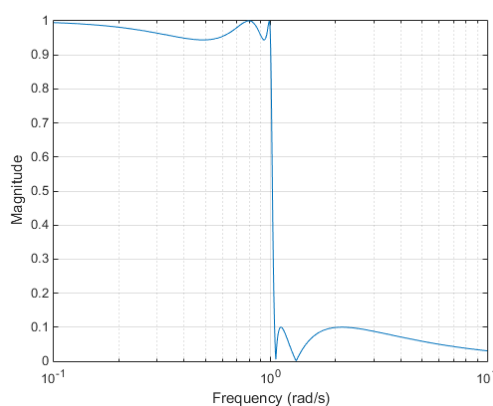
### 2.3.6.3 Chebyshev Type II Filter



ภาพประกอบ 10 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบเชบีเชฟ 2

ผลตอบสนองเชิงความถี่ของ Chebyshev Type 2 จะมีช่วงแถบความถี่จากช่วงแถบผ่าน (Pass Band) ไปสู่ช่วงแถบหยุด (Stop Band) จะมีความกว้างน้อยกว่า Butterworth เช่นเดียวกับ Chebyshev Type 1 แต่ช่วงแถบความถี่ของช่วงแถบหยุด (Stop Band) มีลักษณะเป็นริ้วๆ (Ripple)

#### 2.3.6.4 Elliptic Filter



ภาพประกอบ 11 วงจรกรองอันดับสองความถี่สูงผ่านแบบอิลลิปติก

Elliptic Filter (เป็นที่รู้จักในชื่อ Cauer Filter) เป็นตัวกรองการประมวลผลสัญญาณ ที่มีการกระเพื่อมเสมอกัน (Equiripple) ทั้งใน Pass Band และ Stopband มีการเปลี่ยนแปลง ได้ เร็ว ขึ้นที่ Pass Band และ Stopband การกระเพื่อมของคลื่นนั้นขึ้นอยู่ที่กับเราออกแบบ Pass Band และ Stopband จะเห็นว่าในช่วง Stopband จะเป็นการกรองแบบ Butterworth Filter ส่วนในช่วง Pass Band และช่วงหลังจาก Stopband เป็นการกรองแบบ Chebyshev

#### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง Leveraging automatic speech recognition in cochlear implants for improved speech intelligibility under reverberation[12] นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มความสามารถในการพูดที่เข้าใจง่ายของผู้ใช้อุปกรณ์ประสาทหูเทียม (Cochlear implant: CI) โดยใช้เทคโนโลยีระบบรู้จำเสียงพูดอัตโนมัติ (Automatic Speech Recognition : ASR) จำแนกเสียงระดับเสียง ในระดับปานกลางถึงระดับสูง ( $T60 = 0.3, 0.6, 0.8$  และ  $1.0s$ ) ซึ่งเสียงพูดสังเคราะห์จะถูกสร้างขึ้นจากเอาต์พุตของเอ็นจินตัวจดจำเสียงพูดโดยใช้ข้อความเป็นคำพูด (text-to-speech : TTS) จากงานวิจัยผู้ใช้สามารถระบุคำพูดที่ถูกสังเคราะห์ซ้ำด้วย ความถูกต้อง 70% ในสภาพการทดสอบเสียง ( $T60 = 1.0s$ )

งานวิจัยเรื่อง On the effects of speech rate in large vocabulary speech recognition systems [13] วิจัยแก้ไขข้อผิดพลาดเนื่องจากการพูดเร็ว โดยเสนอวิธีการสามวิธีในการปรับปรุงความแม่นยำในการรู้จำเสียงพูดที่รวดเร็วโดยแต่ละวิธีสามารถระบุถึงลักษณะที่แตกต่างของประสิทธิภาพ วิธีแรกคือการดำเนินการปรับตัว Baum-Welch codebook วิธีที่สองขึ้นอยู่กับปรับตัวของความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของ HMM ในวิธีที่สามพจนานุกรมการออกเสียงจะถูกแก้ไขโดยใช้เทคนิคแบบอิงกฎและเพิ่มคำประสม จากงานวิจัยช่วยปรับปรุงการจดจำคำพูดที่รวดเร็วโดยจำนวนสัมพัทธ์ 4 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยเรื่อง Multi-channel speech processing architectures for noise robust speech recognition: 3rd CHiME challenge results [14] นำเสนอการจดจำเสียงพูดภายใต้สภาวะที่มีเสียงดัง โดย CHiME ซึ่ง 3 มีเป้าหมายในการรู้จำเสียงพูดที่มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่สมจริงเช่นถนน, รถบัส, ร้านอาหารและพื้นที่คนเดินเท้า จากการศึกษาตัวแปรของ beam formers ที่ใช้สำหรับการประมวลผลคำพูดแบบหลายช่องสัญญาณล่วงหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรวจสอบ beam formers Side-lobe canceller (GSC) ที่แตกต่างกันสามแบบนั่นคือ GSC ที่มีเมทริกซ์การบล็อกขวางกัน (BM), GSC พร้อมการปรับ BM (ABM) และ GSC ด้วยการตอบสนองความแปรปรวนแบบแปรปรวนต่ำสุด (MVDR) และ ABM นอกจากนี้ยังใช้ตัวกรองหลายโพสท์เพื่อปรับปรุงสัญญาณเสียงพูด งานวิจัยได้แนะนำ Max Power post filters และ deep neural post filters (DPFs) DPF มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำการวัดคะแนนการรับรู้โดยรวม (OPS) และการประเมินคุณภาพการพูด (PESQ) แบบรับรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง DPF ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงโดยเฉลี่ย 17.54% OPS คะแนนและ 18.28% ใน PESQ เมื่อเทียบกับ CHiME 3 พื้นฐาน DPF ยังได้รับ WER ที่ดีที่สุดเมื่อรวมกับ ASR engine ในการพัฒนาแบบจำลองและข้อมูลการประเมินผลเช่น 8.98% และ 10.82% WER เครื่องส่งสัญญาณลำแสง Max Power ที่นำเสนอได้รับ WER โดยรวมที่ดีที่สุดสำหรับข้อมูลการพัฒนาและการประเมินจริงของ CHiME 3 ได้แก่ 14.23% และ 22.12% ตามลำดับ

งานวิจัยเรื่อง Normalized amplitude modulation features for large vocabulary noise-robust speech recognition [15] ได้ ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำเสียงพูดของมนุษย์กับระบบรู้จำเสียงพูดอัตโนมัติ ระบุว่าระบบการได้ยินของมนุษย์นั้นมีความทนทานสูงต่อเสียงรบกวนและความแปรปรวนของช่องสัญญาณเมื่อเทียบกับระบบอัตโนมัติ วิธีดั้งเดิมในการเพิ่มความทนทานให้กับระบบรู้จำเสียงพูดคือการสร้างชุดคุณลักษณะที่มีประสิทธิภาพสำหรับรูปแบบการรู้จำ

เสียง โดยงานวิจัยได้นำเสนอคุณลักษณะการมอดูเลตแอมพลิจูดที่ได้รับจากตัวดำเนินการด้านพลังงานแบบไม่เชิงเส้นของ Teager ซึ่งเป็นพลังงานที่ปรับให้เป็นมาตรฐานและการแปลงค่าโคไซน์ของ Normalized modulation cepstral coefficient : NMCC ที่นำเสนอแนะให้นำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติที่ทนทานต่อเสียงรบกวนใน Aurora-2 และคลังข้อมูล Wall Street Journal (WSJ) ที่ได้รับการปรับแต่งใหม่ การทดสอบการจดจำคำ WSJ ได้ดำเนินการทั้งในคลังข้อมูล WSJ ที่สะอาดและได้รับการปรับแต่งใหม่โดยใช้ระบบรู้จำเสียงพูดคำศัพท์ขนาดใหญ่ DECIPHER ของ SRI การทดลองดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดสอบรถไฟสามแบบ: (a) จับคู่, (b) ไม่ตรงกันและ (c) มีหลายเงื่อนไข งานการรับรู้หลักของ Aurora-2 นั้นดำเนินการโดยใช้ตัวจดจำ HTK แบบมาตรฐานที่แจกจ่ายกับ Aurora-2 ผลลัพธ์ของเราระบุว่าคุณสมบัติ NMCC ที่นำเสนอแสดงให้เห็นถึงความทนทานของเสียงรบกวนในเกือบทุกเงื่อนไข

งานวิจัยเรื่อง Evaluation of interface and in-car speech - many undesirable utterances and sever noisy speech on car navigation application [16] บทความนี้อธิบายผลการประเมินอินเตอร์เฟซ ASR (automatic speech recognition) บนระบบนำทางรถยนต์ และข้อมูลเสียงพูดในรถยนต์ที่มีเสียงดัง โดยการประเมินโดยฟังก์ชันการประมวลผลล่วงหน้า commercial product และ ASR module evaluation

งานวิจัยเรื่อง Efficient embedded speech recognition for very large vocabulary Mandarin car-navigation systems [17] บทความนี้นำเสนออัลกอริทึมการถอดรหัสอย่างรวดเร็วใหม่สำหรับระบบรู้จำเสียงพูดภาษาจีนกลางซึ่งสามารถประมวลผลรายการนับแสนรายการพร้อมกันและรักษาความแม่นยำในการจดจำได้สูง อัลกอริทึมที่เสนอสร้างโครงสร้างเครือข่ายการค้นหาที่ต้นไม้มัน โดยใช้กฎการออกเสียงภาษาจีนกลางเพื่อหลีกเลี่ยงการจับคู่พยางค์ที่ซ้ำกันและบันทึกหน่วยความจำซ้ำซ้อน ขึ้นอยู่กับระบบพื้นฐานการค้นหาแสงกว้างสองขั้นตอนอัลกอริทึมใช้กลยุทธ์การตัดความกว้างของคานและกลยุทธ์การตัดค่าระดับเฟรมแบบซิงโครนัสเพื่อลดเวลาการรับรู้ที่มีนัยสำคัญ อัลกอริทึมนี้มุ่งเป้าไปที่ระบบนำทางในรถยนต์ในประเทศจีนและจำลองในเวิร์กสเตชันพีซีมาตรฐาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอแนะช่วยลดเวลาในการจดจำได้เกือบ 6 เท่าและขนาดหน่วยความจำเกือบ 2 เท่าเมื่อเทียบกับระบบพื้นฐานและทำให้ความแม่นยำน้อยกว่า 1% สำหรับงานรับรู้คำ 200,000 คำ

งานวิจัยเรื่อง รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยระบบรู้จำเสียงพูด [18] ได้นำระบบรู้จำเสียงพูด (Speech Recognition) ใช้ในการควบคุมรถเข็นคนพิการให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ โดยกำหนดด้วยคำสั่ง 9 คำสั่ง ประกอบด้วยคำว่า เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา กิ่งซ้าย กิ่งขวา เร็วขึ้น ช้าลง และหยุด ซึ่งจะเป็นคำสั่งที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุตเข้าสู่ระบบ และระบบก็จะประมวลผลตัดสินใจและส่งค่าเอาท์พุต ออกไปควบคุมมอเตอร์เพื่อเคลื่อนรถเข็นคนพิการในทิศทางที่สั่ง ช่วยให้คนพิการสามารถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายปลายทางตามที่ต้องการ และช่วยทำให้เกิดความสะดวกสบายในการเดินทาง

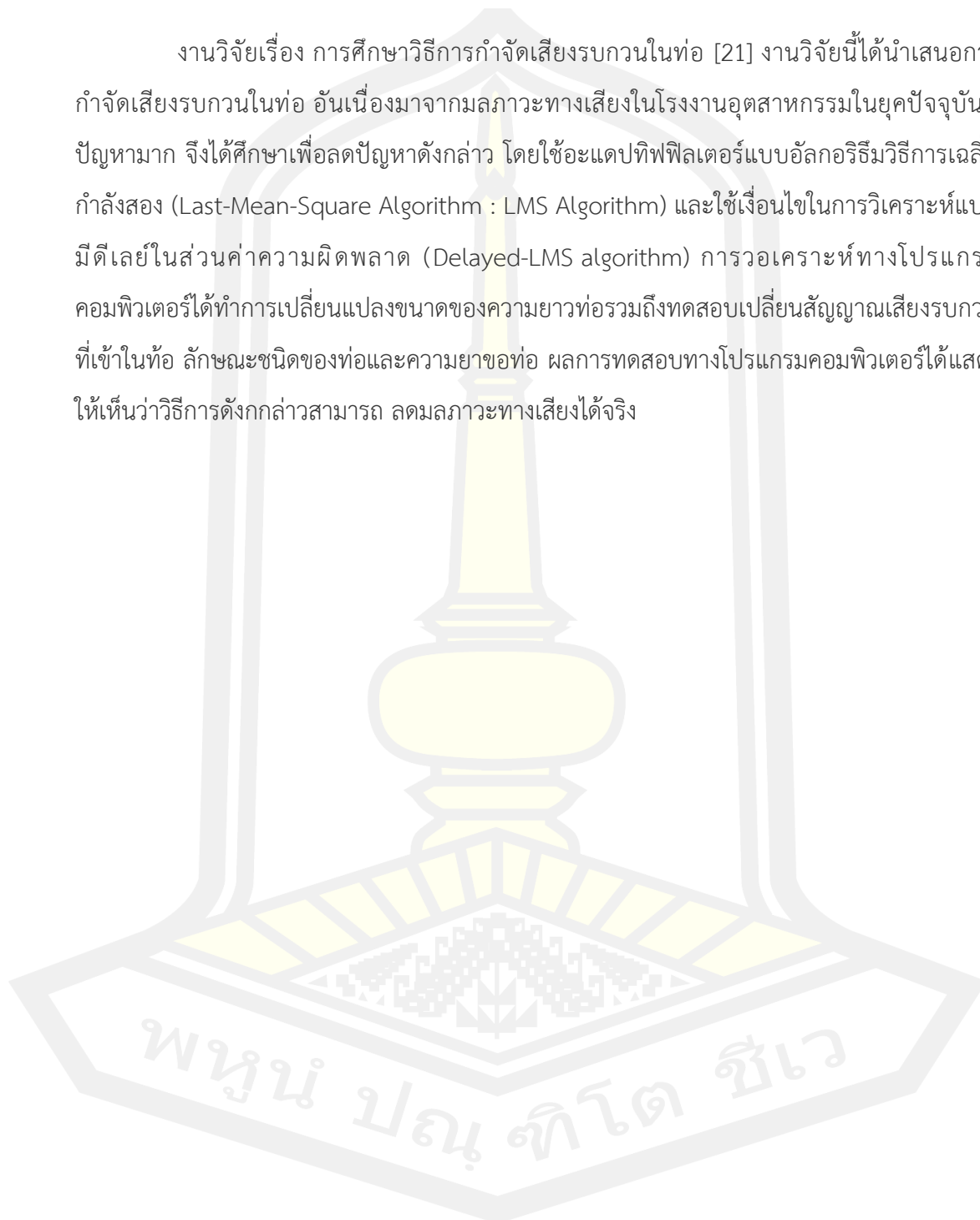
งานวิจัยเรื่อง ระบบการสื่อสารผ่านเสียงของคนกับเครื่องสำหรับใช้กับรถเข็นคนพิการอัตโนมัติ [19] งานวิจัยได้นำเสนอ ระบบการสื่อสารผ่านเสียงของคนกับ เครื่องสำหรับใช้กับรถเข็นคนพิการ โดยแบ่งคำแม่แบบที่จะรู้จำออกเป็น 2 ฐานข้อมูล เพื่อให้จำนวน คำที่ต้องรู้จำในแต่ละครั้ง น้อยลง แล้วใช้ไดอะแกรมสถานะเป็นตัวกำหนดว่าจะต้องรู้จำจากฐานข้อมูล ไດในแต่ละขั้นตอน วิธีการรู้จำคำแม่แบบในแต่ละสถานะ ประกอบด้วยการนำสัญญาณเสียงหา จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เพื่อการตัดคำ แล้วนำเข้าสู่ขั้นตอนการสกัดค่าคุณลักษณะคำสำคัญโดยใช้ เทคนิคสัมประสิทธิ์เซปตรัมบนสเกลเมล (MFCC) แล้วใช้ค่า MFCC ที่ได้มาเปรียบเทียบกับคำ แม่แบบที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยใช้เทคนิคไดนามิกไทม์แร็ปปิง (Dynamic Time Wrapping) (DTW) ในการเปรียบเทียบ แล้วหาคะแนนที่มีค่าต่ำที่สุดและต้องมีค่าไม่เกินค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้ ก่อน จึงถือว่าเป็นคำเดียวกันกับคำแม่แบบนั้น จากการทดสอบกับการสั่งงานคำสั่งแบบต่างๆ จำนวน 13 แบบรวมเป็น 65 ครั้ง พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถรู้จำได้ถูกต้องร้อยละ 87 เมื่อเทียบกับการใช้ ฐานข้อมูลเดี่ยวภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันพบว่าสามารถรู้จำได้ดีขึ้นร้อยละ 7

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบขั้นตอนวิธี LMS แบบปรับอันดับสำหรับลดการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง [20] ปัญหาหลักอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้เครื่องช่วยฟังคือ การเกิดเสียงหอน อันเนื่องมาจากการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวที่มีประสิทธิภาพและใช้กันโดยทั่วไปคือ การใช้วงจรกรองปรับตัวสร้างสัญญาณเลียนแบบสัญญาณป้อนกลับเพื่อหักล้างกับสัญญาณป้อนกลับที่เกิดขึ้นจริง โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองปรับตัวดังกล่าว โดยทั่วไปจะอาศัยขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุดแบบดั้งเดิมและกำหนดให้อันดับของวงจรกรองมีค่า คงที่ เนื่องจากขั้นตอนวิธีกำลังสองเฉลี่ยน้อยสุดแบบที่ไม่มีการปรับอันดับต้องมีการสูญเสียกำลังที่ค่อนข้างสูง ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้ในเครื่องช่วยฟังซึ่งใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ นอกจากนี้การสูญเสียกำลังงานสูงยังก่อให้เกิดปริมาณความร้อนสูง เพื่อที่จะลดปัญหาเรื่องการสูญเสียกำลังงานสูงดังกล่าว



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาทั้งระเบียบวิธี LMS Estimation via Structural Detection และโครงสร้างวงจรกรองแบบผสมระหว่าง Multiplex FIR และ Direct Form FIR

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาวิธีการกำจัดเสียงรบกวนในท่อ [21] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำจัดเสียงรบกวนในท่อ อันเนื่องมาจากมลภาวะทางเสียงในโรงงานอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันมีปัญหามาก จึงได้ศึกษาเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยใช้อะแดปทีฟฟิลเตอร์แบบอัลกอริธึมวิธีการเฉลี่ยกำลังสอง (Last-Mean-Square Algorithm : LMS Algorithm) และใช้เงื่อนไขในการวิเคราะห์แบบมีดีเลย์ในส่วนค่าความผิดพลาด (Delayed-LMS algorithm) การวิเคราะห์ทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาวท่อดังกล่าวทดสอบเปลี่ยนสัญญาณเสียงรบกวนที่เข้าในท่อ ลักษณะชนิดของท่อและความยาวของท่อ ผลการทดสอบทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวสามารถ ลดมลภาวะทางเสียงได้จริง



### บทที่ 3

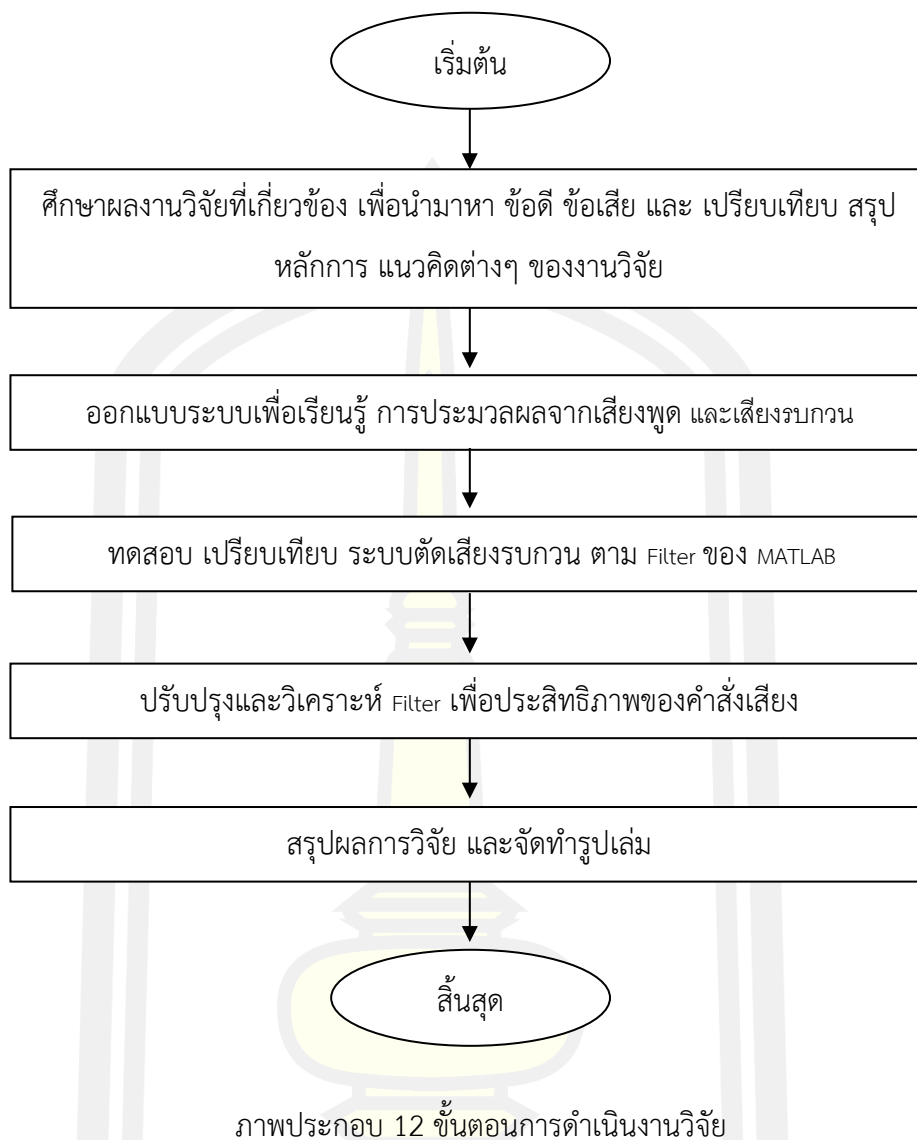
#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากบทที่ 2 ได้ให้ข้อมูล หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาประสิทธิภาพคำสั่งเสียงในระบบนำทางรถยนต์ โดยคำสั่งของเสียงที่ได้รับจากผู้ใช้ในขณะขับซึ่งยังคงมีการสั่งงานซ้ำเพื่อให้ระบบนำทางทำงานตามที่ต้องการ ดังนั้นประสิทธิภาพ ความถูกต้องของคำสั่งเสียงยังเป็นเรื่องที่ควรพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญและนำเป็นงานวิจัยในครั้งนี้ ในบทนี้จะนำเสนอเนื้อหาในส่วนของ การดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
- 2) เครื่องมือ และโปรแกรมในการออกแบบการทดสอบ
- 3) การวิเคราะห์ผลและทดสอบประสิทธิภาพ

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการวางแผนการดำเนินงานวิจัยในการพัฒนาประสิทธิภาพคำสั่งเสียงในระบบนำทางรถยนต์ โดยการตัดเสียงรบกวนเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ถูกต้อง ภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมในการเดินทางของรถยนต์ และตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคำสั่งเสียง ซึ่งในการประมวลผลคำสั่งเสียงจะต้องมีตัวกรองเสียงเพื่อให้ได้เสียงที่มีความถี่ในช่วงที่ต้องการ สามารถกำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานได้ดังแสดงในภาพประกอบ 12



### 3.2 เครื่องมือ และโปรแกรมในการออกแบบการทดสอบ

#### 3.2.1 สัญญาณรบกวนของสัญญาณเสียง

การนำเข้าข้อมูลของสัญญาณ เกิดจากการแปลงจากอวัยวะผลิตเสียงที่แตกต่างกันของมนุษย์แต่ละคนที่แปลงเสียงผ่านในขณะที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ในการเดินทางในขณะที่ขับรถยนต์โดยการใช้การสั่งการระบบนำทางก็เช่นกัน ปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดเสียงรบกวนเครื่องปรับอากาศ เสียงรถผ่าน ล้วนก็ก่อให้เกิดเสียงรบกวนขึ้นมาได้ทั้งนั้น นั้นปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ นำมาซึ่งสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การประมวลผลสัญญาณเสียงพูด เพื่อใช้ในการรู้จำเสียง หรือสั่งงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยเสียง เกิดความผิดพลาดได้ง่าย

จึงมีความจำเป็นต้องการลดสัญญาณรบกวนเสียงพูด ก่อนการประมวลสัญญาณเสียงทุกครั้ง การลดสัญญาณรบกวนเสียงพูด สามารถทำได้ 2 แบบ ได้แก่ การลดสัญญาณรบกวนในโดเมนเวลา (Time-domain) และการลดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่ (Frequency-domain)

### 3.2.1.1 การลดสัญญาณรบกวนในโดเมนเวลา (Time-domain)

การลดสัญญาณรบกวนเวลาในโดเมนเวลาสามารถทำได้โดยใช้วิธีเน้นสัญญาณ (Pre-emphasis) หรือกรองความถี่สูงผ่าน High pass filter :  $H(z)$  ดังสมการ (2) ที่ใช้หลักการ z-transform ในการแปลงสมการที่ 2 ให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายในสมการที่ (3)

$$H(z) = 1 - \alpha z^{-1} \quad (18)$$

$$y[n] = x[n] - \alpha[n - 1], \quad (19)$$

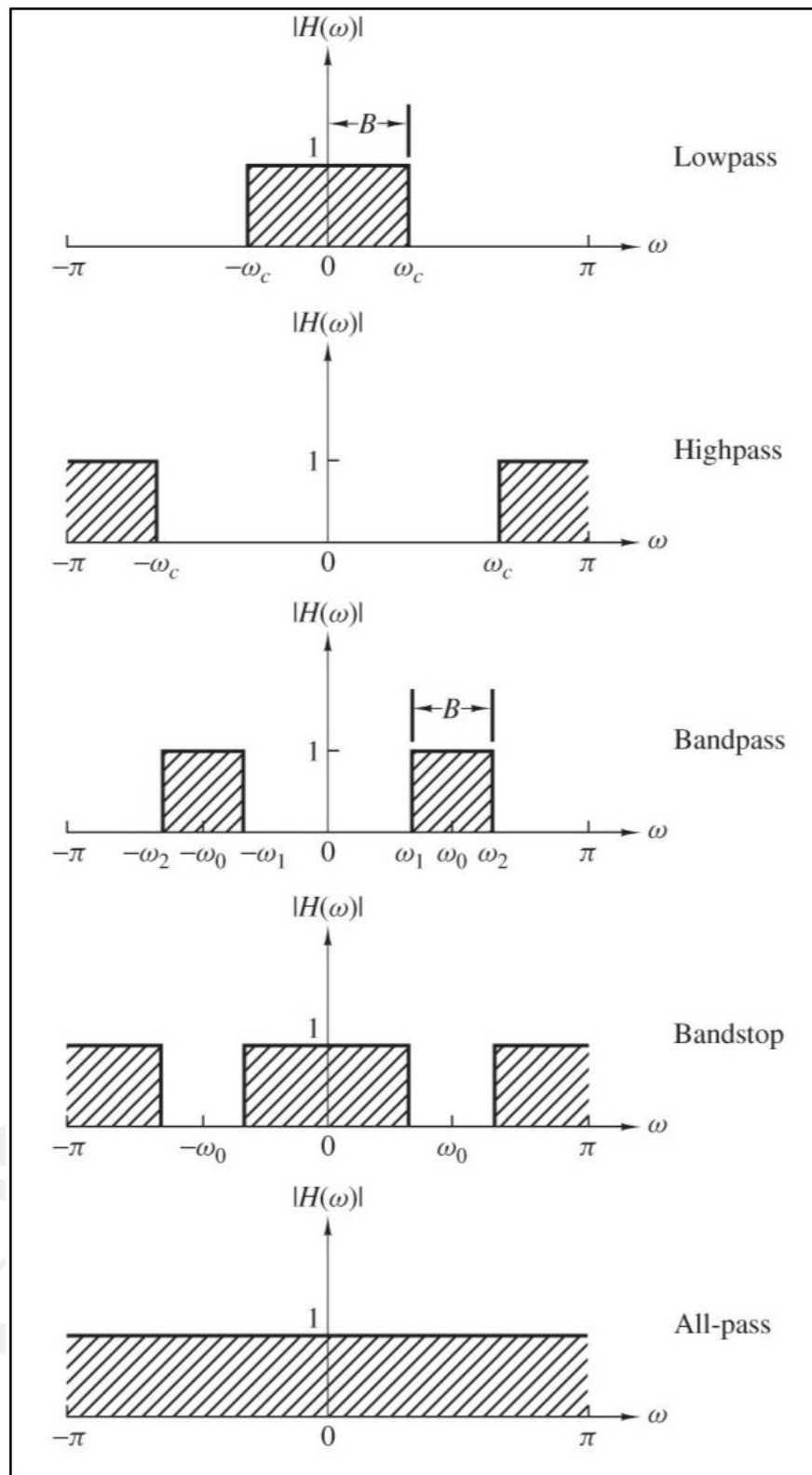
โดย  $\alpha$  อยู่ในช่วง 0.9 ถึง 1

$y[n]$  = สัญญาณเสียง Output หลังการทำ Pre-emphasis

$x[n]$  = สัญญาณเสียง Input ก่อนการทำ Pre-emphasis

### 3.2.1.2 การลดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่ (Frequency-domain)

การลดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่ สามารถทำได้ด้วยวิธีการอย่างแพร่หลาย เช่น การกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) การกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) การกรองความถี่ที่ต้องการผ่าน (Band pass filter) และการกรองความถี่ที่ไม่ต้องการผ่าน (Band stop หรือ Band-elimination filter) ซึ่งอธิบายได้แสดงในภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 การกรองความถี่ในอุดมคติแบบต่างๆ

### 3.2.2 Matlab (แมทแล็บ)

Matlab (แมทแล็บ) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มาพร้อมด้วยสภาพแวดล้อมการทำงานเชิงโต้ตอบ ซึ่งสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วมากกว่าภาษาคอมพิวเตอร์สมัยก่อน เช่น ภาษา C (ซี) , ภาษา C++ หรือ ภาษา Fortran (โฟแทน) Matlab เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข Numerical Computing แสดงผลกราฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง และแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัว Matlab ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Toolbox กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็ว

เราสามารถนำ Matlab ไปประยุกต์ใช้งานได้หลายสาขา ทั้ง การประมวลผลสัญญาณ Signal Processing (ซิกแนล โพรเซสซิ่ง) การสื่อสาร Communication การประมวลผลภาพและวิดีโอ Image and Video Processing ระบบควบคุม Control System การวัดและควบคุม Instruments and Control การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ Economic การคำนวณทางชีววิทยา Biology และอื่น ๆ

ข้อดีของ MATLAB ที่เหมาะสมกับการทำงานทางด้านวิศวกรรม

1. MATLAB เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูง
2. MATLAB จะควบคุมการทำงานด้วยชุดคำสั่งและยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมได้อีกด้วย
3. MATLAB มี function (ฟังก์ชัน) ที่เหมาะสมกับงานทางวิศวกรรมพื้นฐานมากมาย นอกจากนั้นผู้ใช้อย่างยังสามารถเขียน function ขึ้นมาใหม่โดยสามารถใช้ประโยชน์จาก function ที่มีอยู่แล้วเพื่อให้เหมาะสมกับงานของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม
4. ลักษณะการเขียนโปรแกรมใน MATLAB จะใกล้เคียงการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ที่เราคุ้นเคย จึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาขั้นสูงเช่น C, FORTRAN หรืออื่น ๆ
5. MATLAB มีความสามารถในการเขียนกราฟและรูปภาพทั้ง 2 มิติและ 3 มิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. MATLAB สามารถทำ Dynamic Link กับโปรแกรมอื่น ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็น Word (เวิร์ด) Excel (เอ็กเซล) หรืออื่น ๆ ที่ร่วมทำงานอยู่บน windows (วินโดว)

7. MATLAB มี toolbox) หรือชุด function พิเศษสำหรับผู้ที่ใช้ที่ต้องการใช้งานเฉพาะทางหรืองานด้านวิศวกรรมขั้นสูงอื่น ๆ

### 3.2.3 การออกแบบการทดลอง

ออกแบบระบบตัดเสียงรบกวน MATLAB โดยใช้ Filters พื้นฐานได้แก่ Butterworth, Chebyshev1, Chebyshev2 และ Elliptic โดยใช้ข้อมูลเสียงพูดปี 2018 จาก <https://storage.googleapis.com/download.tensorflow.org/data> จำนวน 9 ชุดคำพูด (Wording) ชุดละ 25 คำพูด โดยแยกตาม เพศ อายุ และเสียงรบกวน (Noise) ของรถยนต์ที่พบได้ในสภาพแวดล้อมทั่วไปเสียง 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นออกแบบระบบตัดเสียงรบกวน โดยการปรับค่า Order Filter : N, Cut-off frequency : Fc โดยยึดตามความถี่ของเสียงรบกวน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงคำพูดและเสียงรบกวน

Voices sound		Frequency Of Voices sound
Type	Sound	
Wording	Go	
	Left	
	No	
	Off	
	Right	
	Stop	
	Up	
	Yes	
Noise	Driving	
	Heater	
	Passing	

ตาราง 4 แสดงการปรับค่าของ Filter

Noise	Cut-off frequency [Fc]	Sampling frequency [Fs]	Order of filter			
			Butterworth	Chebyshev1	Chebyshev2	Elliptic
Driving						
Heater						
Passing						

### 3.3 การวิเคราะห์ผลและทดสอบประสิทธิภาพ

จากความมุ่งหมายของงานวิจัย เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของคำสั่งเสียงในระบบนำทางรถยนต์ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความถี่เสียงในการพูดแต่ละครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ ใน MATLAB ด้วย Filter เพื่อตัดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานของผู้ใช้ ให้มีความถูกต้อง แม่นยำ โดยนำข้อมูลความถี่เสียง มาเทียบคำสั่งเสียงในระบบ ประเมิน และนำมาวิเคราะห์ผลของความถี่ของ Noise ที่ Filter ออกไป จาก กราฟความชันเพื่อหาค่าที่มีค่าใกล้เคียงค่าอุดมคติมากที่สุด





## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ชุดข้อมูลเสียง

การทดสอบหาความถูกต้องของคำพูด และตัดเสียงรบกวนของเสียง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจำนวน 9 ชุดข้อมูล จาก <https://storage.googleapis.com/download.tensorflow.org/data> มาใช้ในการหาความสัมพันธ์ เพื่อนำวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และความถี่ของคลื่นเสียง แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตาราง 5 แสดงชุดข้อมูลเสียงที่ใช้ในการวิเคราะห์

Voice Name	Reference Database	Quantity file (2018)
Go	Copyrights Google 2018	3880
Left	Copyrights Google 2018	1575
No	Copyrights Google 2018	3941
Off	Copyrights Google 2018	3745
On	Copyrights Google 2018	3845
Right	Copyrights Google 2018	3778
Stop	Copyrights Google 2018	3872
Up	Copyrights Google 2018	2375
Yes	Copyrights Google 2018	2377

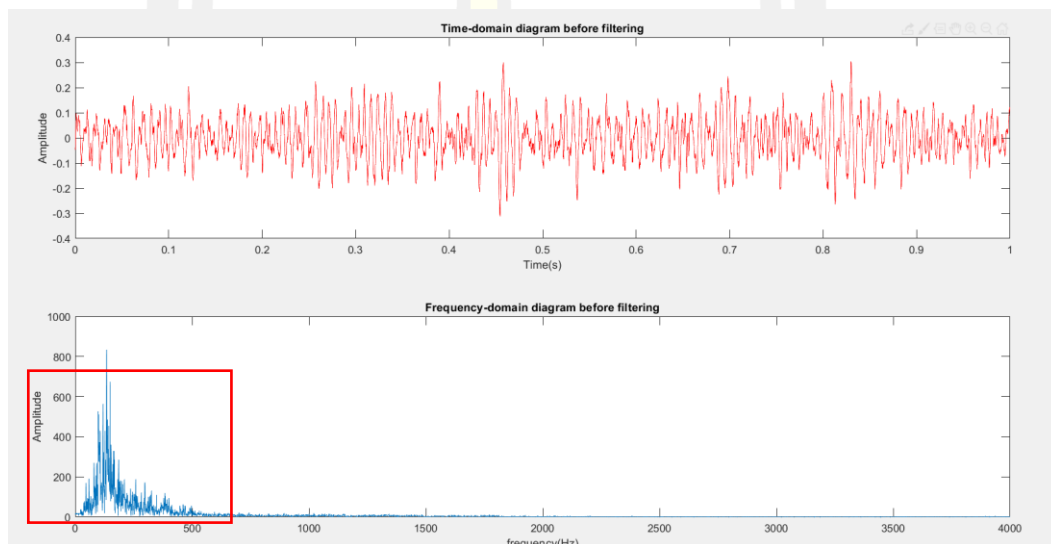
จากตารางที่ 5 แสดงถึงจำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อเทียบหาความสัมพันธ์ ของช่วงความถี่ของคลื่นเสียง ซึ่งจะใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ความถูกต้องของเสียง

### 4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคลื่นเสียง

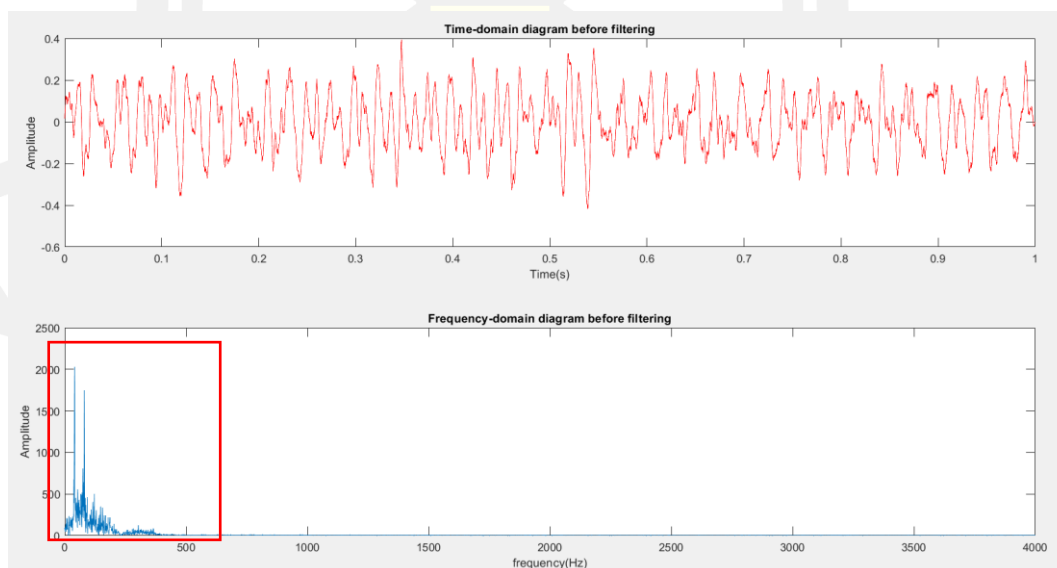
หลังจากที่ได้ชุดข้อมูลทั้ง 9 ชุด และเสียงรบกวนแล้ว ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเสียง โดยการใช้ โปรแกรม Matlab plot กราฟ Time- domain และ ใช้ Fast Fourier Transform : FFT แปลงเป็น Frequency- domain เพื่อดูช่วงของความถี่นั้น ๆ

การพัฒนาประสิทธิภาพการส่งการด้วยเสียงสำหรับระบบนำทางรถยนต์ ด้วยวิธีการตัดเสียงรบกวนของรถยนต์ขณะขับซี ให้สามารถส่งการด้วยเสียงถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาเสียงรบกวนที่มักจะเกิดขึ้นในรถยนต์ มีอยู่ 3 ประเภท คือ Car Driving , Car Heater และ Car Passing ซึ่งเมื่อนำมา plot กราฟของ Time- domain โดยใช้ function : audioread() และ Frequency- domain ผ่าน function : fft() เครื่องมือบน MATLAB เพื่อหาช่วงของความถี่ จะได้ตามภาพประกอบ 14,15 และ 16 ตามลำดับ

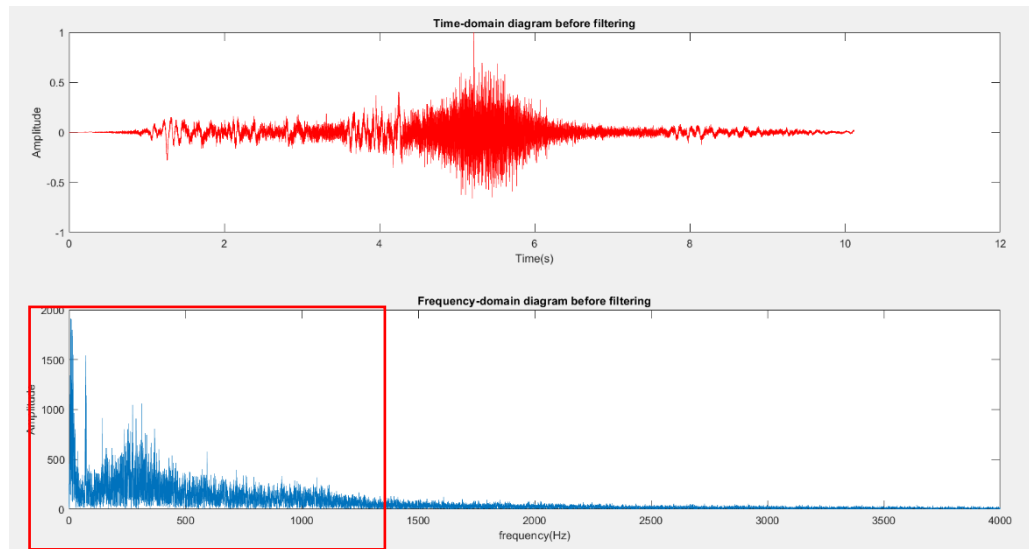
## Noise



ภาพประกอบ 14 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Driving



ภาพประกอบ 15 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Heater

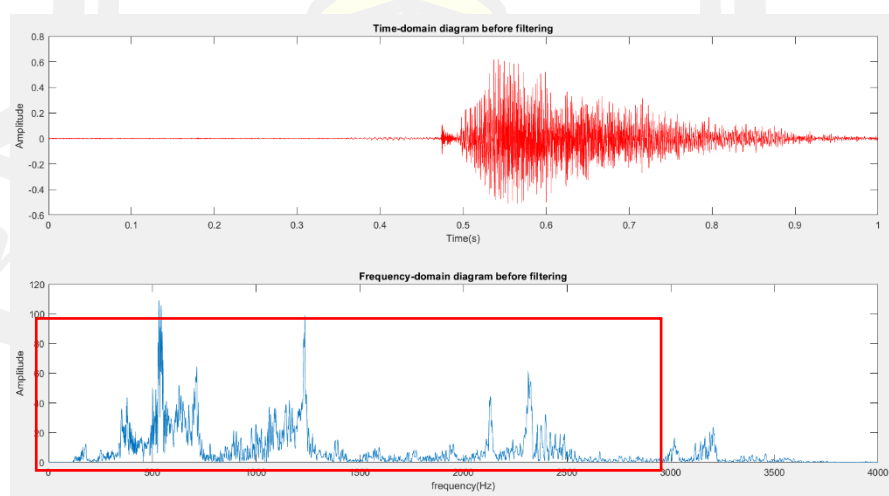


ภาพประกอบ 16 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของ Noise Car Passing จากนั้นจะใช้ข้อมูลเสียงพูดจำนวน 9 ชุดคำสั่งสำหรับระบบนำทางรถยนต์ ซึ่งแต่ละชุดจะมีคำสั่งที่แตกต่างกัน ตาม เพศ อายุ จากฐานข้อมูล ปี 2018 จาก

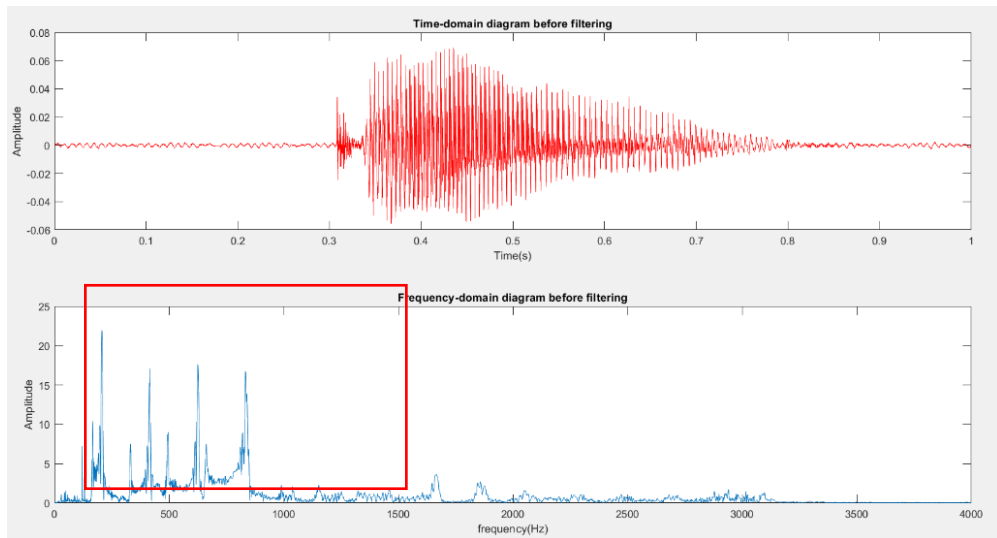
<https://storage.googleapis.com/download.tensorflow.org/data> แล้วนำมา plot กราฟของ Time - domain และ Frequency- domain เพื่อหาช่วงของความถี่ จะได้ตามภาพประกอบ ของ Wording

Wording

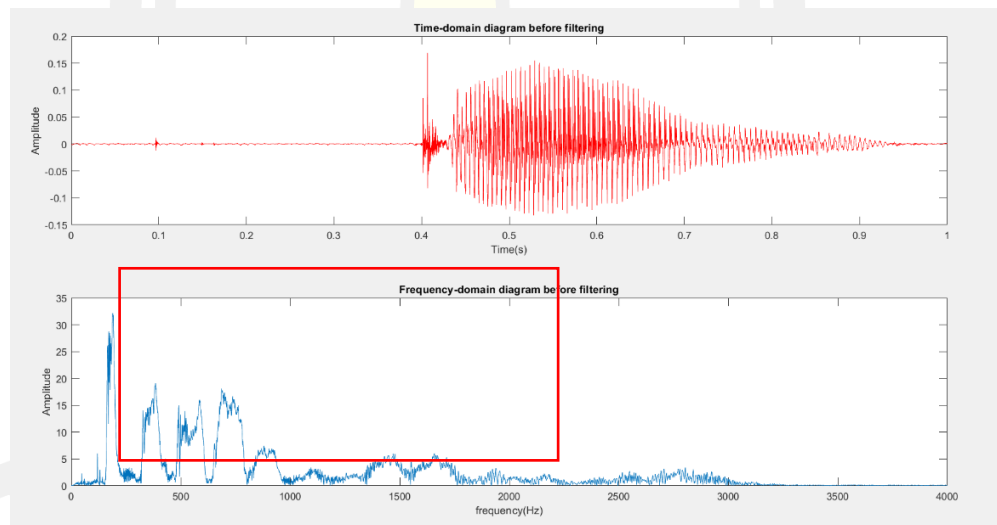
### 1. Go



ภาพประกอบ 17 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 1

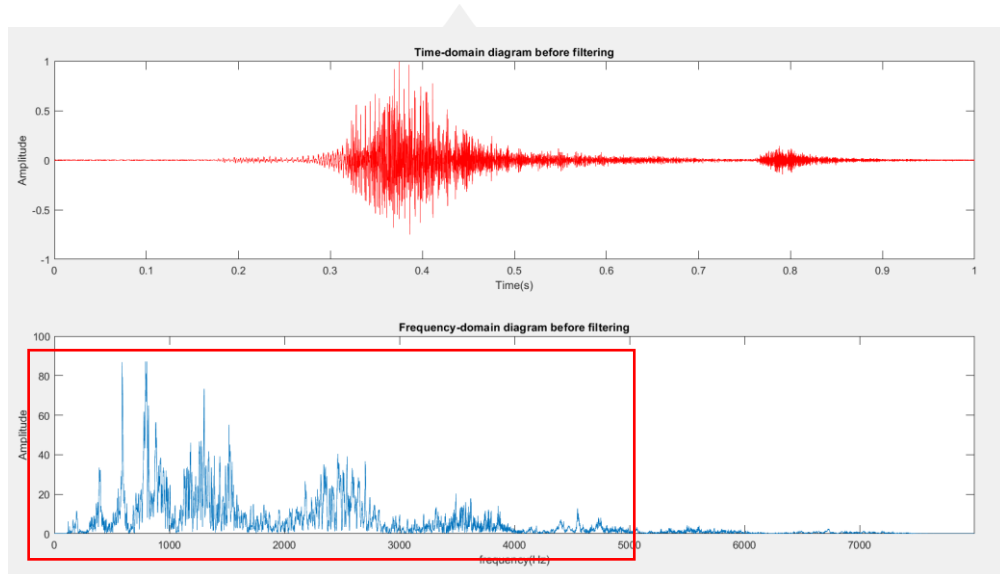


ภาพประกอบ 18 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 2

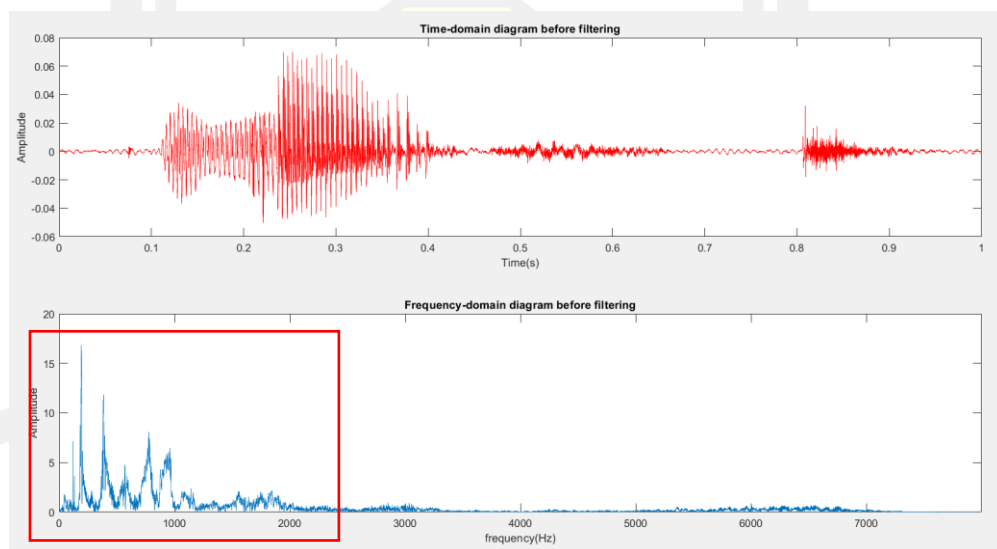


ภาพประกอบ 19 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” คำสั่งที่ 3

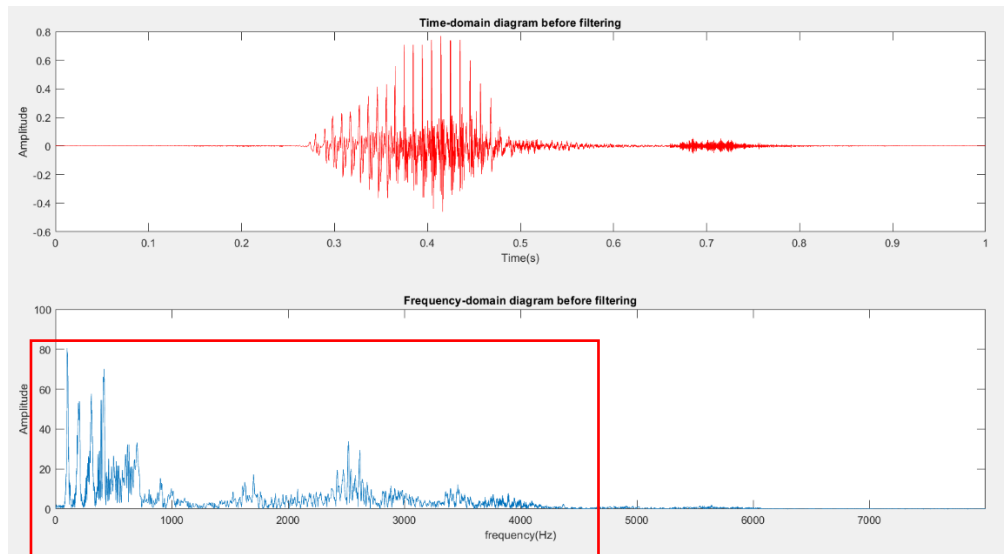
## 2. Left



ภาพประกอบ 20 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 1



ภาพประกอบ 21 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 2

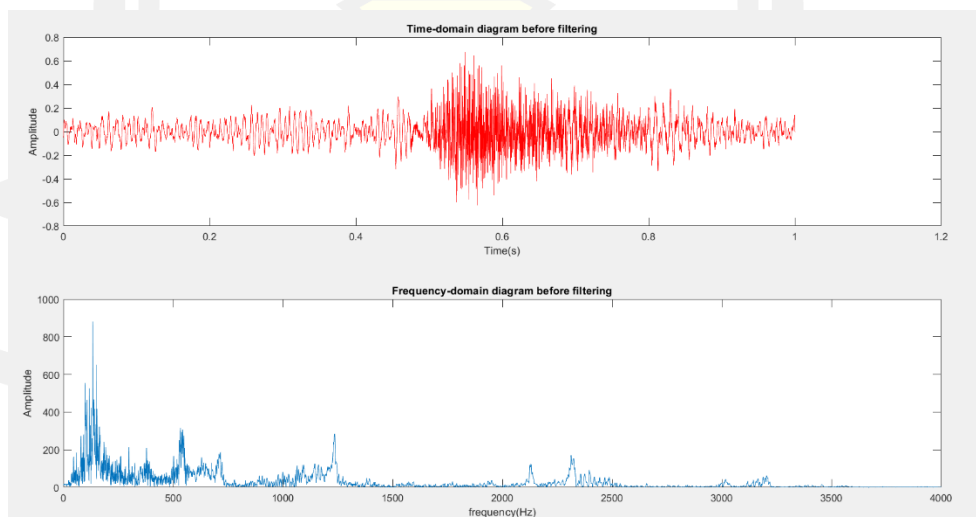


ภาพประกอบ 22 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” คำสั่งที่ 3

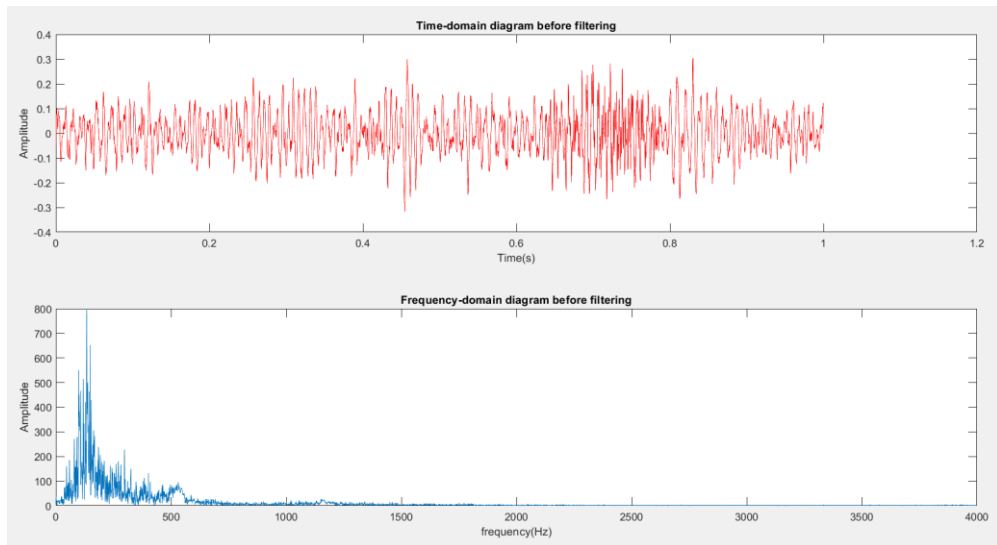
เมื่อนำ Wording มารวมกับ Noise เพื่อนำมา plot กราฟของ Time- domain และ Frequency- domain เพื่อหาช่วงของความถี่ จะได้ตามภาพประกอบ ของ Mixing Noise with Wording

### Mixing Noise with Wording

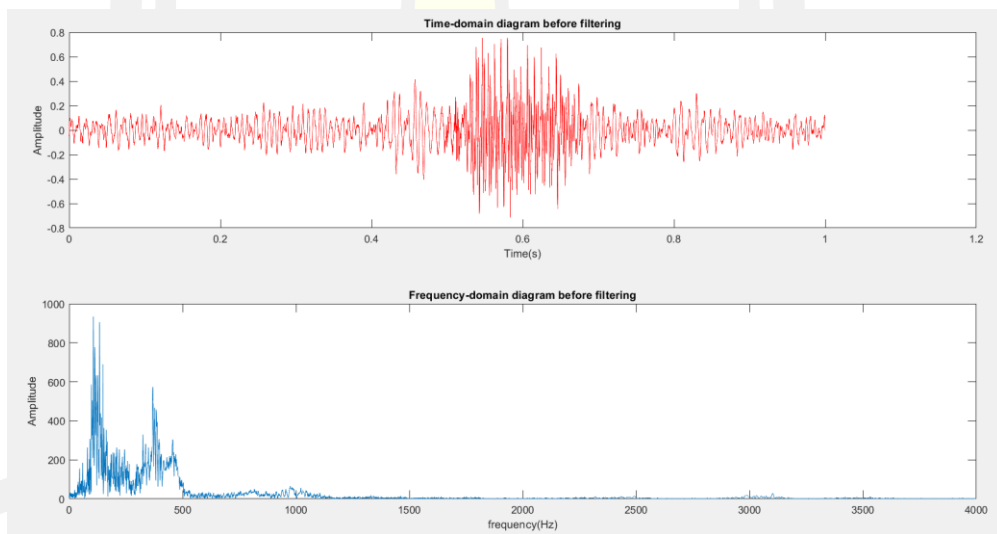
#### 1. Go + Driving Noise



ภาพประกอบ 23 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1

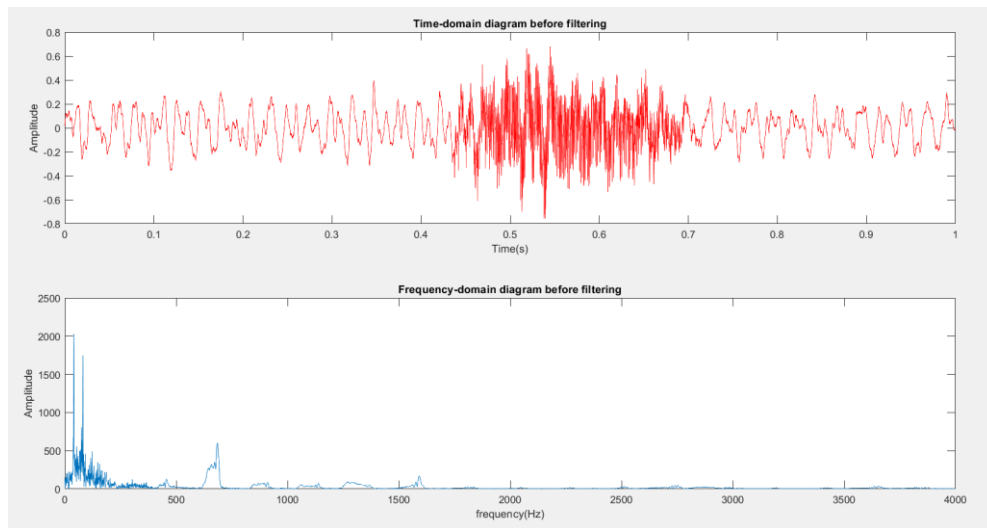


ภาพประกอบ 24 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2

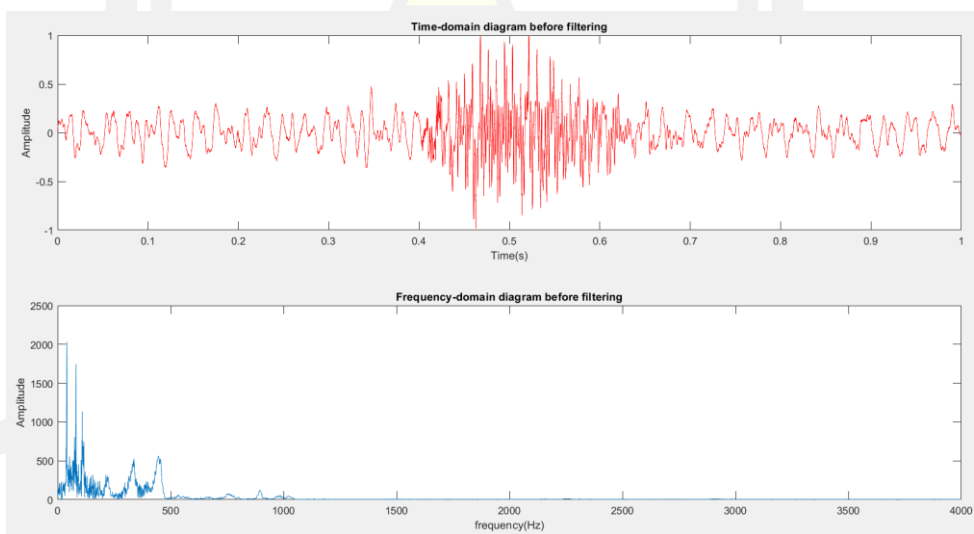


ภาพประกอบ 25 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3

## 2. Go + Heater Noise

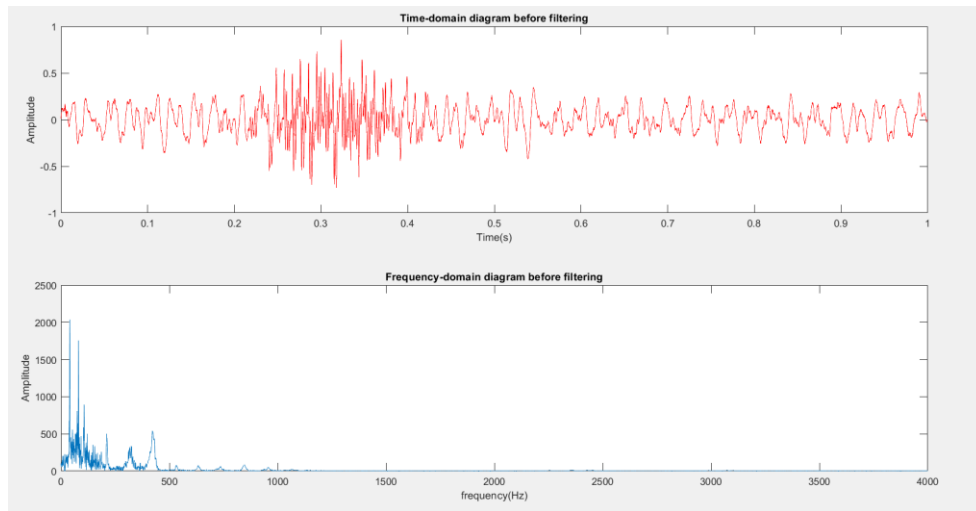


ภาพประกอบ 26 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1



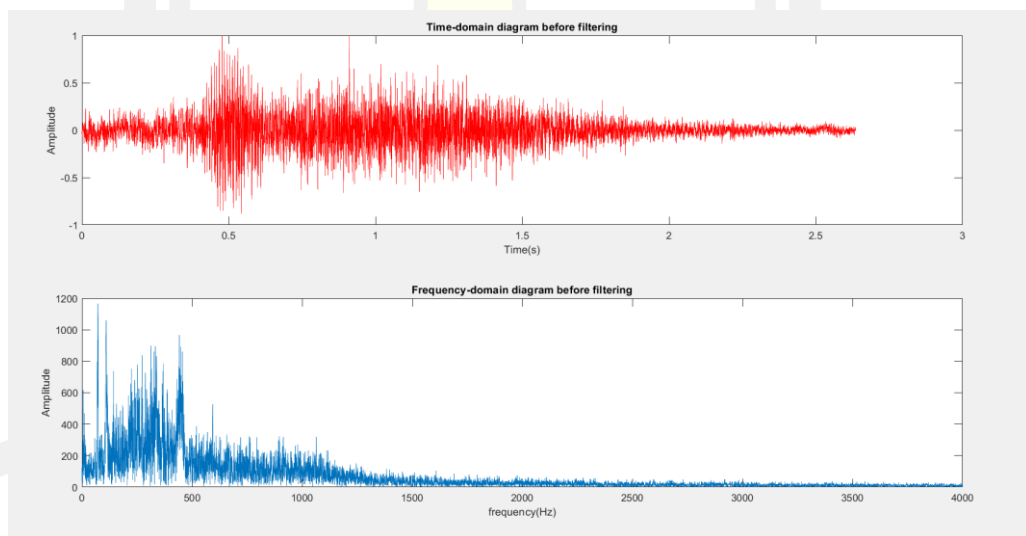
ภาพประกอบ 27 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2



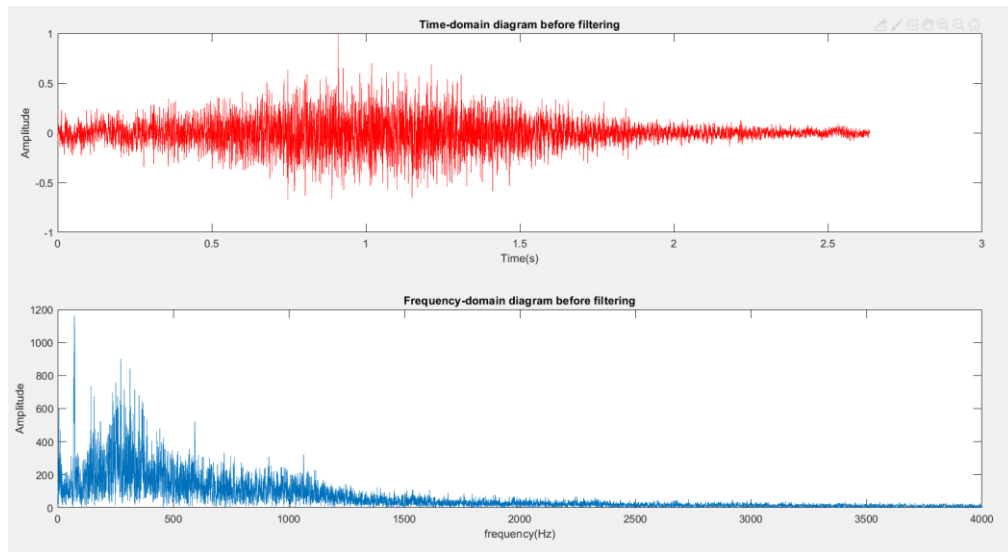


ภาพประกอบ 28 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3

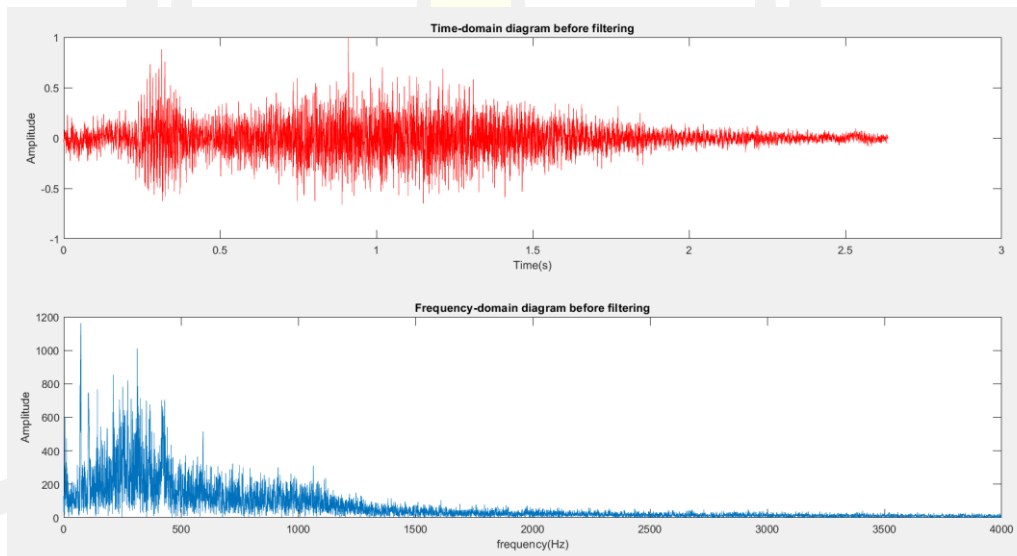
### 3. Go + Passing Noise



ภาพประกอบ 29 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 1

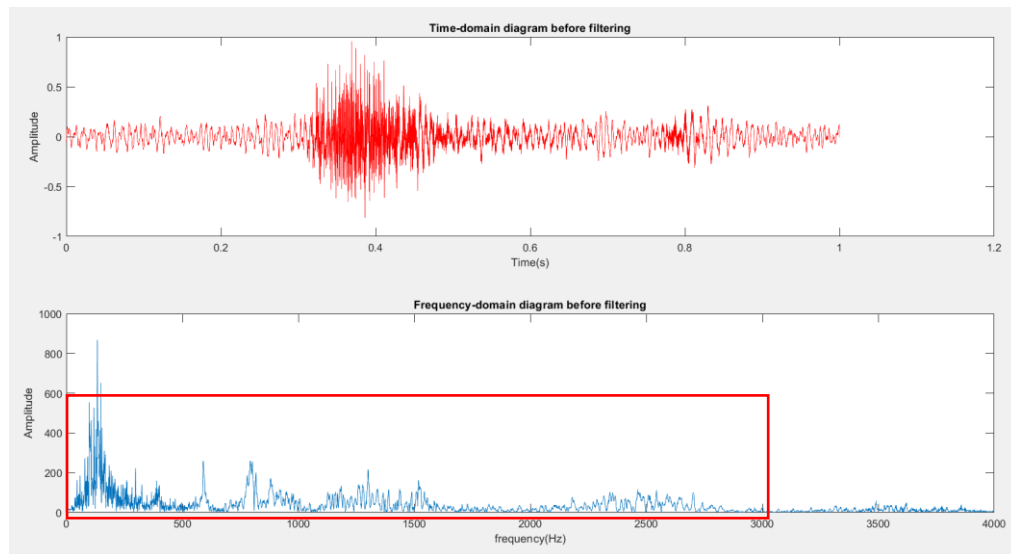


ภาพประกอบ 30 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 2

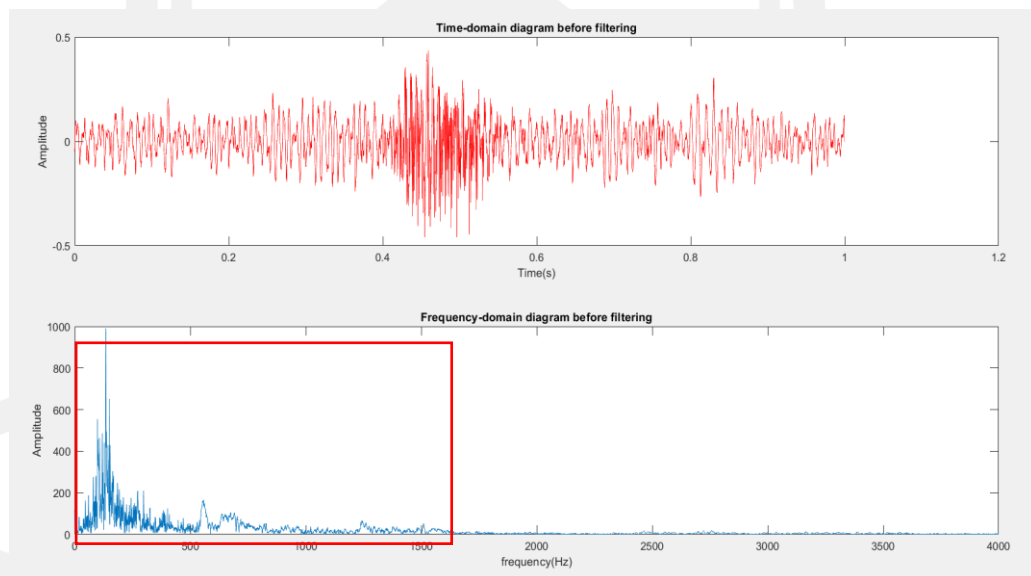


ภาพประกอบ 31 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Go” และมีเสียงรบกวน “Passing Noise” รวมด้วย คำสั่งที่ 3

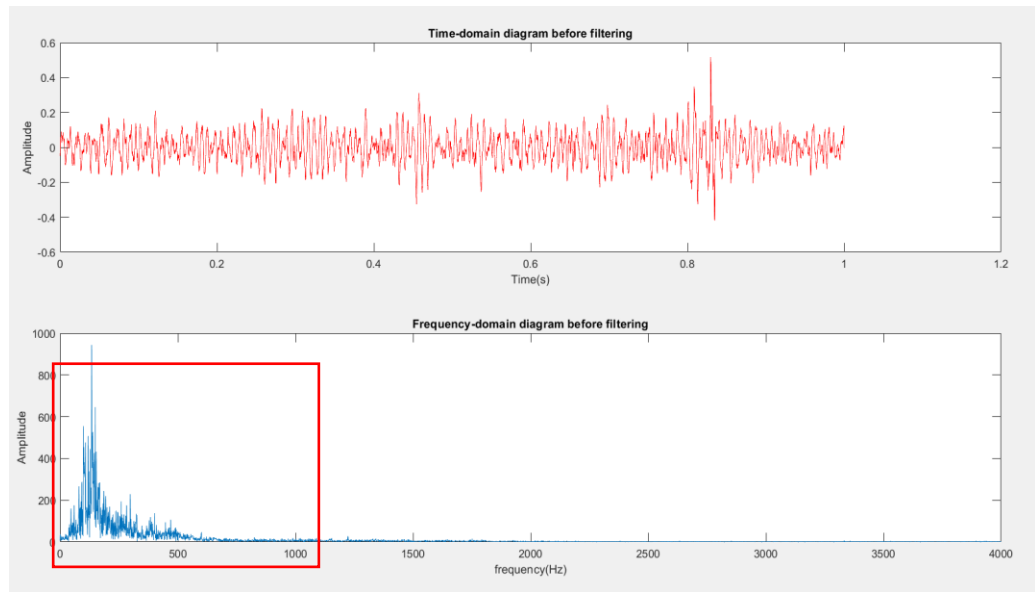
## 4. Left + Driving



ภาพประกอบ 32 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1

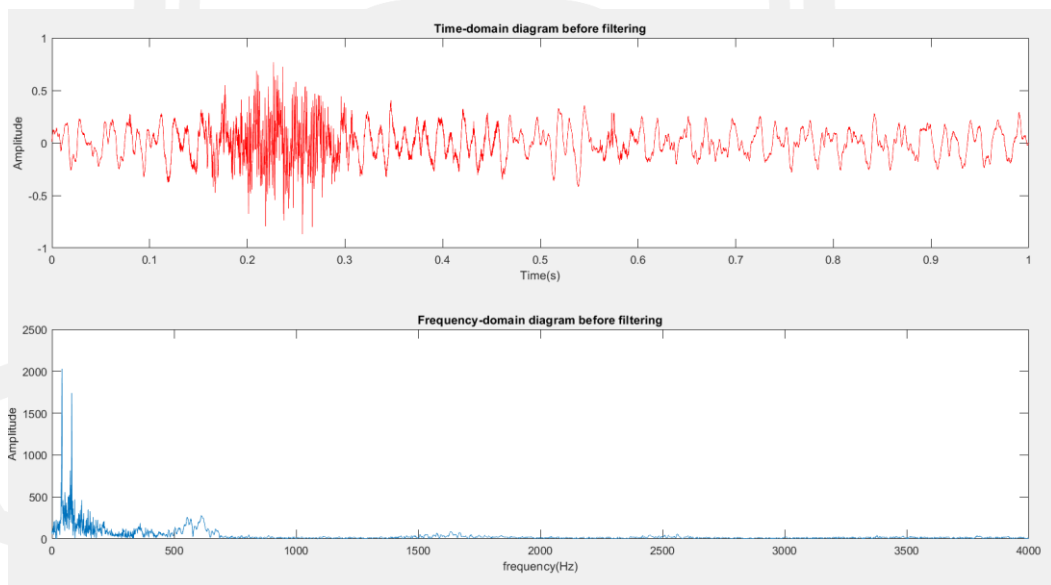


ภาพประกอบ 33 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2

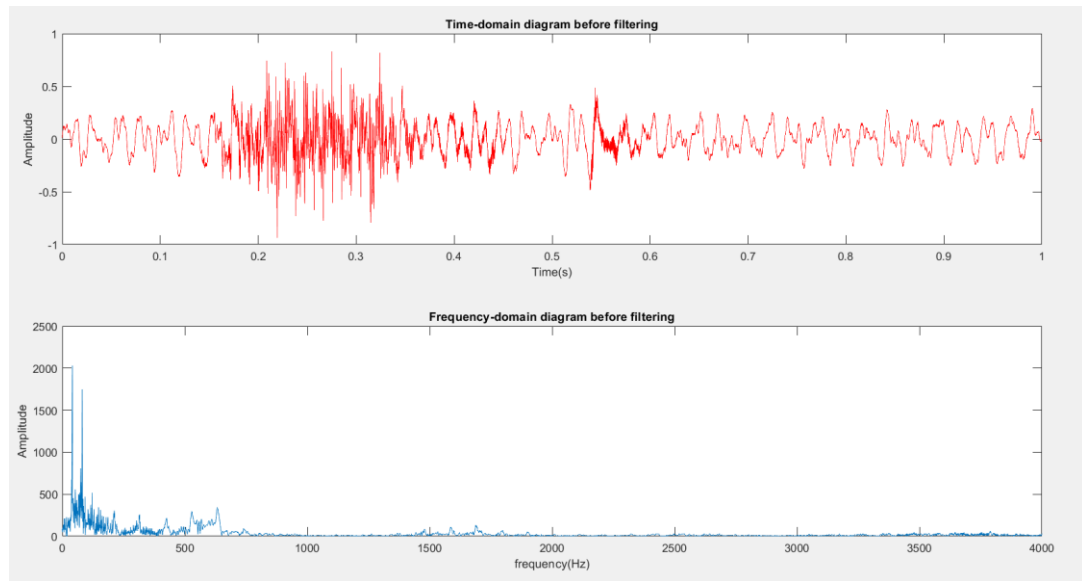


ภาพประกอบ 34 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Driving Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 3

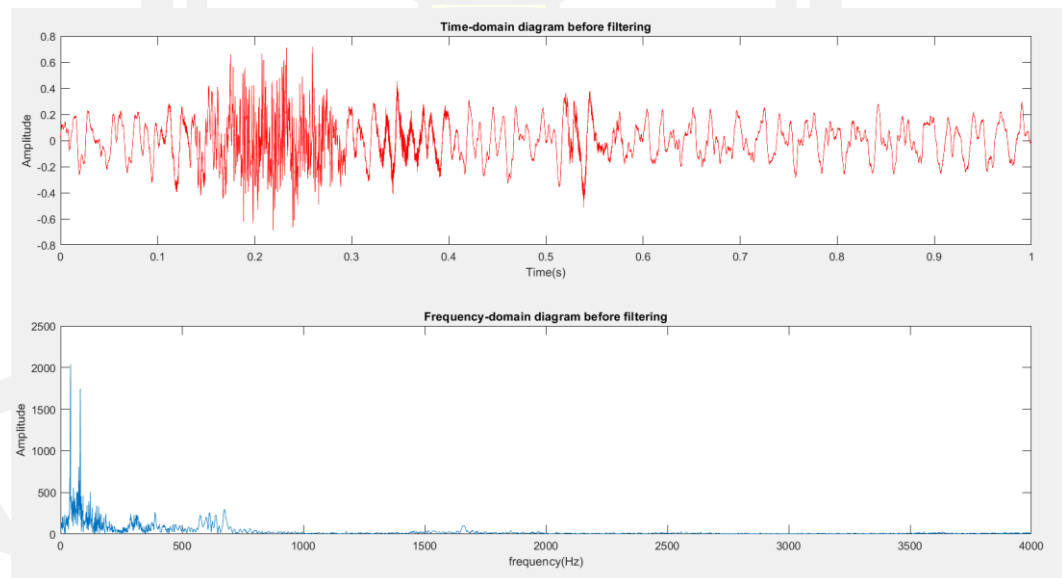
#### 5. Left + Heater Noise



ภาพประกอบ 35 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1

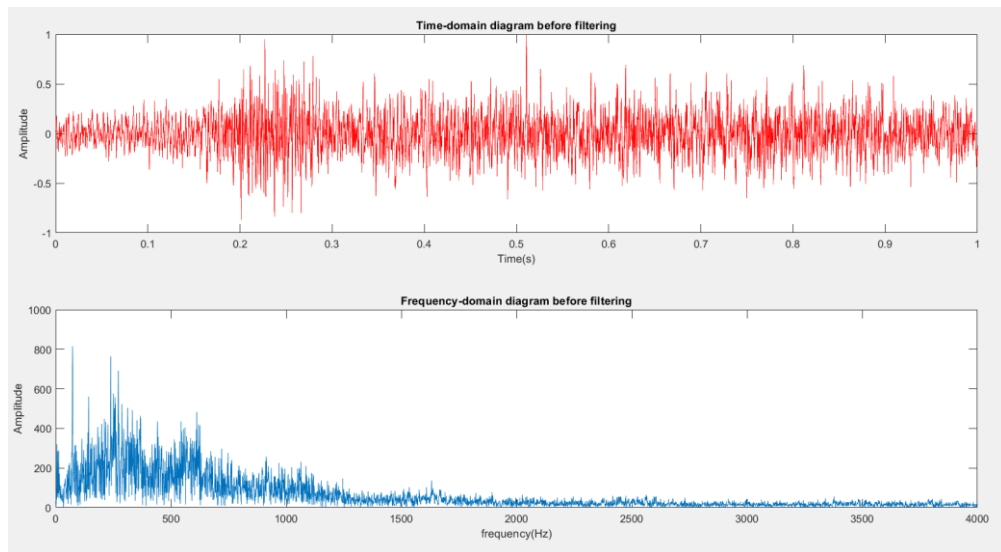


ภาพประกอบ 36 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2

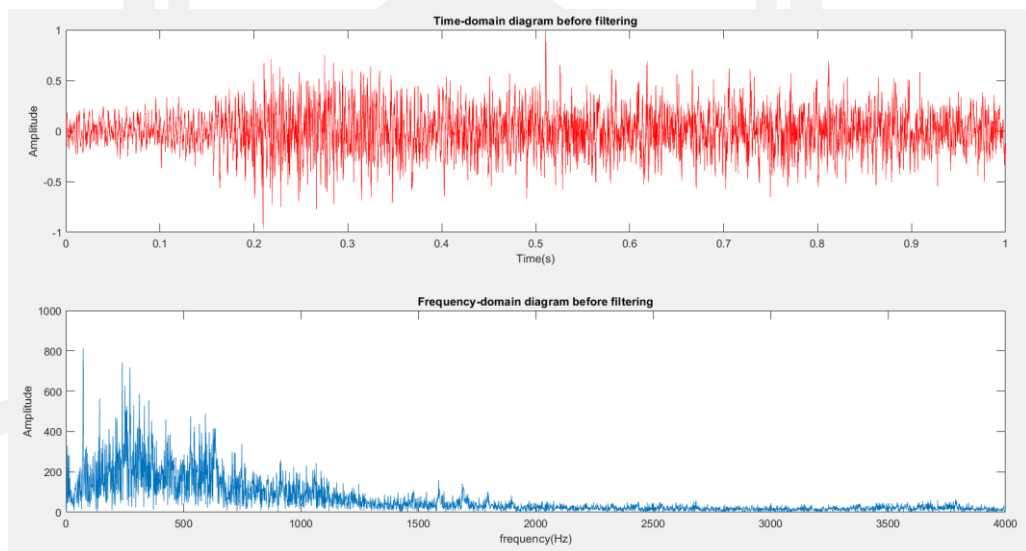


ภาพประกอบ 37 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 3

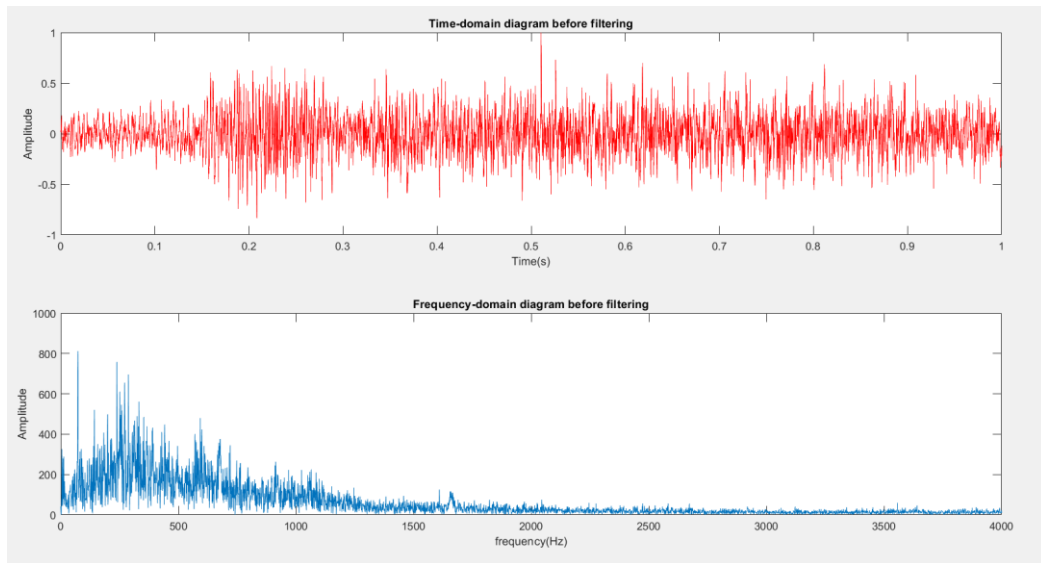
## 6. Left + Passing Noise



ภาพประกอบ 38 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 1



ภาพประกอบ 39 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2



ภาพประกอบ 40 แสดง Time- domain และ Frequency- domain ของคำสั่ง “Left” และมีเสียงรบกวน “Heater Noise รวมด้วย คำสั่งที่ 2

จากการวิเคราะห์สัญญาณของความถี่เสียงของไฟล์เสียงทั้งหมดจะได้ตารางสรุปความถี่ของเสียงต่าง ๆ ดังตารางที่ 6

ตาราง 6 ความถี่ของสัญญาณเสียงทั้งหมด จำนวน 225 ไฟล์

Voices sound		Frequency of voice sound (Hz)
Type	Sound	
Wording	Go	200 - 3500
	Left	150 - 2600
	No	200 - 1400
	Off	200 - 1900
	On	200 - 1500
	Right	360 - 3900
	Stop	190 - 4500
	Up	160 - 4300
	Yes	200 - 4500
Noise	Driving Noise	20 - 580
	Heater Noise	4 - 430
	Passing Noise	10 - 1000

จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความถี่ของคลื่นเสียงรบกวนที่เกิดขึ้น จะอยู่ในช่วง 4 – 1000 Hz และความถี่ของเสียงพูดจะอยู่ในช่วงประมาณ 50 – 4500 Hz ซึ่งความถี่จะอยู่ในช่วงความถี่สูง ดังนั้นเมื่อต้องการ Filter ตัดเสียงสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้เสียงที่ต้องการ จึงใช้ High pass filter เพื่อให้ความถี่ของเสียงพูดผ่านเข้าไปได้ แล้วนำมา plot กราฟ ด้วย Filter พื้นฐาน ใน MATLAB คือ Butterworth, Chebyshev1, Chebyshev2 และ Ellipt โดยการทำหนดค่า Filter order [N], Cut-off [Fc]

### Filtering Noise

การตัดเสียงรบกวนจะใช้ Filter พื้นฐานบน MATLAB เพื่อใช้หาค่า ที่เหมาะสมในการตัดเสียงรบกวน จะได้จาก method ดังต่อไปนี้

$$[N,Wn] = \text{buttord}(Wp,Ws,Rp,Rs)$$

$$[N,Wn] = \text{cheb1ord}(Wp,Ws,Rp,Rs)$$

$$[N,Wn] = \text{cheb2ord}(Wp,Ws,Rp,Rs)$$

$$[N,Wn] = \text{ellipord}(Wp,Ws,Rp,Rs)$$

โดยที่

N คือ Order filter

Wn คือ Cut-off frequency must be  $0.0 < Wn < 1.0$ , with 1.0 corresponding to half the sample rate.

Rp คือ Pass band attenuation

Rs คือ Stop band attenuation

Wp คือ Normalized the frequencies of pass band

ได้จาก

$$Wp = \frac{\text{Frequency of pass band}}{\text{Sampling rate}/2} \quad (20)$$

Ws คือ Normalized the frequencies of stop band

ได้จาก

$$Ws = \frac{\text{Frequency of stop band}}{\text{Sampling rate}/2} \quad (21)$$



จากความถี่ของสัญญาณเสียง จะได้

$$R_p = 3 \text{ dB}$$

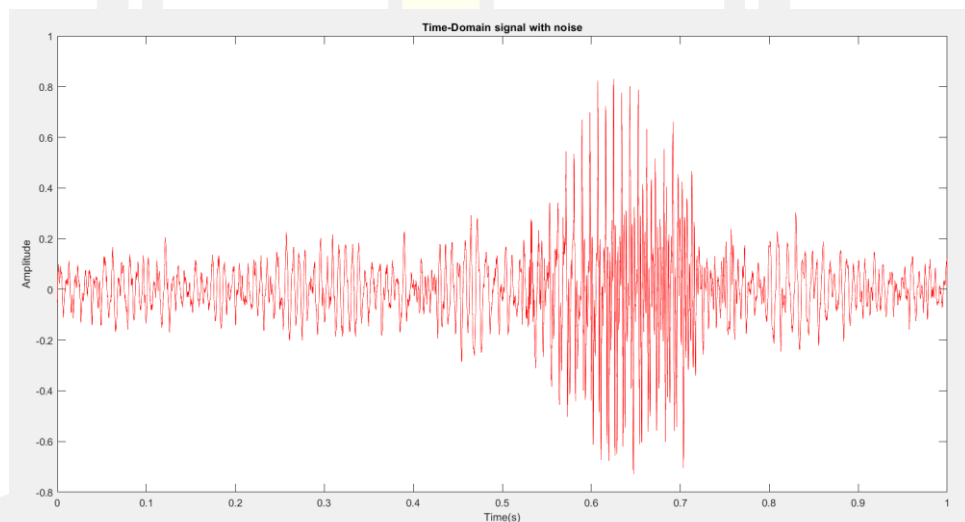
$$R_s = 30 \text{ dB}$$

$$W_p = 500/(16000/2)$$

$$W_s = 4000/(16000/2)$$

ตัดเสียงรบกวน โดยใช้ High pass ของ butter worth filter , chebyshev1 , chebyshev2 และ elliptic ที่ cut-off 500 Hz จะได้ Time- domain และ Frequency- domain ดังรูป

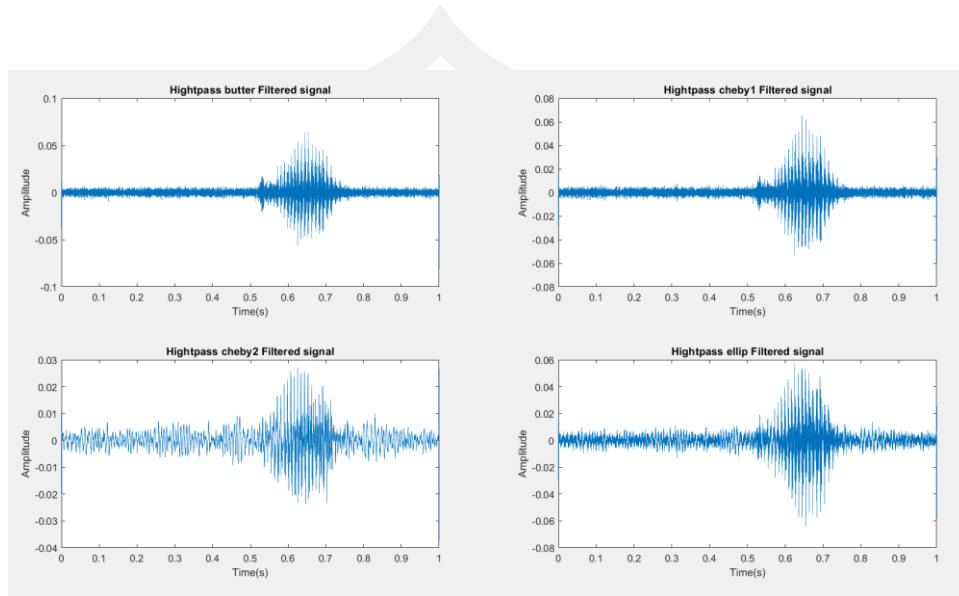
Driving noise + Go



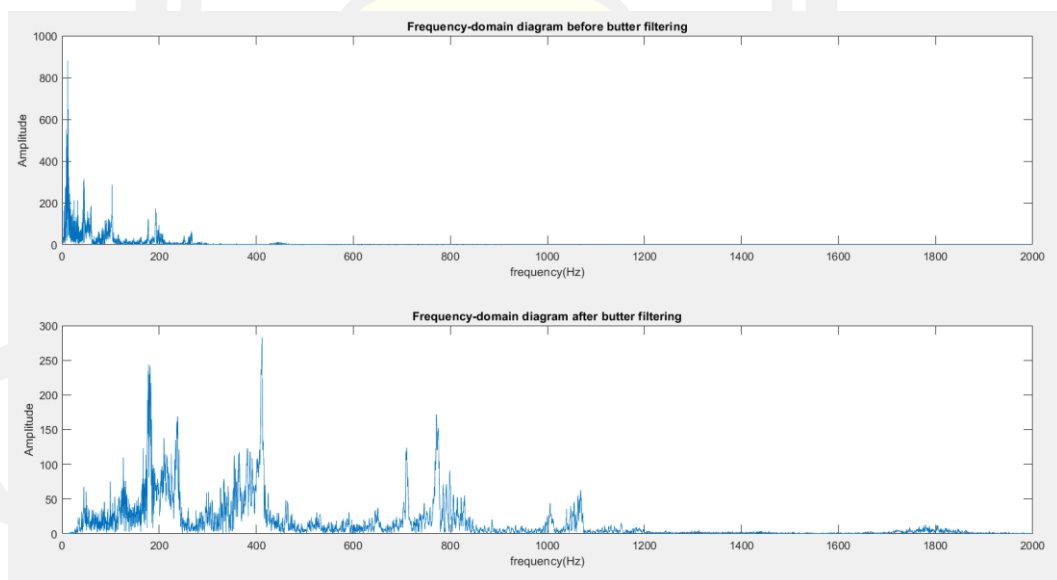
ภาพประกอบ 41 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง “Driving noise” รวมกับ “Go”

พหุ ประถมศึกษา

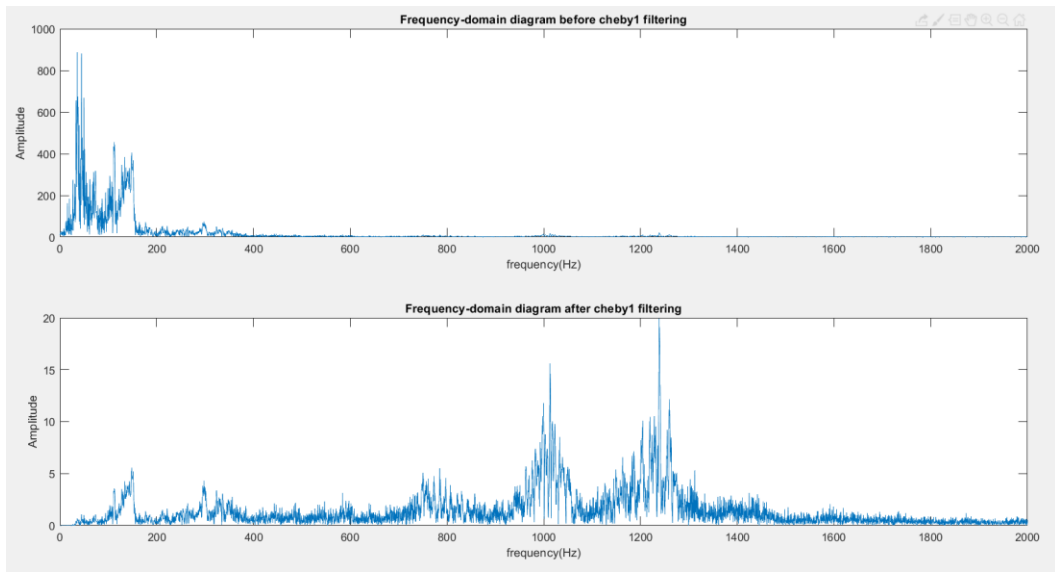
1 . Driving noise + Go โดยใช้ Order [N] = 2 , Cut-off [Fc] = 500 Hz



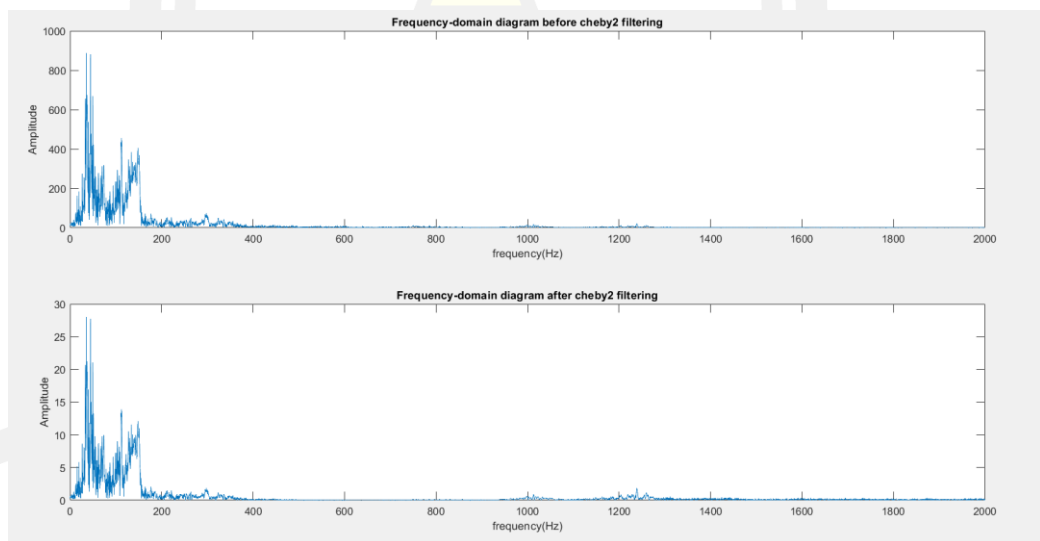
ภาพประกอบ 42 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz



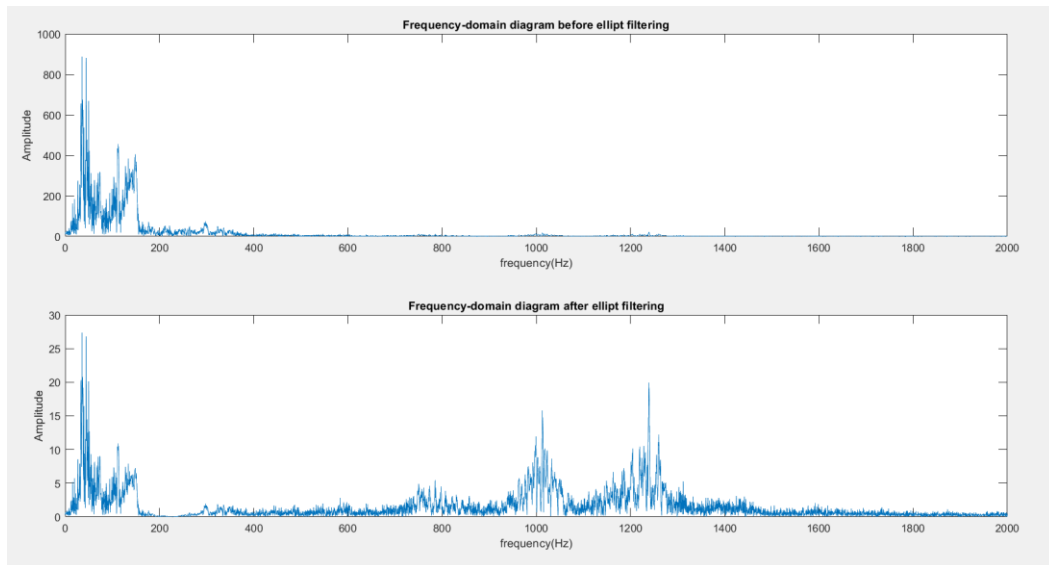
ภาพประกอบ 43 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 , Cut-off 100 Hz



ภาพประกอบ 44 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav1 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 100 Hz

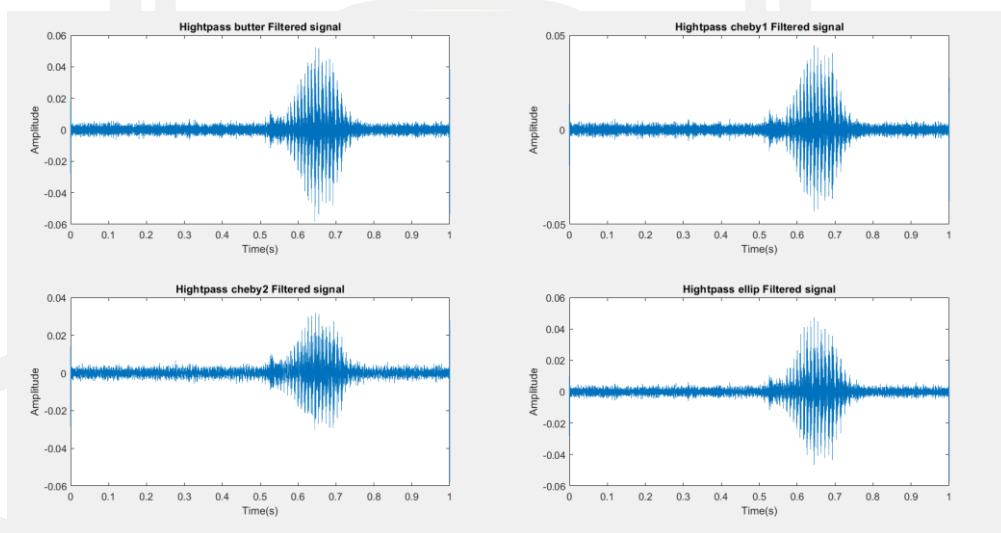


ภาพประกอบ 45 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Chebyshev2 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz

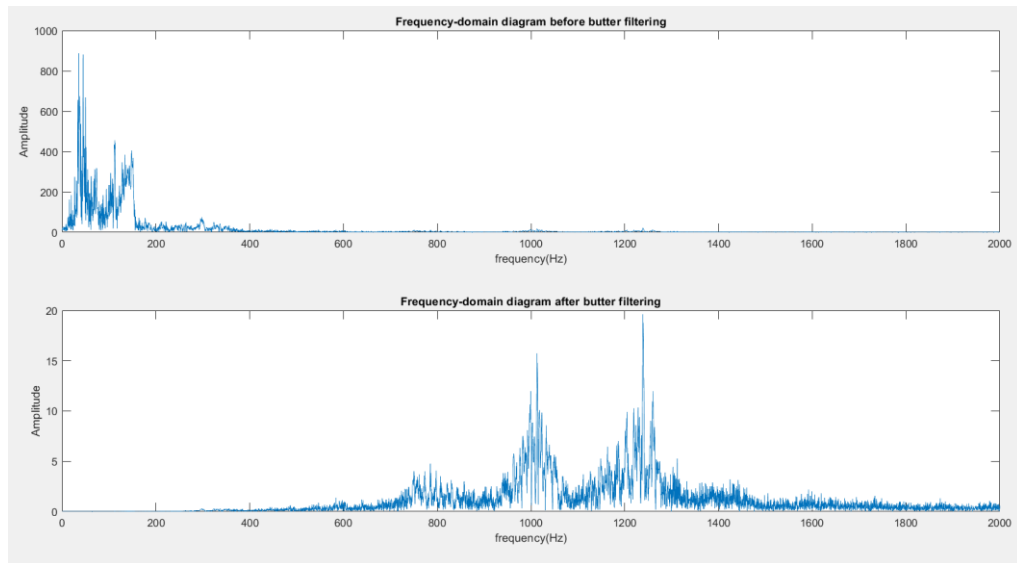


ภาพประกอบ 46 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic filter ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz

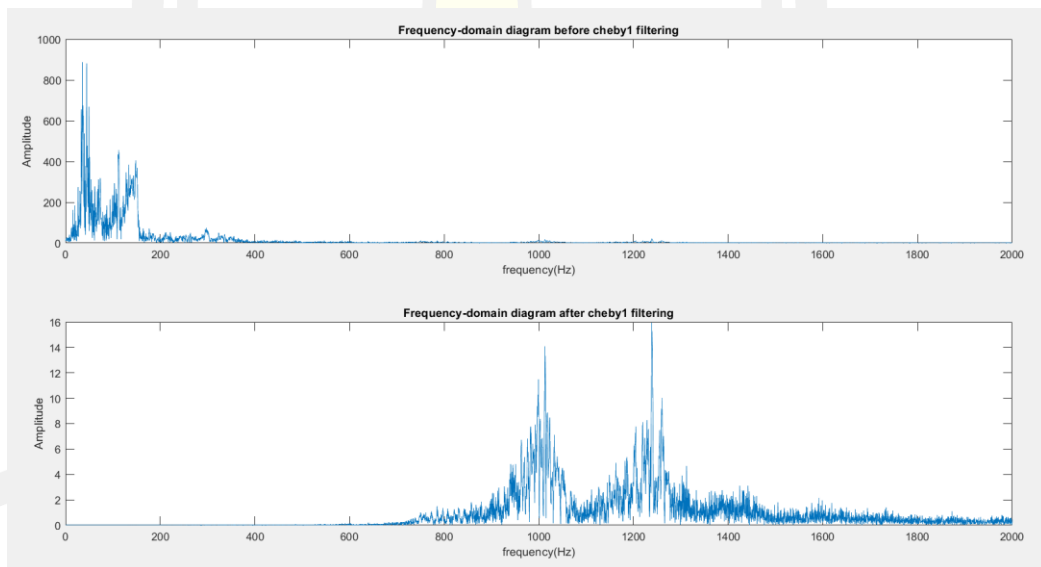
2 . Driving noise + Go โดยใช้ Order [N] = 5 , Cut-off [Fc] = 500 Hz



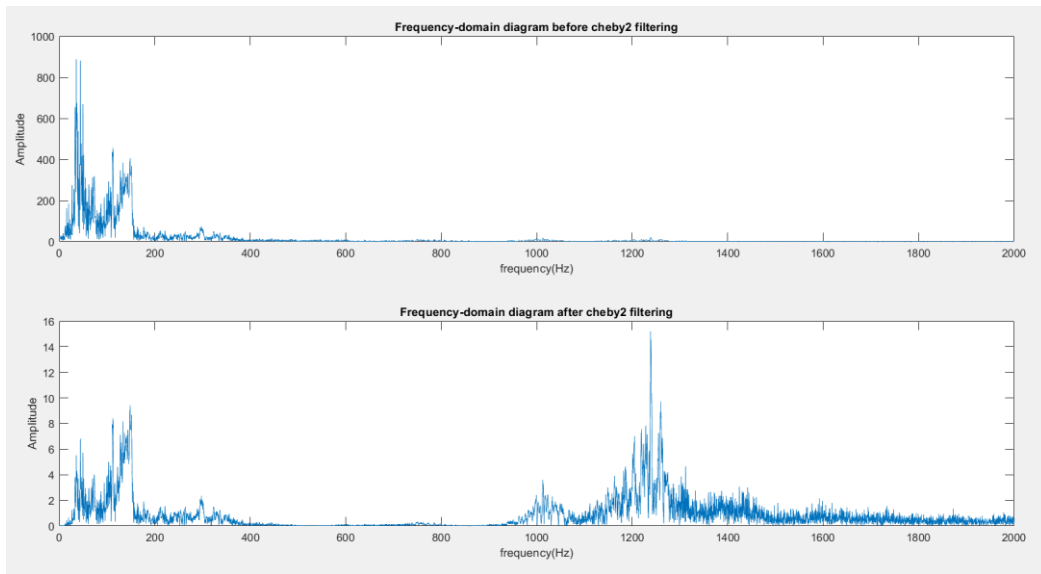
ภาพประกอบ 47 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz



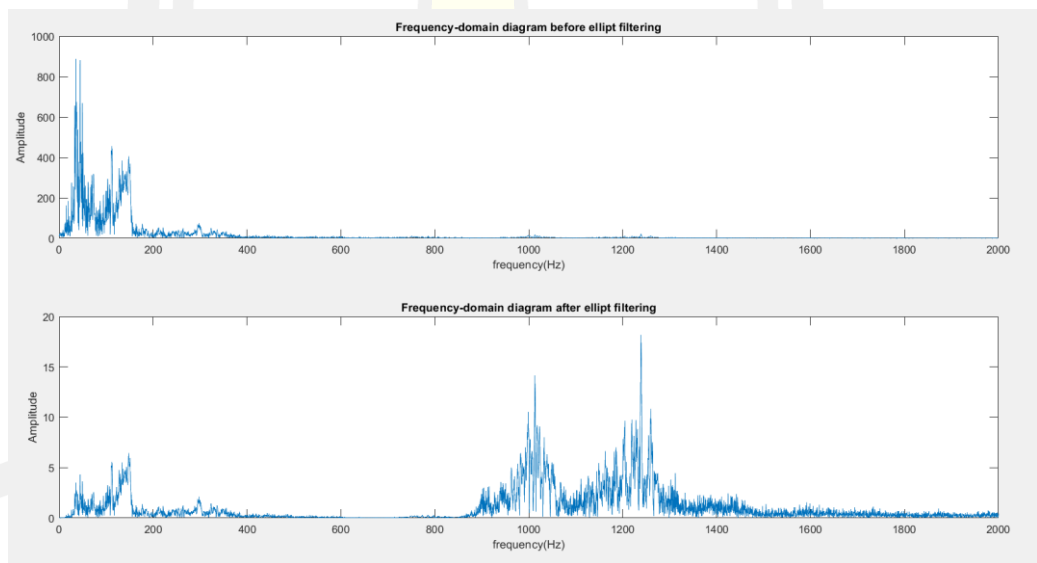
ภาพประกอบ 48 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 ,Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 49 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 filter ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz

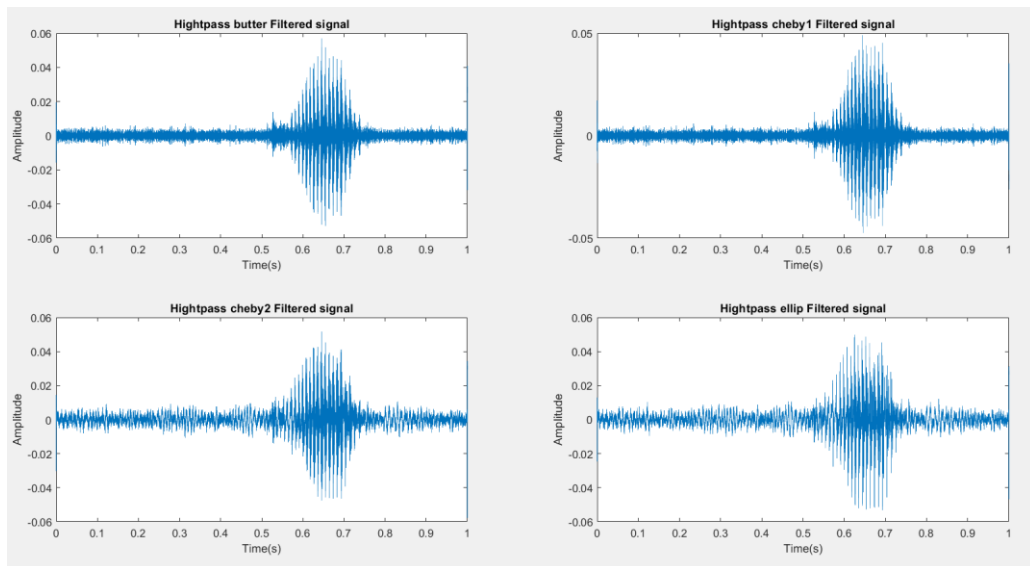


ภาพประกอบ 50 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav2 filter ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz

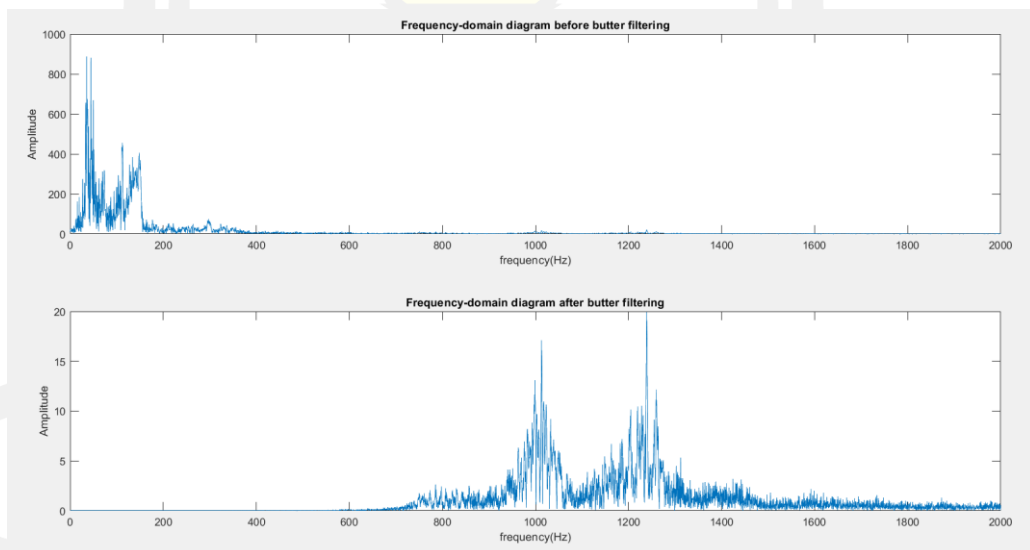


ภาพประกอบ 51 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ elliptic filter ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz

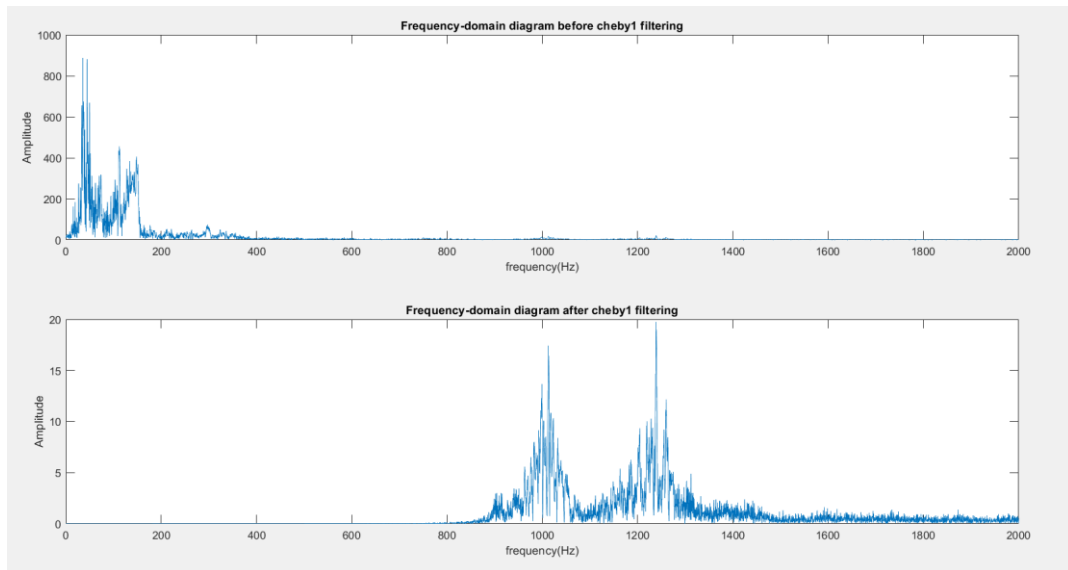
3. Driving noise + Go โดยใช้ Order = 10, Cut-off 500 Hz



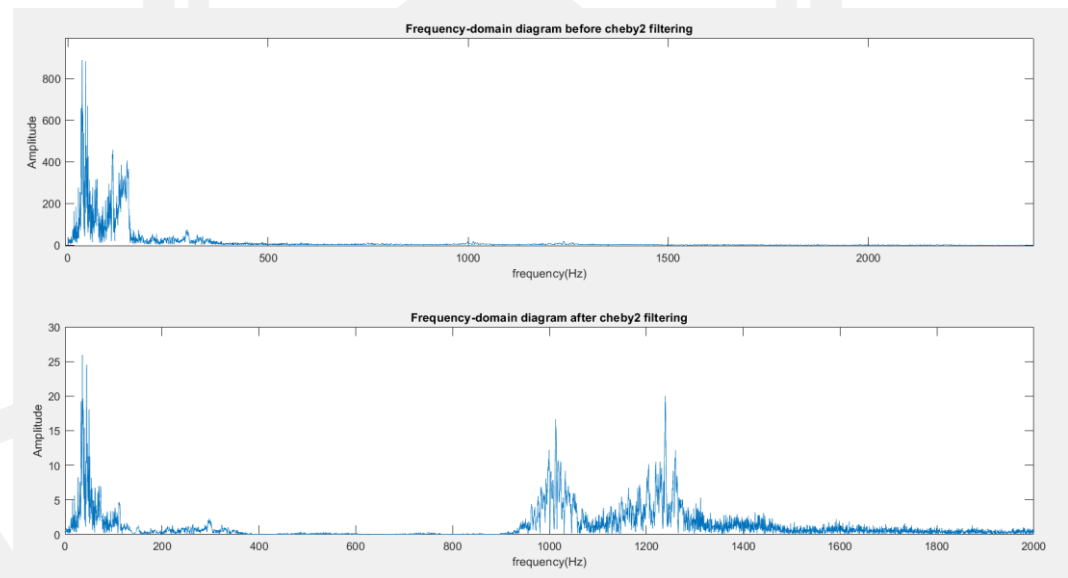
ภาพประกอบ 52 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 53 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz

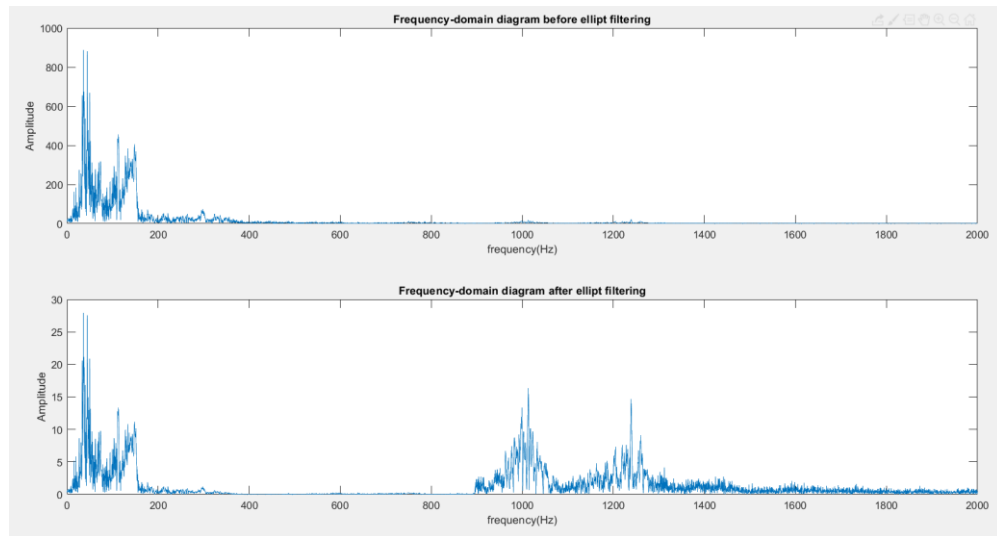


ภาพประกอบ 54 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav1 filter  
ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz



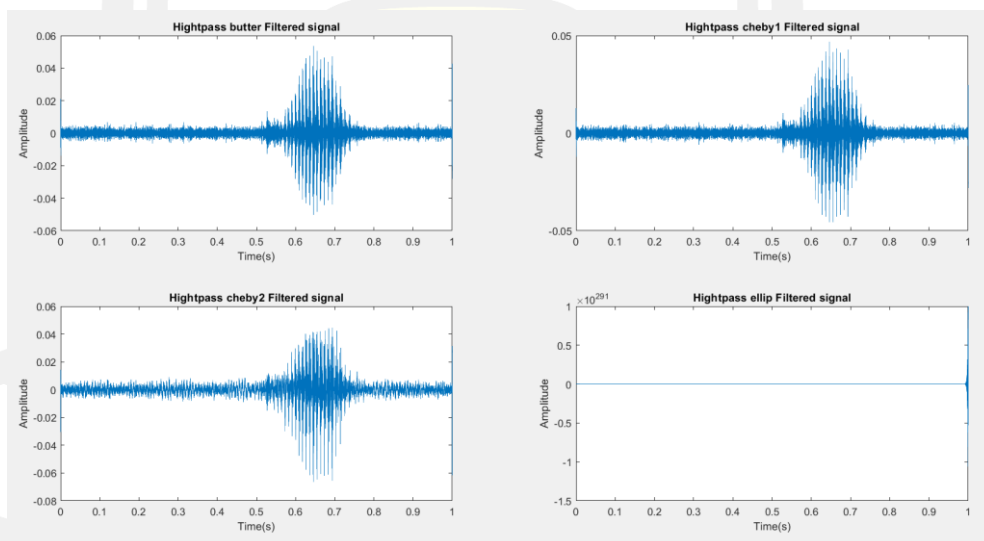
ภาพประกอบ 55 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav2 filter  
ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz



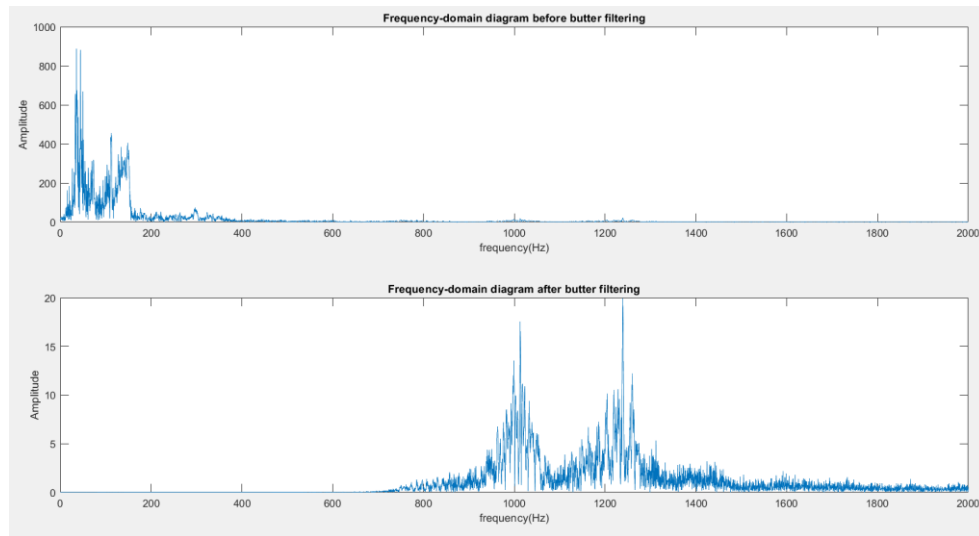


ภาพประกอบ 56 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz

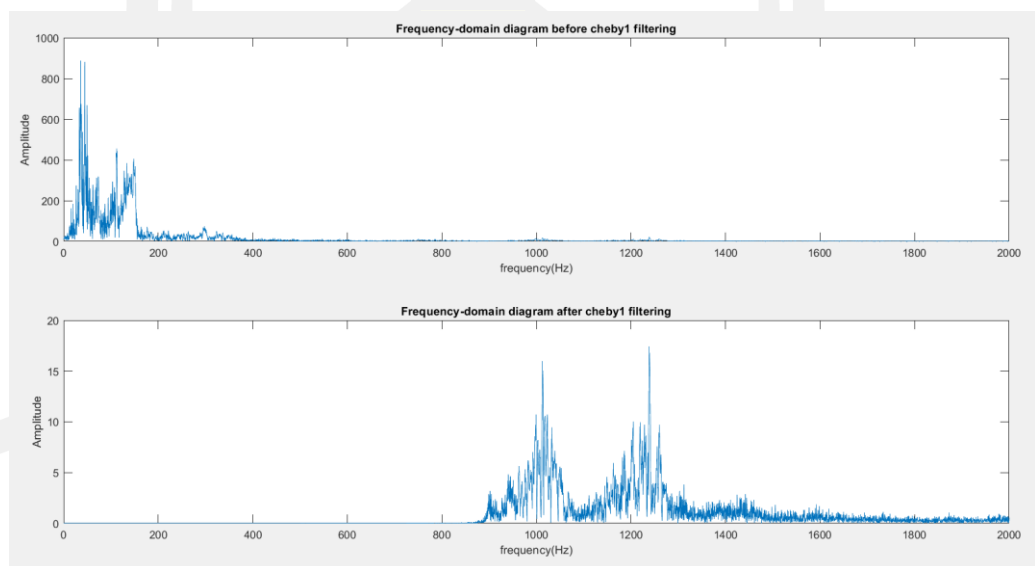
4. Driving noise + Go โดยใช้ Order = 15, Cut-off 500 Hz



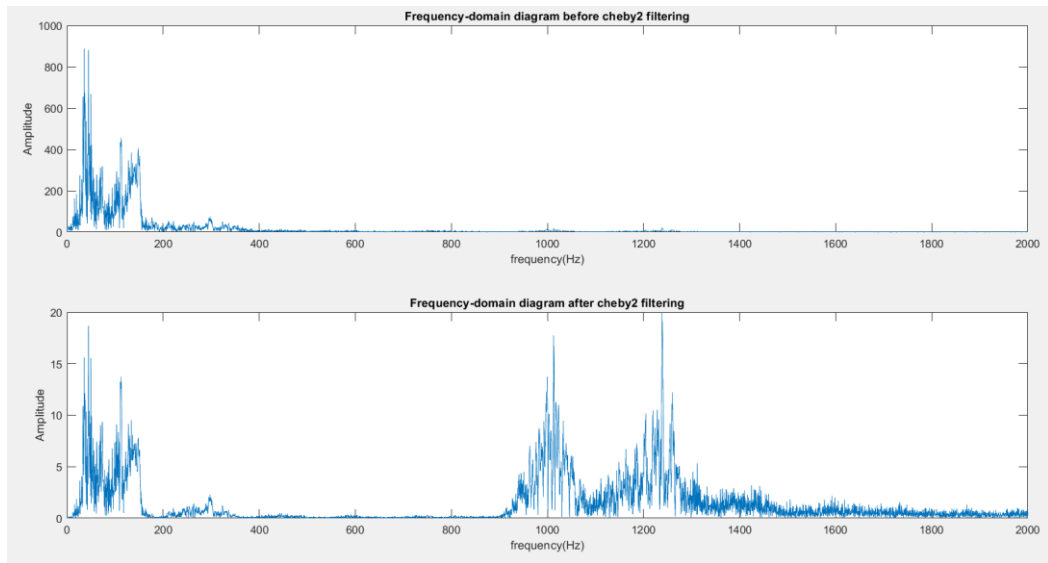
ภาพประกอบ 57 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz



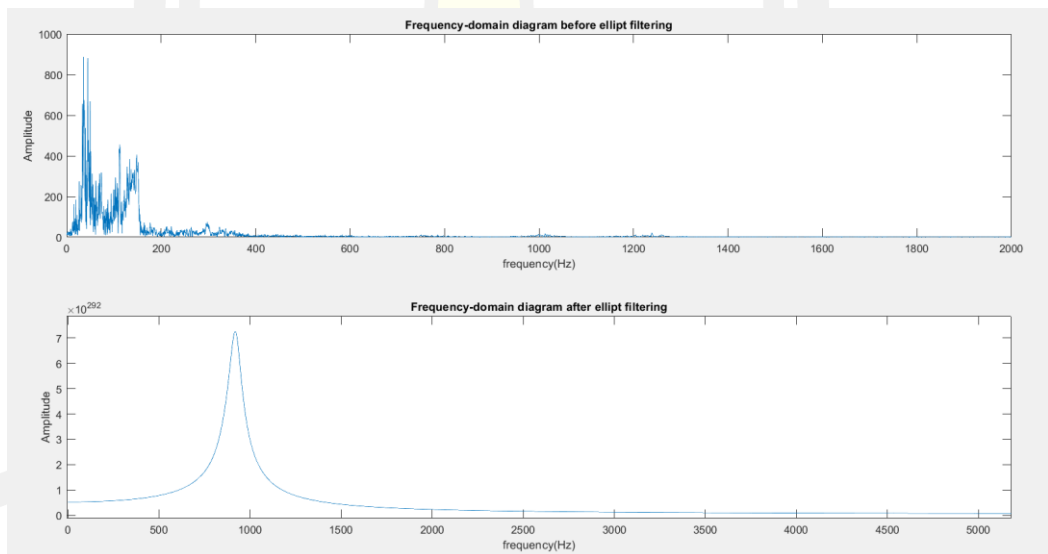
ภาพประกอบ 58 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 15, Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 59 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav1 filter ที่ Order = 15 Cut-off 500 Hz

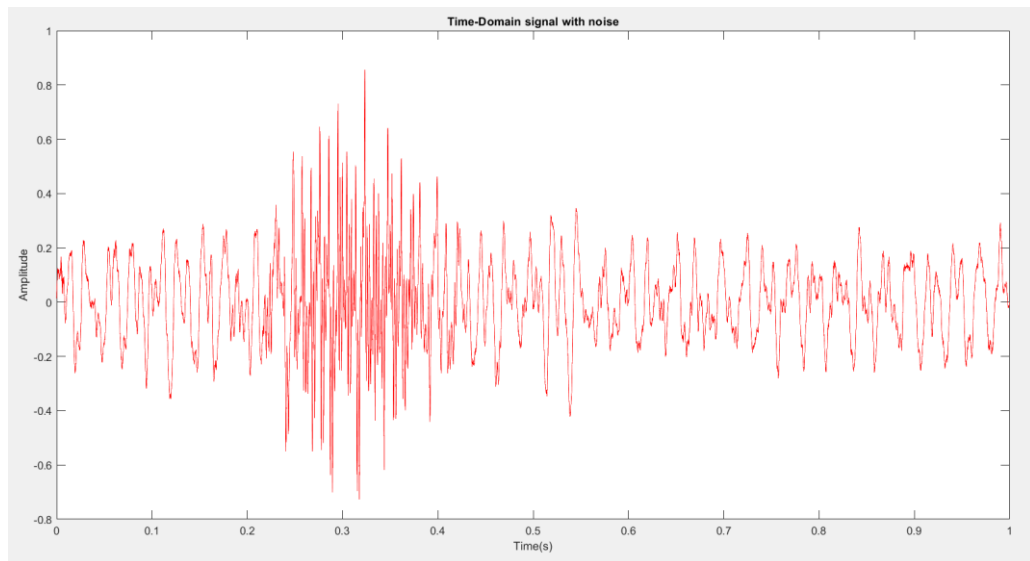


ภาพประกอบ 60 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 filter ที่ Order = 15 Cut-off 500 Hz



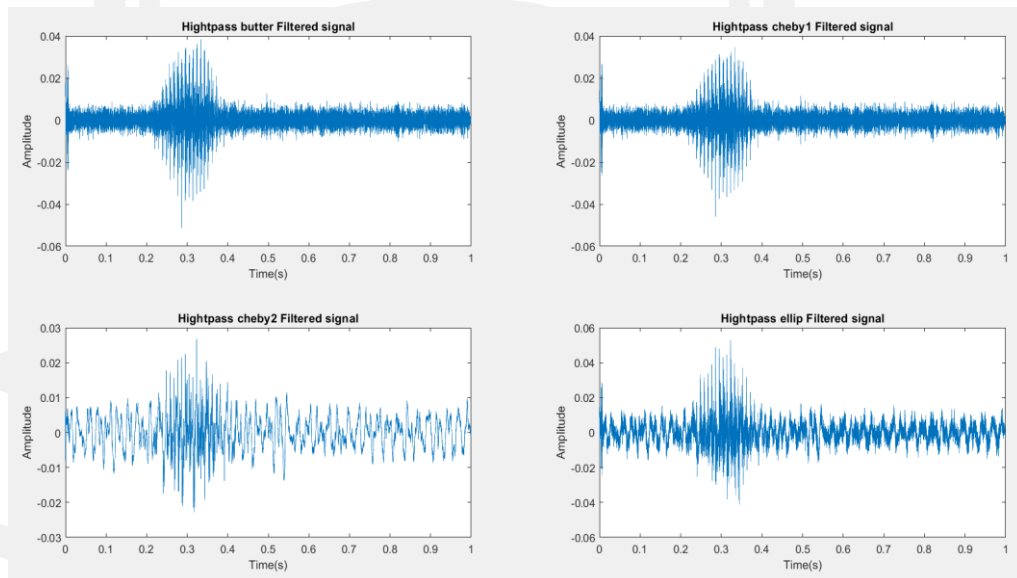
ภาพประกอบ 61 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz

## Heater noise + Go

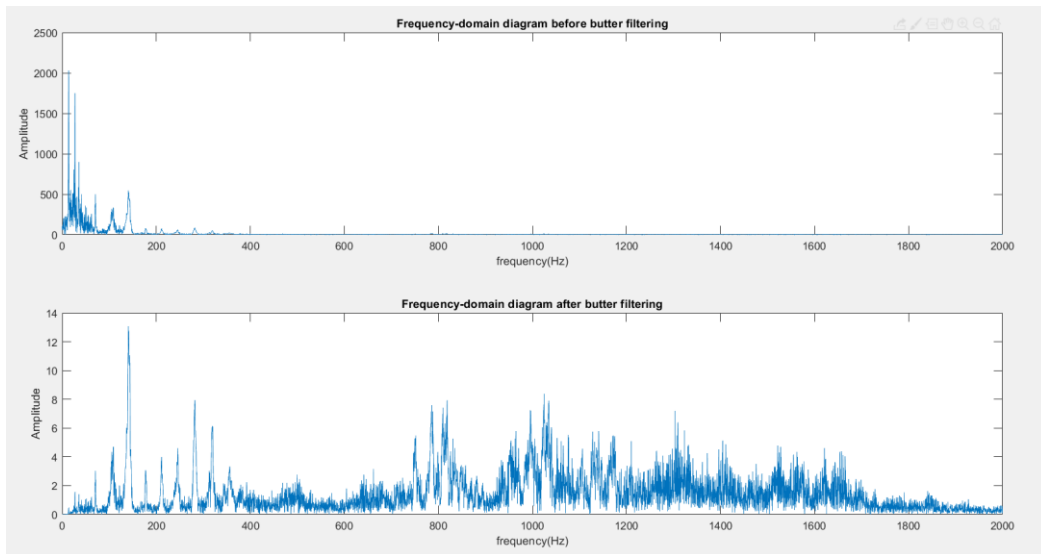


ภาพประกอบ 62 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง “Heater noise” รวมกับ “Go”

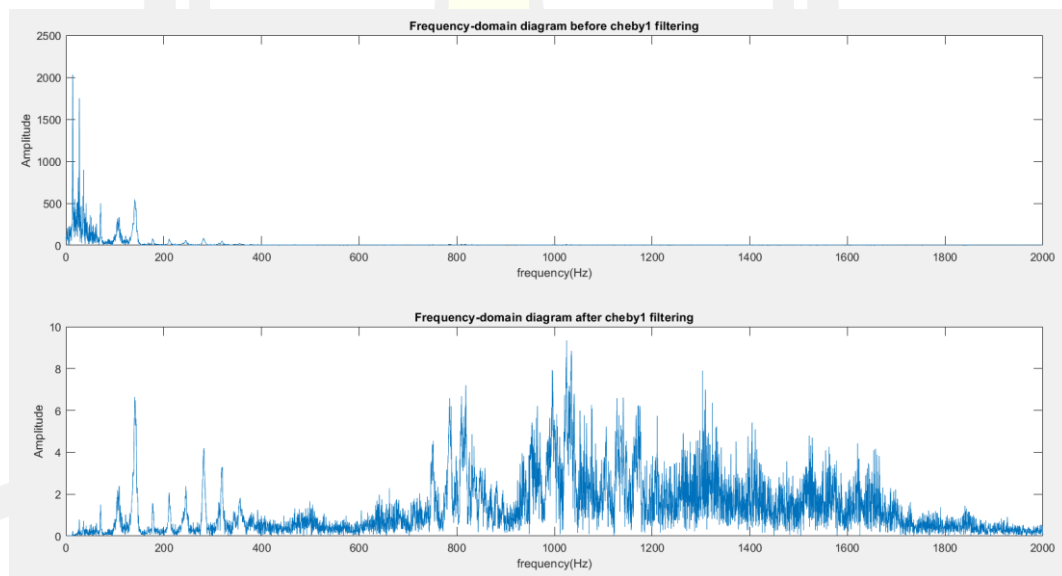
1. Heater noise + Go โดยใช้ Order = 2, Cut-off 500 Hz



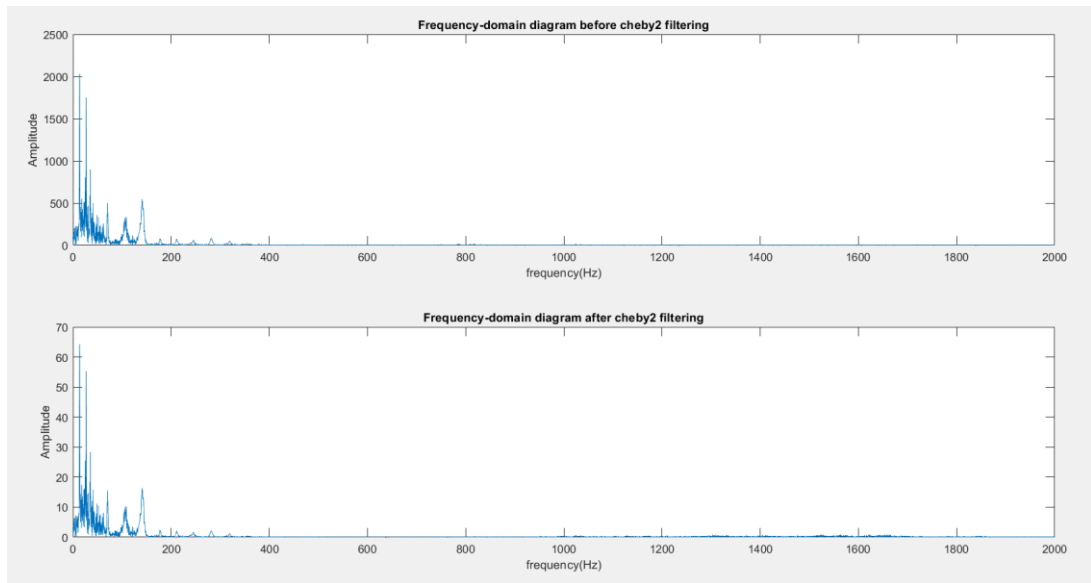
ภาพประกอบ 63 แสดง Time-domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz



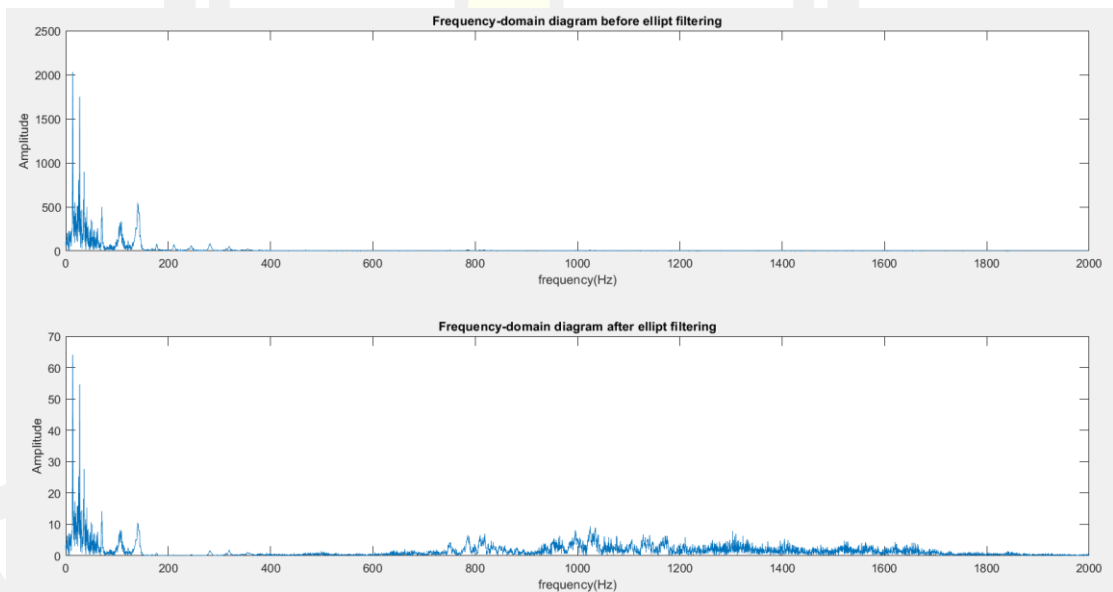
ภาพประกอบ 64 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 65 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 2, Cut-off 500 Hz

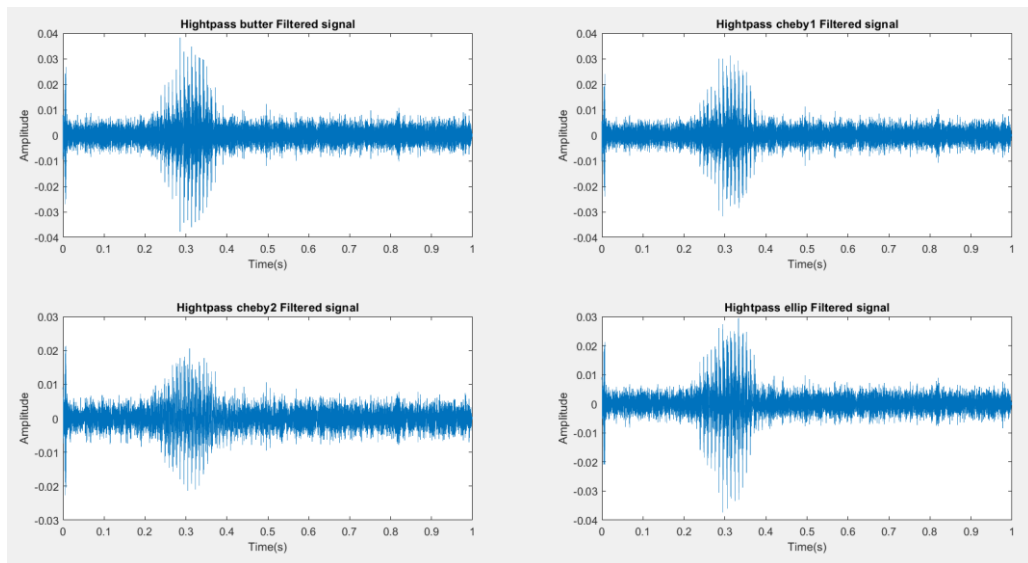


ภาพประกอบ 66 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshev2 ที่ Order = 2, Cut-off 500 Hz

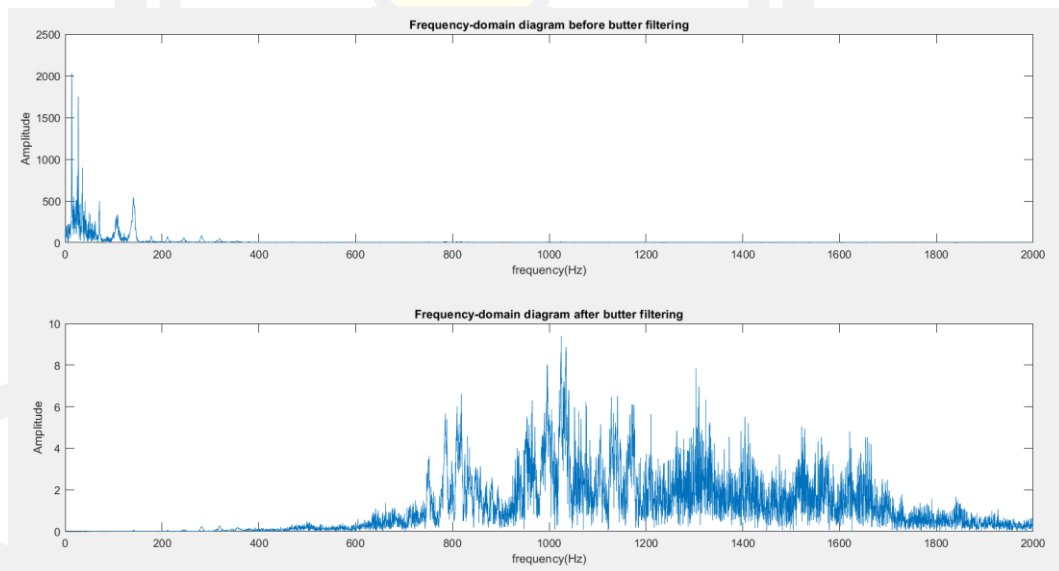


ภาพประกอบ 67 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Elliptic ที่ Order = 2, Cut-off 500 Hz

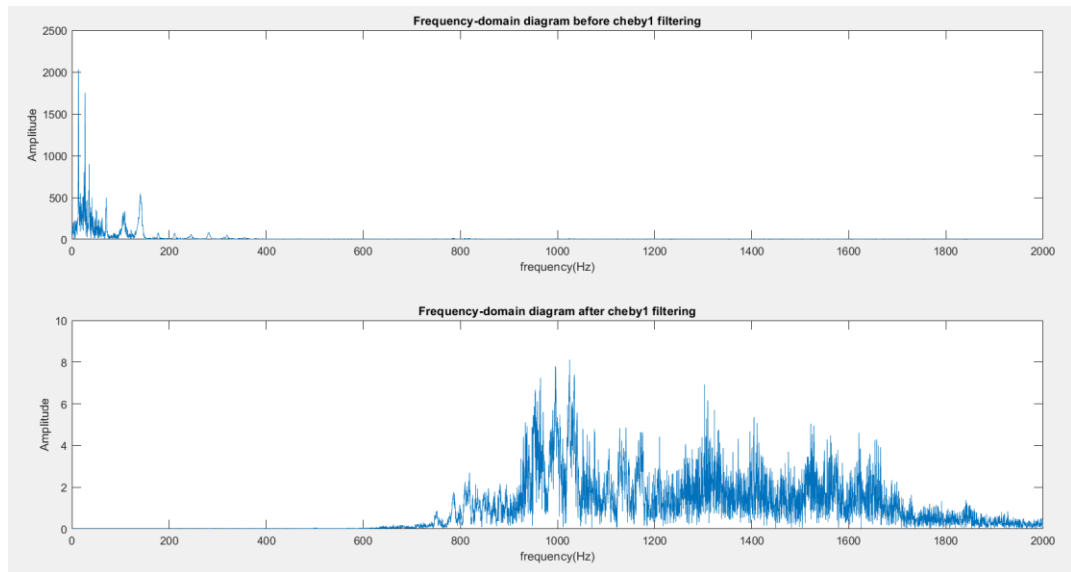
2. Heater noise + Go โดยใช้ Order = 5, Cut-off 500 Hz



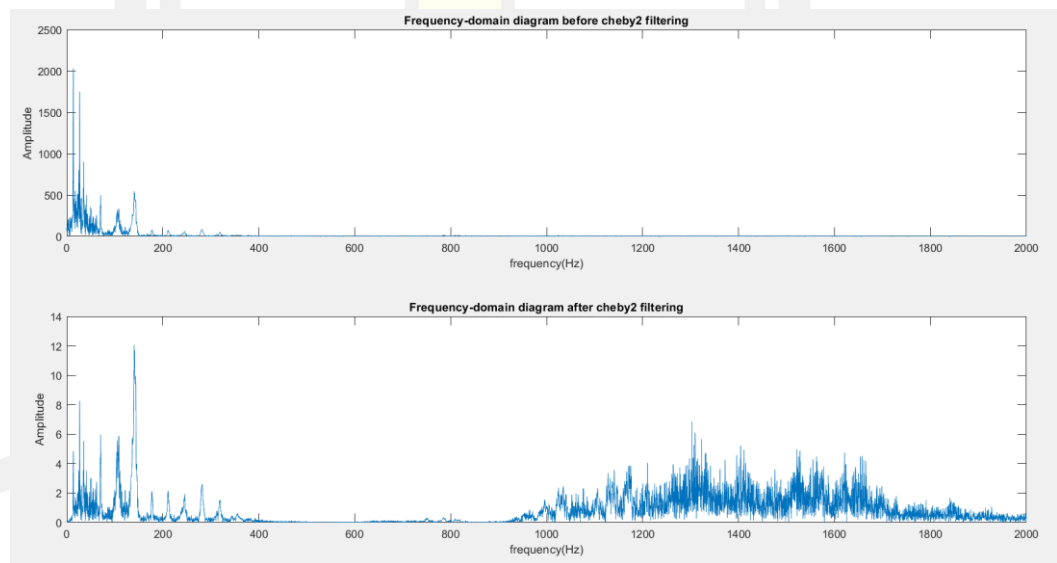
ภาพประกอบ 68 แสดง Time-domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 69 แสดง Frequency-domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 Cut-off 500 Hz

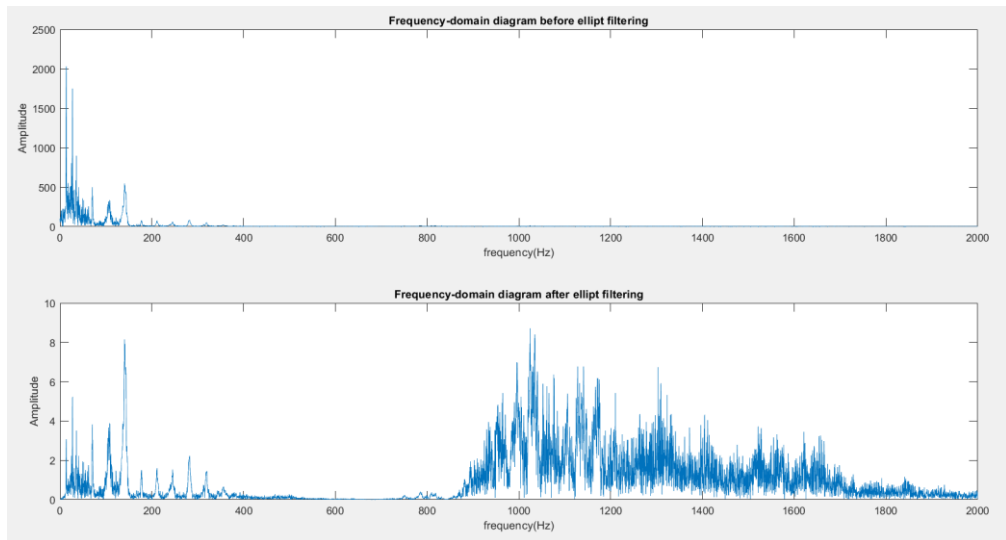


ภาพประกอบ 70 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 5, Cut-off 500 Hz



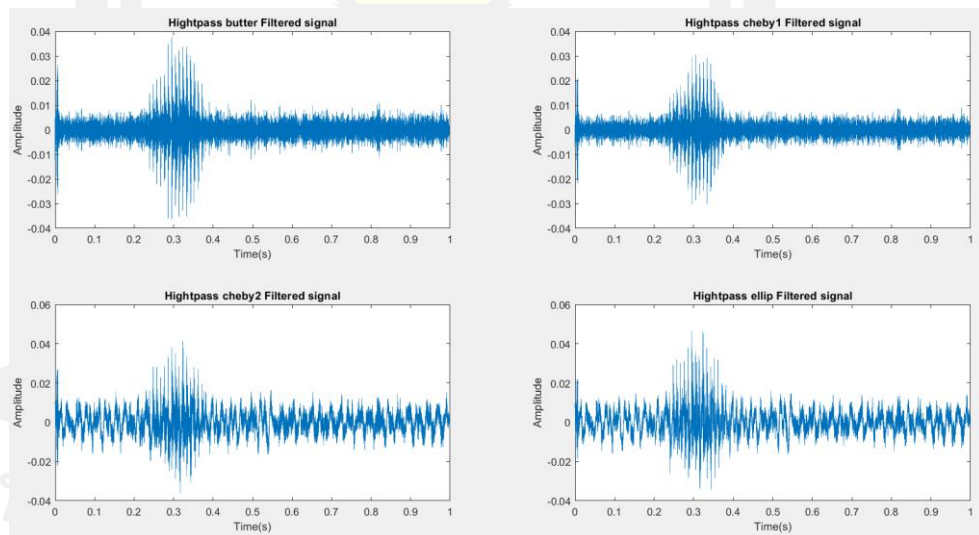
ภาพประกอบ 71 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshav2 ที่ Order = 5, Cut-off 500 Hz



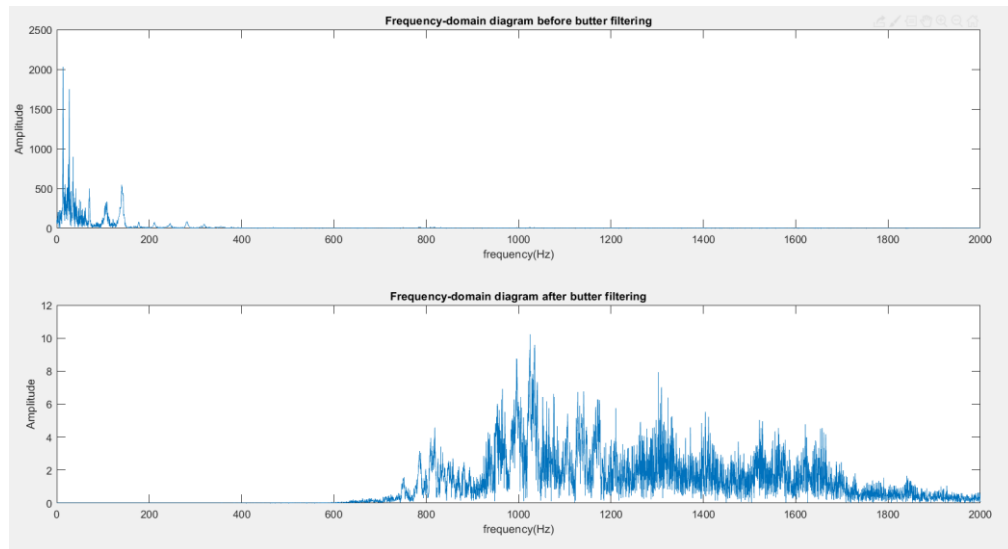


ภาพประกอบ 72 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Elliptic ที่ Order = 5, Cut-off 500 Hz

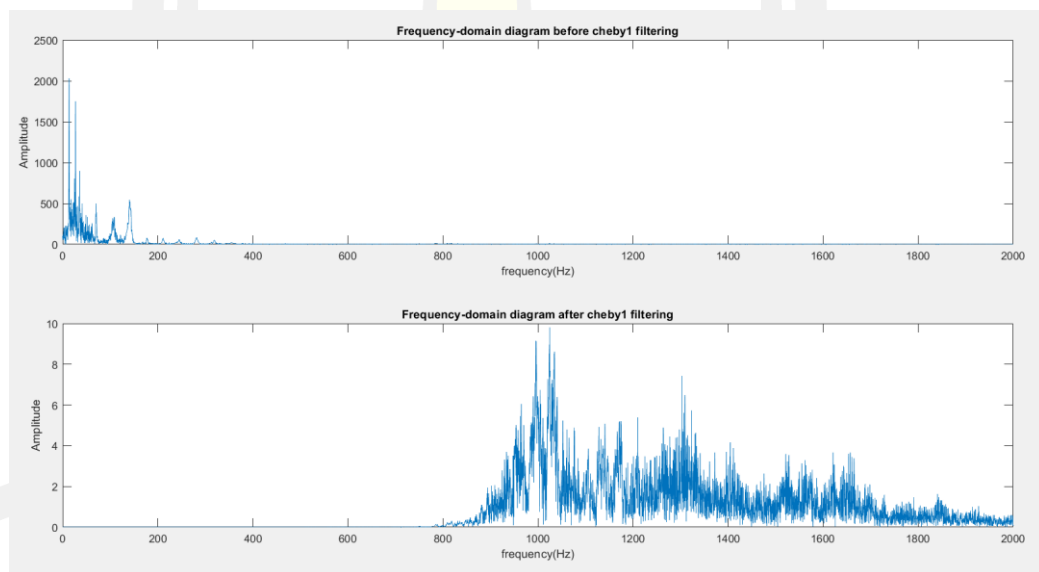
### 3. Heater noise + Go โดยใช้ Order = 10, Cut-off 500 Hz



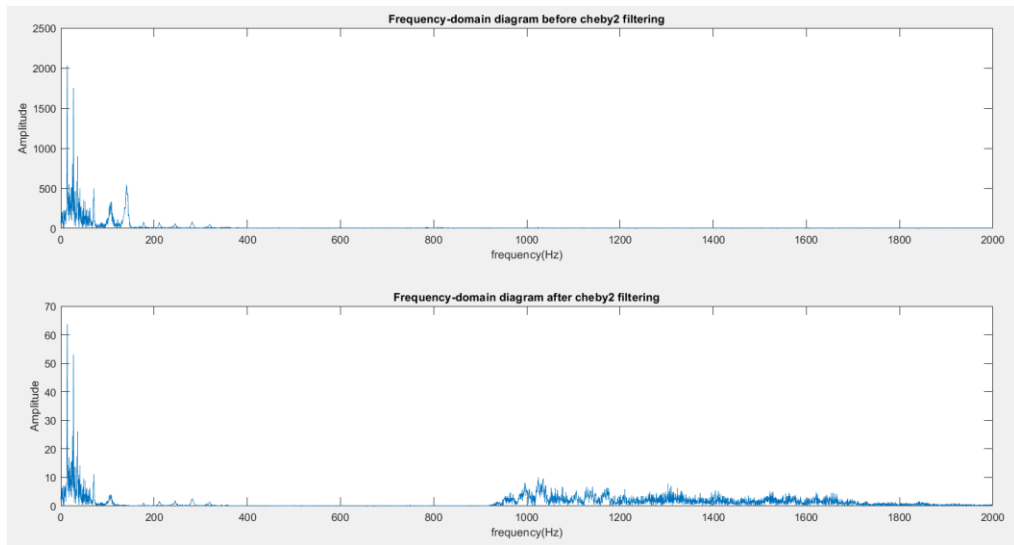
ภาพประกอบ 73 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10, Cut-off 500 Hz



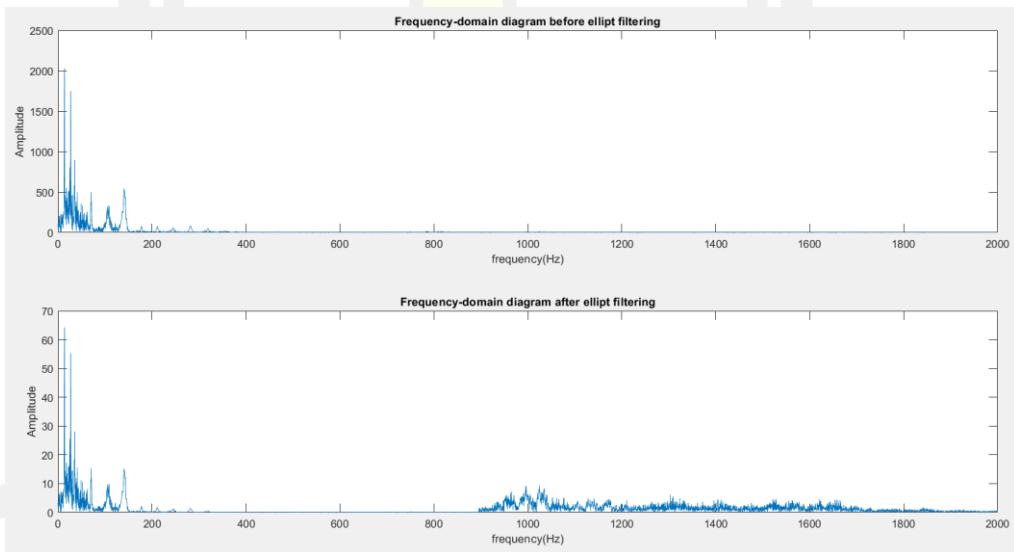
ภาพประกอบ 74 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 75 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Chabyshev1 ที่ Order = 10, Cut-off 500 Hz

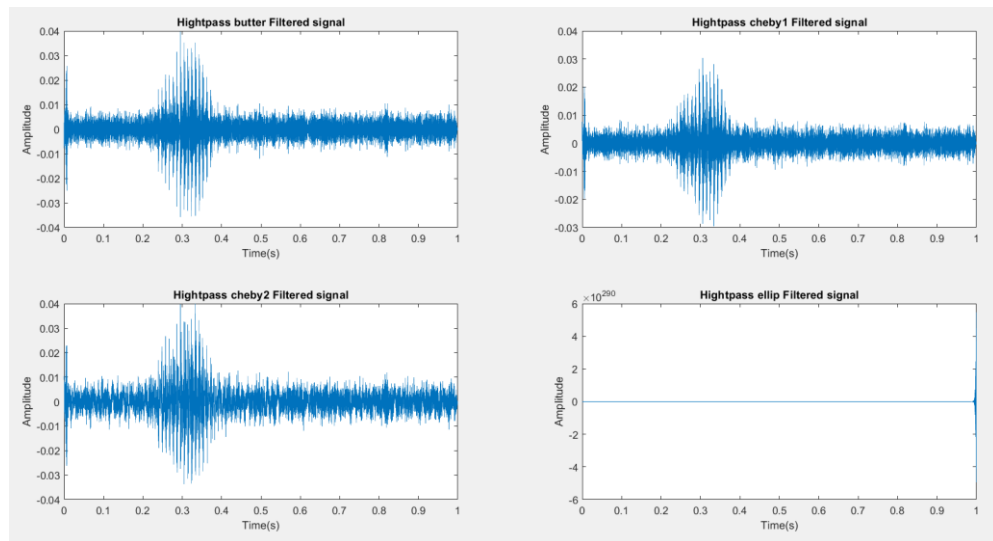


ภาพประกอบ 76 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Chabyshav1 ที่  
Order = 10 , Cut-off 500 Hz

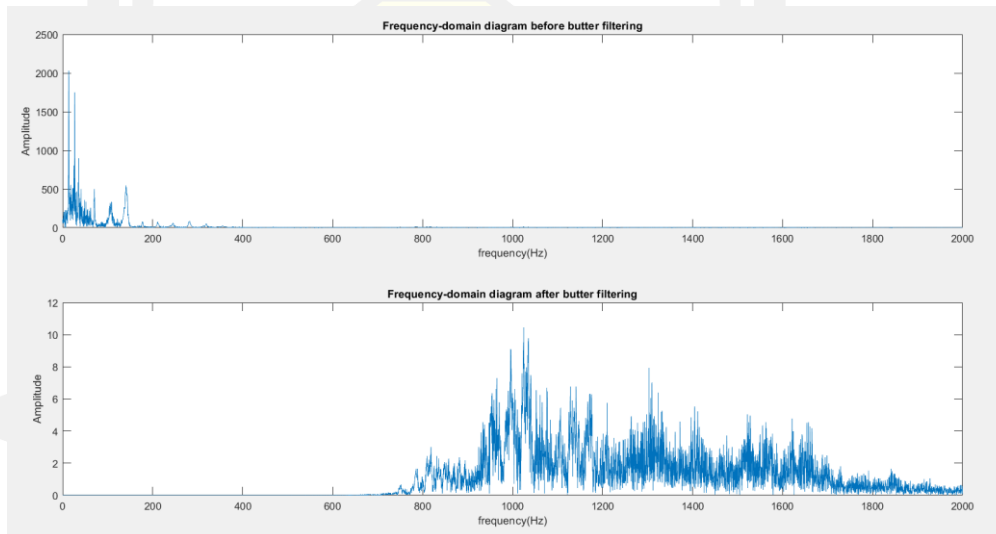


ภาพประกอบ 77 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Chabyshav1 ที่  
Order = 10 , Cut-off 500 Hz

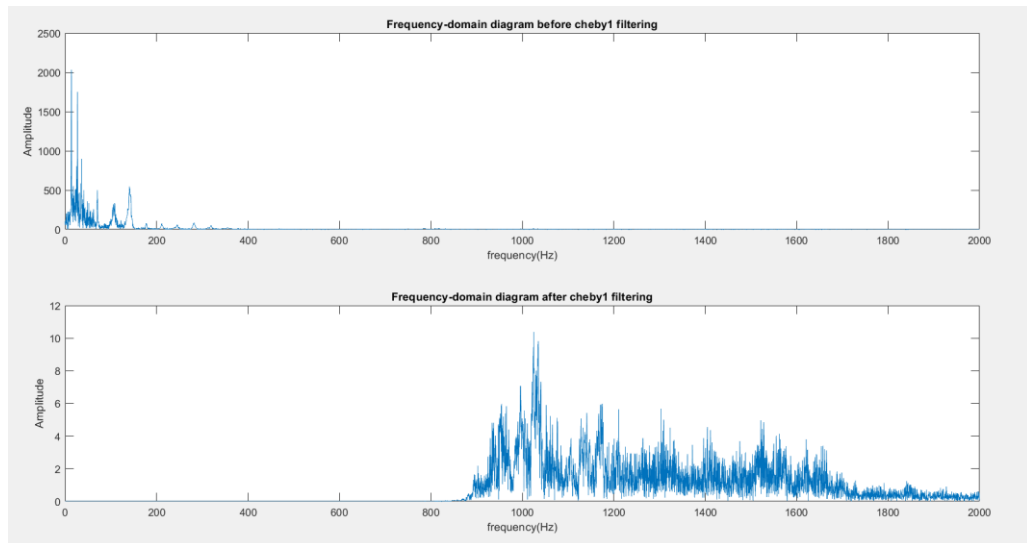
4. Heater noise + Go โดยใช้ Order = 15, Cut-off 500 Hz.



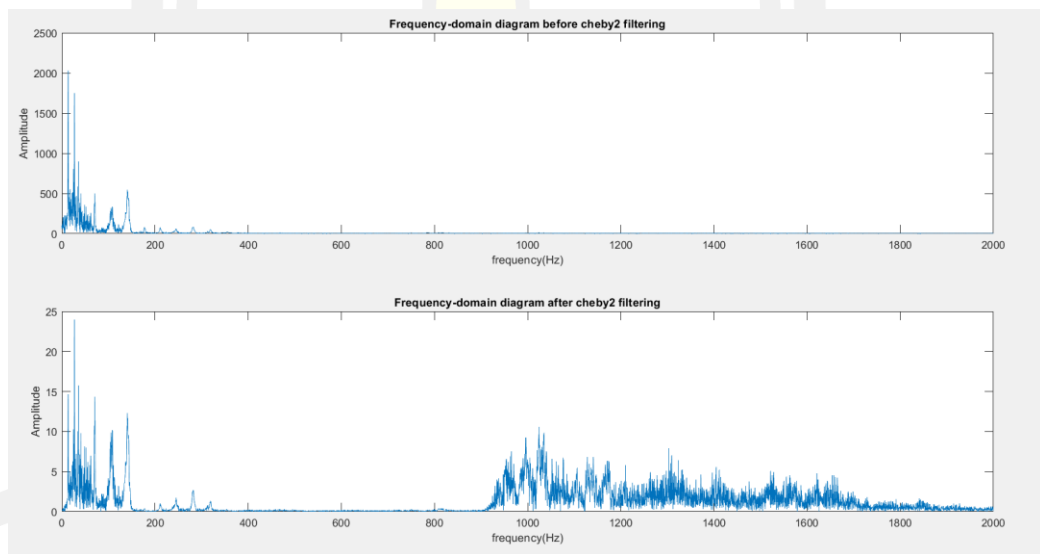
ภาพประกอบ 78 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 15, Cut-off 500 Hz



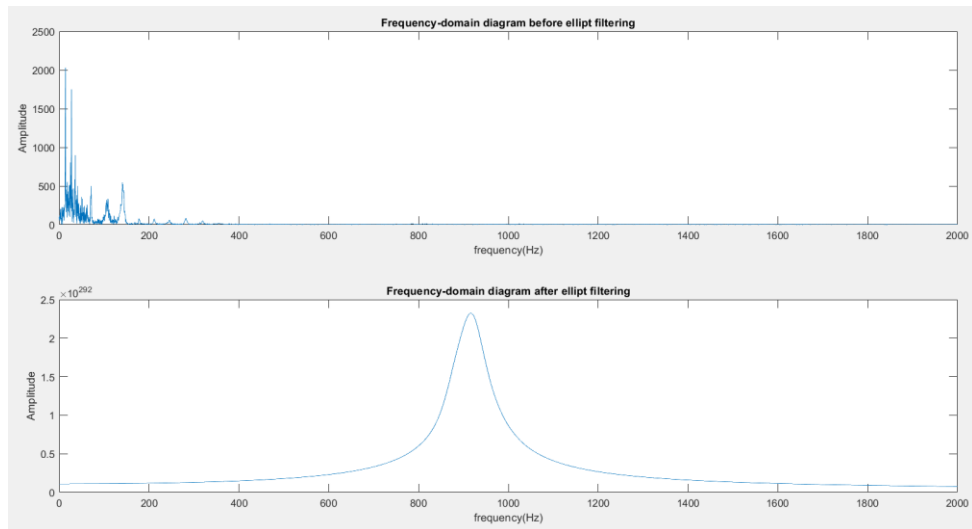
ภาพประกอบ 79 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 80 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshev1 ที่  
Order = 15 , Cut-off 500 Hz

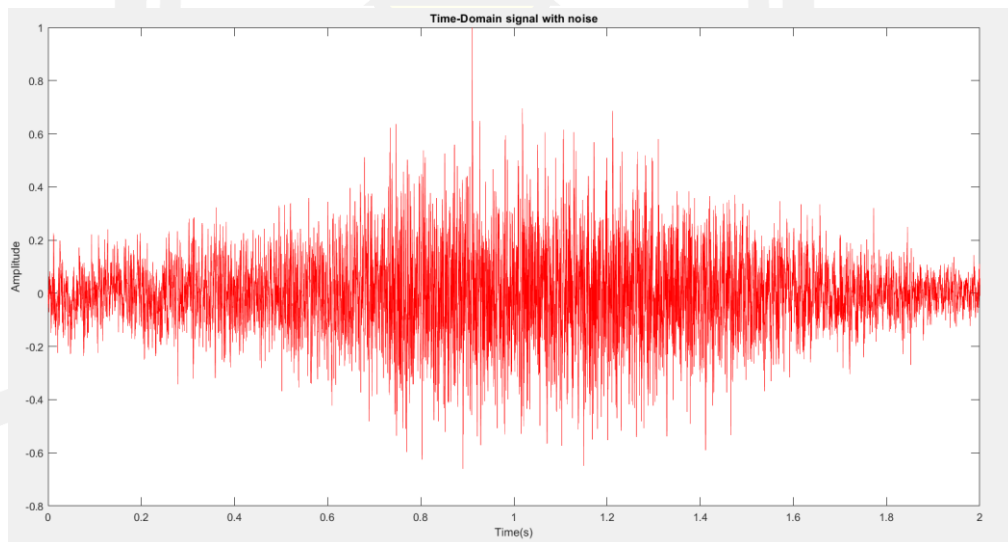


ภาพประกอบ 81 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 ที่  
Order = 15 , Cut-off 500 Hz



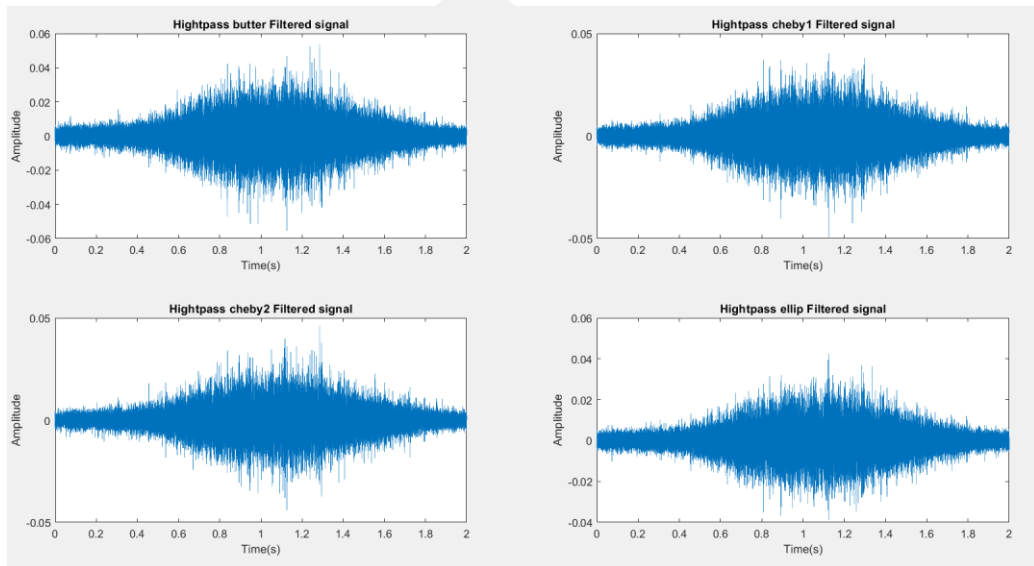
ภาพประกอบ 82 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ elliptic ที่ Order = 15 , Cut-off 500 Hz

Passing noise + Go

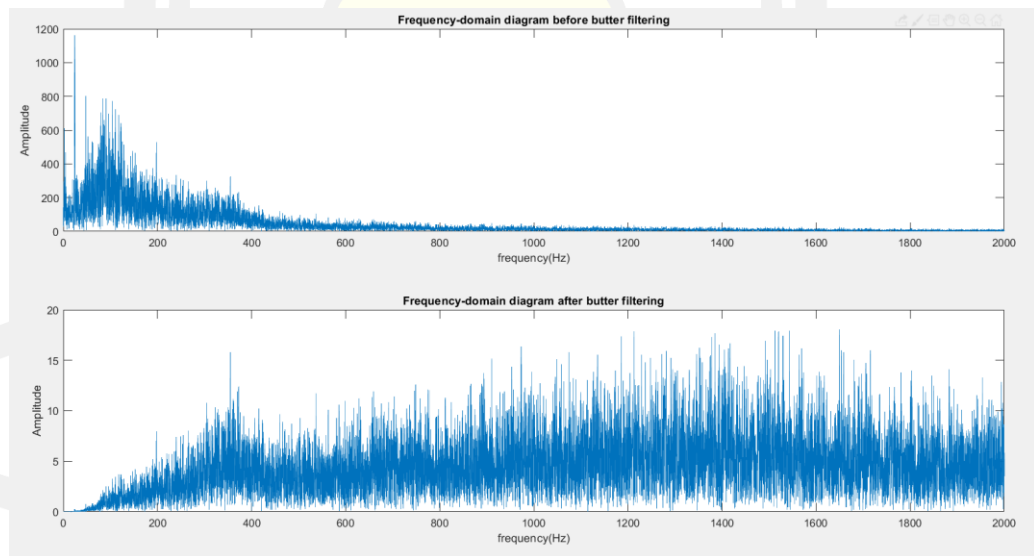


ภาพประกอบ 83 แสดงสัญญาณความถี่ของเสียง "Passing noise" รวมกับ "Go"

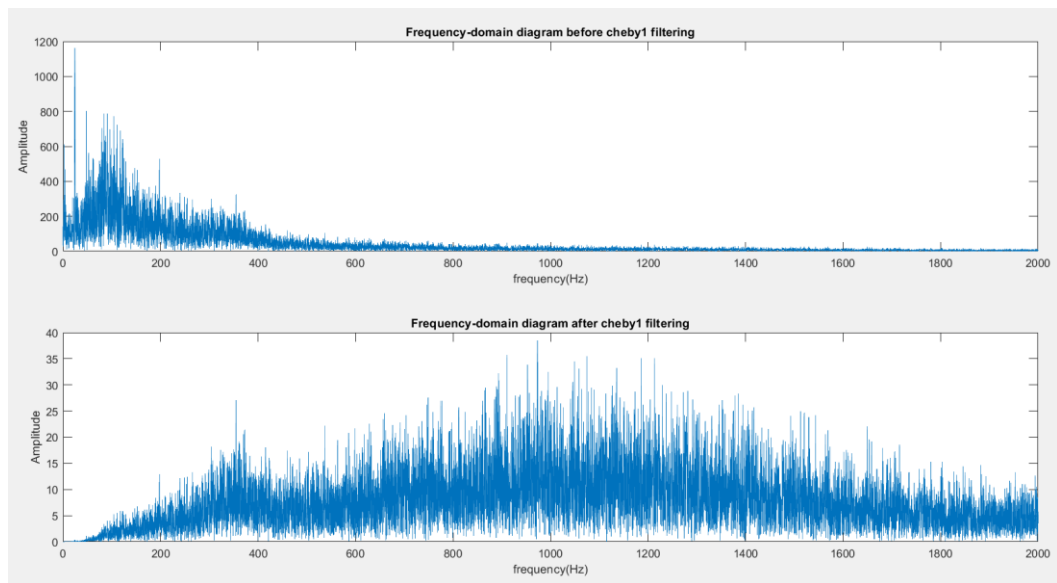
1. Passing noise + Go โดยใช้ Order = 2, Cut-off 500 Hz.



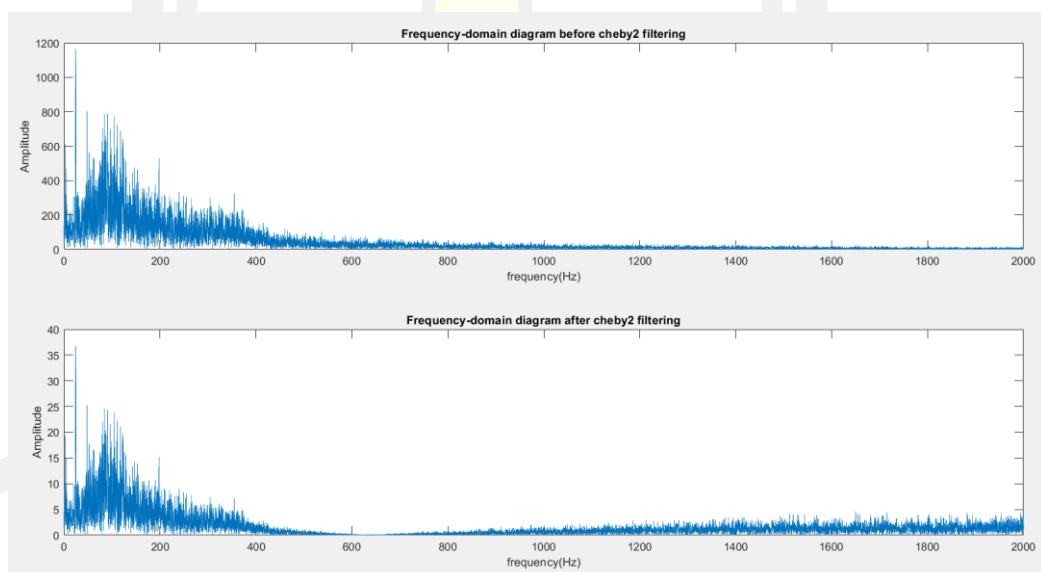
ภาพประกอบ 84 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 2 , Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 85 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 2 Cut-off 500 Hz

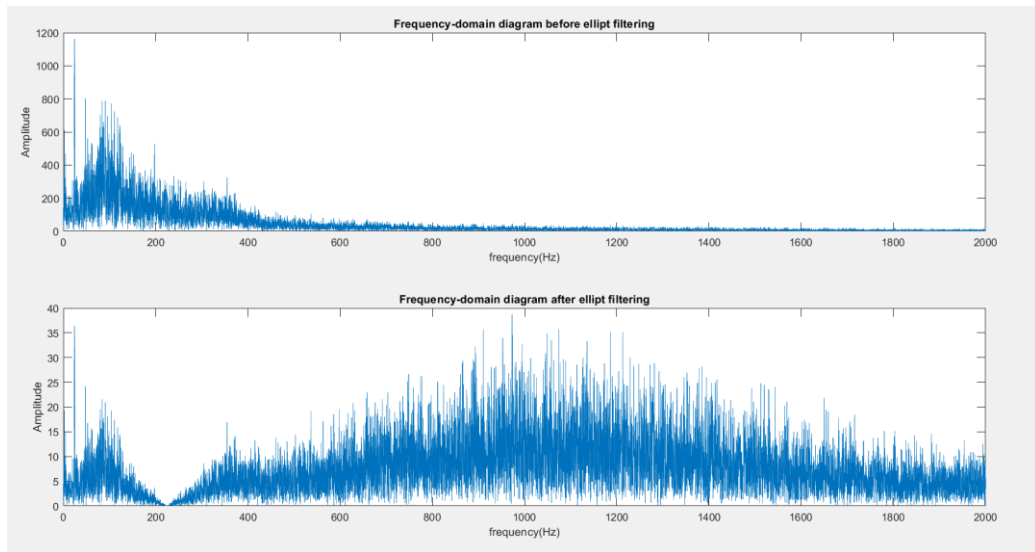


ภาพประกอบ 86 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ chebyshev1 ที่  
Order = 2 , Cut-off 500 Hz



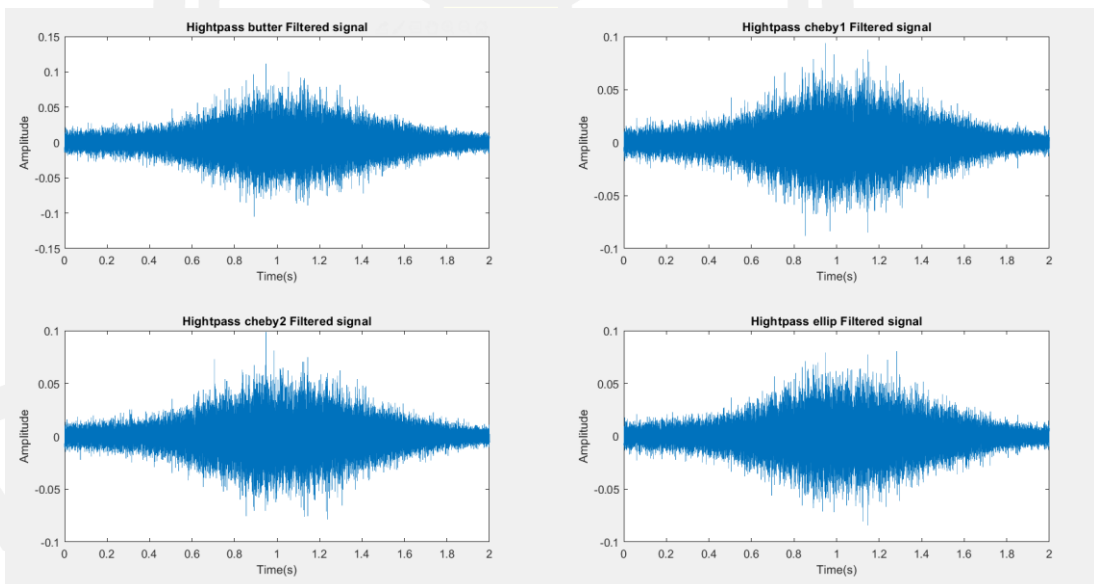
ภาพประกอบ 87 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน - หลัง ของ Chebyshev2 ที่  
Order = 2 , Cut-off 500 Hz



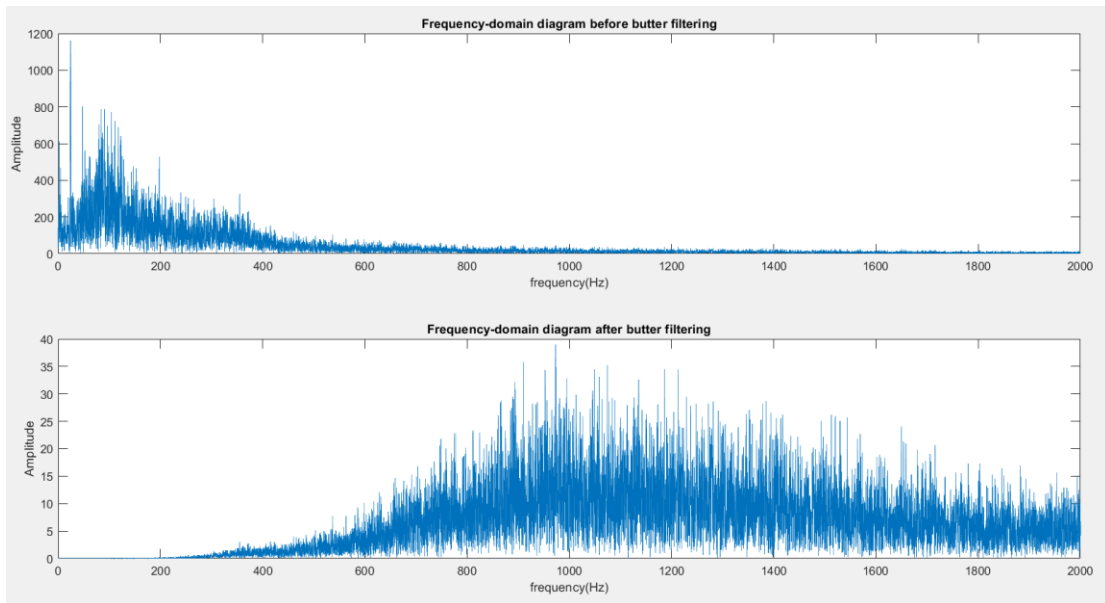


ภาพประกอบ 88 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่ Order = 2 ,Cut-off 500 Hz

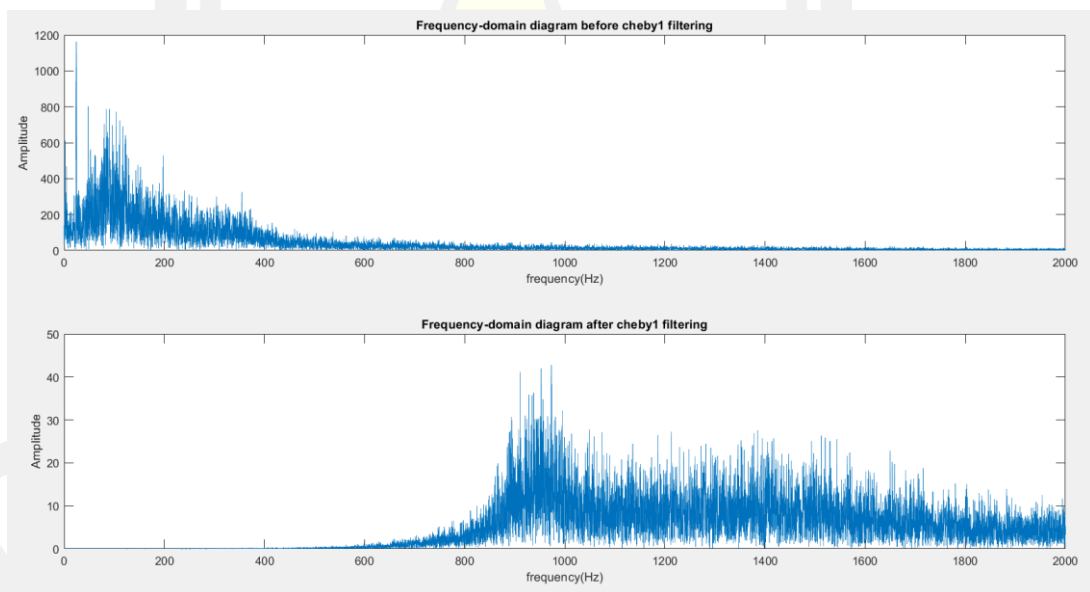
2. Passing noise + Go โดยใช้ Order = 5, Cut-off 500 Hz.



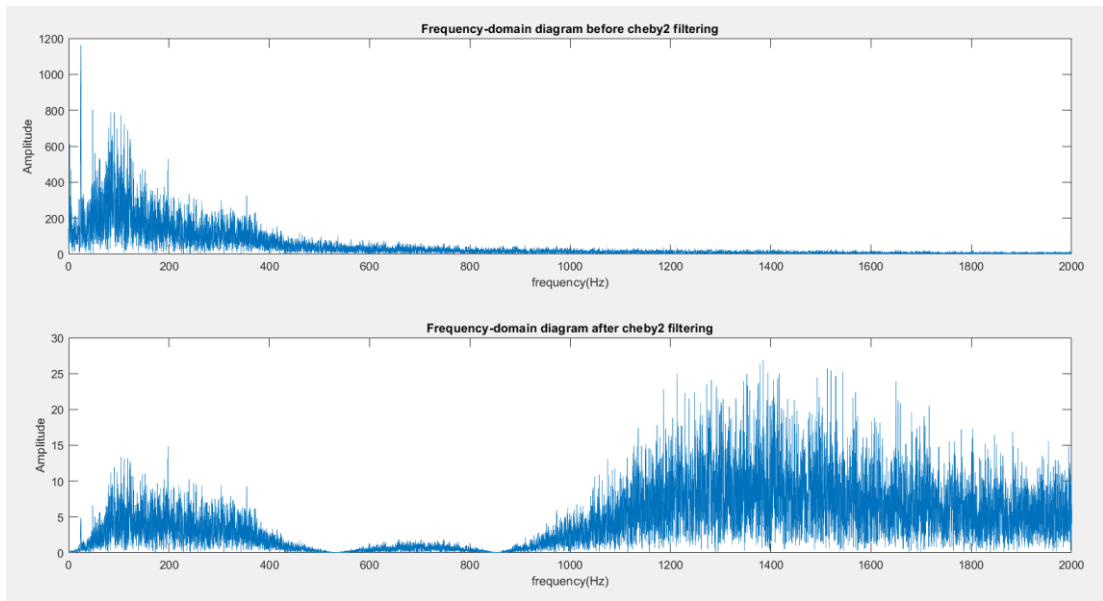
ภาพประกอบ 89 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz



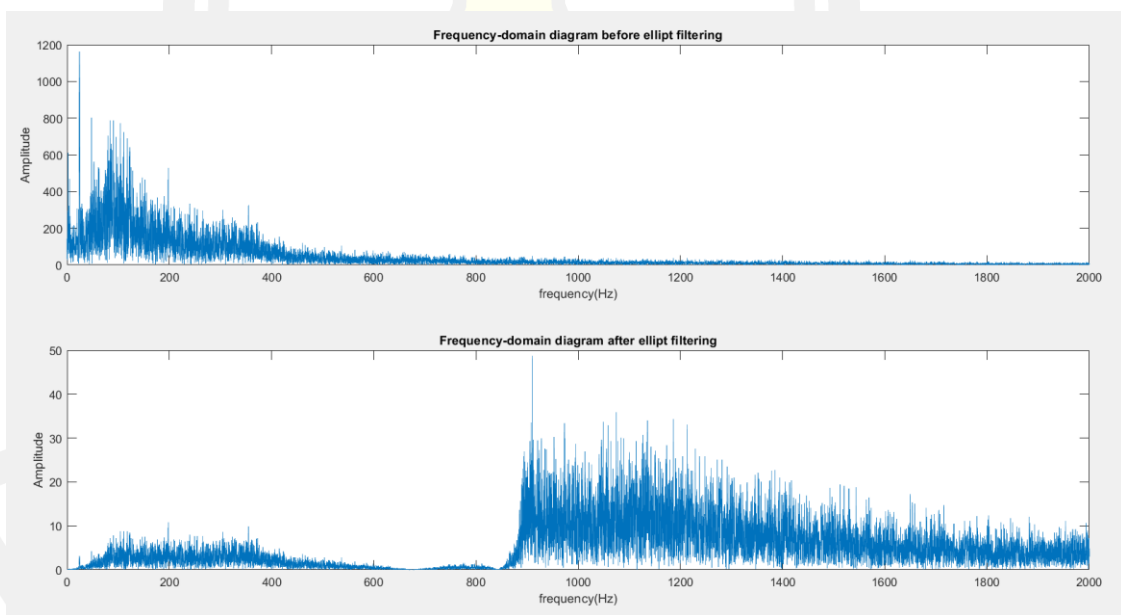
ภาพประกอบ 90 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 5 Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 91 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev1 ที่ Order = 5 ,Cut-off 500 Hz

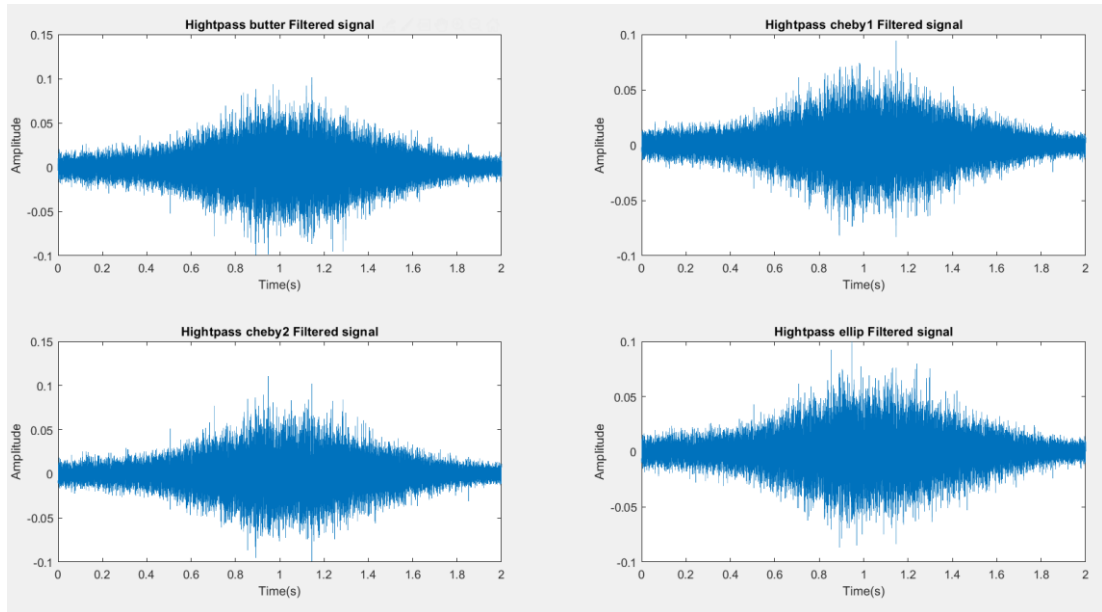


ภาพประกอบ 92 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshav2 ที่ Order = 5 ,Cut-off 500 Hz

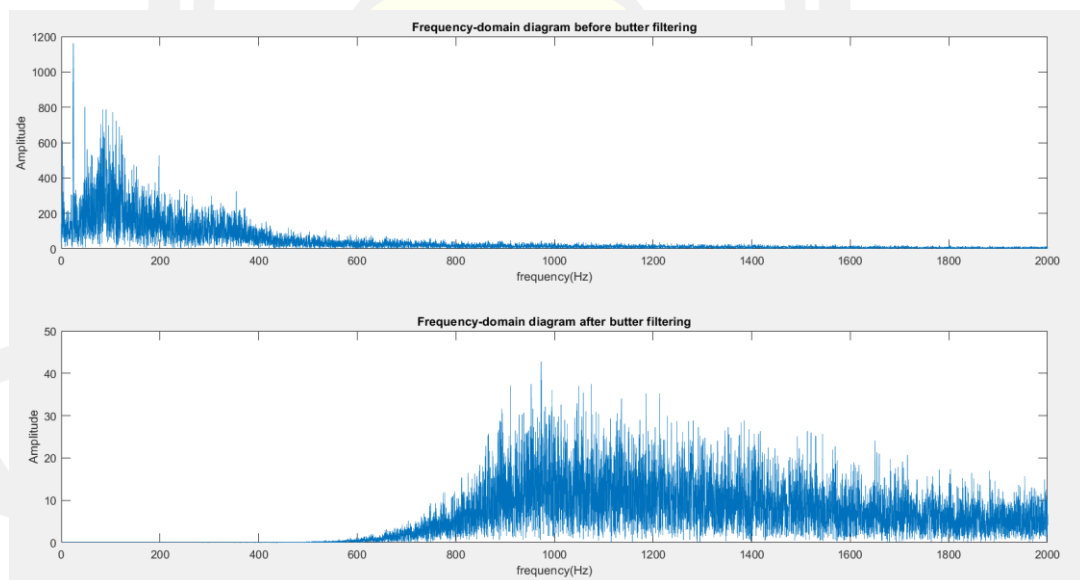


ภาพประกอบ 93 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่ Order = 5 , Cut-off 500 Hz

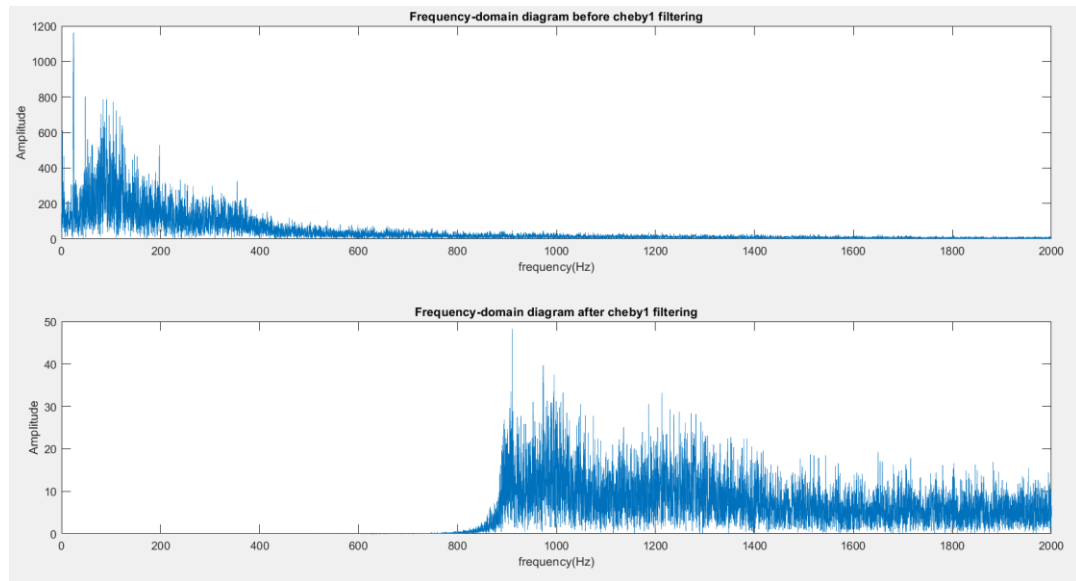
3. Passing noise + Go โดยใช้ Order = 10, Cut-off 500 Hz.



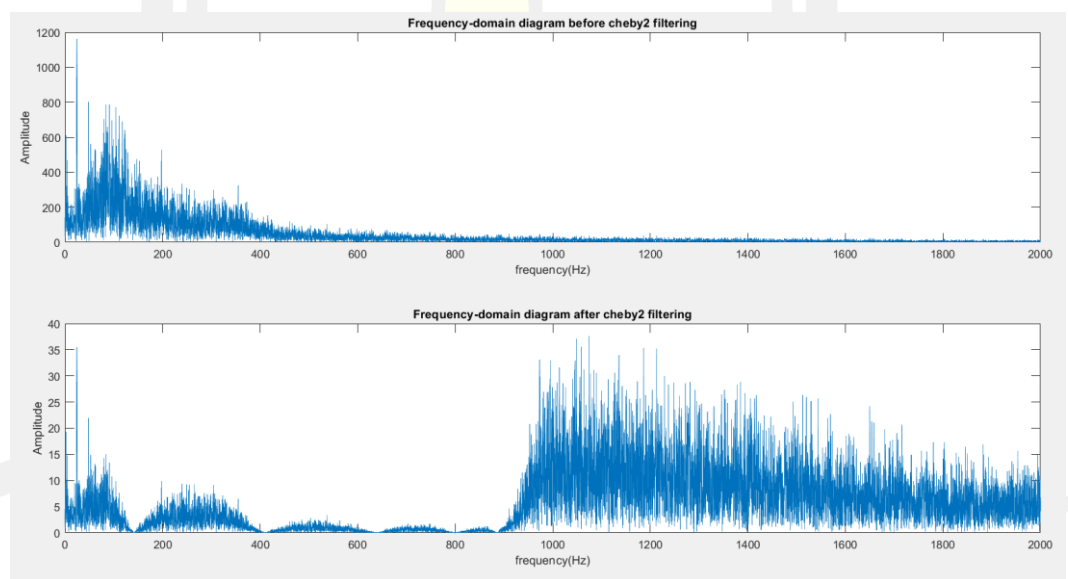
ภาพประกอบ 94 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz



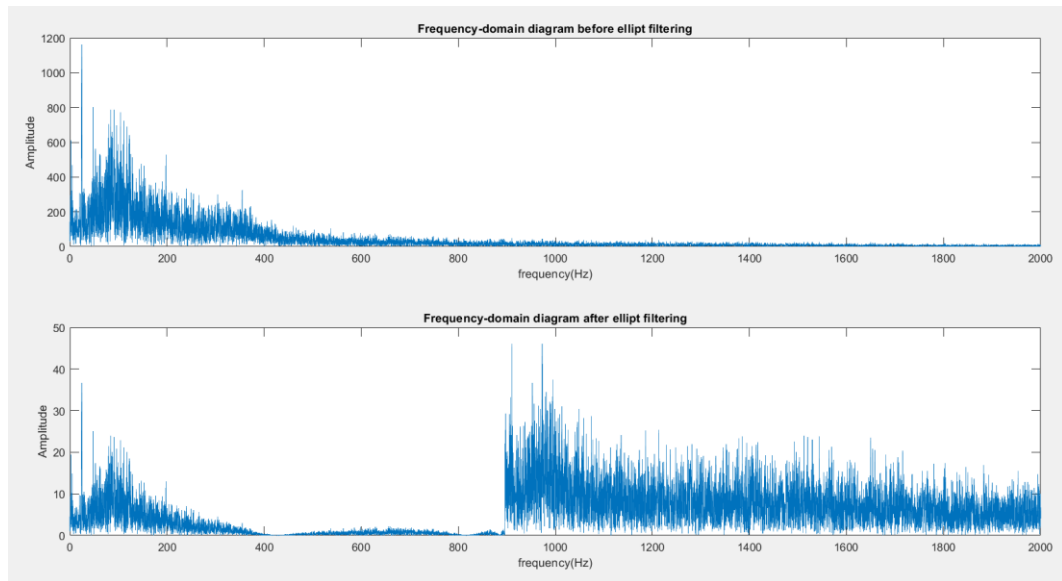
ภาพประกอบ 95 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 96 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev1 ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz

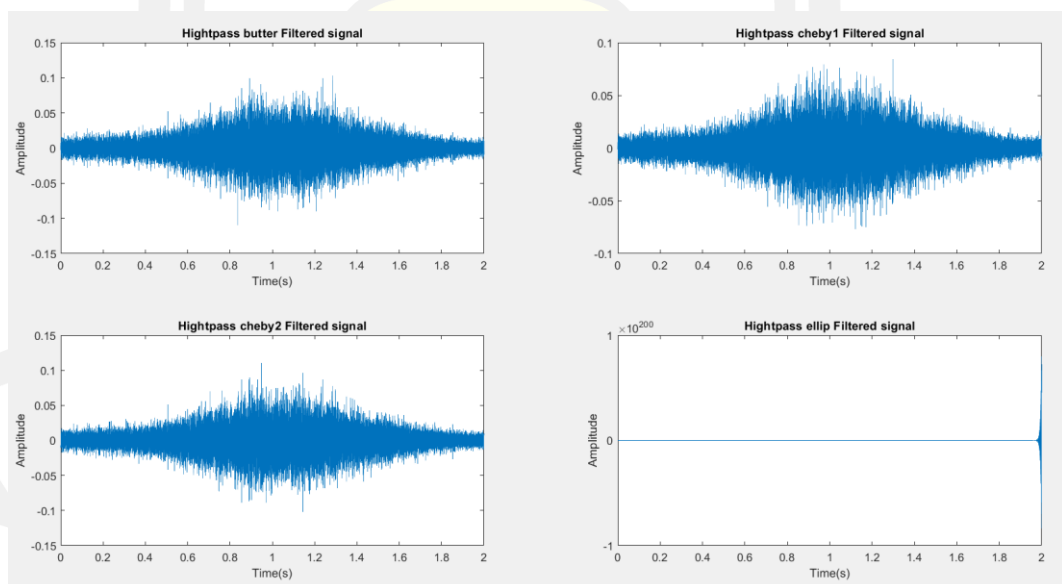


ภาพประกอบ 97 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Chebyshev2 ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz

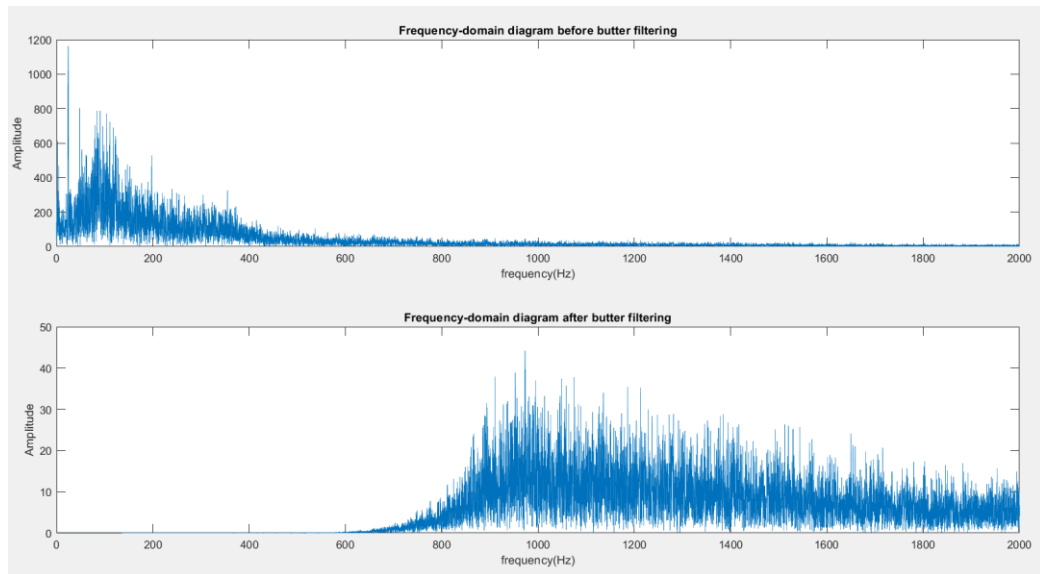


ภาพประกอบ 98 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ Elliptic ที่ Order = 10 , Cut-off 500 Hz

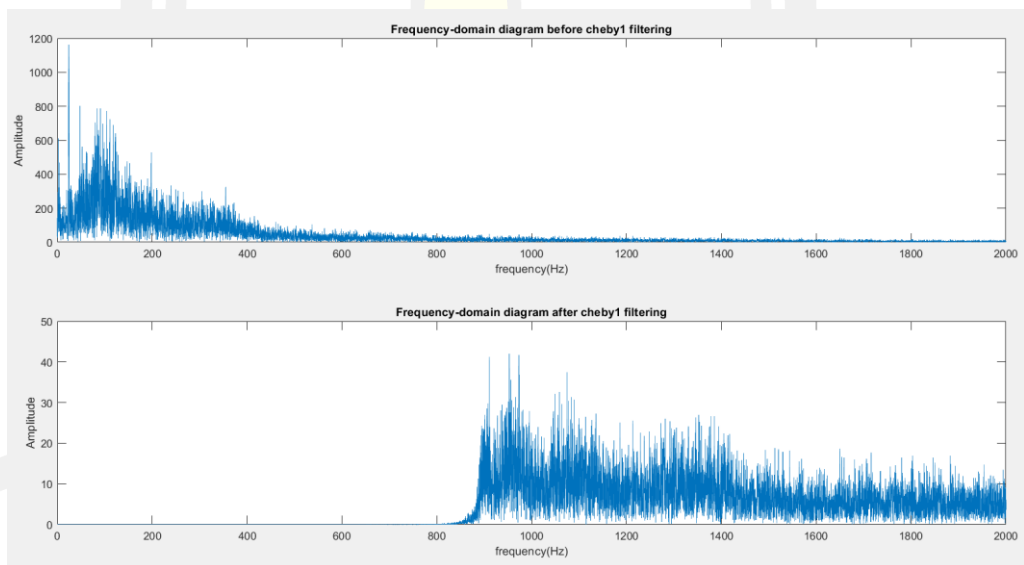
4. Passing noise + Go โดยใช้ Order = 13, Cut-off 500 Hz.



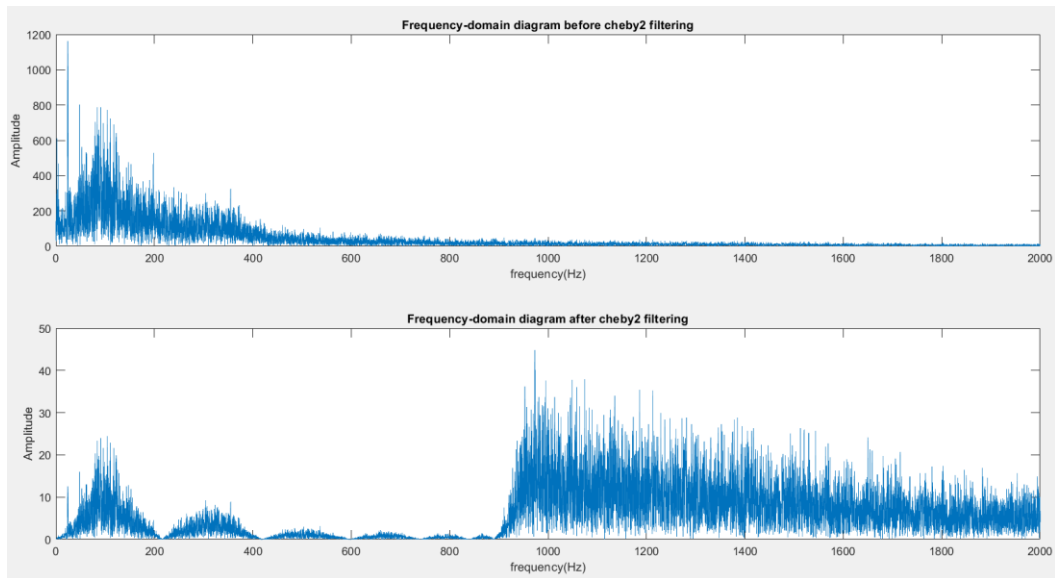
ภาพประกอบ 99 แสดง Time- domain ของสัญญาณหลังจาก filter ของ butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic ที่ Order = 13 , Cut-off 500 Hz



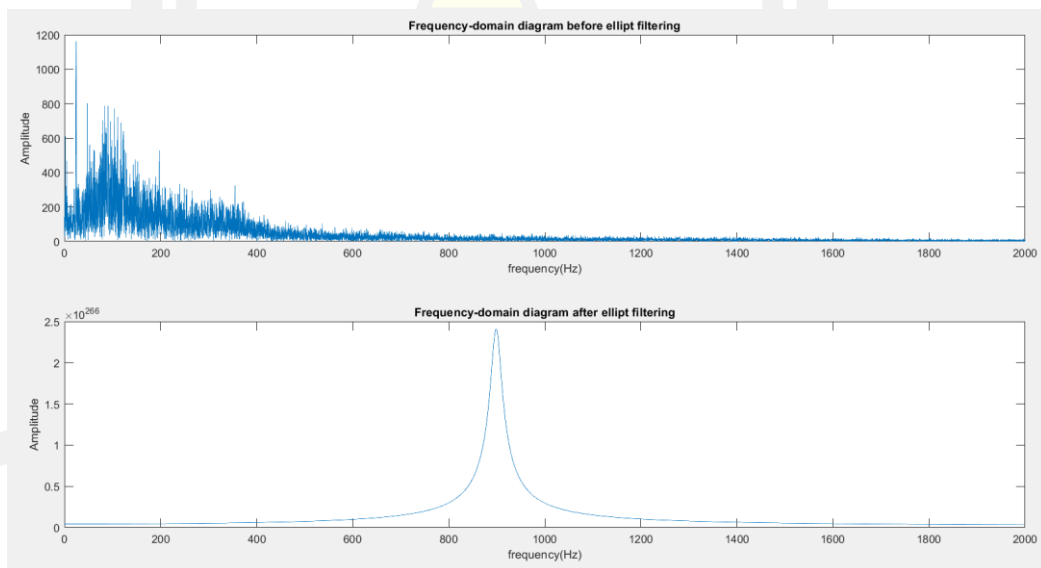
ภาพประกอบ 100 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ butter worth filter ที่ Order = 10 Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 101 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav1 ที่ Order = 13 ,Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 102 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ chebyshav2 ที่  
Order = 13 , Cut-off 500 Hz



ภาพประกอบ 103 แสดง Frequency - domain ของสัญญาณก่อน – หลัง ของ elliptic ที่  
Order = 13 , Cut-off 500 Hz



### สรุปผลการทดลอง

จากตารางข้างต้น เมื่อทำการหาค่าความถี่เสียงรบกวนของระบบนำทางรถยนต์ จะได้ความถี่ของเสียงรบกวน Driving Noise = 0 – 580, Heater Noise = 0 – 430 และ Passing Noise = 0 – 1000 และความถี่ของคำพูดจะอยู่ช่วง 150 – 4500 Hz ดังนั้น filter ที่เหมาะต่อการตัดเสียงรบกวน คือ High pass เนื่องจาก ความถี่ของเสียงพูดจะอยู่ในช่วงที่สูงกว่าเสียงรบกวน โดยใช้ Filter พื้นฐานบน MATLAB butter worth filter , chebyshav1 , chebyshav2 และ elliptic จากผลการทดลอง จะได้ดัง ตาราง 7

ตาราง 7 ผลการทดลอง

Filter Tool high pass						
Noise	Cut-off Frequency of Noise (Hz) [Fc]	Sampling Frequency (Hz) [Fs]	Order of Filter			
			Butterworth	Chebyshev 1	Chebyshev 2	Elliptic
Driving	500	16000	5 - 19	4 - 20	-	11 - 15
Heater	500	16000	5 - 20	5 - 20	-	11 - 14
Passing	500	16000	5 - 19	5 - 20	-	12 - 13

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพของการส่งการด้วยเสียงสำหรับระบบนำทางในรถยนต์นี้ เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของการส่งการด้วยเสียงโดยใช้เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ตัวกรองเชบีเชฟ 2 และ ตัวกรองอิลิปติก ที่ได้มาจากการนำสัญญาณเสียงในฐานข้อมูลของกลุ่มคนที่มีความแตกต่างกันของเสียงพูด 9 คำ รวมทั้งสิ้น 225 ไฟล์เสียง โดยพบว่าสัญญาณเสียงพูดที่ใช้มีความถี่อยู่ในช่วง 150 เฮิรตซ์ ถึง 4500 เฮิรตซ์ และนำสัญญาณเสียงพูดในช่วงดังกล่าว มารวมกับสัญญาณเสียงแวลลุ่มรถยนต์ ได้แก่ สัญญาณเสียงรบกวนฮิตเตอร์ที่ความถี่ของสัญญาณ 430 เฮิรตซ์ ความถี่สัญญาณรบกวน 1000 เฮิรตซ์ และความถี่ของสภาพแวดล้อมของรถยนต์ขับที่ 580 เฮิรตซ์ จากผลการทดสอบโดยใช้เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ตัวกรองเชบีเชฟ 2 และ ตัวกรองอิลิปติก พบว่าตัวกรองสัญญาณที่นำมาใช้สามารถกรองสัญญาณได้ โดยใช้ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 ที่อัตราเท่ากับ 5 และ ตัวกรองอิลิปติก ที่อัตราเท่ากับ 11 ขึ้นไป แต่ตัวกรองเชบีเชฟ 2 ไม่สามารถตัดเสียงที่ความถี่ของสัญญาณ 500 เฮิรตซ์ได้ จึงสรุปได้ว่า เทคนิคกรองความถี่สูงด้วยตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ และ ตัวกรองเชบีเชฟ 1 คือเทคนิคที่เหมาะสมที่สุด

## บรรณานุกรม

1. Varaiya, P. and S. Shladover, *Sketch of an IVHS systems architecture*. Vol. 2. 1991. 909-922.
2. Papadimitratos, P., et al., *Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation*. Communications Magazine, IEEE, 2009. **47**: p. 84-95.
3. Wang, F., D.D. Zeng, and L. Yang, *Smart Cars on Smart Roads: An IEEE Intelligent Transportation Systems Society Update*. Pervasive Computing, IEEE, 2006. **5**: p. 68-69.
4. Kim, Y., *A system dynamics model for the technological forecasting of automotive in-car navigation market*. 2007 International Forum on Strategic Technology, IFOST, 2007.
5. Kamiya, H., Y. Nakamura, and H. Matsumoto, *A study on recognition of in-car visual information*. 1994. 469-472.
6. Chang, P.-K., J.-M. Lin, and Y. Lo, *Integrated Smart Car Navigation and Voice Control System Design*. 2006. 760-765.
7. Westphal, M. and A. Waibel, *Towards Spontaneous Speech Recognition For On-Board Car Navigation And Information Systems*. 1999.
8. Akmal, H., I. Ali, and N. Naeem, *Efficient and unique learning of in-car voice control for engineering education*. 2017. 1-6.
9. Lavrynenko, O., G. Konakhovych, and D. Bakhtiarov, *Method of voice control functions of the UAV*. 2016. 47-50.
10. Zhou, X.L., et al., *Embedded Vehicle Control System Based on Voice Processing Technologies*. 2008. 132-137.
11. S, Y. and V. S, *Real time voice identification based gear control system in LMV using MFCC*. 2015. 1-7.
12. Hazrati, O., S. Ghaffarzadegan, and J. Hansen, *Leveraging automatic speech recognition in cochlear implants for improved speech intelligibility under reverberation*. 2015. 5093-5097.

13. Siegler, M. and R. Stern, *On the effects of speech rate in large vocabulary speech recognition systems*. Vol. 1. 1995. 612-615.
14. Pfeifenberger, L., et al., *Multi-channel speech processing architectures for noise robust speech recognition: 3rd CHiME challenge results*. 2015.
15. Mitra, V., et al., *Normalized amplitude modulation features for large vocabulary noise-robust speech recognition*. 2012. 4117-4120.
16. Hataoka, N., et al., *Evaluation of interface and in-car speech - many undesirable utterances and sever noisy speech on car navigation application*. 2008. 956-959.
17. Qian, Y., J. Liu, and M. Johnson, *Efficient Embedded Speech Recognition for Very Large Vocabulary Mandarin Car-Navigation Systems*. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 2009. **55**: p. 1496-1500.
18. นายณรงค์รัตน์ เลี้ยวรุ่งโรจน์, นายอนุพงษ์ ธรรมรักษาสิทธิ์ และ รศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย (2546) , *รถเข็นคนพิการควบคุมด้วยระบบรู้จำเสียงพูด* , ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
19. ศุภชัย ถึงเจริญ (2551), *ระบบการสื่อสารผ่านเสียงของคนกับเครื่องสำหรับใช้กับรถเข็นคนพิการอัตโนมัติ* , วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
20. เมธา คงพูน (2548) , *การออกแบบขั้นตอนวิธี LMS แบบปรับอันดับสำหรับลดการบ้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
21. วัชรพงษ์ แซ่เตียว ,*การศึกษาวิธีการกำจัดเสียงรบกวนในท่อ* , ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเอกวิทย์ เพ็งพินิจ
วันเกิด	10 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	อำเภอสนม จังหวัดสุรินทร์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 45 หมู่ 7 ตำบลหัวจัว อำเภอสนม จังหวัดสุรินทร์ รหัสไปรษณีย์ 32160
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	8 อาคารที่วัน ชั้นที่ 14 ยูนิต 4 ซอยสุขุมวิท 40 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 ระดับปริญญาตรี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ระดับปริญญาโท ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ ปณฺฑิต ชีวะ