สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเสียงรบกวนในรถยนต์

A Case Study and Analysis of an Automobile Acoustic Noise

โดย

นายสันติ เกียรติศิริกุล

นายอาทิตย์ เกียนสันเทียะ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72659
วัน,เดือน,ปี 2 1 มิ.ย. 2550

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Case Study and Analysis of an Automobile Acoustic Noise

BY

Mr. SANTI KIATSIRIKUL

Mr. ATHIT KIANSUNTIAY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF THE INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเสียงรบกวนในรถยนต์
THESIS TITLE	A Case Study and Analysis of an Automobile Acoustic Noise
ชื่อนักศึกษา	นายสันติ เกียรติศิริกุล รหัสนักศึกษา 47015855
	นายอาทิตย์ เกียนสันเทียะ รหัสนักศึกษา 47015861
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2549

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเสียงรบกวนในรถยนต์
THESIS TITLE	A Case Study and Analysis of an Automobile Acoustic Noise
ชื่อนักศึกษา	นายสันติ เกียรติศิริกุล รหัสนักศึกษา 47015855
	นายอาทิตย์ เกียนสันเทียะ รหัสนักศึกษา 47015861
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดลชัย สุขเจริญผล
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นภายในห้องผู้โดยสารของรถยนต์ โดยเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์นี้มีช่วงความถี่ 200 Hz-4 kHz ในช่วงสำคัญของย่านออดิโอ ซึ่งทำให้รบกวนต่อระบบการรับฟังบนยานพาหนะและนอกจากนี้ยังรบกวนต่อระบบสั่งงานด้วยเสียงพูดและการสนทนาขณะใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ในโครงงานนี้รวมรวมข้อมูลและวิเคราะห์สัญญาณรบกวนดังกล่าวทั้งในเชิงเวลาและความถี่จากการบันทึกเสียงรบกวนจากรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE	A Case Study and Analysis of an Automobile Acoustic Noise		
STUDENT	Mr. Santi	Kiatsirikul	No. 47015855
	Mr. Athit	Kiansuntiay	No. 47015861
ADVISOR	Assistant Prof. Dolchai	Sukcharoemphol	
COURSE	Bachelor of Information Engineering		
DEPARTMENT	Information Engineering		
YEAR	2006		

Abstract

This project is an analysis noise signal that occurs within car cockpit of a vehicle due to acoustic noise from engine. In frequency domain analyzed the noise signal of the almost vehicle lie on between 200 Hz to 4 kHz in audio frequency band. Those frequencies correspond to high sensitivity of human perception. It had an effected to human conversation and speech recognition on the intelligent vehicles. An acoustic noise is analysis both time-frequency domains and also ceptrum domain to determine the resonance frequency and their harmonics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจะต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ตลอดจนอีกทั้งยังได้ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆของการดำเนินงานมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณพี่เจตและพี่ตี๋ ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆรวมทั้งมุขที่ไม่ค่อยฮาและอาจถึงขั้นพาเครียดด้วยครับ)

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยห่วงใย ว่ากล่าว ติเตือน และให้การสนับสนุนในการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณญาติสนิทและพี่ๆทุกคนที่เป็นกำลังใจพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆห้อง3F/2 ที่คอยช่วยเหลือกันมาตลอด (ปล.หวังว่าคงจะไม่ลืมกันนะ)

นายสันติ เกียรติศิริกุล

นายอาทิตย์ เกียนสันเทียะ

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	
สารบัญรูป	
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนของการทำโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไมโครโฟน (Microphones)	3
2.1.1 ไมโครโฟนแบบคริสตอล (Crystal microphone)	3
2.1.2 ไมโครโฟนแบบไดนามิค (Dynamic microphone)	4
2.1.3 ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ (Condenser microphone)	4
2.1.4 ไมโครโฟนแบบริบบอน (Ribbon or Velocity microphone)	5
2.2 คลื่นเสียง (Sound wave)	5
2.2.1 ความถี่ (Frequency, f in Hz)	7
2.2.2 ความยาวคลื่น (Wavelength, λ in meters)	8
2.2.3 เสียงรบกวน (Noise)	8
2.3 เดซิเบล (Decibel, dB)	9
2.4 การวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analysis)	10
2.5 โดเมนเวลา (Time Domain) และ โดเมนความถี่ (Frequency Domain)	14
2.5.1 โดเมนทางเวลา (Time Domain)	14
2.5.2 โดเมนทางความถี่ (Frequency Domain)	15
2.6 ทฤษฎีกรองความถี่	18
2.7 ทฤษฎี Fast Fourier Transform (FFT)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 ทฤษฎี Cepstrum (The Cepstrum-domain Theory)	22
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย	25
3.1 การเก็บบันทึกสัญญาณเสียงภายในห้องโดยสารของรถยนต์	25
3.1.1 การออกแบบบล็อคไดอะแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง	25
3.1.2 การใช้โปรแกรม SpectraLAB ในการบันทึกสัญญาณเสียง	26
3.2 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ได้จากการบันทึก	28
3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SpectraLAB	28
3.2.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	35
4.1 การวัดสัญญาณเสียงรถยนต์	35
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกเสียง	35
4.1.2 ตัวอย่างเสียงรถยนต์ที่ทำการบันทึก (ที่เป็นไฟล์ .wav)	35
4.2 การพล็อตสัญญาณเสียงรถยนต์ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง	36
4.2.1 การทดลองพล็อตสัญญาณเสียงรถยนต์รุ่นต่าง ๆ	37
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	69
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	69
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงงาน	69
5.3ข้อจำกัดของโครงงาน	69
5.4แนวทางในการพัฒนาต่อ	70
บรรณานุกรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบคริสตอล	3
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบไดนามิค	4
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์	4
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบริบบอน	5
รูปที่ 2.5 แสดงช่วงอัดและช่วงขยายของคลื่นเสียง	6
รูปที่ 2.6 แสดงความถี่และค่าที่ใช้เรียกส่วนต่างของความถี่	8
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นแบบ Wavelet Function	12
รูปที่ 2.8 แสดงกราฟที่ได้จากสมการซึ่ง (a) คือโดเมนเวลา (b) คือโดเมนความถี่	17
รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองอุดมคติ	19
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการหา Spectrum ของสัญญาณเสียงรถยนต์ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง	20
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการพล็อต Cepstrum	23
รูปที่ 2.12 แสดงเบล็อกไดอะแกรมในขั้นตอนการประมวลผล Cepstrum-domain	24
รูปที่ 3.1 แสดงเบล็อคไดอะแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง	25
รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกฟังก์ชั่นของโปรแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง	26
รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างรูปสัญญาณที่ทดลองทำการบันทึก	27
รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างของสัญญาณในมุมมองของ Spectrum	27
รูปที่ 3.5 แสดงการเลือกฟังก์ชั่นโปรแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณเสียง	28
รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบของสัญญาณใน Time-Domain	29
รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบของสัญญาณใน Frequency-Domain	29
รูปที่ 3.8 แสดงรูปของสัญญาณที่ผ่านการ Filter แล้ว	30
รูปที่ 3.9 แสดงรูปของสัญญาณที่อ่านด้วยโปรแกรม MATLAB	31
รูปที่ 3.10 แสดงรูปของสัญญาณในโดเมนเวลาที่ได้จากโค้ดในแปลงCepstrum	33
รูปที่ 3.11 แสดงรูปของสัญญาณในโดเมนความถี่ที่ได้จากโค้ดในแปลงCepstrum	34
รูปที่ 3.11 แสดงรูปของสัญญาณในรูปแบบของCepstrum	34
รูปที่ 4.1(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที	37
รูปที่ 4.1(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

รูปที่ 4.1(ค)แสดงรูปสัญญาณของรถ FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 38

รูปที่ 4.2(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ
ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 39

รูปที่ 4.2(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ
ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 39

รูปที่ 4.2(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ
ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 40

รูปที่ 4.3(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c.
ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 41

รูปที่ 4.3(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c.
ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 41

รูปที่ 4.3(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c.
ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 42

รูปที่ 4.4(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 43

รูปที่ 4.4(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 43

รูปที่ 4.4(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 44

รูปที่ 4.5(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 45

รูปที่ 4.5(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 45

รูปที่ 4.5(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c.
ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 46

รูปที่ 4.6(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c
ปีที่ผลิต 1994 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

รูปที่ 4.6(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 ซีซี ปีที่ผลิต 1994 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 47

รูปที่ 4.6(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c ปีที่ผลิต 1994 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 48

รูปที่ 4.7(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 49

รูปที่ 4.7(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 49

รูปที่ 4.7(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 50

รูปที่ 4.8(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 51

รูปที่ 4.8(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 51

รูปที่ 4.8(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 52

รูปที่ 4.9(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 53

รูปที่ 4.9(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 53

รูปที่ 4.9(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 54

รูปที่ 4.10(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 55

รูปที่ 4.10(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 55

รูปที่ 4.10(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

รูปที่ 4.11(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 57

รูปที่ 4.11(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 57

รูปที่ 4.11(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 58

รูปที่ 4.12(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 59

รูปที่ 4.12(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 59

รูปที่ 4.12(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 60

รูปที่ 4.13(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 61

รูปที่ 4.13(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 61

รูปที่ 4.13(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 62

รูปที่ 4.14(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 63

รูปที่ 4.14(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 63

รูปที่ 4.14(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 64

รูปที่ 4.15(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 65

รูปที่ 4.15(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป หน้า

รูปที่ 4.15(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 66

รูปที่ 4.16(ก) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที 67

รูปที่ 4.16(ข) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที 67

รูปที่ 4.16(ค) แสดงรูปสัญญาณของรถ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 ขั้นตอนของการทำโครงงาน	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์นั้นมีการเจริญเติบโตไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้พยายามคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ อยู่เสมอ ซึ่งหนึ่งในนั้นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการเลือกซื้อก็คือลักษณะของห้องผู้โดยสารที่จะต้องมีความเงียบ(ประมาณ 30 dB) โดยเสียงรบกวนจากภายนอกที่อาจจะมาจากเสียง อุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่กำลังทำงานอยู่ เสียงลม หรือเสียงอื่นๆ ซึ่งถ้ามีการศึกษาและวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม SpectraLab จนสามารถแยกสัญญาณเหล่านั้นออกมาเป็นแถบความถี่หรือสเปกตรัมของ สัญญาณได้ ก็จะทำให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณขึ้นมาใหม่เพื่อทำการปรับแต่งหรือลดทอนสัญญาณรบกวนเหล่านั้นจนเป็นผลทำให้ห้องผู้โดยสารปราศจากเสียงสัญญาณรบกวนที่มากเกินไปได้

2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เสียงสัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นในห้องผู้โดยสารรถยนต์ในรุ่นและยี่ห้อต่างๆที่ได้ทำการบันทึกมา

2. เพื่อทำการวิเคราะห์สเปกตรัมในแกนเวลาและ แกนความถี่ของสัญญาณรบกวนที่ได้ทำการบันทึกมาด้วยโปรแกรม SpectraLAB

3. รวบรวมและวิเคราะห์สัญญาณเสียงรถยนต์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อแสดงผลของสัญญาณที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบที่ต่างกันออกไป

3. ขอบเขตของโครงงาน

- ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเสียง
- ทำการวัดและบันทึกสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นในห้องผู้โดยสาร
- นำสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาทำการวิเคราะห์ทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่ ด้วยโปรแกรมSpectraLAB
- นำสัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของCepstrum ด้วยโปรแกรมMATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• เขียน GUI (Graphical User Interfaces) ซึ่งเป็น Tools ของ MATLAB เพื่อแสดงผลที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์

4. ขั้นตอนของการทำโครงงาน

ขั้นตอนการทำโครงงานแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ การกำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษา การออกแบบจำลองการวัด การวัดช่องสัญญาณ การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด และการทำปริญญานิพนธ์ โดยช่วงเวลาในการทำขั้นตอนต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนของการทำโครงงาน

ขั้นตอนของการทำโครงงาน	ช่วงระยะเวลา							
	2549							2550
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. กำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษา	←	→						
2. ออกแบบจำลองการวัด		←	→					
3. วัดและบันทึกผล				←	→			
4. วิเคราะห์ข้อมูล				←	→			
5. ทำปริญานิพนธ์				←	→			

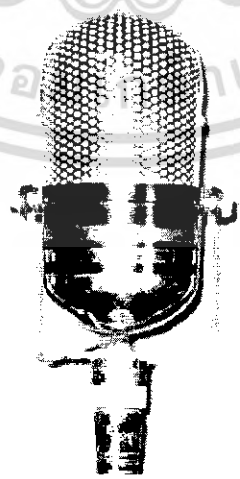
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครโฟน (Microphones)

ไมโครโฟน เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดที่ใช้วัดสัญญาณรบกวนในห้องโดยสารรถยนต์ เพราะว่าการวัดจะแน่นอนหรือไม่นั้นก็ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ไมโครโฟนนั่นเอง และสิ่งที่ต้องคำนึงในการเลือกใช้ไมโครโฟนก็มีดังต่อไปนี้คือ การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ความไวในการรับสัญญาณ (Sensitivity) ทิศทางการรับเสียง (Directionality) ซึ่งที่กล่าวมานี้ก็จะมีไมโครโฟนอยู่ไม่กี่ชนิดที่ควรจะเลือกมาใช้ได้ เพราะชนิดอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งจะมี 4 ชนิดที่จะกล่าวถึงมีดังนี้

2.1.1 ไมโครโฟนแบบคริสตอล (Crystal microphone) เป็นไมโครโฟนยุคแรก ๆ ใช้แร่ผลึกคริสตอลเป็นตัวแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า น้ำหนักเบา ราคาถูก ไม่ทนต่อสภาพความร้อน หรือความชื้นสูงได้เพราะอาจจะทำให้คริสตอลเสื่อมได้ ไมโครโฟนแบบนี้จะให้กำลังงานไฟฟ้าออกมาสูง และสามารถคงสภาพสัญญาณได้ดีจึงไม่ต้องอาศัยหม้อแปลง (Transformer)ในตัวไมโครโฟนช่วยแต่อย่างใด สามารถส่งสัญญาณเสียงไปยังเครื่องขยายเสียงได้โดยตรง และข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของไมโครโฟนชนิดนี้ก็คือ จะไม่สามารถใช้สายได้เกิน 25 ฟุต เพราะถ้าสายยาวกว่านี้ก็จะทำให้สัญญาณภายนอกอื่น ๆ มารบกวนได้ ซึ่งจะทำให้สัญญาณของไมโครโฟนอ่อนลงมาก ส่วนในเรื่องการตอบสนองความถี่ (Frequency response) ไมโครโฟนชนิดนี้ยังทำได้ไม่ดีนัก



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบคริสตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ไมโครโฟนแบบไดนามิค (Dynamic microphone) เป็นไมโครโฟนที่ใช้ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) ทำสนามแม่เหล็กที่มีความถี่ตอบสนองที่ดี และสามารถทำงานที่อุณหภูมิได้สูงถึง 180° F เลยทีเดียว และยังได้รับความนิยมมากอีกชนิดหนึ่ง เพราะสามารถให้เสียงที่เป็นธรรมชาติ มีความทนทาน เหมาะกับการกระจายเสียง แต่ก็จะมีข้อเสียอยู่ที่อาจจะเกิดสัญญาณรบกวนของสนามแม่เหล็กจากภายนอกได้เมื่อใช้มอเตอร์ เยอเนอร์เรเตอร์ หรือทรานสฟอเมอร์ และราคาของไมโครโฟนชนิดนี้ที่คุณภาพสูง ๆ นั้นก็มีราคาแพงเช่นกัน

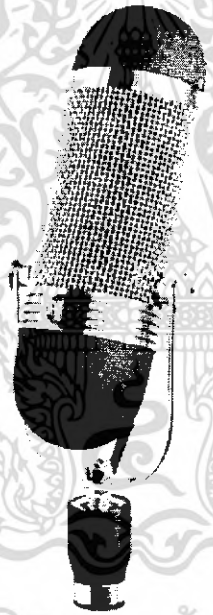
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบไดนามิค

2.1.3 ไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ (Condenser microphone) เป็นไมโครโฟนชนิดที่ถือได้ว่าสามารถตอบสนองความถี่ได้ดีที่สุดในปัจจุบันนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องบันทึกเสียงแบบทั่ว ๆไป สามารถใช้งานได้กับความถี่ที่สูงถึง 200 KHz แต่ก็มีข้อเสียคือ มีราคาค่อนข้างแพง และจำเป็นต้องใช้วงจรขยายภาคแรกช่วยในกรณีที่สัญญาณเสียงอินพุตนั้นต่ำมากๆ ซึ่งในโครงงานที่จะศึกษาสัญญาณรบกวนในรถยนต์นี้ก็ได้เลือกไมโครโฟนชนิดนี้มาใช้งานเช่นกัน

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ไมโครโฟนแบบริบบอน (Ribbon or Velocity microphone) เป็นไมโครโฟนที่บอบบาง เสียง่ายไม่มีไดอะเฟรม การทำงานอาศัยการสั่นสะเทือนของแผ่นริบบอน มีลักษณะบางเบาและขึงตึงอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวรกำลังสูง และจะทำงานทันทีเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน เป็นไมโครโฟนที่มีคุณภาพสูงและควบคุมสัญญาณได้ดีที่สุด (Highest Fidelity) แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กันมาก เพราะมีข้อเสียคือ ไม่เหมาะต่องานนอกสถานที่แม้แต่เสียงลมพัดก็จะรับเสียงเอาไว้หมด อาจแก้ได้โดยใช้ วัสดุกันลมซึ่งอาจจะเป็นกระบอกฟองน้ำสวมครอบแต่ก็ไม่ได้ผลนัก นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่น ๆ อีก เช่น สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ออกมาค่อนข้างต่ำ (Low Output) ต้องใช้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังแรง และคุณภาพสูง ถ้าพูดใกล้มาก เสียงลมหายใจจะกลบเสียงที่พูด และไมโครโฟนชนิดนี้ไม่นิยมใช้นอกสถานที่ มักพบในสถานีส่งวิทยุโทรทัศน์และห้องบันทึกเสียง

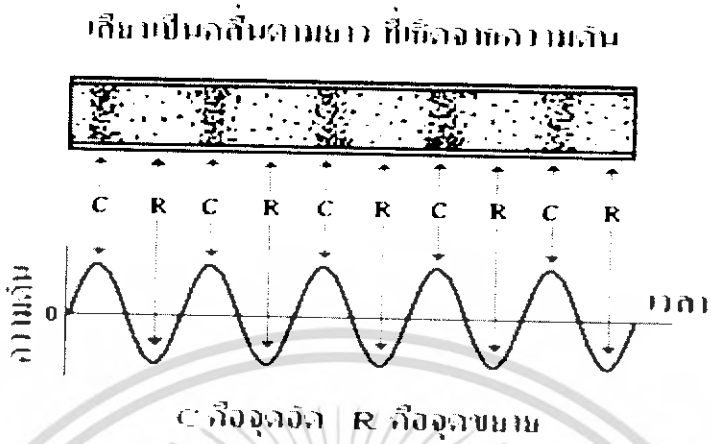


รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างไมโครโฟนแบบริบบอน

2.2 คลื่นเสียง (Sound wave)

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวที่เกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียง ทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นช่วงอัดและช่วงขยาย เมื่อช่วงอัดและช่วงขยายของคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่หูของคนก็จะเกิดการได้ยินเป็นเสียงขึ้นดังรูปที่ 2.5 โดยที่ตรงจุดอัดความดันอากาศจะมีค่ามาก และตรงจุดขยายความดันอากาศจะมีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงช่วงอัดและช่วงขยายของคลื่นเสียง

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของคลื่นเสียง (Physics properties of sound wave) ซึ่งเสียงที่เราได้ยินนั้นไม่ว่าจะเป็นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงใด ส่วนใหญ่จะเป็นเสียงที่ซับซ้อนที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นเสียงที่มีความถี่และระดับความดันเสียงต่าง ๆ เข้าด้วยกัน การศึกษาทางฟิสิกส์ในเรื่องของคลื่นเสียง เราสามารถอธิบายเป็นสมการคณิตศาสตร์ให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้นในรูปแบบของ sine wave เช่น การเคาะส้อมให้เกิดเสียง คือเกิดการเคลื่อนที่หรือความสั่นสะเทือนของโมเลกุลของอากาศที่มาจากการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศโดยรอบ เป็นส่วนอัดส่วนขยายที่เรียกว่า ความดันเสียง ซึ่งเคลื่อนที่ส่งผ่านโมเลกุลของตัวกลางไปยังจุดรับเสียง โดยเมื่ออากาศผ่านกระบวนการได้ยินของมนุษย์จนรับรู้ความรู้สึกของเสียงนั้น ในที่นี้ก็จะมีอยู่ 2 พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ความถี่เสียงและ ความยาวคลื่นเสียง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับอัตราเร็วเสียงในอากาศ ทิศทางการแพร่กระจายของเสียง และเวลาที่เสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังผู้รับเสียง

โดยปรกติหูมนุษย์เราสามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่อยู่ในย่าน 20 Hz – 20 KHz และ การตอบสนองความถี่นั้นก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุไขของแต่ละคน คือเมื่ออายุยิ่งมากความสามารถที่จะรับรู้เสียงสูง ๆ ก็ยิ่งลดลงและเสียงใดที่มีความถี่สูงกว่าอีกเสียงหนึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเสียงที่มีระดับเสียงสูงกว่าอีกเสียง ตัวอย่างเช่น เสียงของผู้ชายจะมีความถี่อยู่ในในช่วง 250 – 1 KHz ส่วนเสียงของผู้หญิงจะมีความถี่จะอยู่ในช่วง 500 – 1.5 KHz และเท่าที่ทดลองกันมาความถี่เสียงที่หูคุ้นเคยและตอบสนองไวที่สุดคือ 3 KHz

ความเข้มของเสียง มีความสัมพันธ์ที่ว่า ถ้าเสียงเบาจะมีแอมพลิจูดต่ำ เสียงที่ดังก็จะมีความเข้มของเสียงมากขึ้นและแอมพลิจูดก็สูงตามไปด้วย ซึ่งในการทดลองพบว่า ความเข้มของเสียง ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

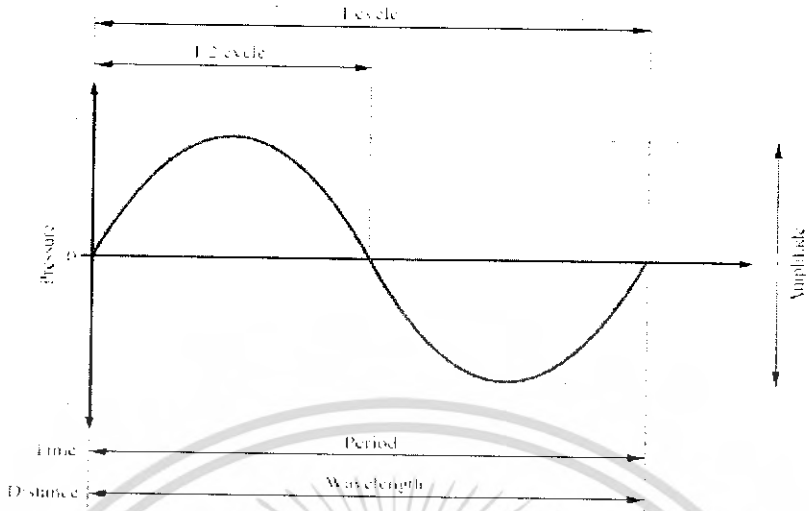
จุดต่างๆ มีขนาดแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดกำลังสอง และความไวของหูกับความเข้มของเสียง เมื่อเริ่มทดลองด้วยเสียงที่มีความถี่ขนาดหนึ่งมีความเข้มของเสียงน้อย ๆ ตั้งแต่เราไม่สามารถได้ยินได้ และค่อย ๆ เพิ่มความเข้มของเสียงจนเราสามารถได้ยินได้ ณ จุดรวมของความเข้มของเสียงนั้นเราเรียกว่า Threshold of Hearing ของความถี่นั้น เมื่อเพิ่มความเข้มของเสียงขึ้นเรื่อย ๆ เราจะรู้สึกว่าดังขึ้น ๆ ความเข้มของเสียงที่เพิ่มที่เราได้ยินได้ปรากฏว่ามีค่ามากมายหลายล้านเท่าของความเข้มของเสียงที่เริ่มได้ยิน นับได้ว่าหูคนเราสามารถรับความเข้มของเสียงหนึ่ง ๆ มีย่านใหญ่โตมากจะต้องมีความเข้มของเสียงอยู่ค่าหนึ่งที่ทำให้เราเริ่มรู้สึกเจ็บปวดสอดแทรกเข้ามากับการได้ยิน ค่านั้นเรียกว่า Threshold value of pain

ความเข้มของเสียงและความถี่ ในการทดลองหาค่าของความเข้มของเสียงความถี่ต่าง ๆ ที่พอจะทำให้เกิดความรู้สึกเจ็บปวดในการได้ยิน ปรากฏว่ามีค่าความเข้มของเสียงที่ไม่เท่ากัน โดยเสียงที่มีความถี่ต่ำ ๆ และสูง ๆ จะมีแนวโน้มที่จะมีความเข้มของเสียงมาก ๆ จึงทำให้มีความรู้สึกเจ็บปวดในการได้ยิน

ความเข้มของเสียงและความดังถึงแม้ว่าจะมีความสัมพันธ์กัน แต่การหาความสัมพันธ์ไม่สามารถแสดงออกมาได้ง่าย ๆ เพราะความดังของเสียงแปรเปลี่ยนไปตามความถี่ของเสียงด้วยคือความถี่ขนาดกลาง ๆ มีความเข้มของเสียงน้อยอาจให้ความรู้สึกว่าดังเท่ากับความถี่สูงมากและต่ำมากได้ เราจึงได้อาศัยการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยค่าระดับมาตรฐานที่ทำให้เกิดความรู้สึกดังเท่ากับเสียงนั้นเรียกว่า เสียงนั้นมีความดังเท่านั้น ดังนั้นเสียง 100 Hz มีระดับความเข้มของเสียงเท่าไรก็มีความดังเท่านั้น เสียง 3500 Hz เป็นเสียงที่มีความเข้มน้อยที่สุดที่เราได้ยิน จึงถือว่าเป็นเสียงที่มีความไวต่อหูมนุษย์ที่สุด

2.2.1 ความถี่ (Frequency, f in Hz) การเคลื่อนที่ของความดันอากาศในตัวอย่างการเคาะส้อมเสียง หรือการเคลื่อนที่ของลูกสูบในท่อเกิดปรากฏการณ์ส่วนอัดส่วนขยายเดินไปตามท่อ ซึ่งนำมาเขียนกราฟระหว่างแอมพลิจูดกับเวลา หรือแอมพลิจูดกับระยะทาง จะได้กราฟรูป Sine wave (รูปที่ 2.6) จำนวนรอบการเกิดส่วนอัดส่วนขยาย เราเรียกว่า ความถี่ของคลื่น มีหน่วยรอบต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงความถี่และค่าที่ใช้เรียกส่วนต่างของความถี่

2.2.2 ความยาวคลื่น (Wavelength, λ in meters) คือ ระยะทางจากยอดคลื่นหนึ่งไปยังยอดคลื่นหนึ่ง หรือระยะทางของการเกิดคลื่นหนึ่งรูปคลื่น (รูปที่ 2.6 Distance Wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และ ความยาวคลื่นเป็นไปตามสูตรดังนี้

$$\lambda = c/f$$

λ คือ ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

C คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศมีค่าเท่ากับความเร็วของแสง $3*10^8$ เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)

2.2.3 เสียงรบกวน (Noise) เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1) นอยส์บรรยากาศ (Atmospheric noise) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศ ที่ห่อหุ้มโลกเช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่กระจายออกไปรอบโลก นอยส์บรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาแม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

2) นอยส์จากอวกาศ (Space noise) เกิดจาก ดวงอาทิตย์ และดวงดาวนับล้าน ๆ ดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6,000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมาเป็นสเปกตรัมที่มีความถี่กว้างมาก พลังงานนี้จะปรากฏออกเป็นนอยส์คงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่น ๆ อีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (sun spot) การลุกโชติช่วง (solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดนอยส์เพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยะจักรวาลก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์คือ มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนสูงและสามารถกำเนิดนอยส์มายังโลกได้ และยังมีนอยส์ที่เกิดขึ้นจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) ได้แก่ นอยส์จากมอเตอร์ ไฟฟ้าเช่น พัดลมที่เป่าผมเครื่องดูดฝุ่นนอกจากนี้ก็ยังมีนอยส์จากระบบจุดระเบิดของรถยนต์การรั่วของสายไฟแรงสูงหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ฯลฯ

3) นอยส์ภายในตัวอุปกรณ์ในเครื่องรับ (Internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือนอยส์อุณหภูมิ (thermal noise)และ ช็อตนอยส์ (Shot noise) นอยส์อุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์บางครั้งเรียกว่า จอห์นสันนอยส์ (Johnson noise) ส่วนช็อตนอยส์ที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอกตีฟ (active device) ทุกชนิดเนื่องจาก การรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล (hole) เช่นในทรานซิสเตอร์ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.3 เดซิเบล (Decibel, dB)

เดซิเบล เป็นหน่วยเปรียบเทียบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยแสดงความสัมพันธ์ในรูปของลอการิทึม ในลักษณะของอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างเอาท์พุทกับอินพุท โดยมีสมการดังนี้คือ

$$dB = 10 \log \frac{W_2}{W_1}$$

เมื่อกำหนดให้ W_2 คือ กำลังขยายทางด้านเอาท์พุท

W_1 คือ กำลังขยายของอินพุท

จากการเปรียบเทียบข้างล่างนี้สามารถทำให้เห็นภาพถึงระดับเสียงได้ชัดเจนขึ้น

10 dBA เสียงการหายใจปกติ

20 dBA เสียงกระซิบที่ระยะ 5 ฟุต

30 dBA เสียงกระซิบเบาๆ

50 dBA เสียงฝน

60 dBA เสียงการสนทนาปกติ

90 dBA เสียงตะโกนคุยกัน

110 dBA เสียงขุดเจาะถนน

120 dBA เสียงฟ้าผ่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับเสียง (Sound Level or Noise Level in dB) คือ ระดับเสียงซึ่งมักใช้แทนคำว่า ระดับความดันเสียง (Sound Pressure Level, SPL in dB)

$$SPL = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^2 = 20 \log \frac{P_2}{P_1}$$

เมื่อกำหนดให้ SPL คือ กำลังอัดของเสียง หน่วยเป็น เดซิเบล

P_2 คือ กำลังของเสียงเป็น นิวตัน/เมตร^2

P_1 คือ กำลังของเสียงที่ระดับเปรียบเทียบเป็น นิวตัน/เมตร^2

2.4 การวิเคราะห์สัญญาณ (Signal Analysis)

เป็นสิ่งสำคัญในการประมวลผลของสัญญาณนั้น ถ้าเรารู้ถึงองค์ประกอบต่างๆ ของสัญญาณว่าส่วนไหนสำคัญ ส่วนไหนสามารถตัดทิ้งได้โดยไม่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากนัก เราก็สามารถที่จะประมวลผลสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่นระบบโทรศัพท์ ผลจากการวิเคราะห์เสียงของคนเราใน Frequency Domain บอกได้ว่าเสียงของคนเรานั้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความถี่ไม่เกิน 3-4 kHz ดังนั้นถ้าเราออกแบบระบบโทรศัพท์ให้รองรับความถี่ได้ในช่วง 4 kHz ลงมา ก็เพียงพอสำหรับการสื่อสารทางโทรศัพท์แล้ว ถึงแม้ว่าระบบโทรศัพท์นี้จะกลายเป็นปัญหาที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของคนยุคปัจจุบันซึ่งถือว่าเป็นยุค Information Super High Way แต่ก็ถือว่าเพียงพอแล้วสำหรับเมื่อ 60 ปีก่อน

เมื่อ 60 ปีที่แล้วถ้าเราจะออกแบบระบบโทรศัพท์ให้สามารถรองรับกับระบบเสียงที่มีคุณภาพชัดเจนเหมือนกับเสียงเพลงจากเครื่องเล่น CD ในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีสมัยนั้น ก่อน DSP, ก่อน Transistor นอกจากจะเป็นไปได้ยากแล้วหรือ ถึงแม้ว่าจะเป็นไปได้แต่โทรศัพท์ก็จะแพงเกินกว่าที่สาธารณชนจะมีใช้กันได้ ตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการวิเคราะห์สัญญาณโดยการแปลงสัญญาณจาก Time Domain ไปเป็น Frequency Domain ในการวิเคราะห์สัญญาณใด ๆ นั้น บางครั้งการดูที่ Time Domain ของสัญญาณอย่างเดียว อาจจะไม่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์ได้ บางครั้งการเปลี่ยนมุมมองของสัญญาณสามารถช่วยให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น Fourier Transform ก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของการเปลี่ยนมุมมองนี้ โดยการแปลงหรือเปลี่ยน Transform สัญญาณจาก Time Domain เป็น Frequency Domain โดยใช้หลักการที่ว่าสัญญาณบางประเภท (Finite Discontinuity and Differentiable Everywhere Signal) สามารถสังเคราะห์จากผลรวมของสัญญาณ Sine Function ที่ความถี่และขนาดต่างๆได้ เมื่อเรารู้เกี่ยวกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

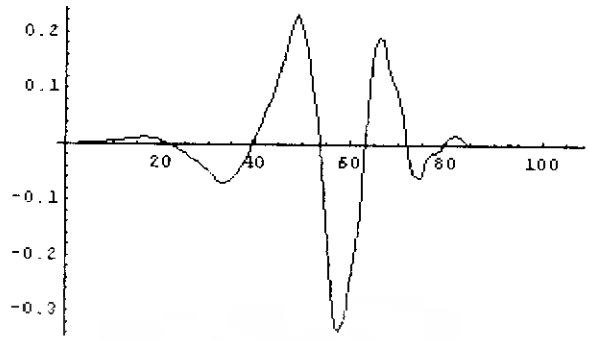
ความถี่และขนาดของ Sine Function ที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Frequency Spectrum ของสัญญาณนั้น เราจะรู้ถึงการกระจายกำลังของสัญญาณในความถี่ต่างๆ (Power Spectrum) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์สัญญาณนั้นๆ เพราะเรารู้ว่ากำลังของสัญญาณนั้นอยู่ในย่านไหนของ Frequency Spectrum ส่วนไหนสำคัญส่วนไหนสามารถมองข้ามไปได้

แต่อย่างไรก็ตาม Fourier Analysis ก็ใช่ว่าไม่มีข้อเสียเลยทีเดียว ตามหลักความไม่แน่นอนของ Heisenberg ที่กล่าวไว้ว่าเราไม่สามารถที่จะรู้ทั้งตำแหน่งและโมเมนตัมของวัตถุใด ๆ ได้อย่างแม่นยำพร้อม ๆ กันได้ ในทำนองเดียวกันเราก็ไม่สามารถที่จะรู้ทั้งเวลา (Time Localization) และพลังงานของสัญญาณใด ๆ ได้อย่างถูกต้องพร้อม ๆ กันได้เช่นกัน ความไม่แน่นอนนี้มิได้เกิดจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดหรือตัวผู้วัด

แต่ทว่าเกิดจากกฎพื้นฐานของธรรมชาติตามหลักของ Quantum Physics ดังจะเห็นได้ว่า Fourier Transform ของสัญญาณ DC ซึ่งไม่มีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดใน Time Domain ก็คือ Impulse Function ใน Frequency Domain เนื่องจากว่าเรารู้อย่างแน่นอนเกี่ยวกับกำลังหรือความถี่ของสัญญาณว่าเกิดขึ้นที่ความถี่ศูนย์ Hertz เราจึงไม่สามารถจะรู้ได้ว่าสัญญาณนั้นเกิดขึ้นที่เวลาใด ซึ่งบางครั้งเราต้องการรู้ทั้งกำลังของสัญญาณในความถี่ต่างๆ รวมทั้งเมื่อใดที่สัญญาณนั้นเกิดขึ้นด้วย เพื่อที่จะลดปัญหาความขัดแย้งระหว่าง Time Localization กับความถี่นี้ Window Fourier Transform จึงถูกคิดค้นขึ้น โดยการการวิเคราะห์สัญญาณด้วยวิธีนี้จะแบ่งสัญญาณเป็นช่วงๆ ต่อเนื่องกัน หรือที่เรียกว่า Window และแปลงสัญญาณในแต่ละช่วงให้อยู่ใน Frequency Domain ด้วยวิธีนี้ เราสามารถที่จะรู้เกี่ยวกับ ความถี่ของสัญญาณและช่วงเวลาที่สัญญาณนั้นเกิดขึ้น

แต่วิธีนี้ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ อันเนื่องมาจากขนาดของ Window ที่คงที่ ซึ่งไม่สามารถปรับตัวเองให้เหมาะสมกับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้น ๆ และสัญญาณแบบ Steady State อย่างพร้อม ๆ กันได้ และนี่ก็คือที่มาของ Wavelet Analysis การวิเคราะห์สัญญาณที่ได้ทั้ง Frequency และ Time Localization Wavelet Analysis สามารถแก้ปัญหาของการได้อย่างเสียอย่างระหว่างเวลากับความถี่ได้ แทนที่จะ Transform สัญญาณไปหา Sine Function ซึ่งเน้นความสำคัญที่ Frequency มากกว่า Time Localization แต่ Wavelet Analysis จะแปลงสัญญาณไปหา Wavelet Function ซึ่งให้ความสำคัญทั้งความถี่และช่วงเวลาพอๆกัน โดยตัว Wavelet นี้จะเป็น Function ของเวลาที่มีช่วงเวลาสั้นๆ ตัวอย่างของ Wavelet Function อาจมีรูปร่างดังเช่น รูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นแบบ Wavelet Function

โดย Function ที่ว่านี้จะมีค่า Parameter สองตัวคือ Scale และ Delay เป็นตัวควบคุมความยาวและตำแหน่งของสัญญาณ ถ้า Scale มีค่ามาก Wavelet ก็จะมีระยะเวลายาว ถ้า Scale มีค่าน้อย Wavelet ก็จะมีระยะเวลาสั้น โดยวิธีการของ Wavelet Transform ก็คือการคำนวณหาค่าความเหมือนหรือเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่ต้องการ Transform กับ Wavelet ในค่า Scale

ค่า Delay ต่าง ๆ จะว่าไปแล้วก็คล้ายๆกับ Window Fourier Transform เพียงแต่ว่าเราเปลี่ยนสัญญาณพื้นฐานจาก Sine Function ที่ความถี่ต่าง ๆ เป็น Wavelet Function ที่ Scale และ Delay ต่าง ๆ แทน เมื่อเราต้องการดูส่วนของสัญญาณในช่วงความถี่สูง เราก็เปรียบเทียบสัญญาณกับ Wavelet ที่มี Scale ต่ำ เมื่อเราต้องการดูส่วนของสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำ เราก็เปรียบเทียบสัญญาณกับ Wavelet ที่มี Scale สูง นอกจากนี้เรายังรู้อีกด้วยว่าความถี่ดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดจากการใช้ค่า Delay ที่ต่าง ๆ กันจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสุดท้ายของสัญญาณ การแปลงสัญญาณจาก Time Domain ไปสู่ Scale และ Delay Domain นี้ ถึงแม้ว่าจะเพิ่ม Dimension ของสัญญาณไปอีกหนึ่ง แต่ก็ช่วยผ่อนคลายปัญหาระหว่าง Frequency กับ Time Localization ได้ เนื่องจาก Wavelet Analysis สามารถที่จะวิเคราะห์ทั้ง Frequency Spectrum (หรือ Scale) และ Time Localization ของสัญญาณได้ มันจึงสามารถวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดเป็นช่วงสั้นๆ หรือมีความเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันได้ดีกว่า Fourier Analysis ตัวอย่างเช่นการแยกสัญญาณ Sine Function ความถี่เดียวที่มีช่วงเวลานานพอสมควรออกจากคลื่นรบกวน White Noise

Fourier Transform สามารถที่จะแยกสัญญาณนั้นออกจากคลื่นรบกวนได้อย่างไม่มีปัญหา เราสามารถเห็นความถี่นั้นโผล่เด่นขึ้นมาใน Frequency Spectrum ขอเพียงแค่ค่าสัญญาณต่อคลื่นรบกวน (Signal to Noise Ratio) ไม่ต่ำจนเกินไป แต่ถ้าเราดูที่ Frequency Spectrum อย่างเดียวเราก็ไม่สามารถบอกได้ว่าเสียงนั้นเกิดขึ้นเวลาใด แต่ถ้าเป็นสัญญาณประเภทที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ อย่างฉับพลันแล้วก็หายไป Fourier Transform อาจจะไม่สามารถแยกสัญญาณเสียงนี้ออกจาก Noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เนื่องจากว่าสัญญาณประเภทนี้มี Spectrum ที่กว้างเป็นการกระจายกำลังไปในความถี่ต่าง ๆ ซึ่งอาจทำให้ค่าแต่ละค่านั้นต่ำกว่าระดับ Noise ได้ หรืออีกตัวอย่างหนึ่ง เช่นในกรณีที่เราต้องการการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ Sine Signal ถ้าเป็น Fourier Transform เราก็จะเห็นแค่ Spike โผล่ขึ้นมาสองที่ใน Frequency Domain ซึ่งก็คือความถี่ทั้งสองของ Sine Signal นั่นเอง แต่เราก็จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่นั้นเกิดขึ้น ณ เวลาใดถ้าไม่ดูที่ Time Domain ในขณะที่ Wavelet Analysis ซึ่งสามารถที่จะวิเคราะห์ทั้งความถี่และเวลาได้ สามารถที่จะตรวจจับการเปลี่ยนของความถี่ได้ ซึ่งก็คือการ Plot ของค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณของ Wavelet Function ที่ Scale และ Delay ต่าง ๆ โดยค่า Delay มีค่าเพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา ค่า Scale มีค่าเพิ่มขึ้นจากล่างขึ้นบน และค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเพิ่มตามความเข้มของ Plot เราจะเห็นได้ชัดว่าสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่เมื่อเวลา 500 Samples จากการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ที่ Scale ต่ำหรือความถี่สูงนั่นเอง

เราจึงกล่าวได้ว่า Wavelet Analysis สามารถที่จะแสดงข้อมูลบางส่วนของสัญญาณที่วิธีการวิเคราะห์แบบอื่นอาจจะไม่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเช่นข้อมูลประเภท จุดแตกหัก (Breakdown Point) ความไม่ต่อเนื่องที่ Derivative สูง ๆ ความเหมือนกับตัวเอง (Self-Similarity) และด้วยความสามารถในการมองสัญญาณในมุมมองที่ต่างไปจากวิธีอื่นๆ โดยเฉพาะความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้ง Frequency และ Time Localization Wavelet Analysis จึงมีประโยชน์มากในการทำ Image Processing โดยเฉพาะ Image Compression หรือการบีบอัดรูปภาพ หรือ กำจัด Noise ออกจากสัญญาณได้โดยที่ไม่สูญเสียคุณภาพของสัญญาณไปมากนักเรารู้ถึงประโยชน์ของ Wavelet Analysis แล้วแต่ว่า Wavelet คืออะไร

Wavelet ก็คือ Waveform ที่มีช่วงเวลาจำกัดและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ซึ่งรูปร่างของ Wavelet นั้นส่วนใหญ่จะบุบ ๆ เบี้ยว ๆ ไม่สมมาตร ในขณะที่ Fourier Analysis นั้นแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของ Sine Function ในความถี่และขนาดต่าง ๆ แต่ Wavelet Analysis จะแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของ Wavelet ใน Scale และ Delay ต่าง ๆ

Wavelet นั้นมีอยู่หลายแบบเรียกว่า Family เช่น Daubechies, Symlet, Coiflet, Meter Wavelet แต่ละ Family ก็มีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป เราสามารถเลือกใช้ Family ที่เหมาะสมกับสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ให้มากที่สุดได้ Wavelet ที่ต่างกันแค่ Scale หรือ Delay จัดได้ว่าอยู่ใน Family เดียวกัน Wavelet ต้นแบบที่มีค่า Scale เท่ากับหนึ่ง และ Delay เท่ากับศูนย์จะเรียกว่า Mother Wavelet โดยที่ S คือ Scale และ k คือ Delay โดย Wavelet Analysis หรือ Wavelet Transform คือ การคำนวณค่าความเหมือนของสัญญาณ x(t) ต่อ Wavelet Function ที่ scale และ Delay ต่างๆ ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Base Function ของ Wavelet Domain ตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัญญาณดังกล่าวสามารถสังเคราะห์กับคืนมาได้ด้วย โดยเป็นค่าคงที่ขึ้นกับ Wavelet ชนิดต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์ นี้จะเป็นตัวบอกถึงองค์ประกอบของสัญญาณที่ Scale และ Delay ต่างๆ ซึ่งทำให้เรารู้ว่าสัญญาณที่ความถี่ใดเกิดขึ้นในเวลาใดบ้าง Wavelet Analysis อาจดูเหมือนใหม่ยังไม่ได้บรรจุอยู่ในแบบเรียนเหมือนกับ Fourier Analysis แต่ทว่าโดยทฤษฎีแล้วก็ถือได้ว่ายังคงใช้หลักการเก่าแก่พอ ๆ กับ Fourier Analysis ซึ่งก็คือการแปลงสัญญาณที่ต้องการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของ Linear Combination ของ Base Signals ที่เป็นพื้นฐานและง่ายต่อการสังเคราะห์ จะแตกต่างกันแค่เพียงที่ Base Signals จาก Sine Function ที่ความถี่ต่างๆ เป็น Wavelet Function ที่ Scale และ Delay ต่างๆ โดยตัว Wavelet Function นั้นจะประนีประนอมการได้อย่างเสียอย่างของข้อมูลของความถี่กับเวลาที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการใช้ Base Signals (Sine Function) ซึ่งบอกถึงความถี่ได้อย่างแม่นยำจนกระทั่งไม่รู้ว่าสัญญาณนั้นเกิดขึ้นเมื่อใดและไปเป็น Function ที่มีช่วงเวลายาวเพียงพอที่จะมองเห็นความถี่ของสัญญาณ แต่ไม่ยาวนานเกินไปจนกระทั่งไม่สามารถมองเห็นได้ว่าสัญญาณนั้นเกิดขึ้นเมื่อใด และจากการที่ Wavelet Function มีหลากหลายชนิด ไม่จำกัดอยู่แค่ Sine Function เราสามารถเลือกชนิดที่เหมาะสมกับสัญญาณที่จะวิเคราะห์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการประมวลผลได้ ประโยชน์ของ Wavelet Analysis นั้นมีมากมายในอนาคตอันใกล้นี้เราจะเห็นประโยชน์ของมันในสาขาต่างๆ และแน่นอนเราต้องเห็นมันในหนังสือแบบเรียนด้วย

2.5 โดเมนเวลา (Time Domain) และ โดเมนความถี่ (Frequency Domain)

การแปลงทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ Audio/ Acoustic คือ DFT หรือ Discrete Fourier Transform มีการแปลง 4 แบบที่ใกล้เคียงกันได้แก่

1) Laplace Transform

2) Fourier Transform

3) Z-Transform

4) Discrete Fourier Transform หรือ DFT

ถ้ามองในแง่ของการประมวลผลสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณ Analog หรือ Digital เราสามารถพิจารณาสัญญาณได้ใน 2 domains คือ Frequency-domain และ Time-domain การแปลงทั้ง 4 แบบจึงเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เปลี่ยนข้อมูลจาก domain หนึ่งไปเป็นอีก domain หนึ่ง

2.5.1 โดเมนทางเวลา (Time Domain)

การเขียนกราฟฟังก์ชั่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเราจะเรียกว่า เราเขียนกราฟของฟังก์ชั่นนั้นอยู่ใน *โดเมนเวลา* (Time Domain) ซึ่งจะสะดวกในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชั่นเทียบกับเวลา แต่เมื่อฟังก์ชั่นนั้นเป็นฟังก์ชันที่ซ้ำตัวเอง เราจะทราบว่าข้อมูลที่ได้หลังจากหนึ่งคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฟังก์ชั่นจะมีค่าเท่าเดิมคือไม่เปลี่ยนแปลง แต่ข้อมูลอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของฟังก์ชั่นซ้ำตัวเองก็คือว่า ฟังก์ชั่นนั้นประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ใดบ้าง ซึ่งการเขียนฟังก์ชั่นบนโดเมนของเวลาจะไม่สามารถบอกเราได้จึงต้องใช้โดเมนทางความถี่ในการแสดง

2.5.2 โดเมนทางความถี่ (Frequency Domain)

เราใช้ Fourier Transform แปลงสัญญาณ Analog ใน Time-domain ให้อยู่ในรูป Frequency-domain (และใช้ Inverse Fourier Transform ในการแปลงกลับจาก Frequency ไปเป็น Time-domain)

หรือใช้ DFT แปลงสัญญาณไม่ต่อเนื่อง (หรือ Sampled signal) ใน Time-domain ให้อยู่ในรูป Frequency-domain (และใช้ Inverse DFT ในการแปลงกลับจาก Frequency ไปเป็น Time-domain) และ FFT (Fast Fourier Transform) คือวิธีการทำ DFT แบบหนึ่ง ซึ่งเป็น algorithm ที่มีประสิทธิ ภาพมากในการแปลง DFT โดยการใช้คอมพิวเตอร์ส่วน Laplace Transform กับ Z-Transform นั้นเป็นกรณีวิเคราะห์ของ Fourier Transform และ DFT ตามลำดับ กล่าวคือ เราจะสามารถใช้Laplace Transform ในการแปลง Continuous Time-domain function, x(t), ไปเป็น Continuous complex frequency domain function, X(s) และ Laplace Transform ที่แทน s = jw (มีเฉพาะส่วนจินตภาพ) ก็คือ Fourier Transform นั่นเอง ทำนองเดียวกัน Z-Transform จะเป็นตัวแปลงสำหรับข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับ Laplace Transform ในกรณีข้อมูลต่อเนื่อง โดย Z-Transform เป็นกรณีทั่วไปของ DFT (คือกรณีที่ $z = e^{jw}$)

แนะนำ DFT เริ่มต้นจากพิจารณา Fourier Transform (FT) สำหรับสัญญาณที่ต่อเนื่องใน Time-domain มีนิยามดังนี้

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

เมื่อแทนผลรวมตลอด Time-domain จาก Infinite integral ด้วยผลรวมที่มีจำนวนจำกัด FT ก็จะกลายเป็น DFT

$$X(\omega_k) \triangleq \sum_{N=0}^{N-1} x(t_n)e^{-j\omega_k t_n}, k = 0.1.2,..., N-1.$$

DFT นี้มีประโยชน์มากในการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital signal processing) เพราะสัญญาณและองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณอยู่ในรูปของ Sampled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามของ DFT ของสัญญาณ x นิยามดังนี้

$$X(\omega_k) \triangleq \sum_{N=0}^{N-1} x(t_n) e^{-j\omega_k t_n}, k = 0,1,2,\ldots, N-1,$$

เมื่อ

$\triangleq$ means "is defined as" or "equals by definition"

$\sum_{N=0}^{N-1} f(n) \triangleq f(0) + f(1) + \ldots f(N-1)$

$x(t_n) \triangleq$ input signal amplitude (real or complex) as time t_n (sec)

$t_n \triangleq nt$ = nth sampling instant (sec) n an integer ≥ 0

T $\triangleq$ sampling interval (sec)

$x(\omega_k) \triangleq k\Omega = k$th frequency sample (radians per second)

$\Omega \triangleq$ radians-frequency sampling interval (rad/sec)

$f_a \triangleq 1/T$ = sampling rate (sample/sec, or Hz)

N $\triangleq$ number of time samples = no frequency sample (integer)

บางครั้งเราเรียกช่วงการสุ่มสัญญาณ T (Sampling interval) ว่า "คาบการสุ่มตัวอย่าง" (Sampling period)

ดังนั้นหากเราต้องการเขียนแสดงว่าฟังก์ชั่นนั้นประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์ใดบ้างและแต่ละฮาร์โมนิกส์นั้นจะมีขนาดเท่าใดเราจะสามารถอธิบายได้ด้วยการเขียนออกมาในลักษณะของสเปคตรัมความถี่ หรือที่นิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเขียนใน *โดเมนความถี่* (Frequency Domain) ตัวอย่างเช่นเรามีฟังก์ชันหนึ่งมีค่าเป็นดังนี้

$$f(t) = 5\cos\omega t + 16\cos(2\omega t - 0.4) + 10\cos(5\omega t + 0.1)$$

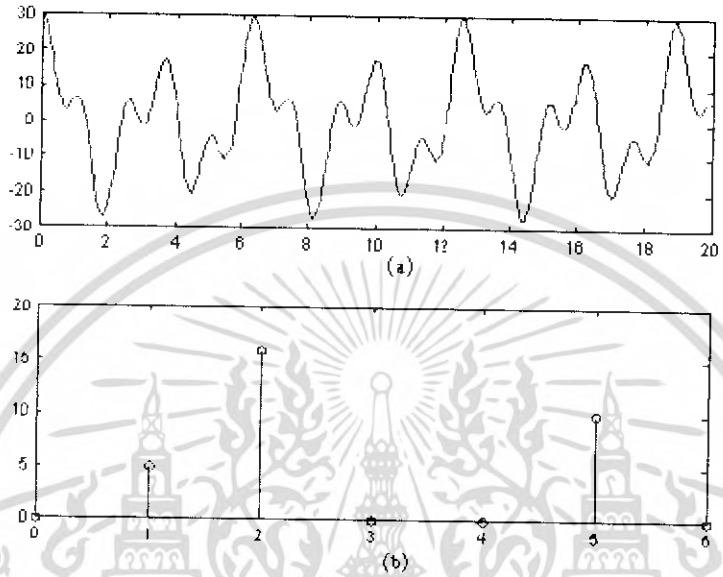
ซึ่งเมื่อเขียนกราฟแล้วเราจะได้ตามรูปที่ 2.8(a) ซึ่งเป็นการเขียนกราฟในโดเมนของเวลา แต่ถ้าหากเรานำฟังก์ชั่นนี้ไปเขียนในโดเมนความถี่จะได้กราฟในรูปที่2.8(b)

การเขียนกราฟลงในโดเมนความถี่ในลักษณะนี้จะสามารถช่วยอธิบายในเรื่องของการสั่นได้เป็นอย่างดี ยกตัวอย่างเช่น เราวัดการสั่นของเครื่องจักรหนึ่ง แล้วได้กราฟดามรูปที่ 2.8 (a) ซึ่งจากกราฟแม้ว่าจะทำให้เราทราบขนาดของการสั่นที่เวลาใดๆ แต่เราไม่ทราบว่าการสั่นนี้มาจากส่วนใดของเครื่องจักร แต่ถ้าหากเราสามารถนำกราฟที่ได้มาเขียนให้อยู่ในรูป 2.8 (b) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนให้อยู่ในโดเมนความถี่ เราจะทราบว่าขนาดของการสั่นทั้งหมดนั้นมาจากชิ้นส่วนของเครื่องจักรชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ใดบ้าง และแต่ละชิ้นมีขนาดการสั่นมากน้อยเพียงใด สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนฟังก์ชั่นที่อยู่ในโดเมนเวลามาให้อยู่ในโดเมนความถี่นั้น เราจะใช้วิธีการ ผลแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform)



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟที่ได้จากสมการซึ่ง (a) คือโดเมนเวลา (b) คือโดเมนความถี่

72659

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ (Filters) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบพาสซีฟ(Passive filters) และแบบแอคทีฟ (Active filters) วงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่สามารถทำหน้าที่เลือกความถี่ที่ต้องการหรือตัดความถี่ที่ไม่ต้องการออกก็ได้ การใช้งานวงจรกรองความถี่สามารถใช้กรองสัญญาณรบกวนหรือกรองเอาสัญญาณข่าวสารออกมาจากคลื่นพาห์ในระบบวิทยุ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในวงจรกรองความถี่ ถ้าเป็นแบบพาสซีฟจะใช้ตัวต้านทานตัว ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนในวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟจะใช้ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ร่วมกับอุปกรณ์ที่สามารถทำการขยายสัญญาณ เช่น ออปแอมป์ ทำให้วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟมีข้อดีกว่าแบบพาสซีฟ คือ

- ไม่มีการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากออปแอมป์สามารถทำการขยายสัญญาณเพื่อชดเชยการลดทอนของสัญญาณได้

- ราคาถูกโดยเฉลี่ยแล้ววงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟจะมีราคาถูกกว่าแบบพาสซีฟ เนื่องจาก ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในแบบพาสซีฟมีราคาแพง และสร้างได้ยากกว่า

- การปรับค่า วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟสามารถปรับค่าความถี่ที่ต้องการได้ง่ายภายใต้ย่านความถี่ที่กว้างกว่าที่สามารถปรับได้ในแบบพาสซีฟ

- การแยกระหว่างอินพุตและเอาต์พุต เนื่องจากวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟมีการใช้ออปแอมป์ประกอบในวงจรจึงทำให้วงจรกรองความถี่แบบนี้มีอินพุต อินพีแดนซ์สูงและเอาต์พุต อิมพีแดนซ์ต่ำทำให้ไม่มีผลการรบกวนกันระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณอินพุตและโหลด

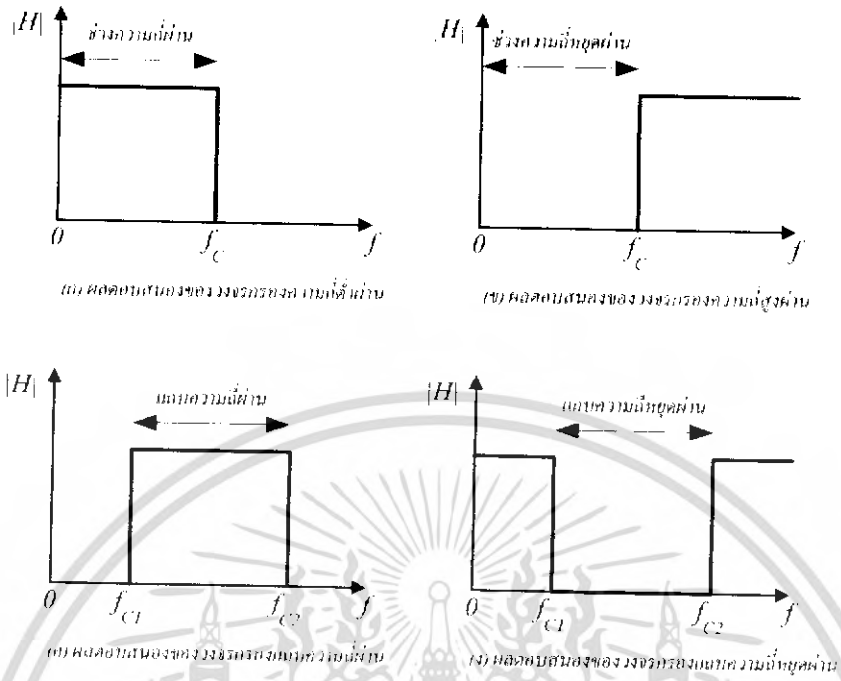
วงจรกรองความถี่(Filters) จึงนับเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญมากไม่ว่าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสาร การควบคุมและทางด้านเครื่องมือแพทย์ ในทุกวันนี้วงจรกรองความถี่แบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือวงจรกรองความถี่แบบแอนาลอก (analog filter) กับวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล (digital filter)

วงจรกรองความถี่สามารถแบ่งออกตามคุณลักษณะของผลตอบสนองความถี่(Frequency response) ได้ 4 ชนิดด้วยกันคือ

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(low-pass filter ; LPF)
- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน(high-pass filter ; HPF)
- วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน(band-pass filter ; BPF)
- วงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน(band-stop filter ; BSF)

ซึ่งทั้ง 4 ชนิดนี้จะมีสามารถทำความเข้าใจได้ในรูป 2.9 ซึ่งจะบอกถึงลักษณะการทำงานของวงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองอุดมคติ

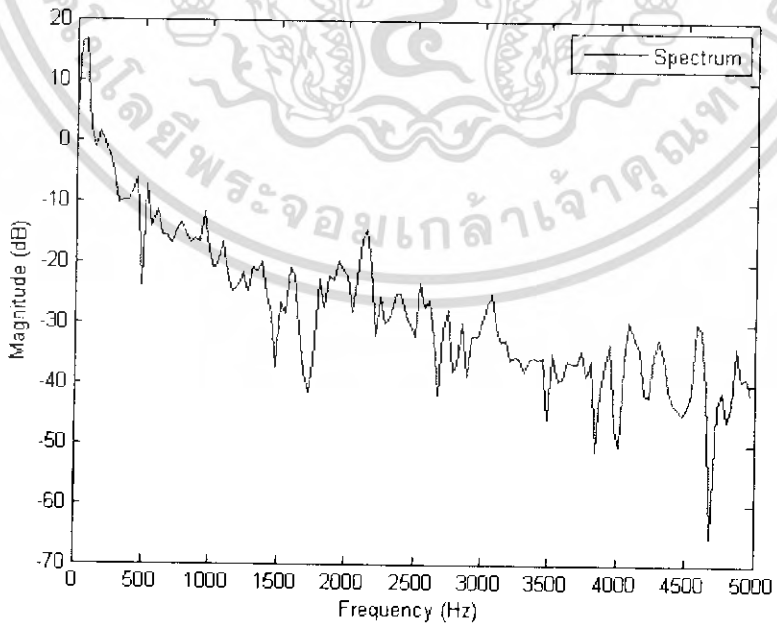
จากผลตอบสนองความถี่ในรูปที่ 2.9 เมื่อให้ |H| คือขนาดของแรงดันทางด้านเอาต์พุต วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะยอมให้ความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ f_c ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจรได้ ส่วนความถี่ที่สูงกว่า f_c ความถี่จะไม่ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร สำหรับวงจรกรองความถี่สูงผ่านจะยอมให้ความถี่สูงกว่าความถี่ f_c ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจรได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ 0Hz ถึงความถี่ f_c จะไม่ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร สำหรับวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน จะยอมให้ความถี่ตั้งแต่ f_{c1} ถึงความถี่ f_{c2} ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร ส่วนความถี่ตั้งแต่ 0Hz ถึงความถี่ f_{c1} กับความถี่ที่สูงกว่า f_{c2} จะไม่ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร และวงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน จะไม่ยอมให้ช่วงความถี่ f_{c1} ถึงความถี่ f_{c2} ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตของวงจร ส่วนความถี่อื่นๆ วงจรยอมให้ผ่านไปยังขั้วเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎี Fast Fourier Transform (FFT)

ก่อนที่จะกล่าวถึง Fast Fourier Transform (FFT) เราจะพูดถึงการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยเสียก่อน (Discrete Fourier Transform, DFT) เนื่องจากเป็นวิธีที่สำคัญในการวิเคราะห์ การออกแบบและการสร้างแบบ ในการประมวลผลสัญญาณเต็มหน่วยที่มีการวิเคราะห์ และการประมวลสัญญาณจำนวนมากที่กระทำภายใต้แวดล้อมทางความถี่หรือโดเมนฟูริเยร์ (Frequency-domain or Fourier-domain) ซึ่งการคำนวณฟูริเยร์นี้สามารถคำนวณได้โดยตรงหรือจะใช้ขั้นตอนวิธีการคำนวณแบบเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) นั่นเอง

ในการคำนวณการแปลงฟูริเยร์เต็มหน่วยโดยตรงนั้นมีการสิ้นเปลืองเวลาคำนวณเป็นอย่างมาก มักไม่ค่อยเป็นที่นิยมเท่าใดนัก โดยเฉพาะเมื่อ N (จำนวนชุดตัวอย่างข้อมูล) มีค่ามาก ดังนั้นจึงมีขั้นตอนอื่นที่ได้รับการพัฒนาให้มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยตรง ซึ่งขั้นตอนส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลในชุดแถวหรือขนาดของบล็อกเป็นสำคัญ ตัวอย่างเช่น วิธีของ Cooley-Tukey ที่ได้ย่อยการคำนวณเป็นชุดเล็ก ๆ จำนวนมากที่แทบจะไม่ต้องอาศัยการคูณ ความซับซ้อนของการคำนวณจึงลดลงมาก และในหัวข้อนี้จะไม่ได้ลงลึกในรายละเอียดมากนักเนื่องจาก การนำโปรแกรมประยุกต์มาช่วยในการคำนวณในส่วนนี้ ซึ่งทั้งง่ายและสะดวกในการใช้งาน ซึ่งจะขอยกตัวอย่างในการใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณหา Spectrum ของสัญญาณรถยนต์ที่ได้ทำการบันทึกมาซึ่งจะได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการหา Spectrum ของสัญญาณเสียงรถยนต์ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถ RUN จากโปรแกรม MATLAB ด้วยโค้ดดังนี้

```
x,fs]=wavread('ford1000rpm.wav', [2000 3250]);
ms1=fs/1000;                    % maximum speech Fx at 1000Hz
ms20=fs/50;                     % minimum speech Fx at 50Hz
t=(0:length(x)-1)/fs;           % times of sampling instants
subplot(3,1,1);
plot(t,x);
legend('Waveform');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
Y=fft(x.*hamming(length(x)));   % do fourier transform of windowed signal
hz5000=5000*length(Y)/fs;       % plot spectrum of bottom 5000Hz
f=(0:hz5000)*fs/length(Y);
subplot(3,1,2);
plot(f,20*log10(abs(Y(1:length(f)))+eps));  % plot spectrum
legend('Spectrum');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

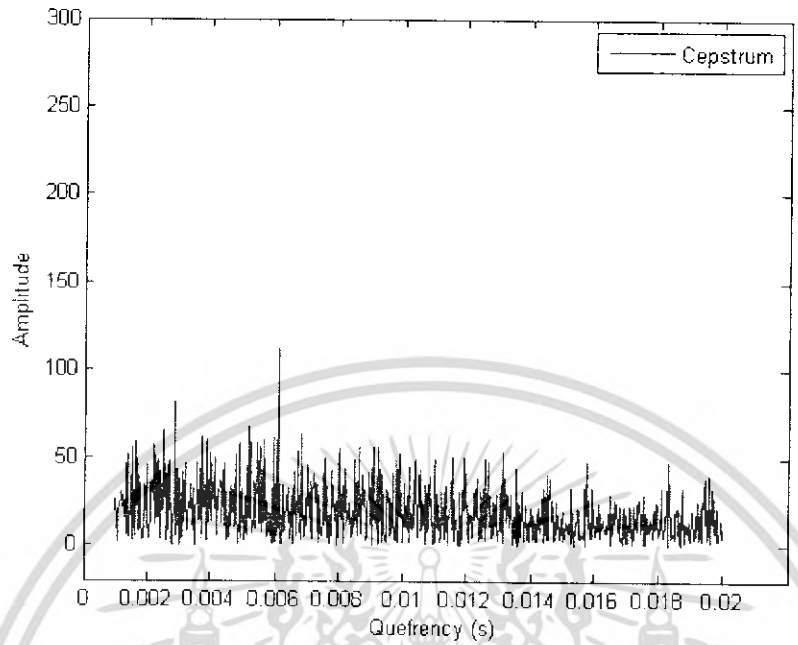
2.8 ทฤษฎี Cepstrum (The Cepstrum-domain Theory)

Cepstrum คือ รูปแบบการแปลงโดเมนทั่ว ๆ ไปที่ใช้หลักการเพิ่มเติมมาจากการวิเคราะห์สัญญาณเสียงพูดของคน (Person's speech signal) ที่สามารถใช้แยกแยะสัญญาณทางไฟฟ้า (ซึ่งประกอบด้วยคำพูดและระดับเสียงพูด) และการถ่ายโอนฟังก์ชัน (ซึ่งประกอบด้วยคุณภาพของเสียง) มีลักษณะเป็นเหมือนกับโปรแกรมประยุกต์ใน Channel vocoder หรือ Linear Predictive Coding แต่ใช้การวิเคราะห์แบบ Cepstrum แทนการวิเคราะห์ทาง Spectrum ซึ่งทั้งสองวิธีมีกระบวนการคำนวณที่แตกต่างกัน และนั่นก็คือจุดประสงค์ที่ทำให้เรานำทฤษฎีของ Cepstrum domain นี้มาช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณรถยนต์ด้วย แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของทฤษฎีนี้ ลองมาดูภาพรวมของความต้องการตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นกันก่อน

ในเสียงพูดของคน มี 2 วิธีที่ใช้แสดงถึงรูปแบบคำของเรา ซึ่งเสียงนั้นก็จะมีเสียงพูดที่เราต้องการ และเสียงที่ไม่ต้องการหรือสัญญาณรบกวนนั่นเอง ในส่วนของเสียงพูด กายในลำคอที่มีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เคลื่อนไหวรวมทั้งลิ้น และริมฝีปากด้วยที่ทำให้เกิดเสียงที่เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละบุคคล เช่น การที่คนสองคนออกเสียงพูดคำว่า "เอ" เหมือนกัน แต่กลับได้ยินเสียงที่แตกต่างกันจนสามารถแยกแยะได้ว่าเป็นคนพูดคนละคนกัน ซึ่งเมื่อนำเสียงนั้นมาพล็อตใน Time-domain ก็จะเห็นถึงความแตกต่าง และก่อนที่จะอยู่ใน Cepstrum-domain นั้นก็จะต้องทำ FFT (Fast Fourier Transform) เสียก่อน ซึ่งก็ได้กล่าวถึงทฤษฎีนี้ในเบื้องต้นแล้ว

จากนั้นจึงทำการ Take Log ในเทอมของ FFT และ Invert Fourier Transform ในขั้นตอนต่อมาก็จะได้เป็น Cepstrum-domain ดังรูป 2.11 ตัวอย่างที่ทำการพล็อตมาจากสัญญาณเสียงรถยนต์ที่ทำการบันทึกมาแล้วมาพิจารณาในช่วงสั้น ๆ ช่วงหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการพล็อต Cepstrum

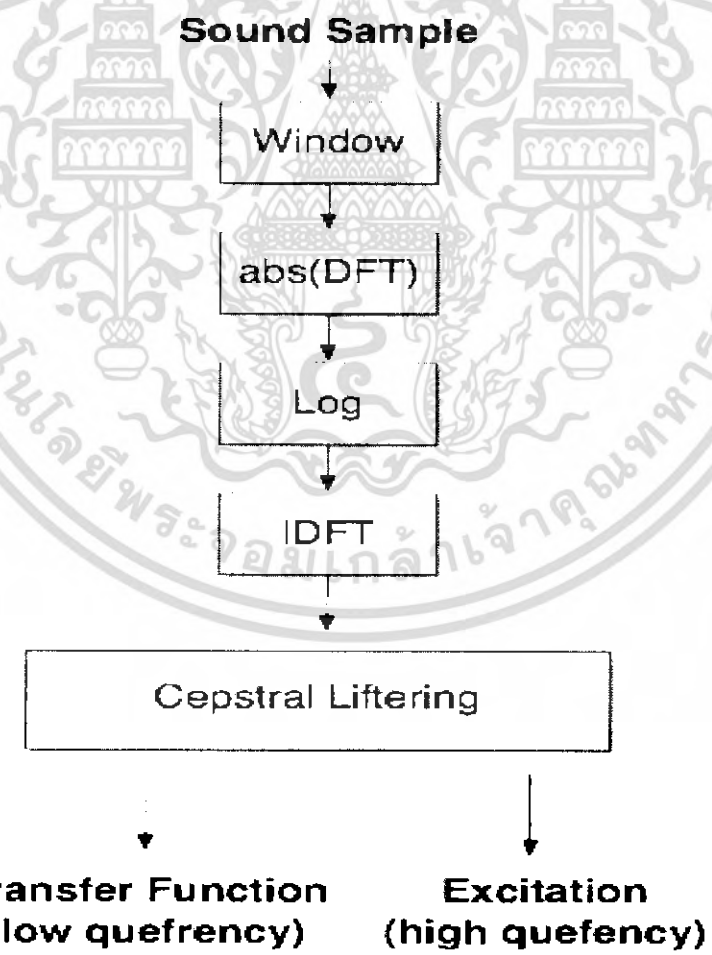
ซึ่งสามารถ RUN จากโปรแกรม MATLAB ด้วยโค้ดดังนี้

```
x,fs]=wavread('ford1000rpm.wav', [750 2000]);
ms1=fs/1000;                    % maximum speech Fx at 1000Hz
ms20=fs/50;                     % minimum speech Fx at 50Hz
t=(0:length(x)-1)/fs;           % times of sampling instants
subplot(3,1,1);
plot(t,x);
legend('Waveform');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
Y=fft(x.*hamming(length(x)));   % do fourier transform of windowed signal
hz5000=5000*length(Y)/fs;       % plot spectrum of bottom 5000Hz
f=(0:hz5000)*fs/length(Y);
subplot(3,1,2);
plot(f,20*log10(abs(Y(1:length(f)))+eps));  % plot spectrum
legend('Spectrum');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
C=fft(log(abs(Y)+eps));          % cepstrum is DFT of log spectrum
q=(ms1:ms20)/fs;                 % plot between 1ms (=1000Hz) and 20ms (=50Hz)
subplot(3,1,3);
plot(q,abs(C(ms1:ms20)));
legend('Cepstrum');
xlabel('Quefrency (s)');
ylabel('Amplitude');
```

ถ้าเราเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่อให้เห็นภาพประกอบความเข้าใจก็จะเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมในขั้นตอนการประมวลผล Cepstrum-domain

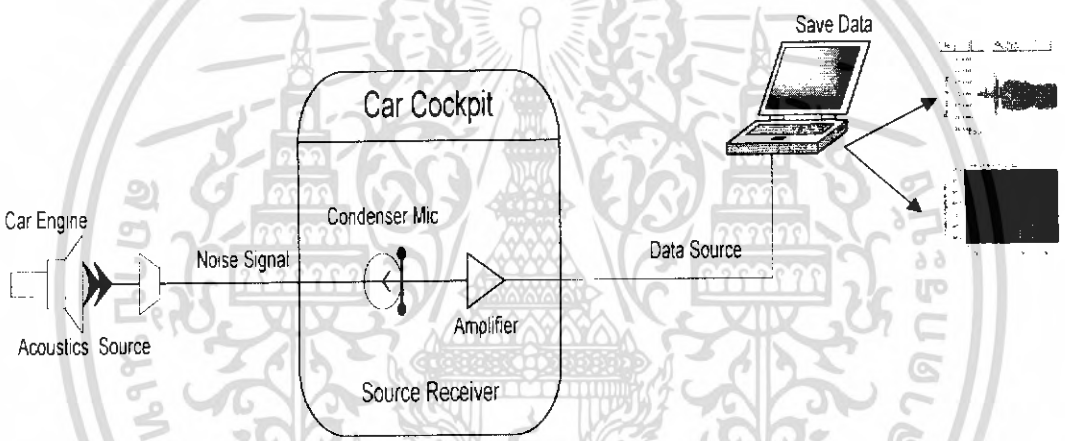
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินงานวิจัย

เมื่อศึกษาและทำความเข้าใจกับทฤษฎีต่างที่มีความเกี่ยวข้องพอคร่าวๆแล้วก็จึงได้ทำการออกแบบและดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บบันทึกสัญญาณเสียงภายในห้องโดยสารของรถยนต์

3.1.1 การออกแบบบล็อคไดอะแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง



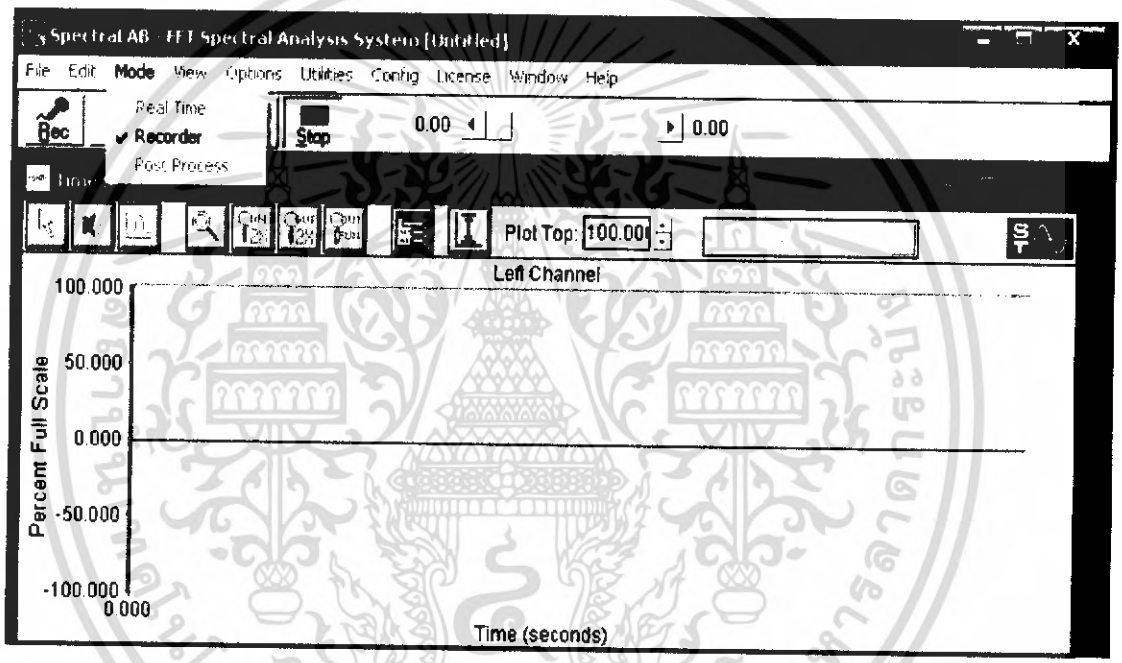
รูปที่ 3.1 แสดงบล๊อคไดอะแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายอย่างคร่าวๆได้ คือ สัญญาณเสียงที่เราบันทึกได้ในห้องผู้โดยสารหรือที่แสดงในบล็อกก็คือ Car Cockpit ก็อาจจะประกอบด้วยเสียงที่เกิดจากเครื่องยนต์ (Car Engine) และเสียงต่างๆที่เกิดขึ้นภายนอก (Noise Signal) รวมกันแล้วเรียกว่าAcoustics Source ซึ่งเราจะบันทึกโดยไมใช้โครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์เป็นตัวรับสัญญาณและต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กแล้วใช้โปรแกรม SpectraLABช่วยในการบันทึกซึ่งจะสามารถแสดงให้อยู่ในรูป Time-Domainและ Frequency-Domain ซึ่งการใช้โปรแกรม SpectraLABจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การใช้โปรแกรม SpectraLABในการบันทึกสัญญาณเสียง

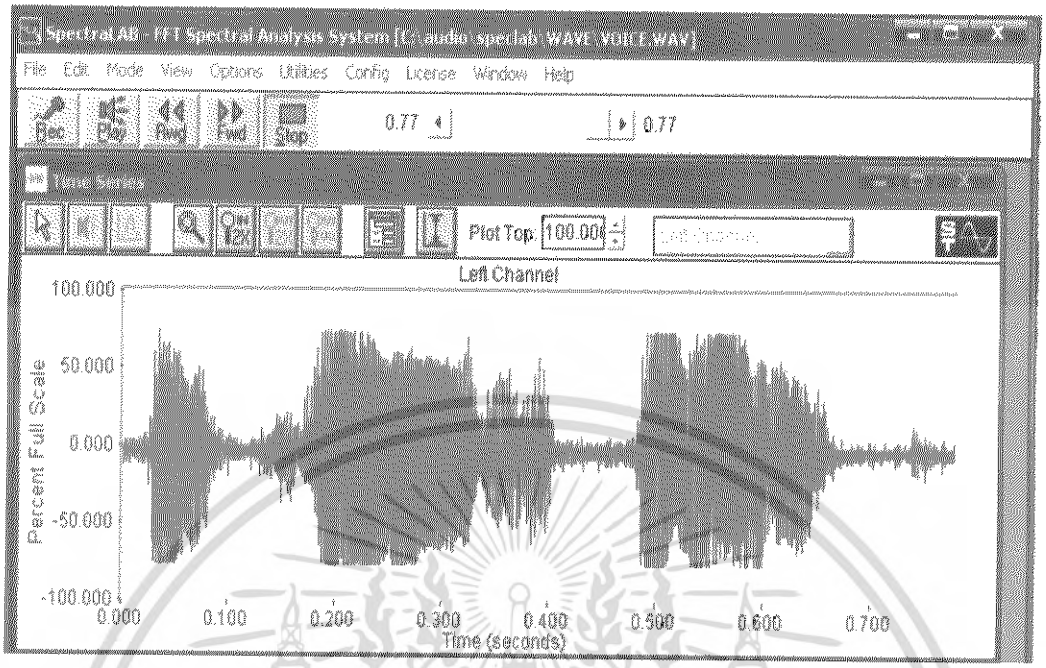
เมื่อเราเซ็ทจุดที่รับสัญญาณเสียงหรือจุดที่จะวางไมโครโฟนและทำการเชื่อมต่อกับโน้ตบุ๊กเรียบร้อยแล้วจึงเปิดโปรแกรม SpectraLAB ขึ้นมาซึ่งในตัวเมนู Mode จะมีฟังก์ชันแสดงดังรูปที่3.2 ซึ่งจะประกอบด้วยฟังก์ชัน Real-Time จะใช้แสดงผลของสัญญาณในขณะนั้นจะไม่สามารถบันทึกได้และฟังก์ชัน Recorder คือฟังก์ชันที่ใช้ในการบันทึกสัญญาณเสียงซึ่งสามารถแสดงสัญญาณได้หลายรูปแบบแล้วแต่จะเลือกให้แสดง ส่วนในฟังก์ชันPost Process นั้นคือฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้ทำการบันทึกในหน่วยความจำแล้ว



รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกฟังก์ชันของโปรแกรมในการบันทึกสัญญาณเสียง

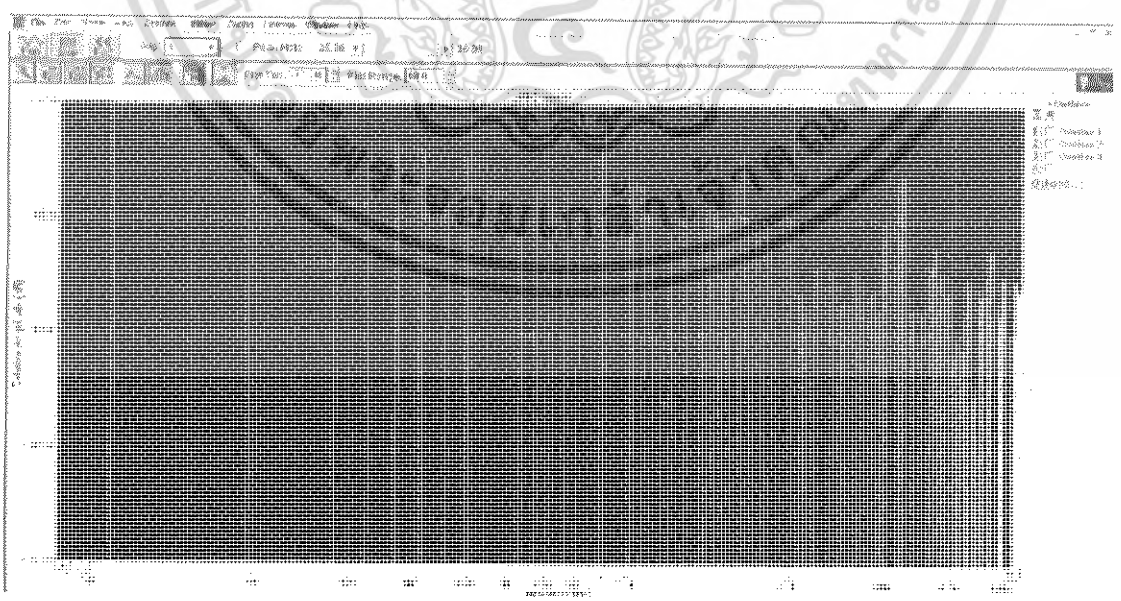
จากรูปที่ 3.2 เมื่อเราทำการเลือกฟังก์ชัน Recorder แล้วเมื่อต้องการที่จะบันทึกก็สามารถทำการกดที่ปุ่ม Rec โปรแกรมก็จะทำการบันทึกสัญญาณออกมาในรูปแบบ Time-Domain โดยมีแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างรูปสัญญาณที่ทดลองทำการบันทึก

จากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างรูปของสัญญาณที่ทำการบันทึก ซึ่งในตอนแรกเราจะเลือก View เป็นแบบ Time Series และจากเมนู View นี้ก็จะมีฟังก์ชันที่สามารถเลือกดูรูปของสัญญาณในรูปแบบอื่นได้ เช่น แบบสเปกตรัม แบบเฟสแบบ 3D Surface ด้วย



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างของสัญญาณในมุมมองของ Spectrum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 ซึ่งอาจจะถือว่าเป็นการแสดงถึงคุณสมบัติเด่นของโปรแกรมนี้ก็ว่าได้ เนื่องจากการแปลงโดเมนทางเวลามาเป็นโดเมนทางความถี่นั้นไม่สามารถทำได้โดยง่าย ซึ่งอาจจะต้องอาศัยทฤษฎีของ FFT หรือ Fast Fourier Transform ในการแปลง จากจุดเด่นตรงนี้จึงทำให้เราสามารถใช้โปรแกรมตัวนี้ช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ได้ทำการบันทึกมา ซึ่งจะอธิบายในขั้นตอนต่อไป

3.2 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ได้จากการบันทึก

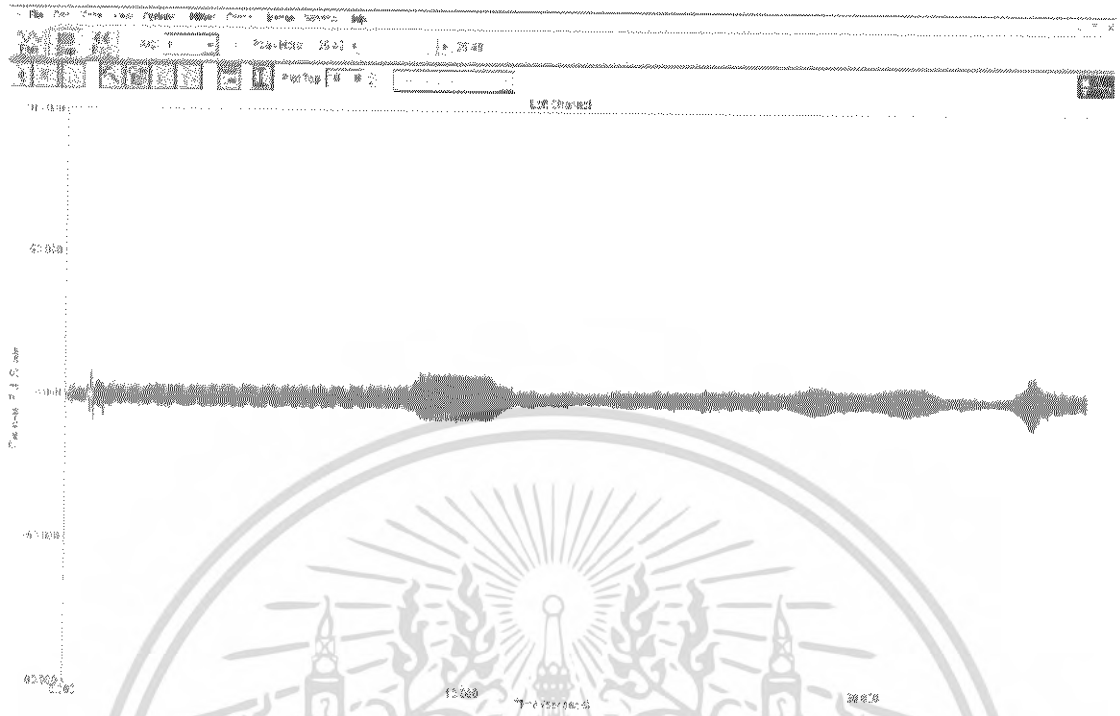
3.2.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SpectraLAB

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาแล้วก็เลือกเมนู Mode แล้วเลือกฟังก์ชันที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณซึ่งฟังก์ชันนั้นก็คือฟังก์ชันของ Post Process ดังแสดงในรูปที่ 3.5

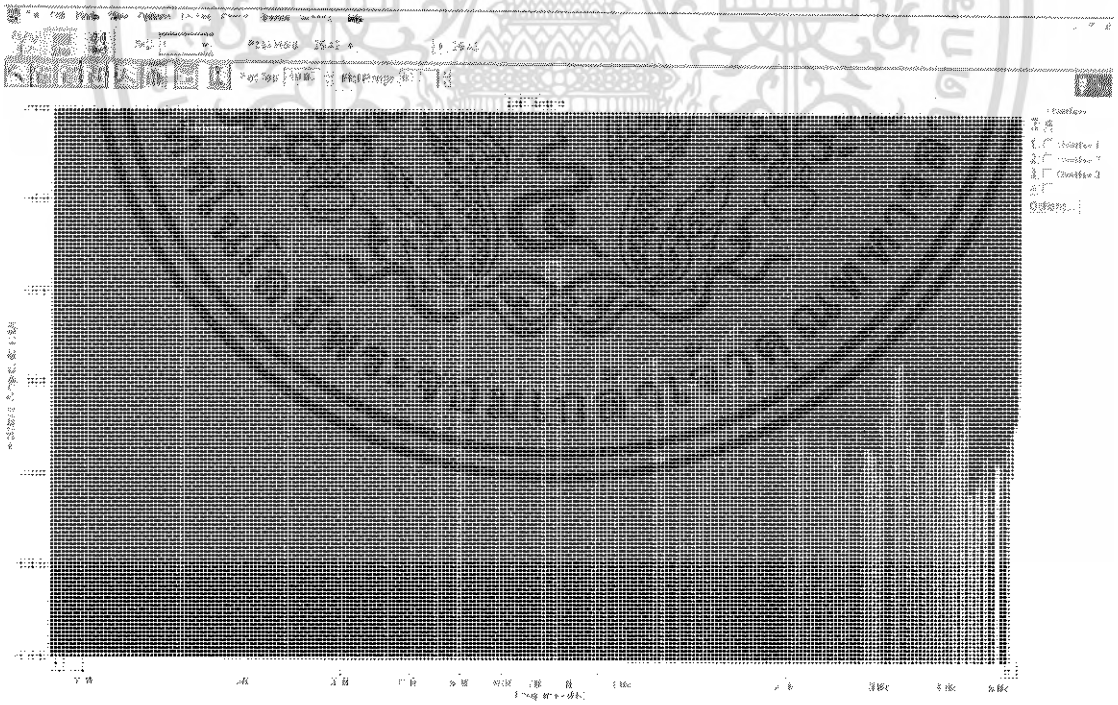
รูปที่ 3.5 แสดงการเลือกฟังก์ชันโปรแกรมในการวิเคราะห์สัญญาณเสียง

จากนั้นก็จะทำการเลือกไฟล์ของสัญญาณเสียงที่จะนำมาวิเคราะห์ซึ่งโปรแกรมจะสามารถแสดงให้ได้หลายรูปแบบ แต่เราจะเลือกดูในรูปแบบของ Time-Domain กับ Frequency-Domain เป็นส่วนใหญ่เพราะในทั้งสองรูปแบบนี้จะสามารถทำความเข้าใจได้ไม่ยากนัก ดังที่จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงรูปแบบของสัญญาณใน Time-Domain



รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบของสัญญาณใน Frequency-Domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวิเคราะห์สัญญาณในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปความถี่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปก็เพราะว่าความเร็วรอบของรถยนต์เพิ่มขึ้นเราจึงสามารถเดาได้ว่าสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นก็คือสัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่อเราทำการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ซึ่งจากสัญญาณที่เรายกตัวอย่างนี้เราประมาณว่ามีค่าน้อยกว่า 4 kHz ส่วนความถี่ที่สูงกว่านั้นคาดว่าน่าจะเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึก เราจึงได้ใช้ Low pass Filter ในการกรองเอาสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 kHz ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แสดงรูปของสัญญาณที่ผ่านการ Filter แล้ว

เนื่องจากเราต้องการที่จะรู้ลักษณะของสัญญาณในช่วงที่แคบๆซึ่งโปรแกรม SpectraLABนั้นสามารถทำได้ยากเราจึงนำเอาสัญญาณที่ผ่านการ Filter แล้วไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB

3.2.2 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยเฉพาะสำหรับงานทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ โครงสร้างพื้นฐานการคำนวณของโปรแกรม MATLAB จะอยู่ในรูปของเมทริกซ์ ซึ่งก็เป็นที่มาของชื่อโปรแกรมด้วยกล่าวคือ MATLAB เป็นคำย่อของคำสองคำในภาษาอังกฤษคือ MATrix LABoratory ซึ่งความสามารถของโปรแกรม MATLAB ที่เรานำมาใช้ในโครงงานนี้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

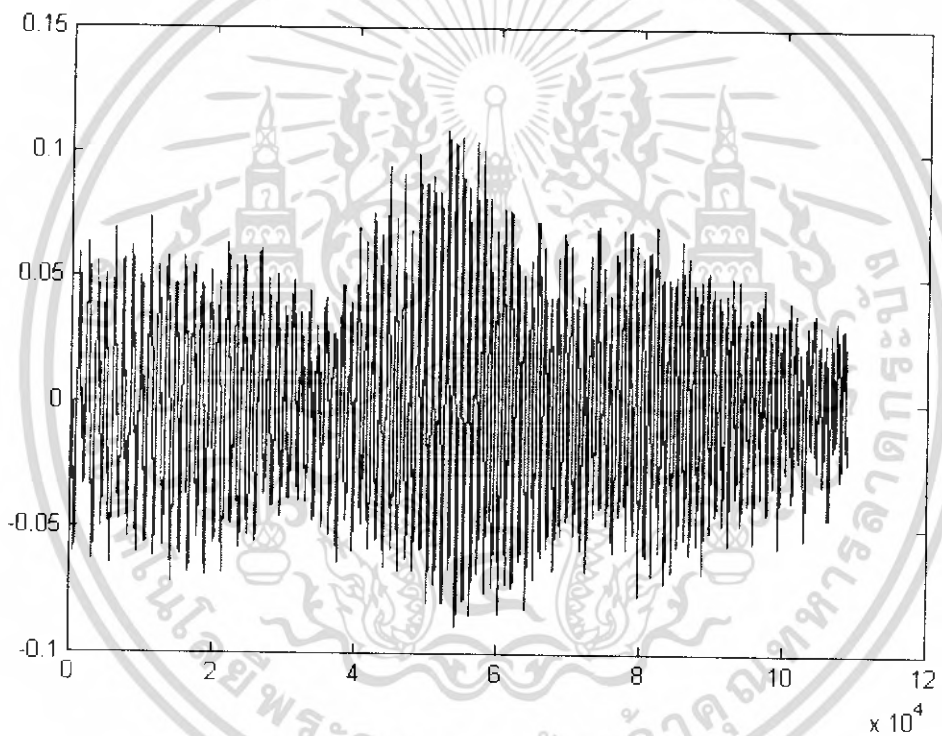
- คำสั่ง wavread ซึ่งจะใช้สำหรับอ่านไฟล์เสียง(.wav) เข้ามาเก็บไว้ในตัวแปรเวกเตอร์ที่กำหนดเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป รูปแบบการใช้งานคำสั่งมีลักษณะดังนี้คือ

```
>>  y = wavread (FILE);
>>  plot (y);
```

ซึ่งทั้งสองคำสั่งจะต้องใช้ร่วมกันจึงจะสามารถดูรูปของสัญญาณที่ต้องการได้ยกตัวอย่างเช่น

```
>>  y = wavread('Toyota2687301000rpm.wav');
>>  plot (y);
```

ผลลัพธ์ที่ได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงรูปของสัญญาณที่อ่านด้วยโปรแกรม MATLAB

- คำสั่ง wavwrite ซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์ไฟล์เสียง (.wav) ซึ่งจะมีรูปแบบของคำสั่งดังนี้

```
wavwrite(y,'filename')
wavwrite(y,Fs,'filename')
wavwrite(y,Fs,N,'filename')
```

ซึ่งสามารถเลือกใช้ตัวใดตัวหนึ่งก็ได้แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้ว่าต้องการสัญญาณที่มีคุณลักษณะอย่างไรขึ้นอยู่กับโค้ดที่เราสร้างด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

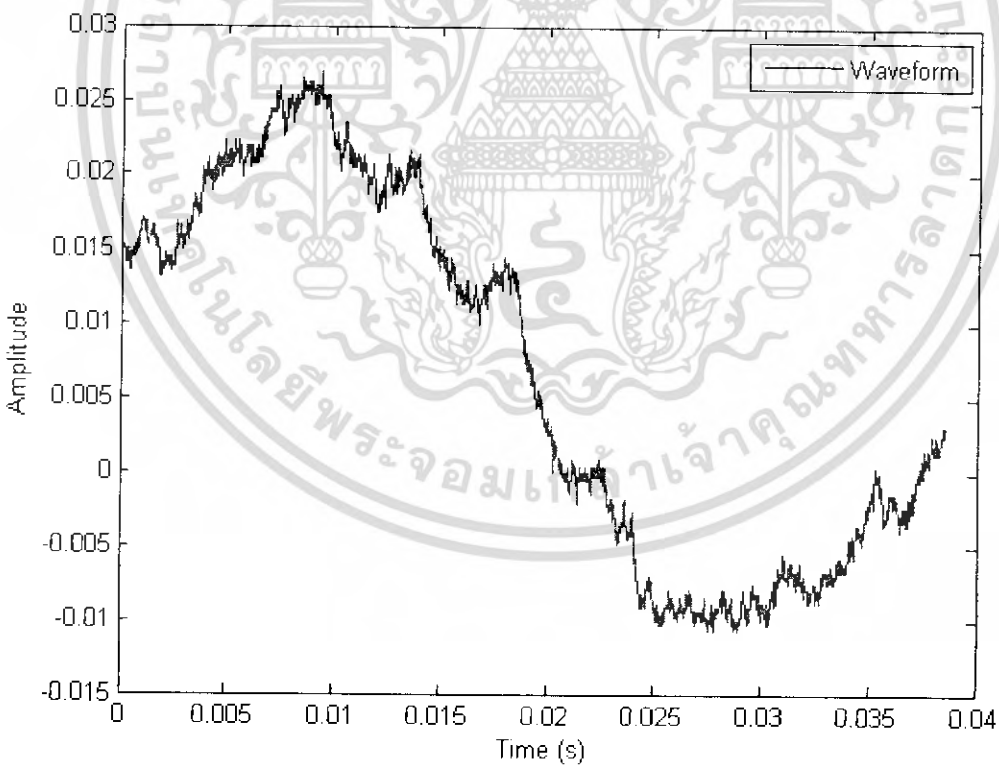
- คำสั่งที่ใช้ในการแปลงเป็น Ceptrum ซึ่งจะมีลักษณะของโค้ดในการใช้คำสั่งดังนี้

```
[x,fs]=wavread(V[illegible],[2900 4600]);
ms1=fs/1000;                [illegible]
ms20=fs/50;                 [illegible]

[illegible] plot waveform [illegible]
t=(0:length(x)-1)/fs;       [illegible] times of sampling instants
plot(t,x);[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible]
legend([illegible]);
xlabel([illegible]);
ylabel([illegible]);

[illegible] do fourier transform of windowed signal
Y=fft(x.*hamming(length(x)));

[illegible] plot spectrum of bottom 5000Hz
hz5000=5000*length(Y)/fs;
f=(0:hz5000)*fs/length(Y);

[illegible]
figure
plot(f,20*log10(abs(Y(1:length(f)))+eps));
legend([illegible]);
xlabel([illegible]);
ylabel([illegible]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

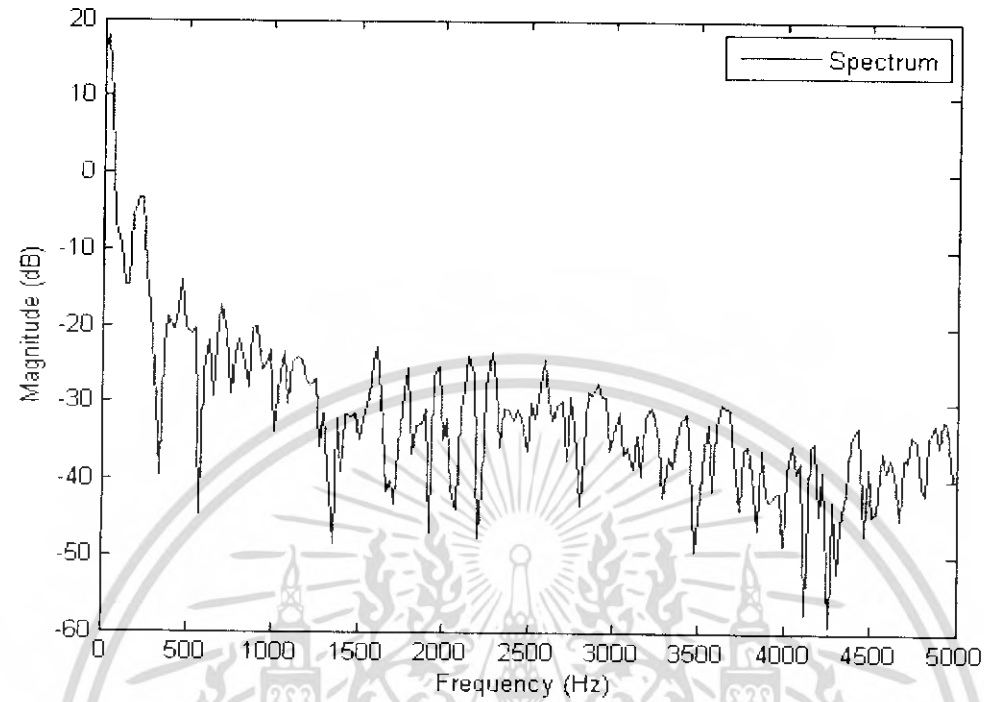
```
C=fft(log(abs(Y)+eps));
q=(ms1:ms20)/fs;
figure
plot(q,abs(C(ms1:ms20)));
axis([0 0.022 -20 300]);
legend(
);
xlabel(
);
ylabel(
);
```

ซึ่งโค๊ดคำสั่งตัวนี้จะแสดงให้เห็นรูปแบบของสัญญาณทั้งในโดเมนเวลา โดเมนความถี่และก็รูปแบบของ Cepstrum ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้

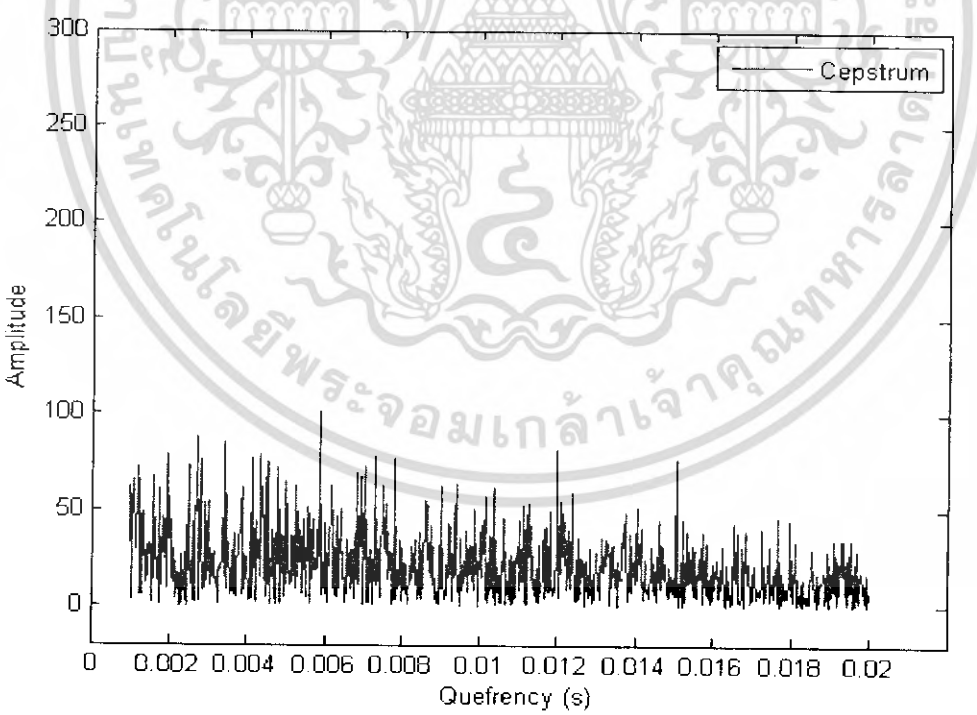


รูปที่ 3.10 แสดงรูปของสัญญาณในโดเมนเวลาที่ได้จากโค้ดในแปลงCepstrum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงรูปของสัญญาณในโดเมนความถี่ที่ได้จากโค้ดในแปลงCepstrum



รูปที่ 3.11 แสดงรูปของสัญญาณในรูปแบบของCepstrum

ซึ่งรูปแบบทั้งสามนี้จะใช้แสดงในผลการทดลองด้วย GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวัดสัญญาณเสียงรถยนต์

ขั้นตอนการวัดสัญญาณเสียงรถยนต์นั้น จะเริ่มจากการสตาร์ทเครื่องพร้อมทำการบันทึกเสียงด้วยไมโครโฟน จากนั้นทำการเร่งรอบเครื่องไปที่ 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ก็มีดังนี้

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกเสียง

1. ไมโครโฟน
2. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดตั้งโปรแกรมบันทึกเสียง ในที่นี้เราใช้โปรแกรม Specralab

4.1.2 ตัวอย่างเสียงรถยนต์ที่ทำการบันทึก (ที่เป็นไฟล์ .wav)

1. FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004
2. ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006
3. ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006
4. ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004
5. ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005
6. ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 ซีซี ปีที่ผลิต 1994
7. ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997
8. ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1
9. ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2
10. MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003
11. SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997
12. TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992
13. TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995
14. TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001
15. TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004
16. TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการบันทึกเสียงรถยนต์รุ่นต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจากนั้นก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการศึกษารูปเคลื่อนในโดเมนต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันที่จะช่วยทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้น เนื่องจากโดเมนเพียงโดเมนหนึ่งไม่อาจสามารถอธิบายองค์ประกอบของเสียงได้ชัดเจน เช่น จากโดเมนทางเวลาก็จะมีตัวแปรทางเวลาในแกน X และแอมพลิจูดในแกน Y ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเกิดเราต้องการดูองค์ประกอบทางความถี่ว่าที่ความถี่เท่าใดมีแอมพลิจูดสูงที่สุด ก็จะไม่สามารถทำได้ในโดเมนทางเวลาเป็นต้น

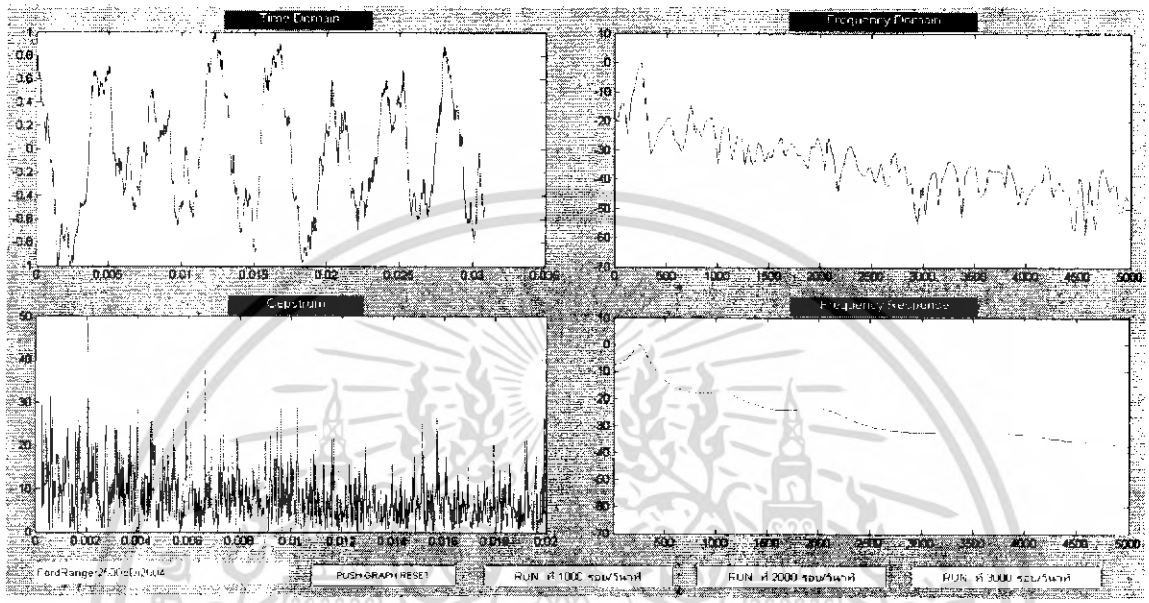
4.2 การพล็อตสัญญาณเสียงรถยนต์ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

การพล็อตสัญญาณเสียงรถยนต์ในโดเมนเวลา, โดเมนความถี่ และการหา Cepstrum นั้นเราได้ทำการสร้างตัวแสดงผลเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในฟังก์ชัน Graphical User Interface (GUI) ที่สามารถช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก เพราะทำให้สามารถเห็นรูปสัญญาณที่แตกต่างกันในโดเมนต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เราสามารถวิเคราะห์ถึงความแตกต่างของรถแต่ละรุ่น, รอบเครื่องที่ 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และที่ 3000 รอบต่อวินาที ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร รูปสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร รวมทั้งรถยนต์แต่ละยี่ห้อ แต่ละรุ่นมีความคล้ายคลึงกัน หรือต่างกันในส่วนไหนบ้าง เพื่อที่จะนำตัวแปรที่โดดเด่นเหล่านี้ไปเป็นตัวแปรในการ สังเคราะห์เสียงรถยนต์รุ่นนั้น ๆ ขึ้นมา ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองดังนี้

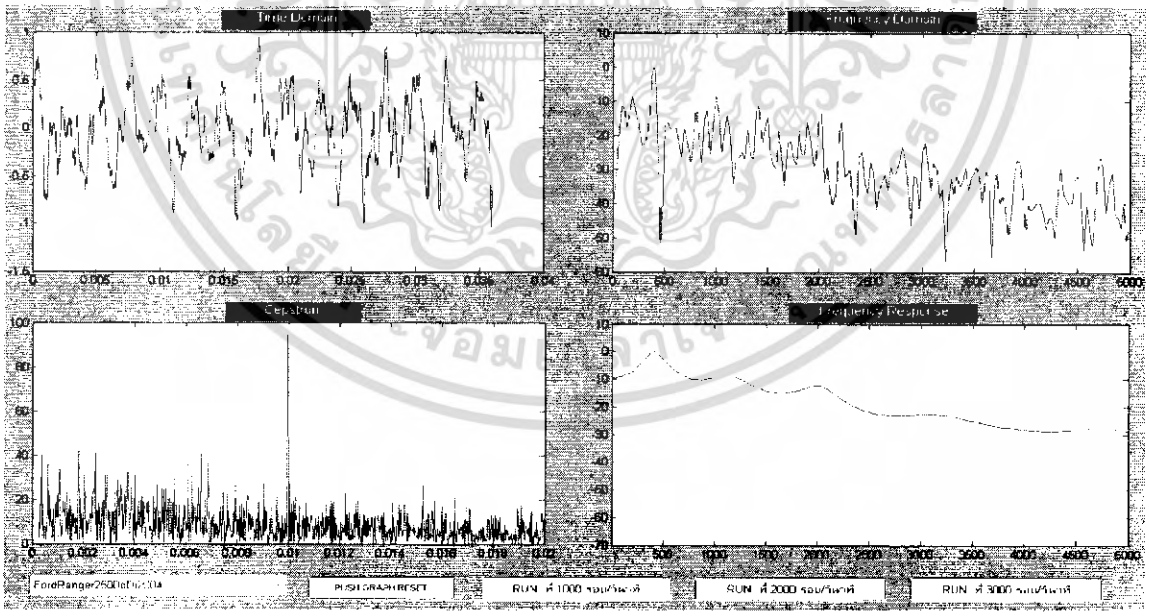
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดลองพล็อตสัญญาณเสียงรถยนต์รุ่นต่าง ๆ

1. FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

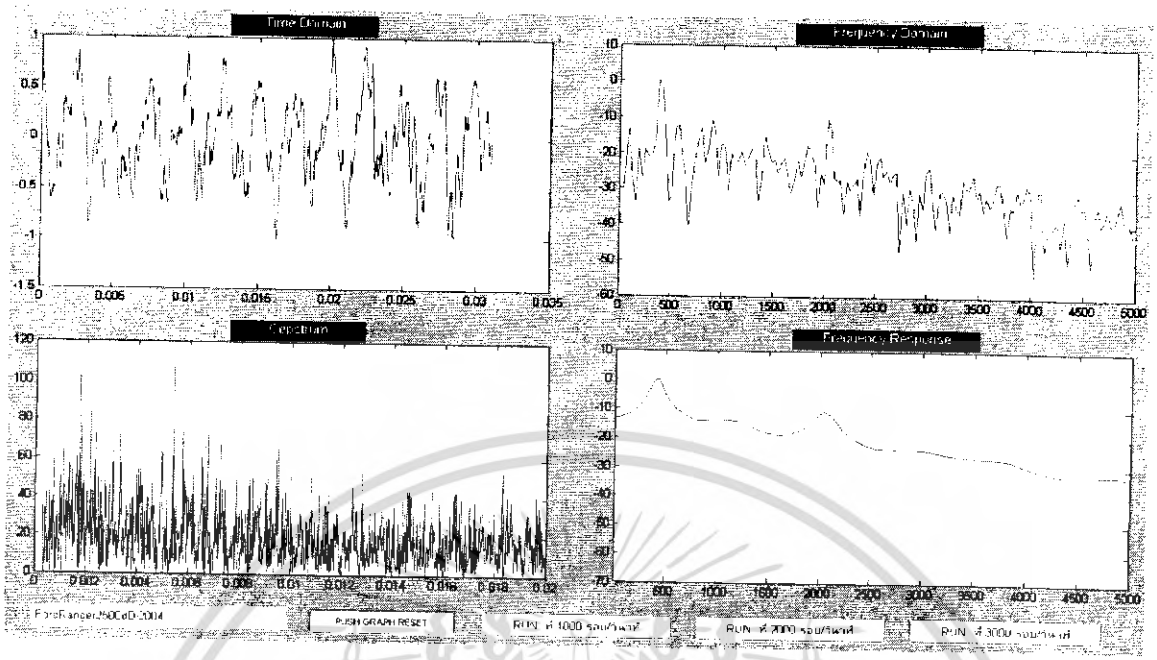


1. (ก)



1. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

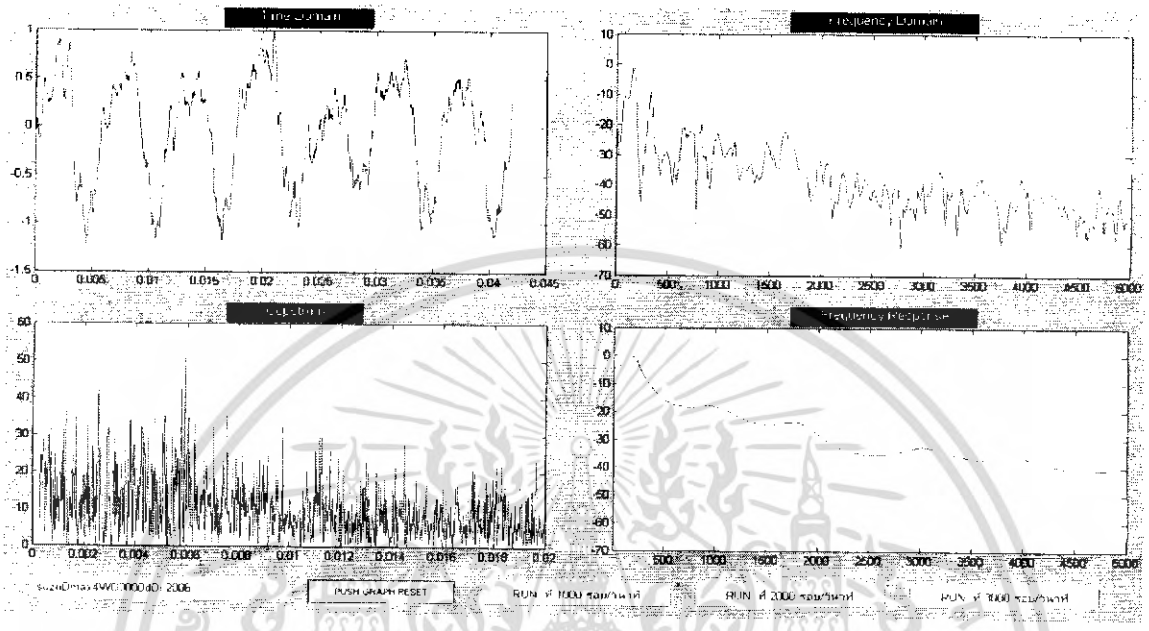


1. (ค)

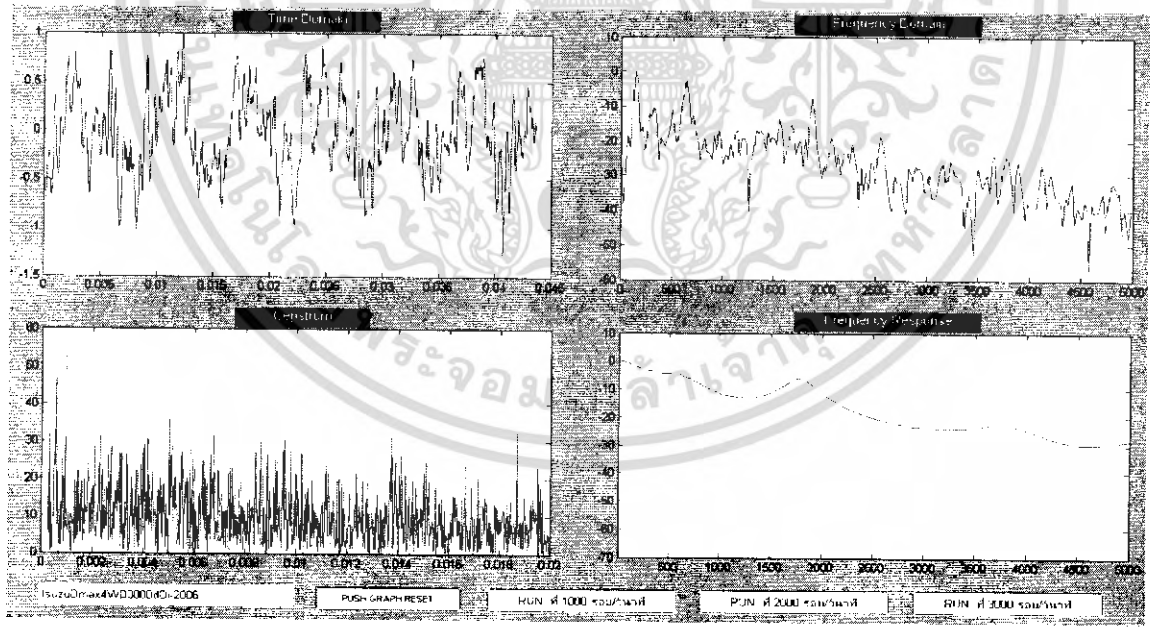
จากรูป 1. (ก), 1. (ข) และ 1. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ FORD RANGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 450 Hz และ 2000 Hz ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

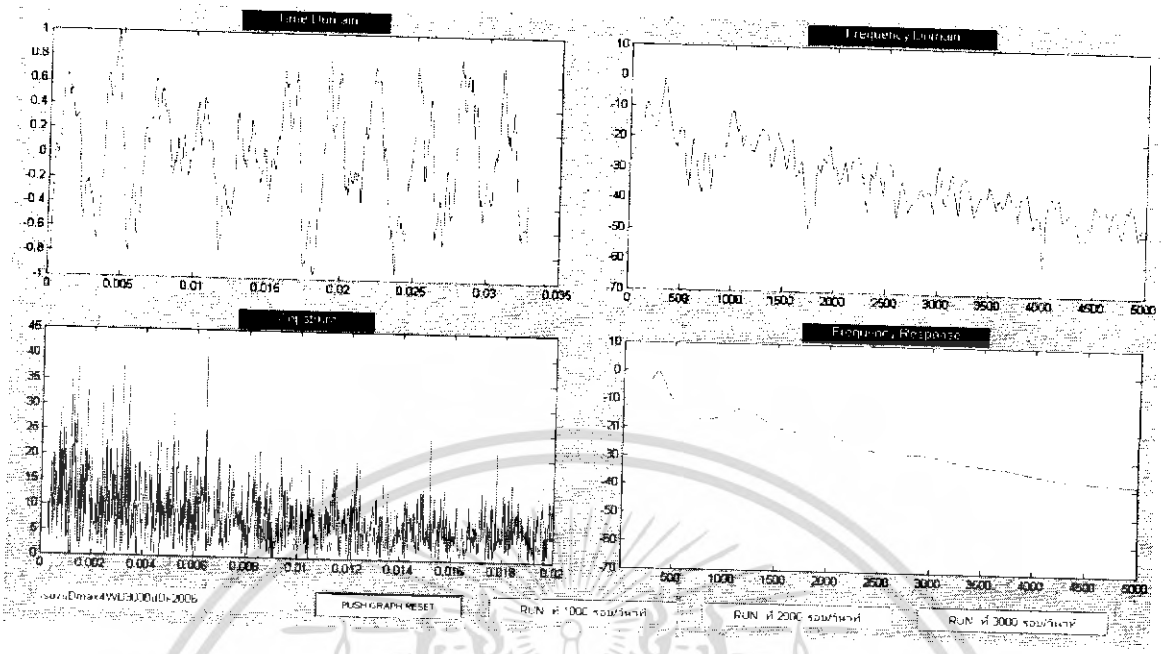


2. (ก)



2. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

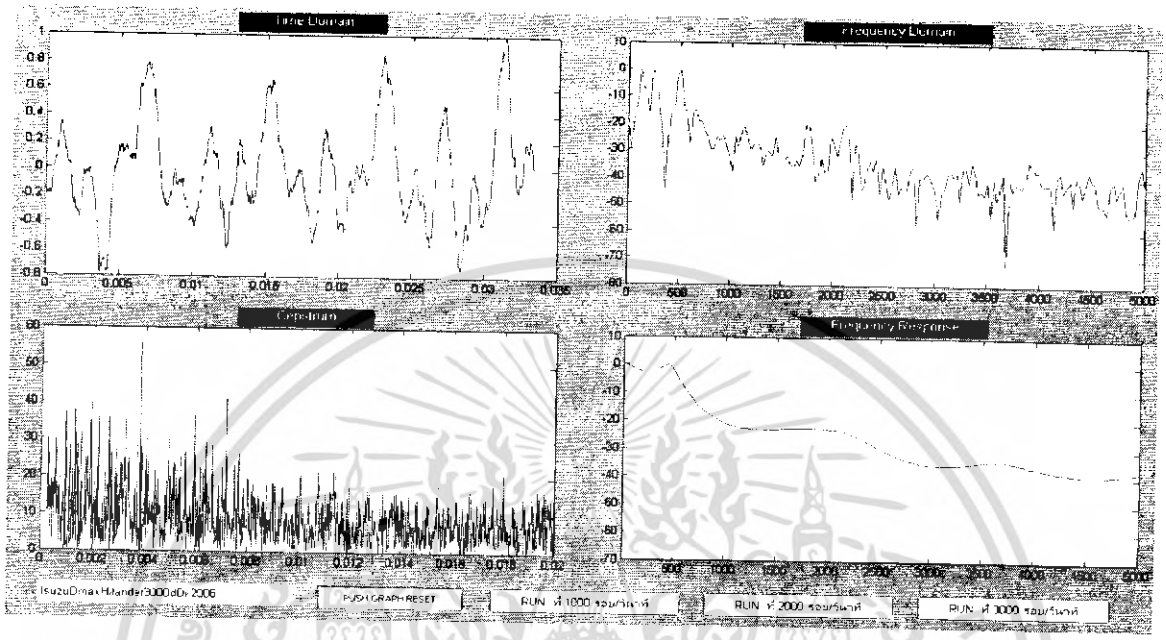


2. (ค)

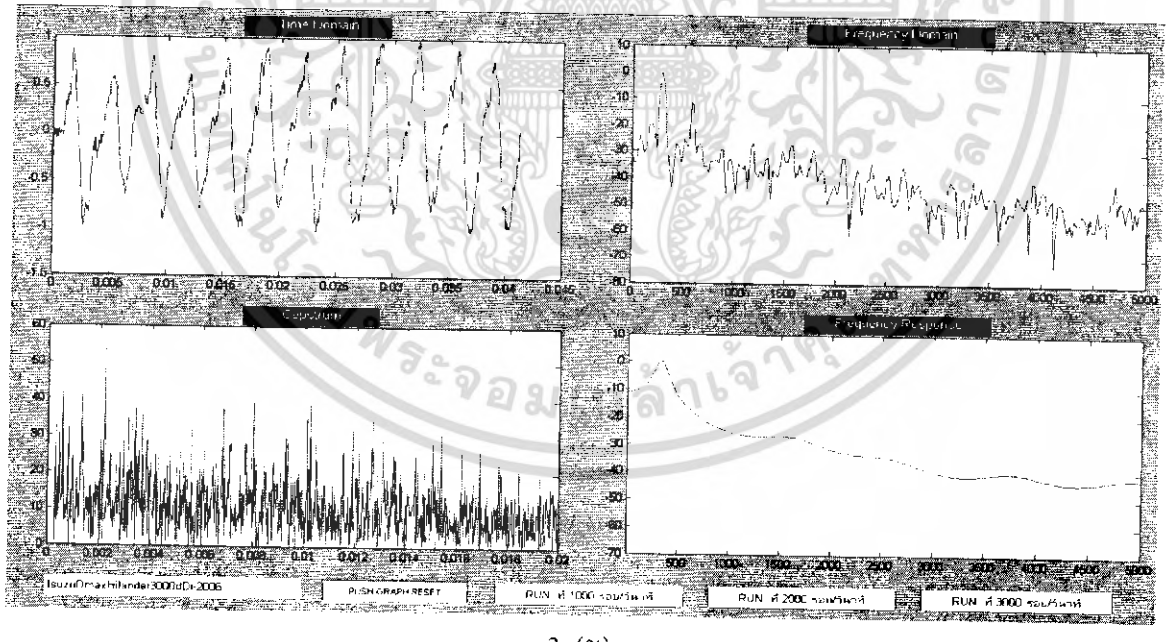
จากรูป 2. (ก), 2. (ข) และ 2. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU DMAX ขับเคลื่อน 4 ล้อ ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น และเด่นชัดที่สุดในรอบเครื่องยนต์ที่ 2000 รอบต่อวินาที รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 150 Hz ของรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อวินาที, 1750 Hz ของรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อวินาที และ 400 Hz ของรอบเครื่องยนต์ 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

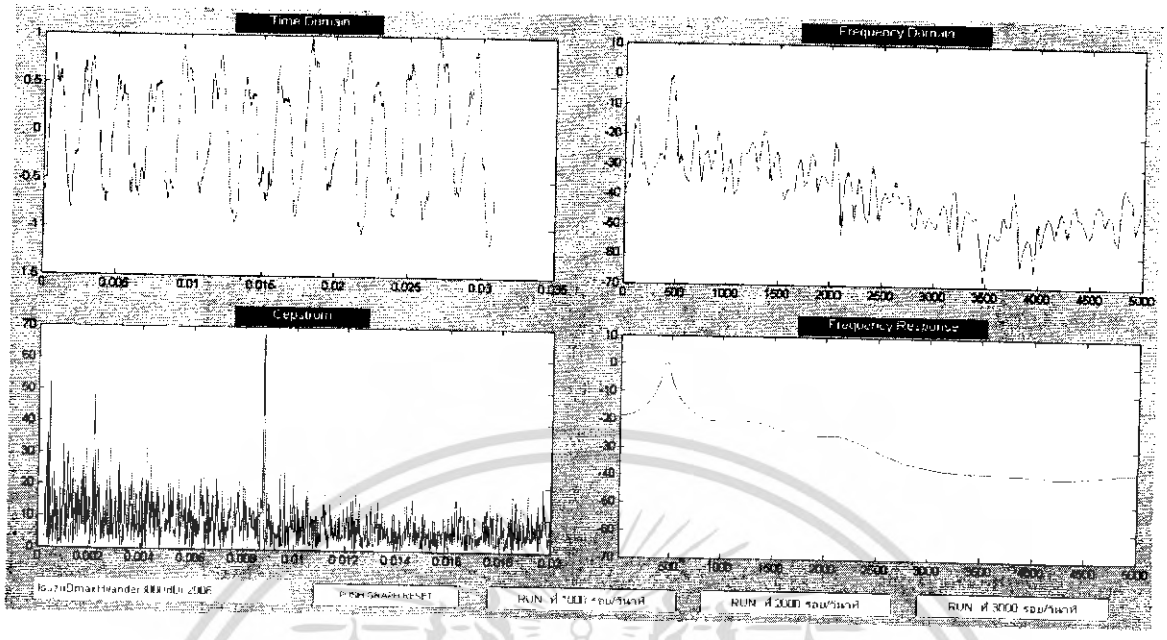


3. (ก)



3. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

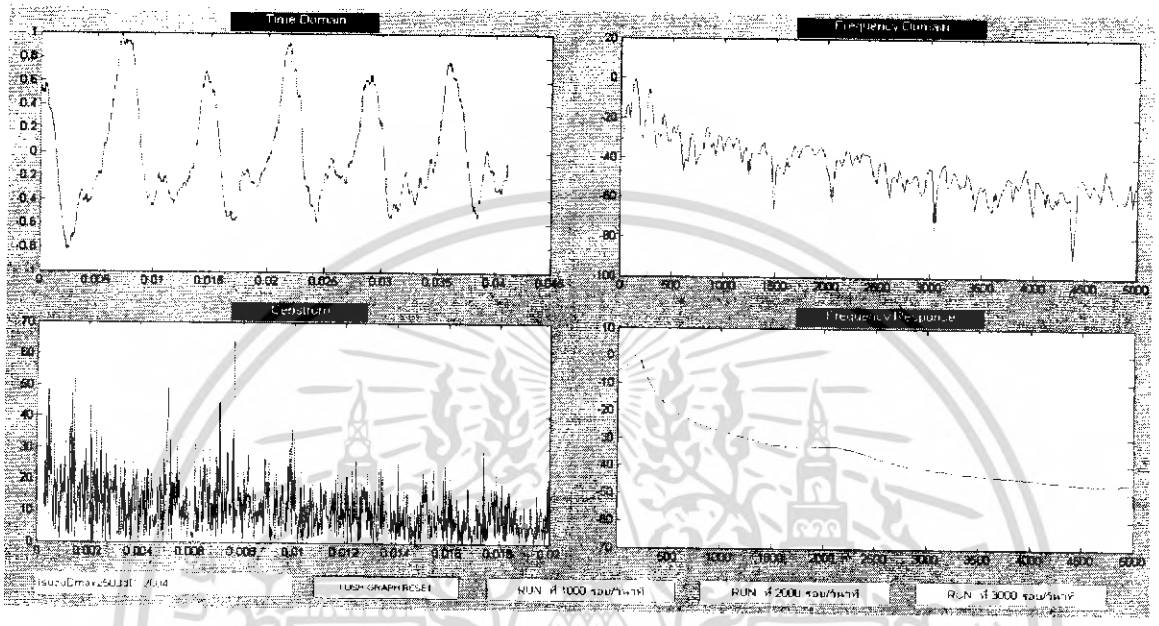


3. (ค)

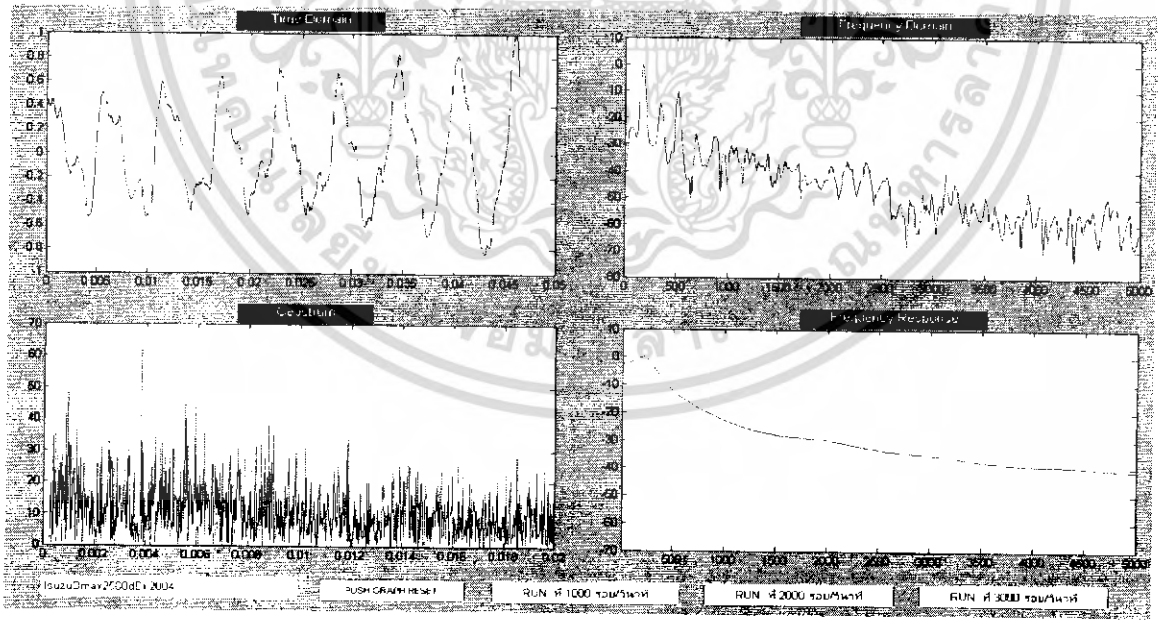
จากรูป 3. (ก), 3. (ข) และ 3. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU DMAX HILANDER ขนาดเครื่องยนต์ 3000 c.c. ปีที่ผลิต 2006 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 500 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 450 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที และ 500 ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที , 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

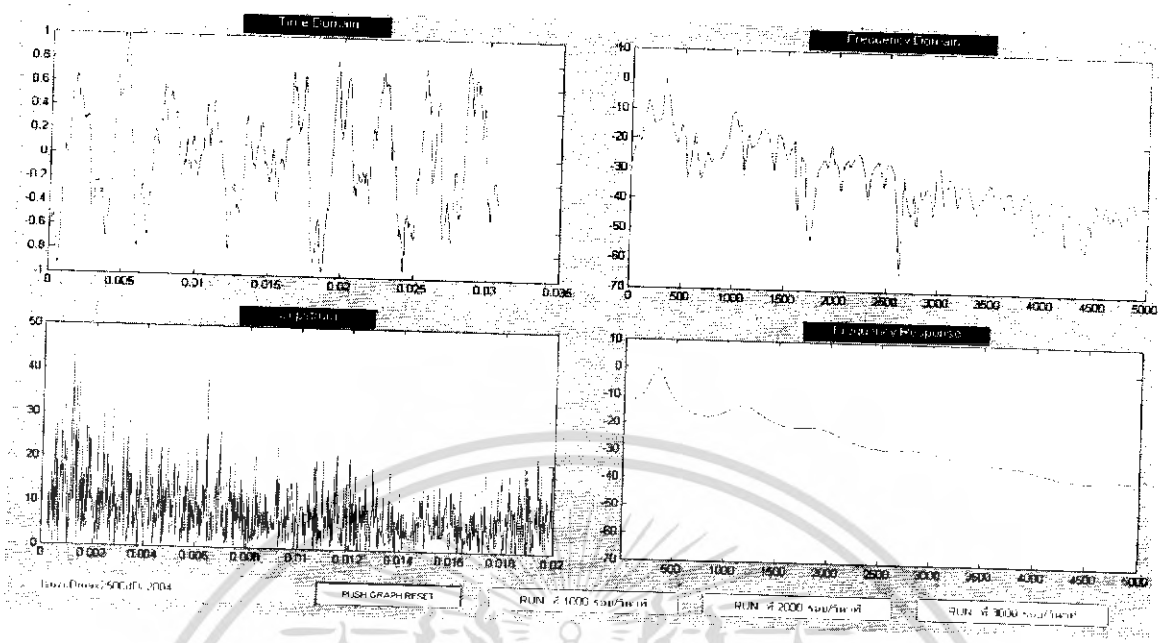


4. (ก)



4. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

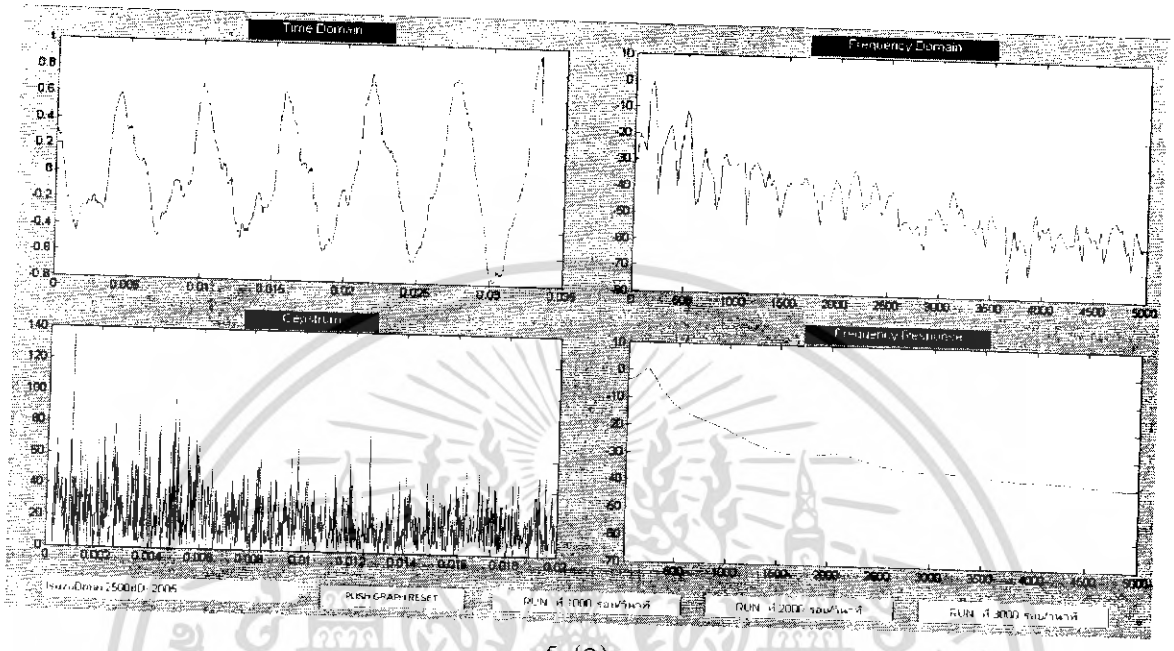


4. (ค)

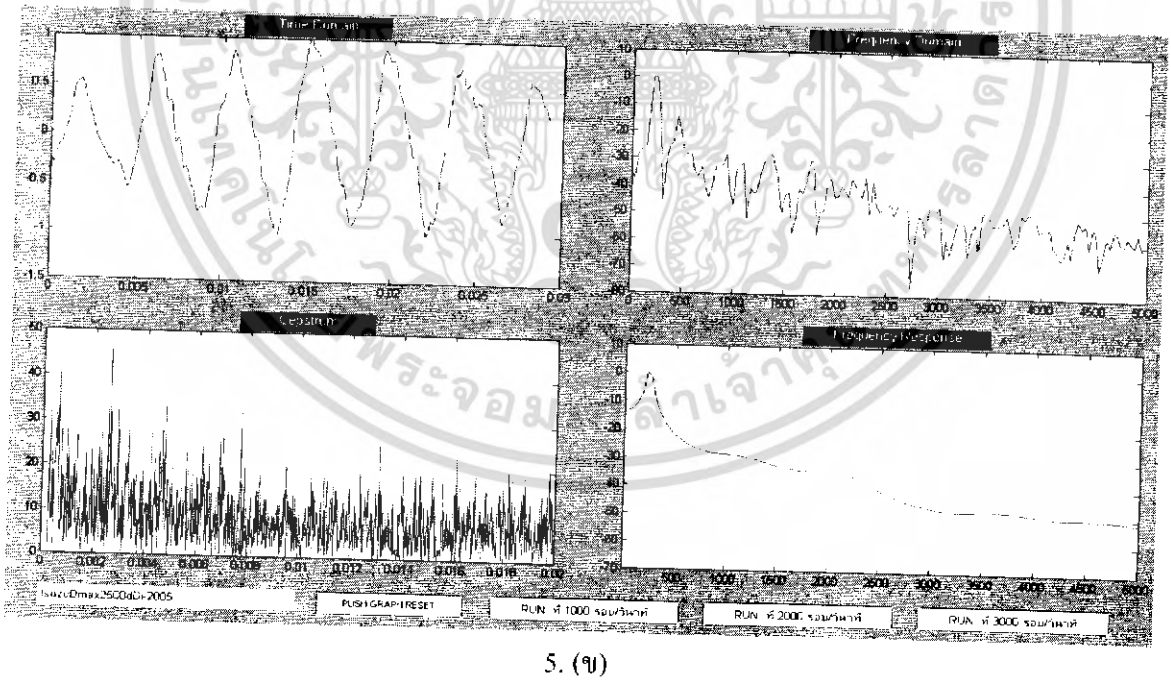
จากรูป 4. (ก), 4. (ข) และ 4. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 200 Hz ที่รอบเครื่อง 1000-2000 รอบต่อวินาที, และ 350 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที . 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

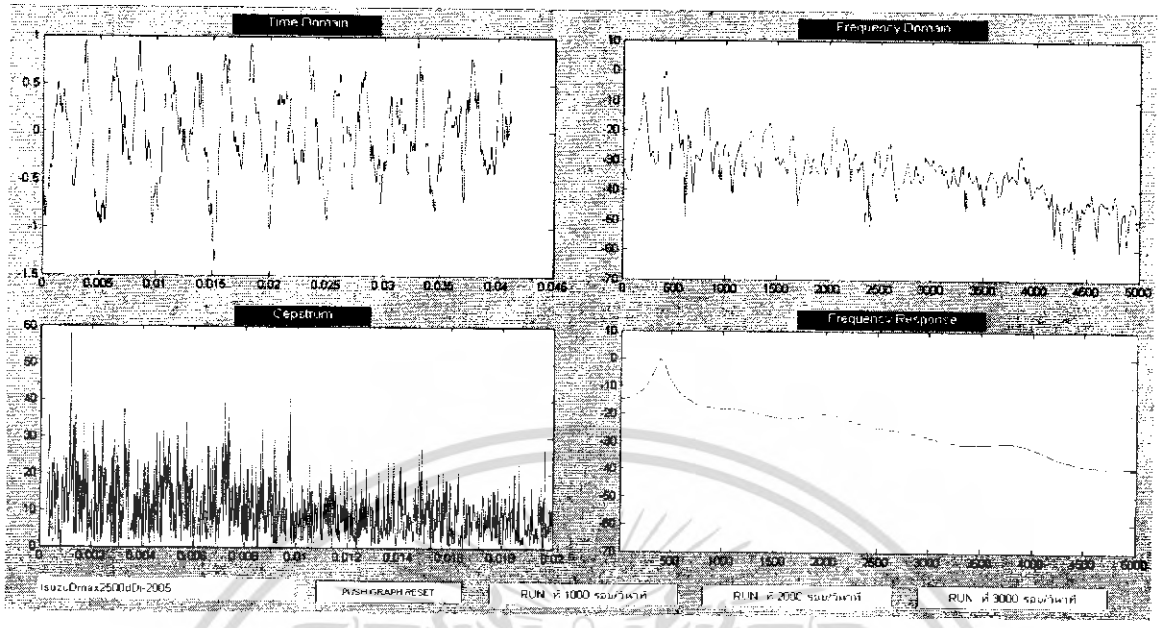


5. (ก)



5. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

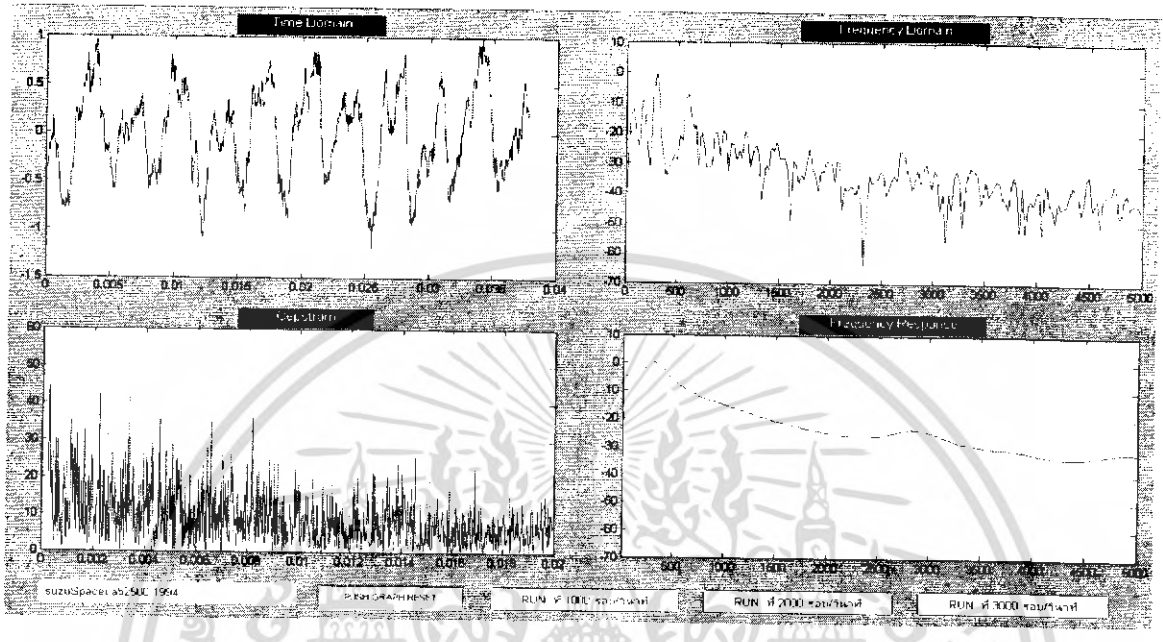


5. (ค)

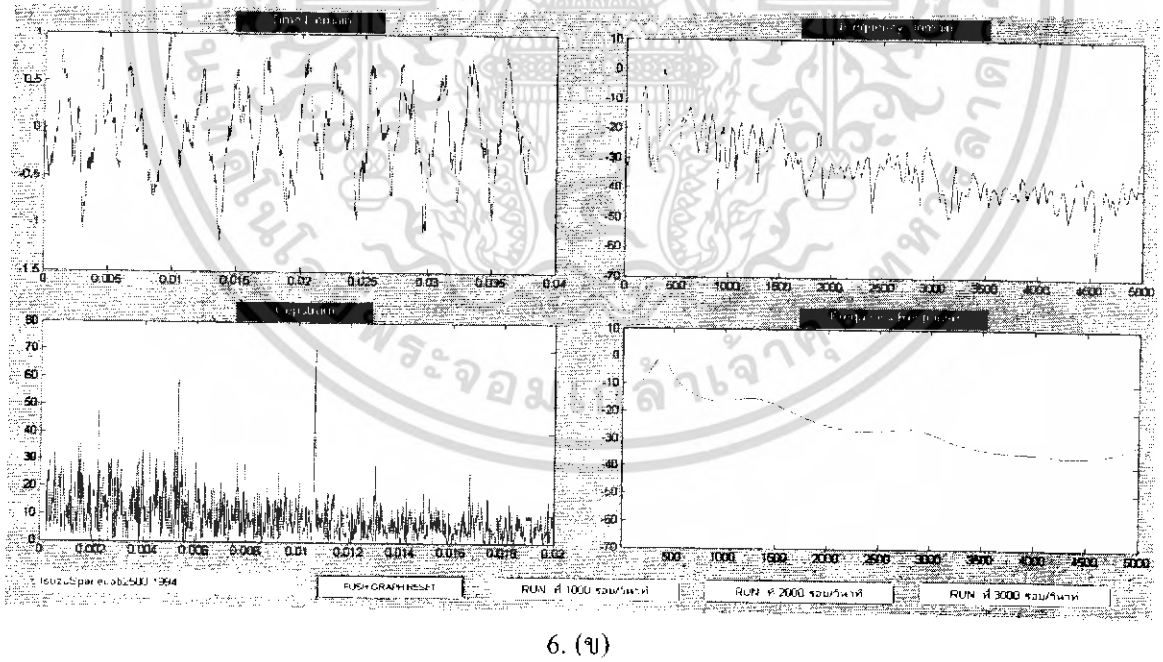
จากรูป 5. (ก), 5. (ข) และ 5. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU DMAX ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 200 Hz ที่รอบเครื่อง 1000-2000 รอบต่อวินาทีและ 450 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาทีที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 ซีซี ปีที่ผลิต 1994 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

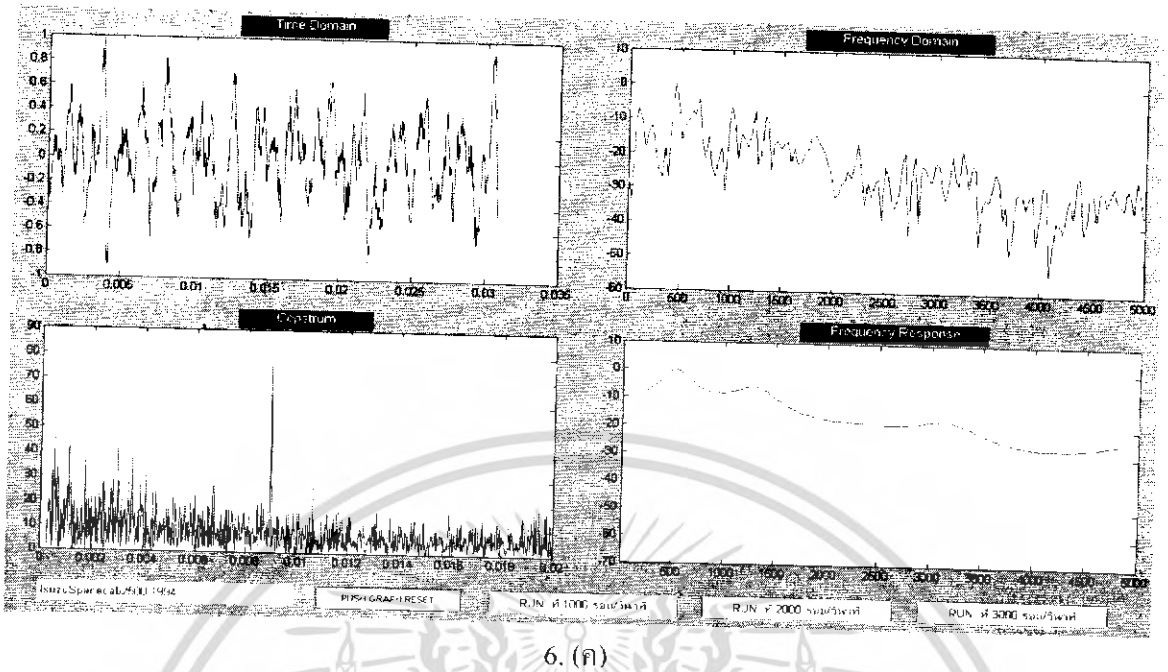


6. (ก)



6. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

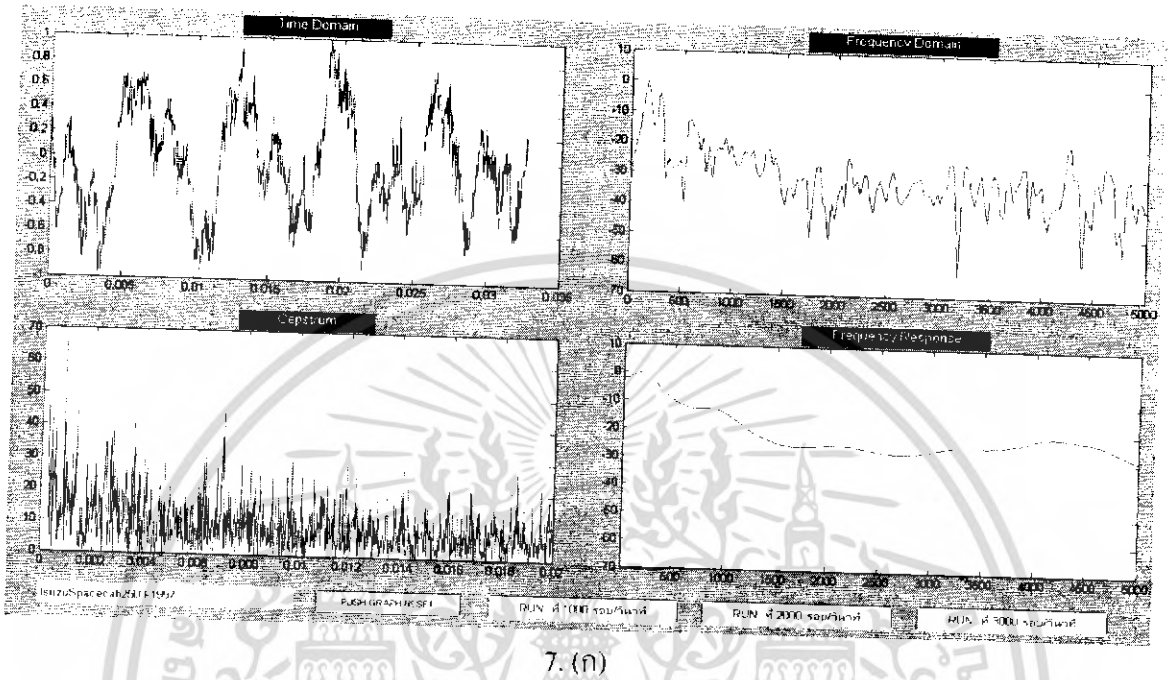


6. (ค)

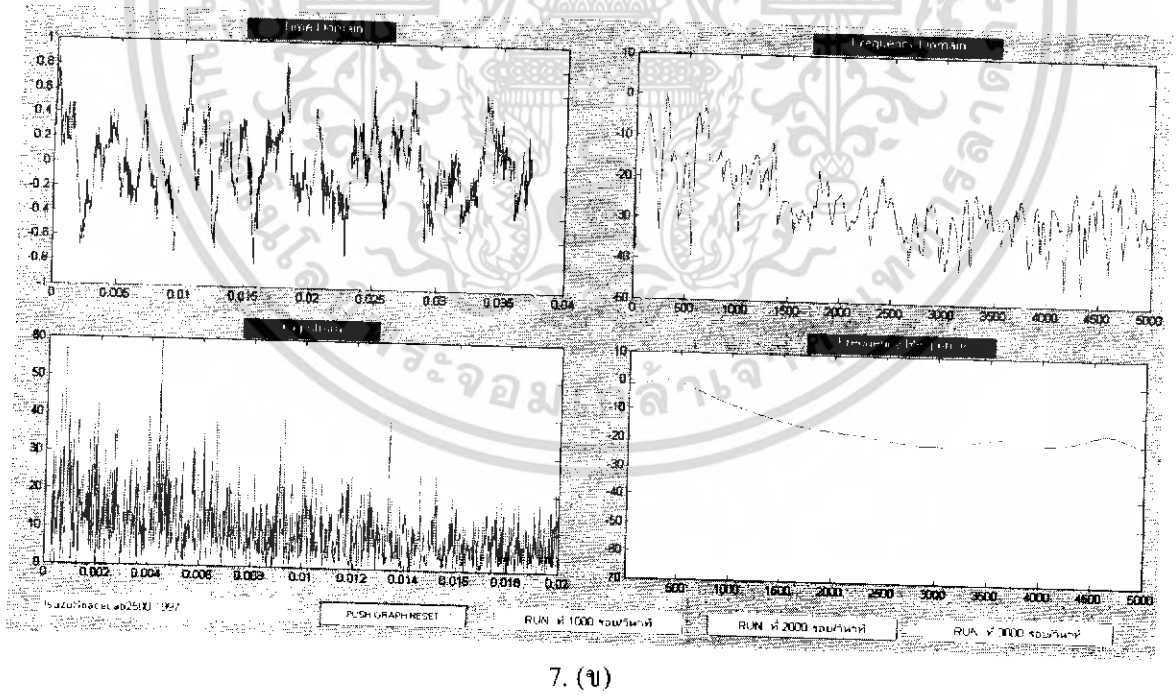
จากรูป 6. (ก), 6. (ข) และ 6. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 ซีซี ปีที่ผลิต 1994 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 400 Hz ที่รอบเครื่อง 1000-2000 รอบต่อวินาทีและ 500 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

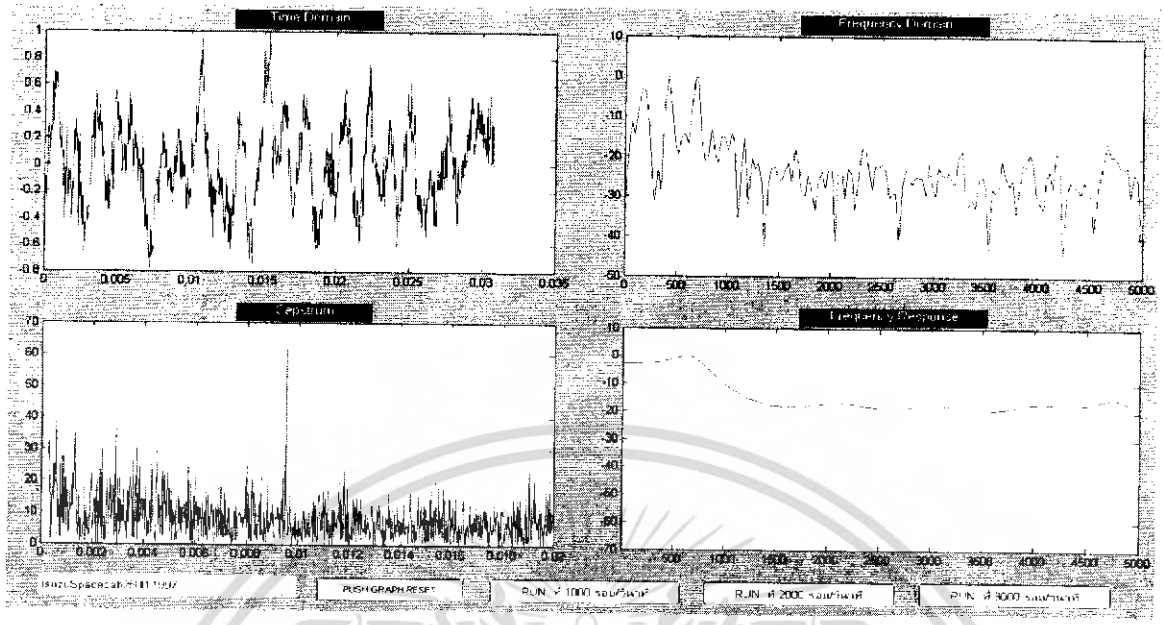


7. (ก)



7. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

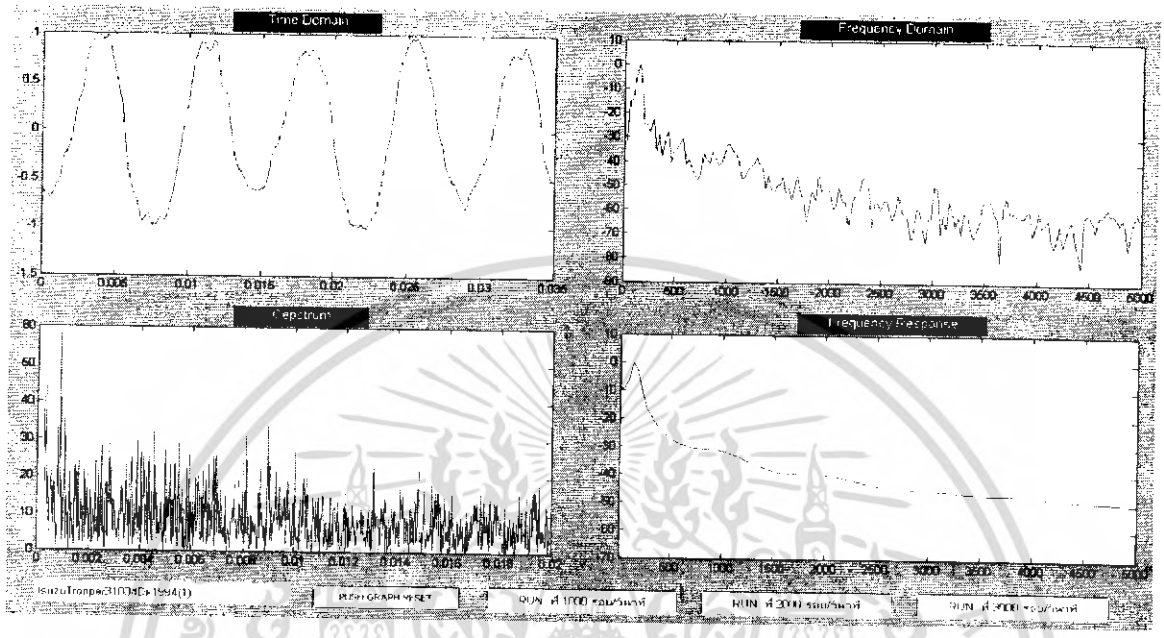


7. (ค)

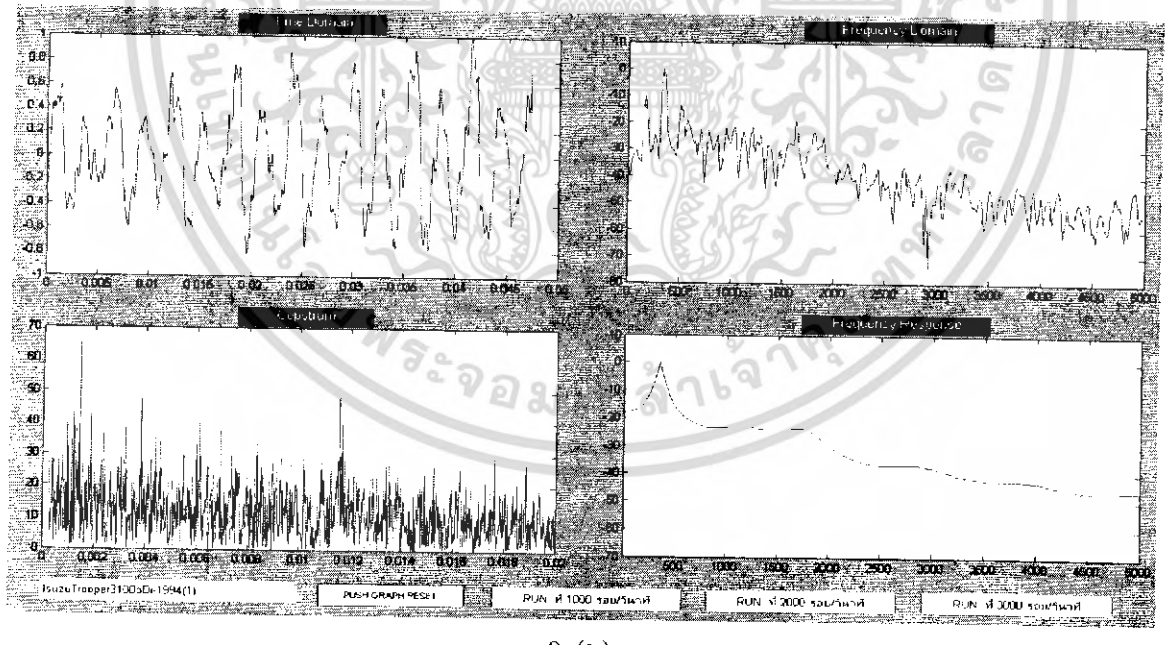
จากรูป 7. (ก), 7. (ข) และ 7. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU SPACECAB ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 250 Hz ที่รอบเครื่อง 1000-2000 รอบต่อวินาทีและ 750 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

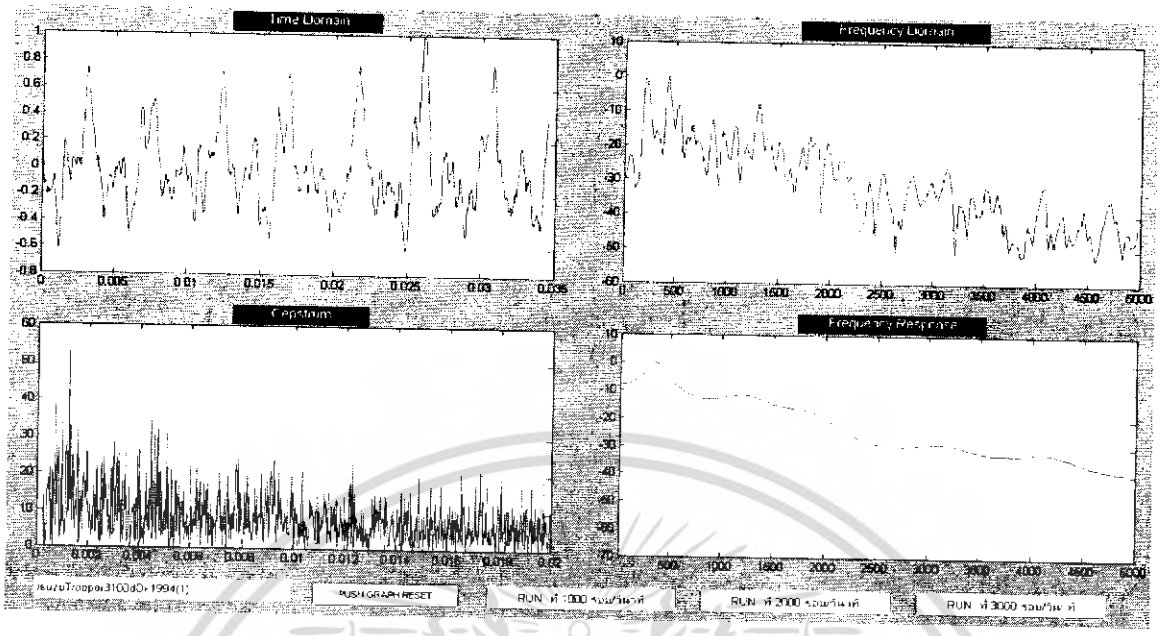


8. (ก)



8. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

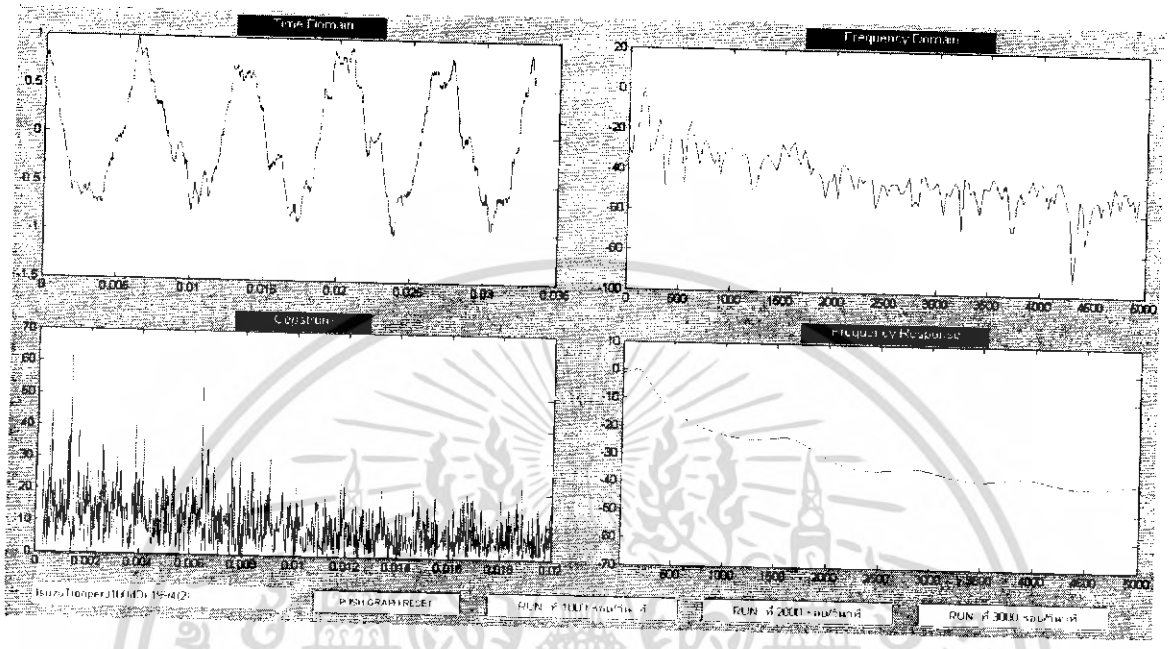


8. (ค)

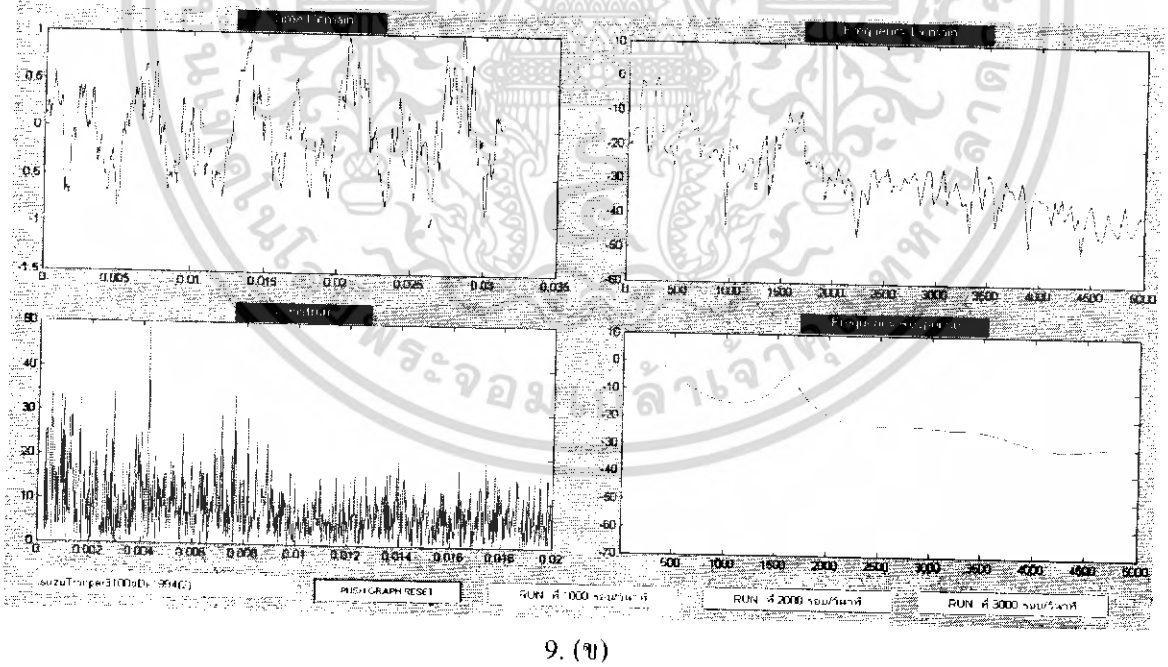
จากรูป 8. (ก), 8. (ข) และ 8. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 1 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 150 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที และ 400 Hz ที่รอบเครื่อง 2000-3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้ และยังเป็นรูปสัญญาณใน Time-domain ที่แปลกไปจากรถรุ่นอื่นๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

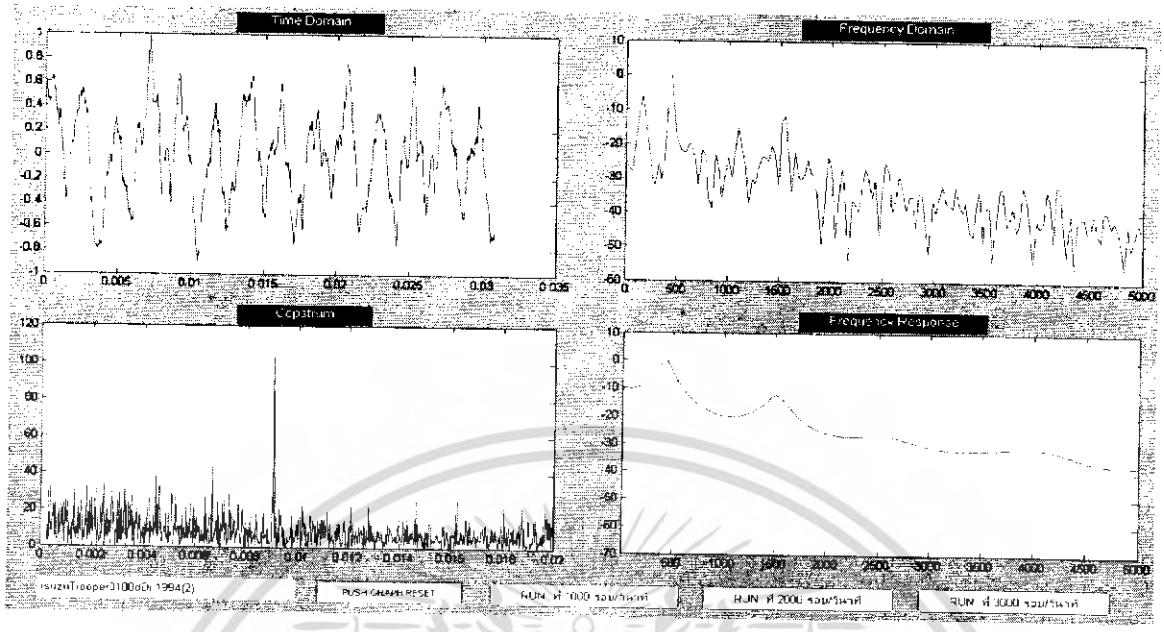


9. (ก)



9. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

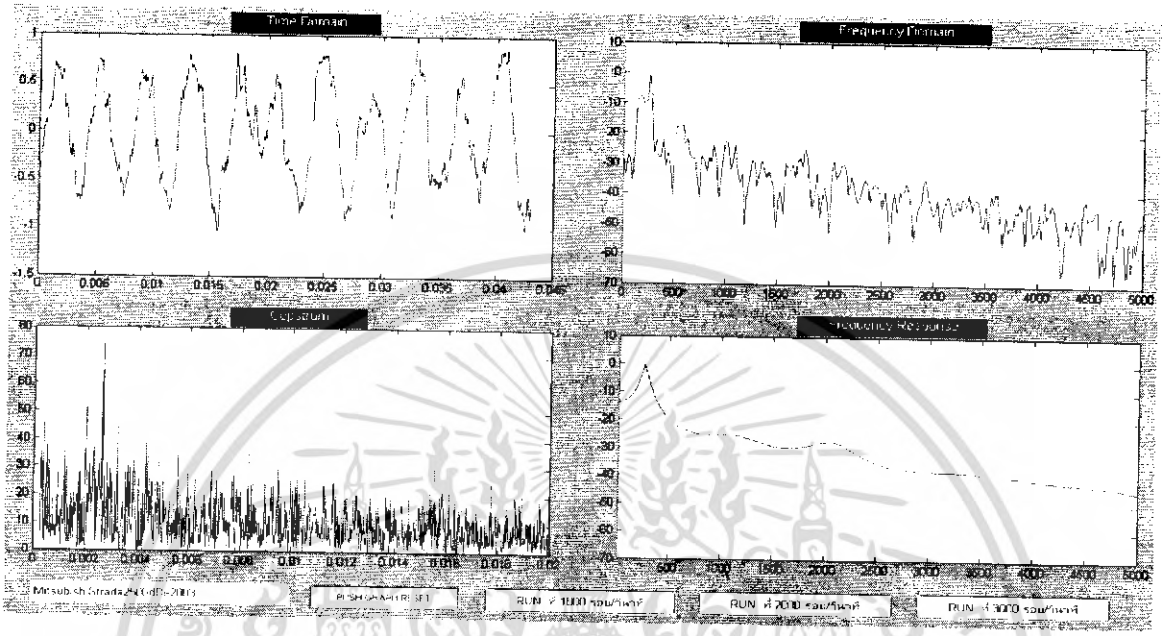


9. (ค)

จากรูป 9. (ก), 9. (ข) และ 9. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ ISUZU TROOPER ขนาดเครื่องยนต์ 3100 c.c. ปีที่ผลิต 1994 คันที่ 2 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 100 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 100 Hz กับ 1600 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที ส่วนที่ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาทีจะมีผลตอบสนองความถี่อยู่ 2 คือ 500 กับ 1500 Hz จะเด่นชัดที่ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

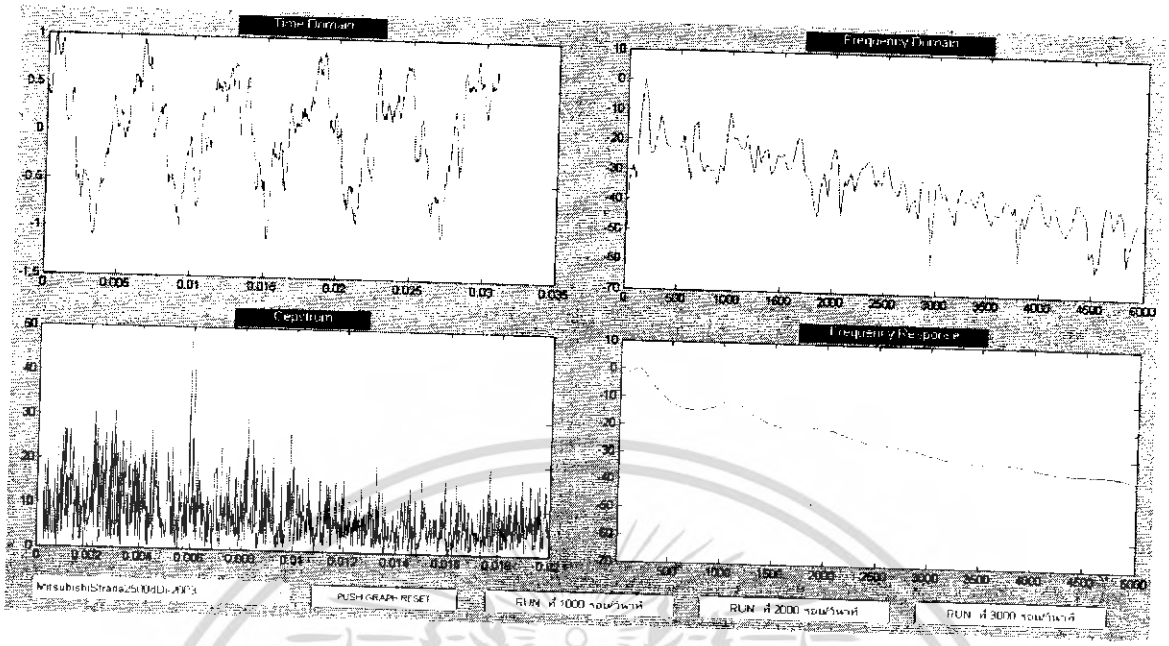
10. MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที



10. (ก)

10. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

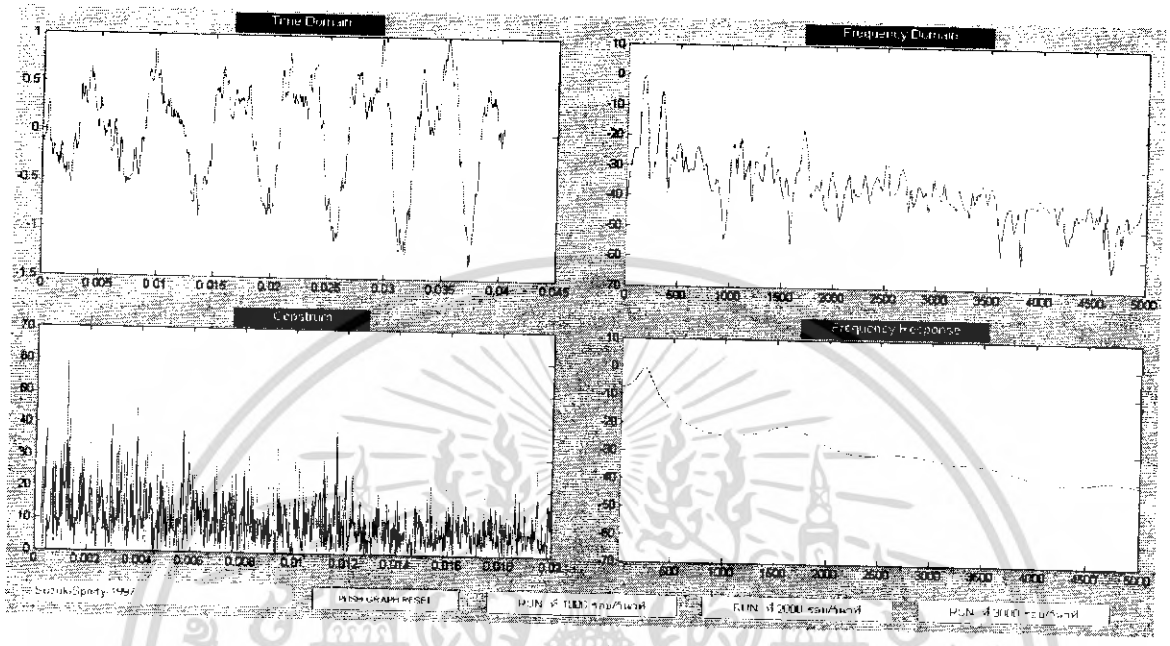


10. (ค)

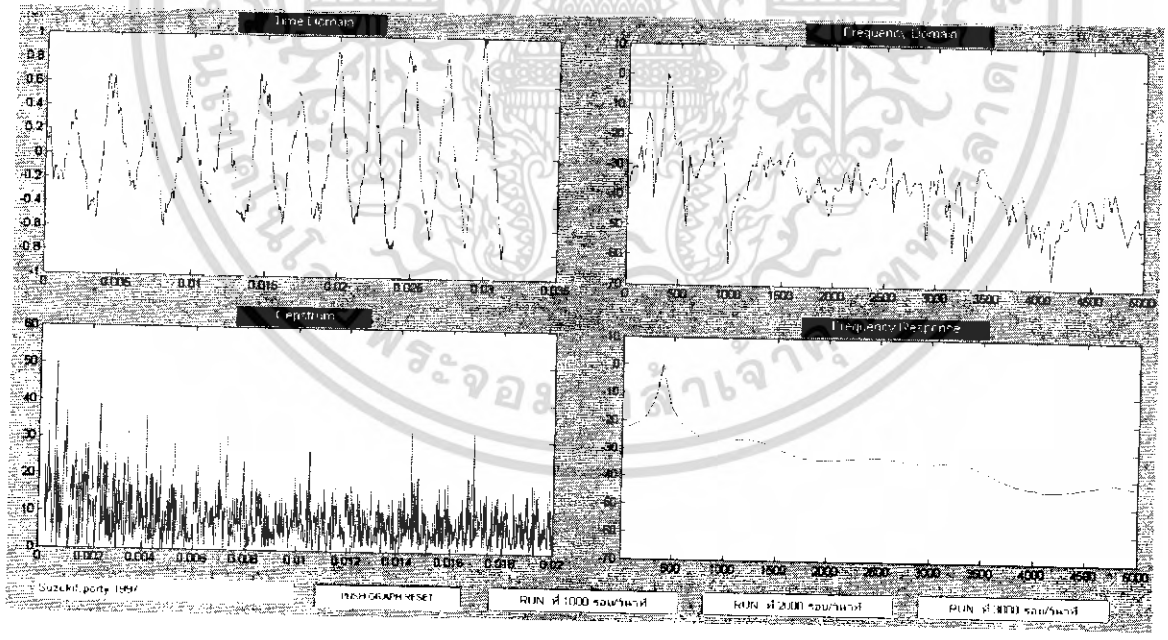
จากรูป 10. (ก), 10. (ข) และ 10. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ MITSUBISHI STRADA ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2003 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 250 Hz และ 1000-2000 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

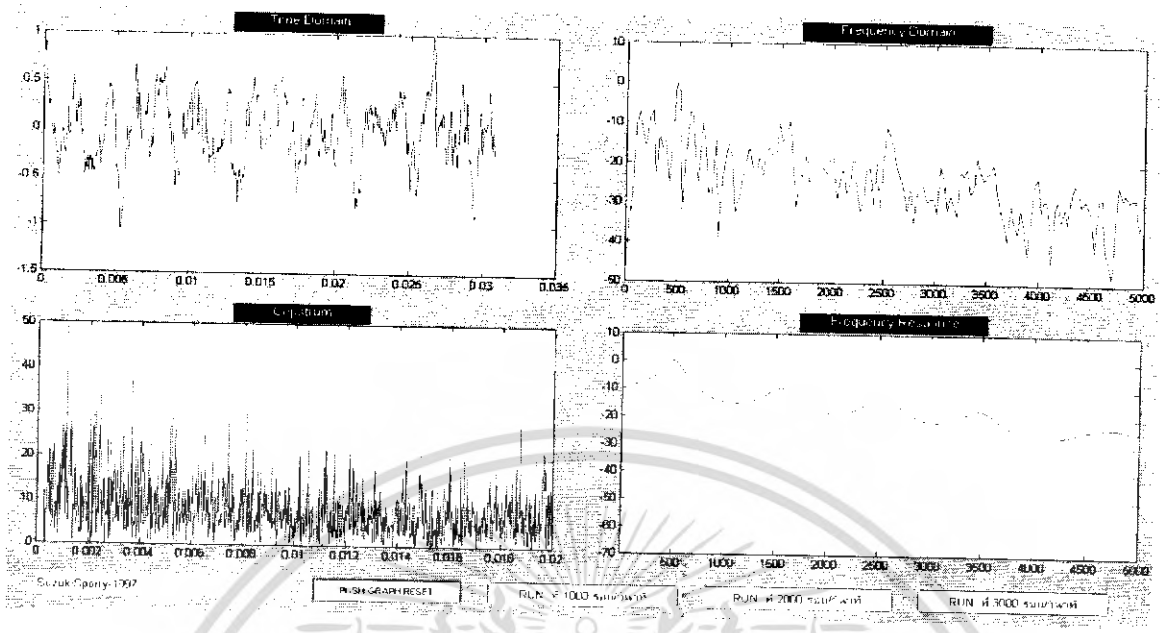


11. (ก)



11. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

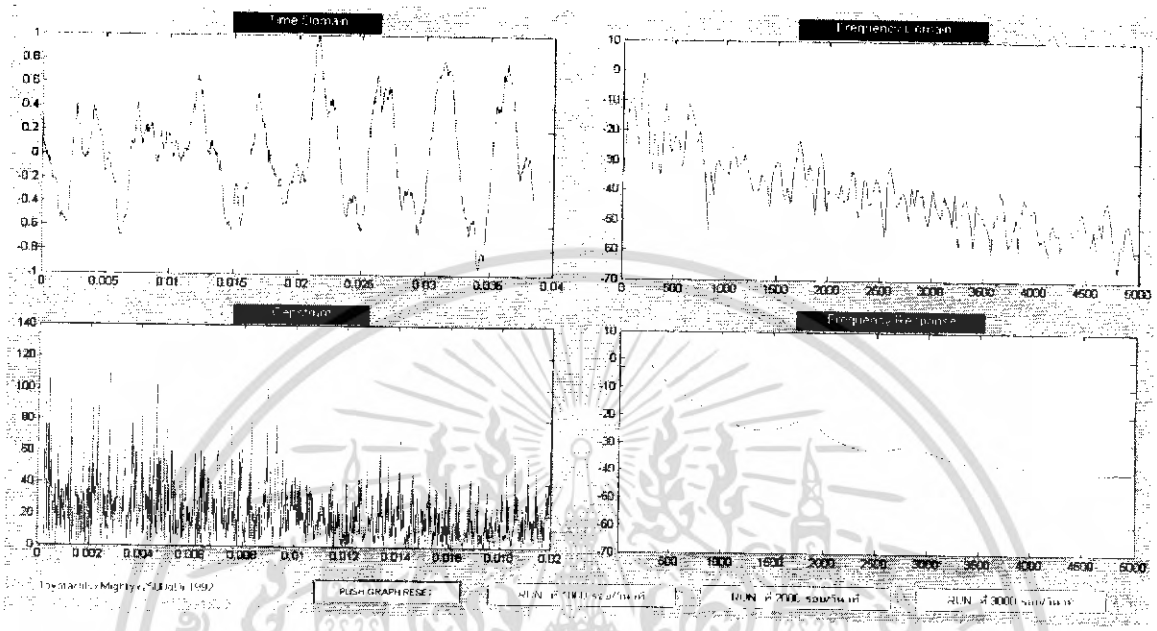


11. (ค)

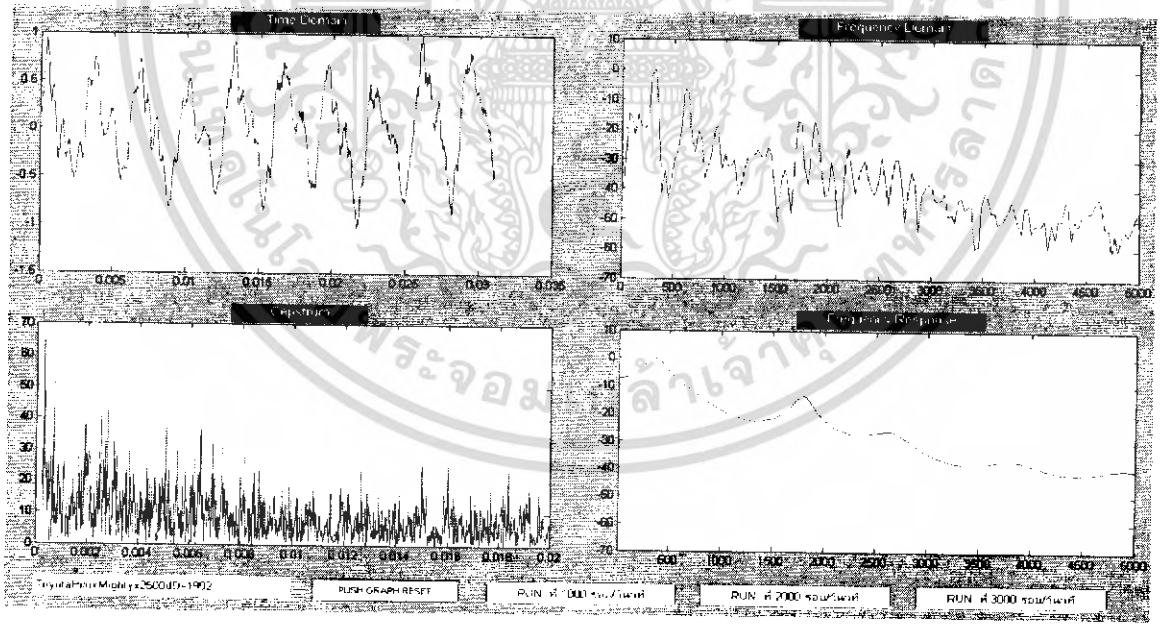
จากรูป 11. (ก), 11. (ข) และ 11. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ SUZUKI SPORTY ขนาดเครื่องยนต์ 1300 c.c. ปีที่ผลิต 1997 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 250 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 450 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที และในส่วนของรอบเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อวินาทีนั้น จะมีหลายช่วงที่ตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 500 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz และ 3000 Hz ดูจะเด่นชัดขึ้นมาของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

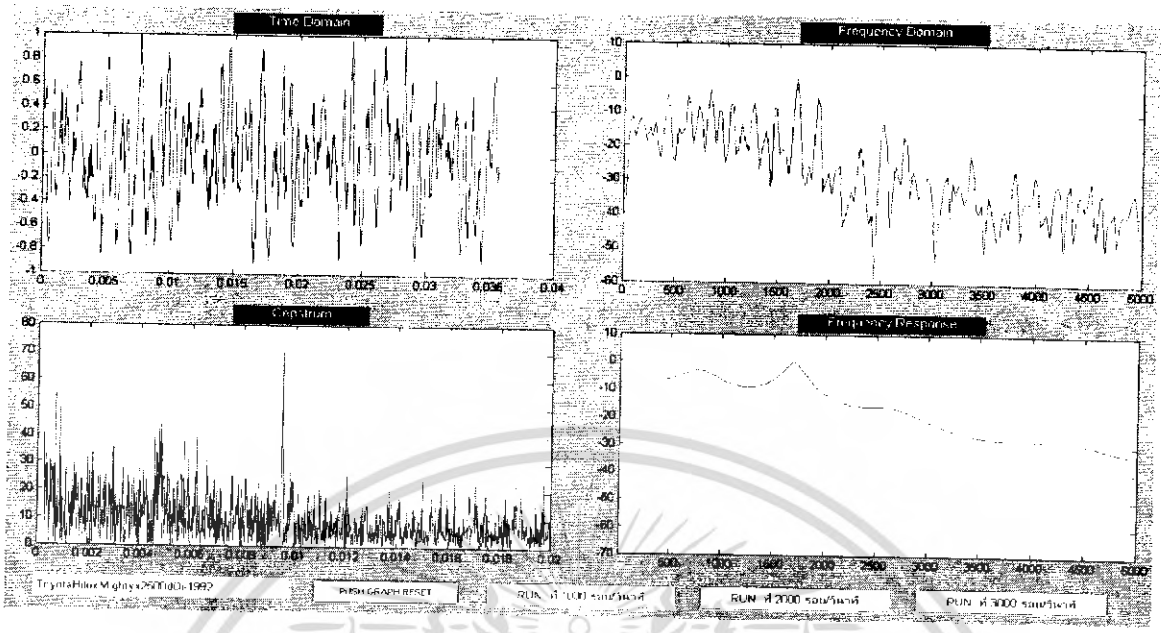


12. (ก)



12. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

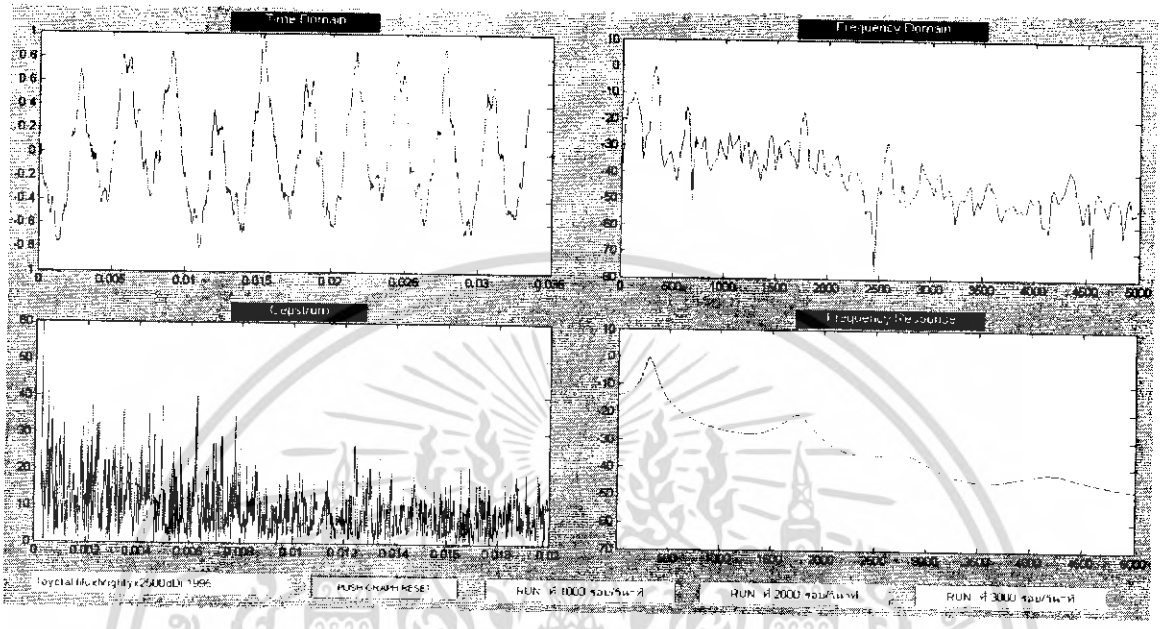


12. (ค)

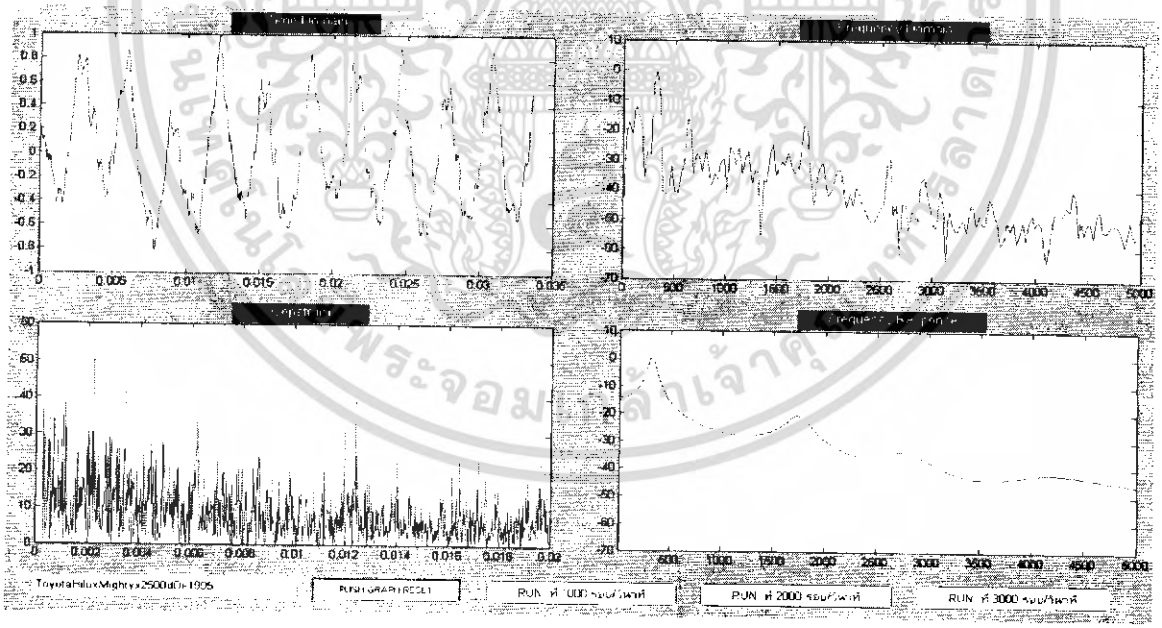
จากรูป 12. (ก), 12. (ข) และ 12. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1992 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 250 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 400 Hz กับ 1600 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาทีและ 1750 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

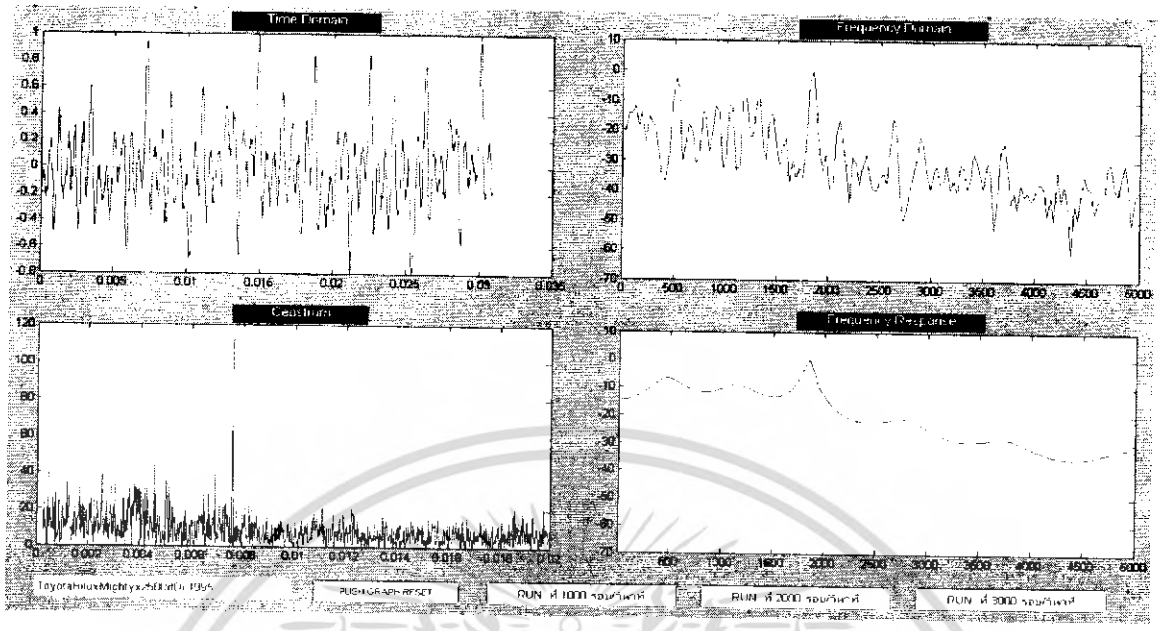


13. (ก)



13. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

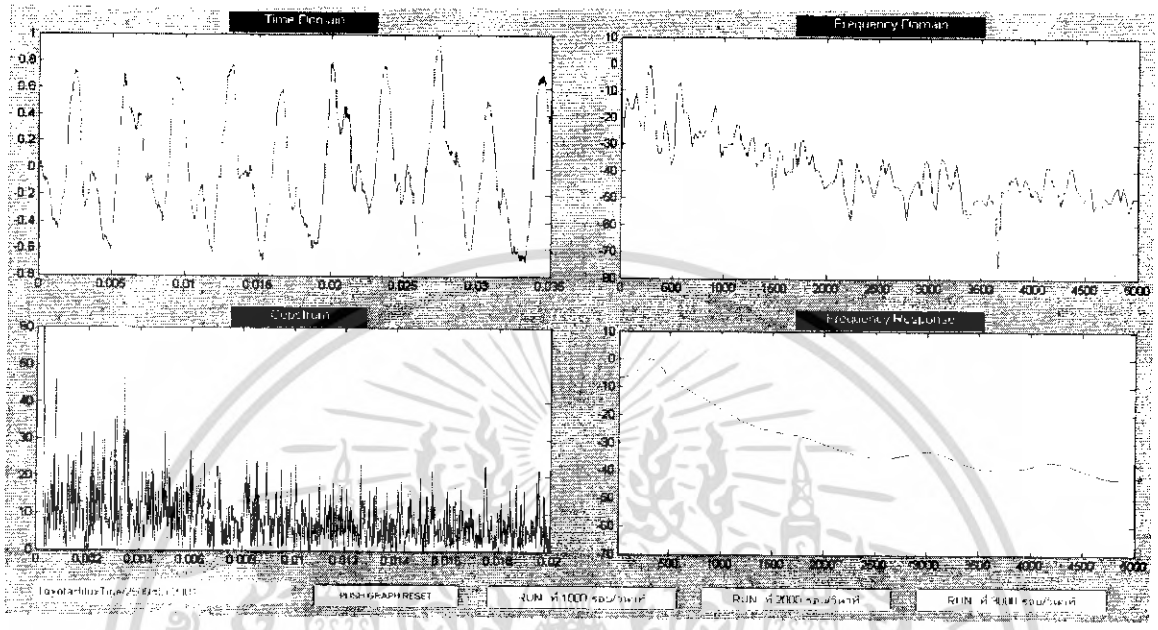


13. (ค)

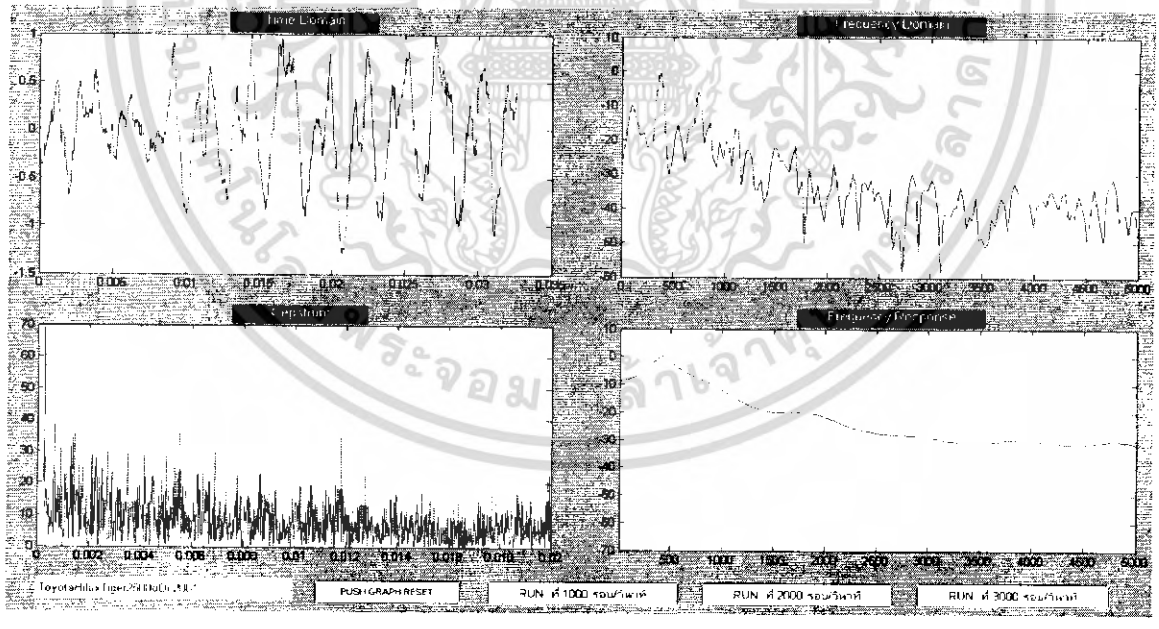
จากรูป 13. (ก), 13. (ข) และ 13. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ TOYOTA HILUX MIGHTY X ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 1995 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 400 Hz กับ 1750 Hz ที่รอบเครื่อง 1000-2000 รอบต่อวินาที และ 1800 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที และที่ความถี่ต่ำลงมาก็จะไล่เลี่ยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

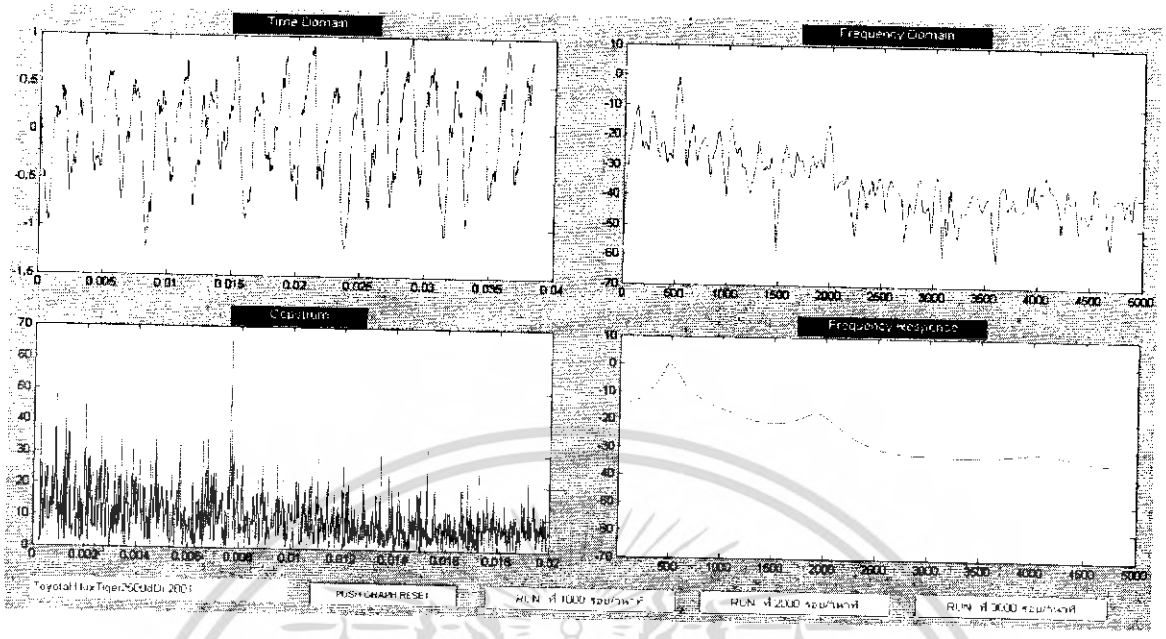


14. (ก)



14. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

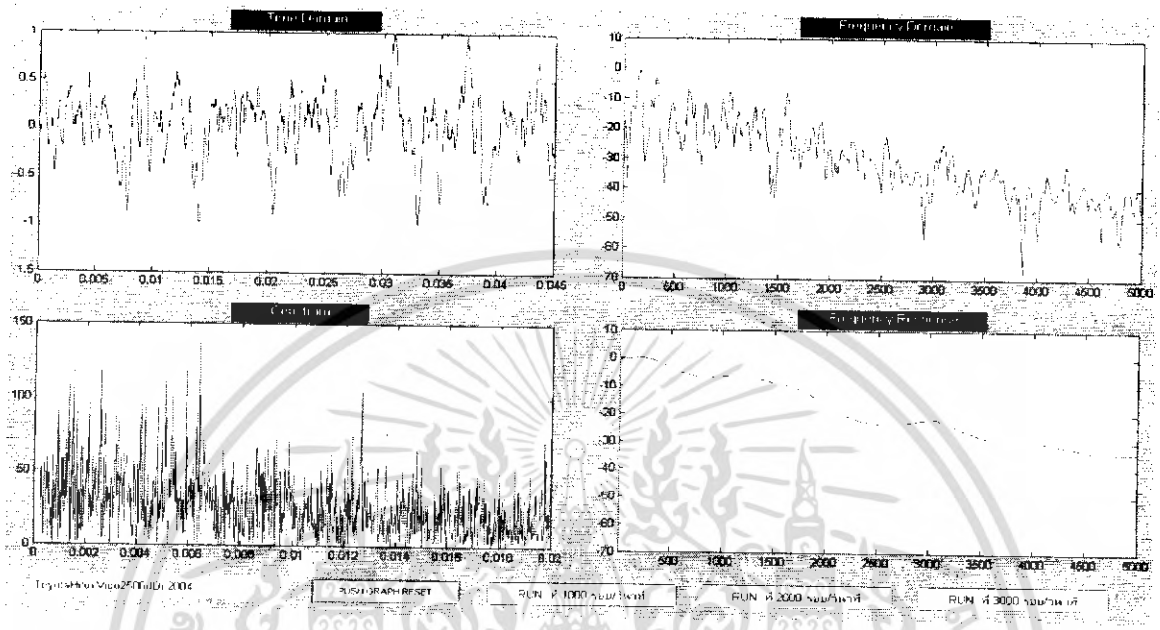


14. (ค)

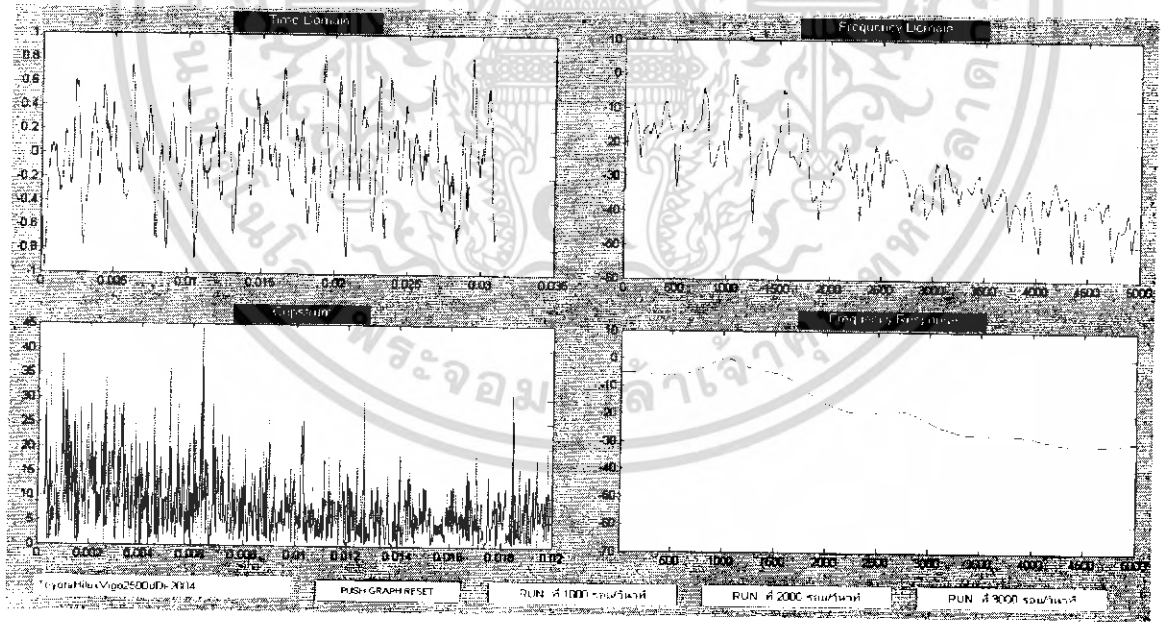
จากรูป 14. (ก), 14. (ข) และ 14. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ TOYOTA HILUX TIGER ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2001 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 300 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 450-500 Hz ที่รอบเครื่อง 2000-3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที

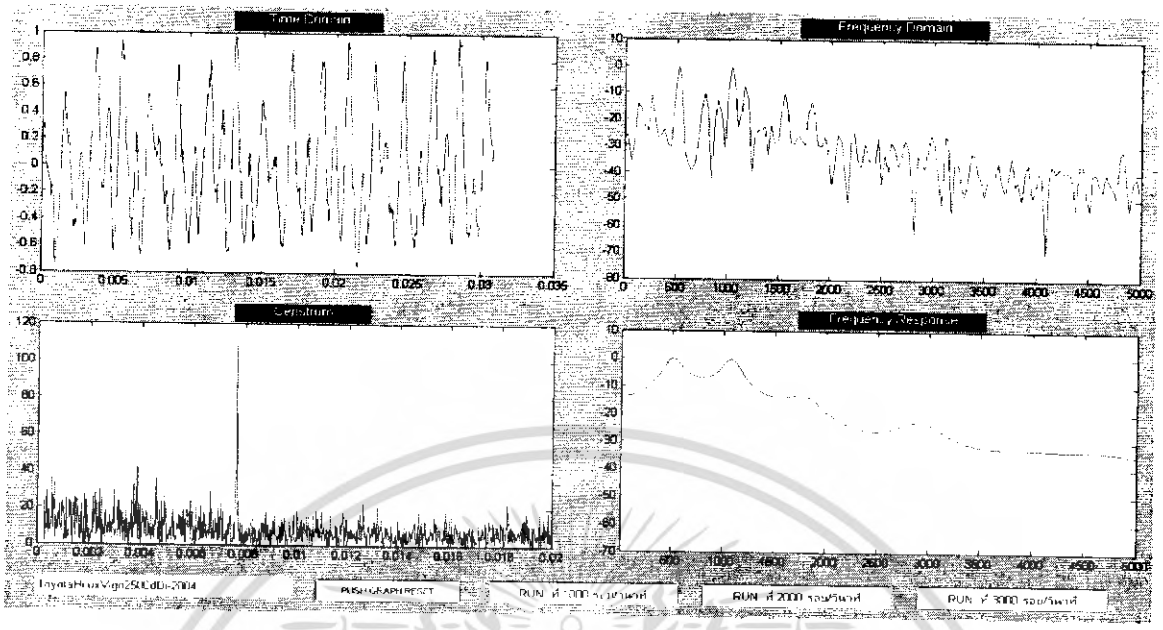


15. (ก)



15. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

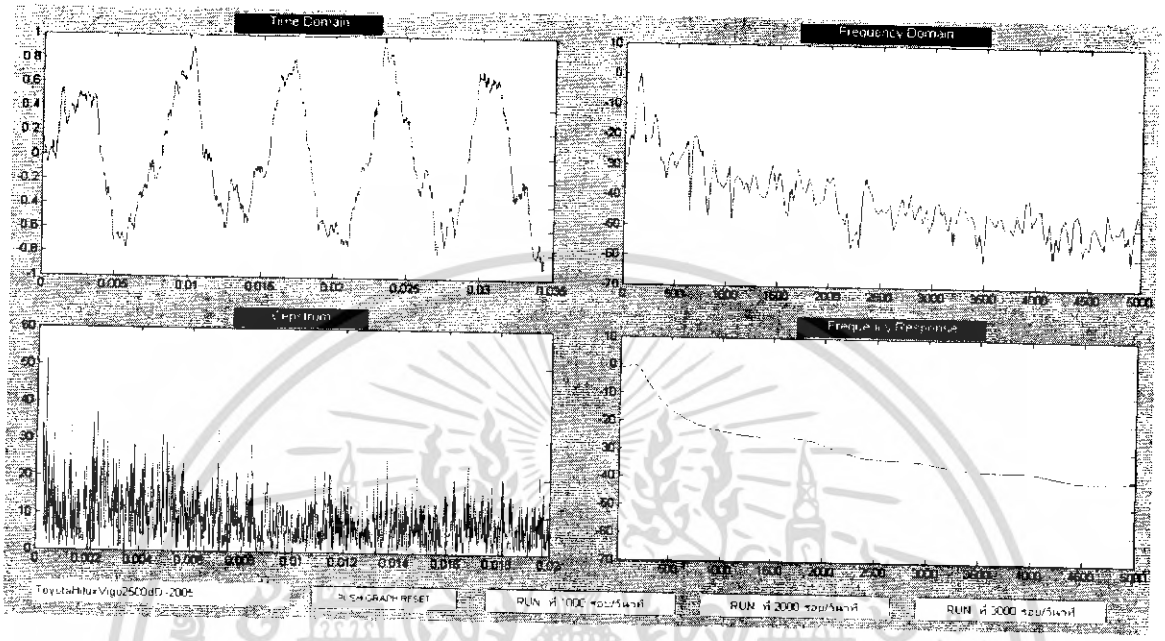


15. (ค)

จากรูป 15. (ก), 15. (ข) และ 15. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2004 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 50-500 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที,1000-1200 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที และ 500 Hz กับ 1000 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

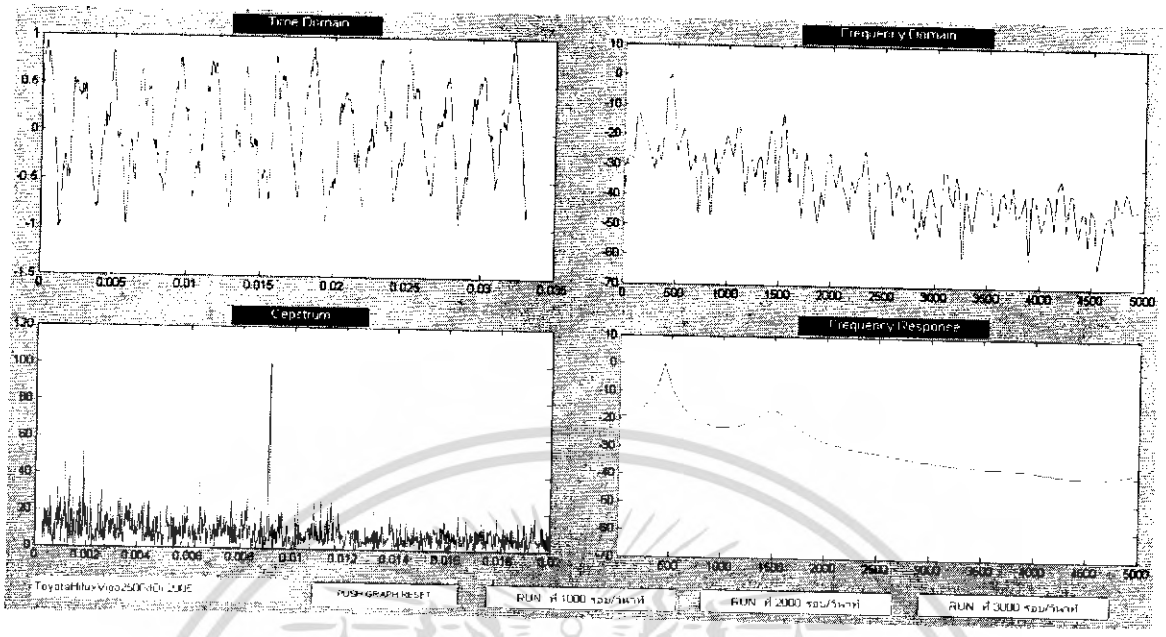
16. TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที



16. (ก)

16. (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



16. (ค)

จากรูป 16. (ก), 16. (ข) และ 16. (ค) ที่อยู่ใน Time-domain, Frequency-domain และ Cepstrum ของรถยนต์ TOYOTA HILUX VIGO ขนาดเครื่องยนต์ 2500 c.c. ปีที่ผลิต 2005 ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 2000 รอบต่อวินาที และ 3000 รอบต่อวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าใน Time-domain และ Frequency-domain จะเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณไปเมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยจะมีองค์ประกอบทางความถี่หรืออาจจะเป็น Noise ที่เพิ่มเข้ามาทำให้ vibration envelope ดูมีมากขึ้น รวมทั้งเอกลักษณ์ทาง Cepstrum ที่จะเปลี่ยนแปลงดังรูป นอกจากนั้นเมื่อเราดูผลตอบสนองทางความถี่จะสังเกตเห็นได้จากช่วงความถี่ที่ประมาณ 50-100 Hz ที่รอบเครื่อง 1000 รอบต่อวินาที, 1800 Hz ที่รอบเครื่อง 2000 รอบต่อวินาที และ 500 Hz ที่รอบเครื่อง 3000 รอบต่อวินาที ที่ดูจะเด่นชัดที่สุดของรถยนต์รุ่นนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] สัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, **"MATLAB การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า"**, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

[2] สมศักดิ์ ชุ่มช่วย, **"การประมวลสัญญาณเชิงเฉขเบื้องต้น",**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2545

[3] Stephen J.Chapman, **"MATLAB Programming for Engineers 2nd Edition"**, Brooks/Cole Pub co. 2002

[4] B.J.Smith, R.Smith, Stephanie Owen, R. J.Peters, "**Acoustics and Noise Control 2nd Edition** Addison-Wesley-Longman, 1996

[5] Claudio Becchetti, Lucio PrinaRicotti, **"Speech Recognition: Theory and C++ Implementation"** Hardcover, 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้