

# ระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเดี่ยวด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์



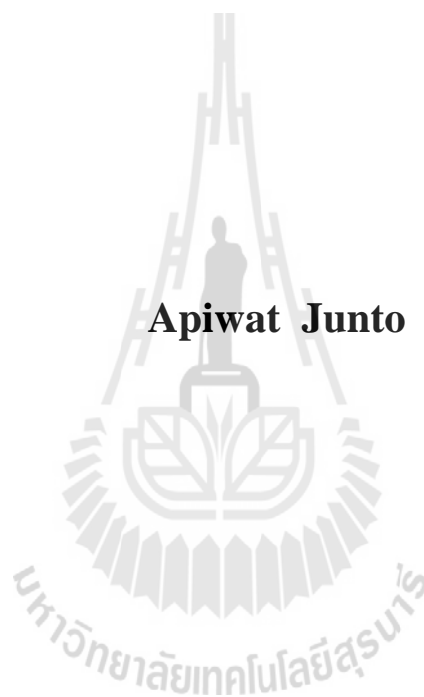
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2558

**SOUND-BASED ROAD TRAFFIC DETECTION USING  
ARTIFICIAL INTELLIGENT APPROACH**



**Apiwat Junto**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2015**

## ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

\_\_\_\_\_

(ผศ. ร.อ. ดร.ประ โยชน์ คำสวัสดิ์)

ประธานกรรมการ

\_\_\_\_\_

(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

\_\_\_\_\_

(อ. ดร.ธีทัต เดลวิชัย)

กรรมการ

\_\_\_\_\_

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

\_\_\_\_\_

(รศ. ร.อ.ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิวัฒน์ จันโท : ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์  
(SOUND-BASED ROAD TRAFFIC DETECTION USING ARTIFICIAL  
INTELLIGENT APPROACH) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์  
ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, 95 หน้า

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้วิธีการตรวจสอบข้อมูลของสัญญาณเสียงที่ได้จากพาหนะเคลื่อนที่บนถนน ซึ่งการทำงานของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการคือ (1) กระบวนการลดสัญญาณรบกวน และการปรับแต่งสัญญาณเสียง ด้วยวิธีการประมวลผลสัญญาณเบื้องต้น (2) กระบวนการสกัดค่าคุณลักษณะเด่นของสัญญาณเสียง โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้สัมประสิทธิ์เซปสตรัลบนความถี่เมล (MFCC) (3) กระบวนการเรียนรู้ ทดสอบความคล้ายคลึงของรูปแบบและกฎเกณฑ์การตัดสินใจ ใช้เครือข่ายประสาทเทียมแบบทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยเครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP จากผลการทดสอบถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จ.นครราชสีมา มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับสูงถึง 91.67 เปอร์เซ็นต์ ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับและมีความถูกต้องสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และถนนซอยวัดวังหิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับสูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

APIWAT JUNTO : SOUND-BASED ROAD TRAFFIC DETECTION  
USING ARTIFICIAL INTELLIGENT APPROACH . THESIS ADVISOR :  
ASSOC. PROF. ARTHIT SRIKAEW, Ph.D., 95 PP.

TRAFFIC DETECTION/ MFCC/ NEURAL NETWORK/ SFAM

This thesis presents a sound-based road traffic detection using artificial intelligent approach. By analyzing sound signal from moving vehicles on roads, the proposed system is composed of 3 parts. The first part is a process of preprocessing sound signal to reduce noise and enhance sound signal. The second part is a feature extraction from sound signal by applying a MFCC (mel frequency cepstral-coefficients). The third part is a learning process to analyze the similarity of sound patterns and classify for each vehicle detection using the well-known simplified fuzzy ARTMAP adaptive resonance theory. The system has been tested in various road environments and desirable results has been achieved with accuracy of 80% – 100%.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2015

Student's Signature\_\_\_\_\_

Advisor's Signature\_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำรวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยจนสำเร็จไปได้ลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และบัณฑิตศึกษาทุกท่านรวมถึงมิตรสหายที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ที่สนับสนุนทุนการศึกษาพร้อมทั้งสถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์กับผู้วิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย และขอบคุณภรรยาและลูก ๆ ที่ให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจ และประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

อภิวัฒน์ จันโท

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
<b>2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ไมโครโฟน (microphone).....	3
2.2.1 ชนิดของไมโครโฟน (microphone type).....	4
2.2.2 รูปแบบของการรับเสียง (polar pattern).....	5
2.3 การประมวลผลสัญญาณเสียง (audio signal processing).....	9
2.3.1 สัญญาณต่อเนื่อง (continuous-time signal).....	9
2.3.2 สัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discontinuous-time signal).....	9
2.3.3 การทำค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (zero mean).....	10
2.3.4 การลดทอนสัญญาณรบกวน (noise reduction).....	10
2.3.5 การวิเคราะห์แบบหน้าต่าง (windowing).....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 การวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลา-ความถี่ (time-frequency analysis).....	14
2.4 การสกัดลักษณะเด่น (feature extraction).....	16
2.4.1 สัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล (mel frequency cepstrum coefficient, MFCC).....	16
2.5 เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network).....	18
2.5.1 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม.....	19
2.5.2 หลักการของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับในคอมพิวเตอร์.....	19
2.5.3 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม.....	19
2.5.4 การเรียนรู้สำหรับเครือข่ายประสาทเทียม.....	20
2.5.5 ชั้นของเครือข่าย.....	22
2.5.6 ตัวอย่างงานที่นำเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.6.1 อุปกรณ์ตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งอยู่บนหรือใต้ผิวทาง (in-roadway sensors).....	23
2.6.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งอยู่เหนือผิวทาง (over-roadway sensors).....	23
2.7 สรุป.....	27
<b>3 วิธีดำเนินการศึกษา.....</b>	<b>28</b>
3.1 กล่าวนำ.....	28
3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	28
3.3 สถานที่ใช้ทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล.....	29
3.3.1 บันทึกข้อมูลที่ถนนมิตรภาพ.....	29
3.3.2 บันทึกข้อมูลที่ถนนสนามบินเล็ก.....	29
3.3.3 บันทึกข้อมูลที่ถนนซอยวัดวังหิน.....	30



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	30
3.4.1	ไมโคร โฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb.....	30
3.4.2	โปรแกรมบันทึกข้อมูล.....	32
3.5	การทำงานของระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียง .....	33
3.5.1	ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณเสียง.....	33
3.5.2	ขั้นตอนการสกัดค่าลักษณะเด่น.....	34
3.5.3	ขั้นตอนการรู้จำรูปแบบ.....	38
3.6	ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยเครือข่าย ART.....	45
3.7	กระบวนการทำงานของเครือข่าย SFAM.....	46
3.8	สรุป.....	51
<b>4</b>	<b>ผลการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธี</b>	
	<b>ทางปัญญาประดิษฐ์.....</b>	<b>52</b>
4.1	กล่าวนำ.....	52
4.2	ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนมิตรภาพ.....	52
4.3	ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก.....	54
4.4	ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนชอยวัดวังหิน.....	55
4.5	การประยุกต์ใช้เครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP.....	58
4.5.1	การเตรียมข้อมูลสำหรับการรู้จำและทำการฝึกสอน.....	58
4.5.2	การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดสอบ.....	60
4.6	ผลการรู้จำและการจำแนกประเภทด้วยเครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP	60
4.6.1	ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนมิตรภาพ.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.2 ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก.....	62
4.6.3 ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน.....	63
4.7 สรุป.....	63
4.7.1 การตรวจวัดสัญญาณเสียงมีมากกว่า 1 สัญญาณเสียงในเวลาเดียวกัน (สัญญาณแทรกสอด).....	64
4.7.2 คลื่นสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก (impact or impulse noise).....	65
<b>5</b> สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	<b>68</b>
5.1 สรุปงานวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	70
5.2.1 การใช้งานเครือข่ายประสาทเทียม.....	70
5.2.2 วิธีสกัดค่าคุณลักษณะสำคัญ.....	70
5.2.3 ค่าพารามิเตอร์.....	70
5.2.4 ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในกระบวนการต่างๆ.....	74
ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	95

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติไมโครโฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb.....	7
4.1	ประเภทของรถยนต์ที่เก็บกลุ่มตัวอย่างที่ถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้า ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา.....	53
4.2	ประเภทของรถยนต์ที่เก็บกลุ่มตัวอย่างที่ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี.....	55
4.3	ประเภทของรถยนต์ที่เก็บกลุ่มตัวอย่างที่ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี.....	57
4.4	การจัดเรียงข้อมูลก่อนนำไปสู่กระบวนการเรียนรู้และทดสอบ.....	58
4.5	การแบ่งกลุ่มหรือประเภทของรถยนต์.....	59
4.6	การกำหนดค่าสำหรับข้อมูลทดสอบ.....	61
4.7	ผลการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา.....	62
4.8	ผลการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี.....	62
4.9	ผลการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี.....	63

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การทำงานของ ไมโคร โฟนชนิดไดนามิก.....	4
2.2	การทำงานของ ไมโคร โฟนชนิดคอนเดนเซอร์.....	5
2.3	ลักษณะของรศมีการรับเสียง แบบออมนิไดเร็กชันนอล.....	6
2.4	ลักษณะของรศมีการรับเสียง แบบคาร์ดิอยด์.....	6
2.5	ไมโคร โฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb.....	7
2.6	ลักษณะของรศมีการรับเสียง แบบไฮเปอร์คาร์ดิอยด์.....	8
2.7	ลักษณะของรศมีการรับเสียง แบบไปไดเร็กชันนอล.....	8
2.8	ลักษณะของรศมีการรับเสียง แบบชีดกัน.....	9
2.9	ตัวอย่างสัญญาณต่อเนื่องและสัญญาณไม่ต่อเนื่อง.....	10
2.10	แสดงการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ท เมื่อเลือกใช้ ที่ต่างกัน.....	11
2.11	ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างสี่เหลี่ยม.....	12
2.12	ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างแฮมมิง.....	12
2.13	ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างแฮนนิ่ง.....	13
2.14	การประมวลผลสัญญาณเสียงเบื้องต้น.....	14
2.15	การแปลงฟูเรียร์เป็นการแสดงถึงองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ.....	15
2.16	ขั้นตอนการหาค่า MFCC.....	16
2.17	ชุดตัวกรองแบบฟิลเตอร์แบงก์.....	17
2.18	ตัวอย่างของเซลล์สมองมนุษย์.....	18
2.19	แบบจำลองของนิวรอนในคอมพิวเตอร์.....	19
2.20	อินพุตของนิวรอน มีค่าน้อยกว่า ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ไม่เกิดเอาต์พุต.....	20
2.21	ตัวอย่างของการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน.....	20
2.22	ตัวอย่างของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน.....	21
2.23	ส่วนประกอบของเครือข่ายประสาทเทียม.....	22
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานและวิธีศึกษาข้อมูล.....	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 (ก) ถนนมิตรภาพ (ภาพจากแผนที่ดาวเทียม) (ข) ถนนมิตรภาพ (ภาพจริง).....	29
3.3 (ก) ถนนสนามบินเล็ก (ภาพจากแผนที่ ดาวเทียม) (ข) ถนนสนามบินเล็ก (ภาพจริง).....	30
3.4 (ก) ถนนซอยวัดวังหิน (ภาพจากแผนที่ดาวเทียม) (ข) ถนนซอยวัดวังหิน (ภาพจริง).....	30
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์.....	31
3.6 การติดตั้งอุปกรณ์และระยะห่าง.....	31
3.7 การตั้งค่าเริ่มต้นบันทึกเสียงในโปรแกรม Adobe Audition CS6.....	32
3.8 ตัวอย่างสัญญาณเสียงรถยนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	32
3.9 ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียง ด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์.....	33
3.10 การวางกรอบสัญญาณเสียงเพื่อหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วย MFCC.....	34
3.11 การกำหนดส่วนย่อยและการเหลื่อมกันของส่วนย่อย.....	35
3.12 สัมประสิทธิ์ MFCC ที่เปลี่ยนเป็นเวกเตอร์หลัก.....	36
3.13 การประกอบค่าพลังงานเสียงในเวกเตอร์.....	37
3.14 การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเซปสตรัม MFCC และพลังงานเสียงทางเวลา.....	38
3.15 ขั้นตอนนำข้อมูลเข้าเครือข่ายประสาทเทียม.....	38
3.16 แผนผังการทำงานของเครือข่าย ART.....	40
3.17 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย fuzzy ARTMAP (Carpenter et al., 1992).....	43
3.18 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP (Kasuba., 1993).....	44
3.19 simplified fuzzy ARTMAP (Kasuba., 1993).....	45
3.20 ลักษณะการทำงานของระบบ และการประยุกต์ใช้เครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP.....	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ จากถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา จำนวน 48 คัน.....	52
4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ ที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี จำนวน 12 คัน.....	54
4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี จำนวน 40 คัน.....	56
4.4 ปริมาณข้อมูลของสัญญาณเสียงทั้ง 3 สถานีที่ เก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 100 %.....	59
4.5 ขั้นตอนการใช้อัลกอริทึมเครือข่าย SFAM เพื่อทำการรู้จำ และทำการฝึกสอนของกลุ่มตัวอย่าง.....	60
4.6 ขั้นตอนการใช้อัลกอริทึมเครือข่าย SFAM สำหรับการทดสอบ ของกลุ่มทดสอบ.....	60
4.7 ผลการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์....	64
4.8 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนมิตรภาพ ประเภทสัญญาณแทรกสอด.....	65
4.9 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณแทรกสอด.....	65
4.10 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนมิตรภาพ ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก.....	66
4.11 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก.....	66
4.12 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก.....	67
4.13 ข้อผิดพลาดที่ได้จากระบบตรวจจับการจราจรบนถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก.....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการตรวจจับและจัดการจราจร ได้มีการศึกษาและวิจัยเป็นเวลายาวนาน เพื่อต้องการลดปัญหาการจราจร ซึ่งปัญหาก็คือ การจราจรที่ติดขัดเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เร่งรีบที่มีปริมาณรถยนต์จะมากกว่าช่วงเวลาปกติ ทำให้เกิดปัญหาขึ้นมากมาย เช่น ไม่มีความคล่องตัว สิ้นเปลืองพลังงาน เกิดปัญหามลภาวะและอุบัติเหตุเป็นต้น โดยทั่วไป การตรวจจับบนท้องถนนมีอยู่ 2 แบบ คือ การตรวจจับบนท้องถนนโดยตรงและตรวจจับริมขอบถนน โดยในการตรวจจับนั้น ได้มีการนำเซนเซอร์ไปติดตั้งด้านข้าง ด้านบน ด้านล่าง หรืออยู่ใต้พื้นผิวของถนนเพื่อให้สามารถตรวจจับได้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนน ได้แก่ ความเร็ว จำนวน ประเภทและน้ำหนัก

เทคโนโลยีการตรวจจับและจัดการจราจร ส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การประมวลผลวิดีโอ (video image processors) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (microwave radar sensors ,active infrared sensors, passive infrared sensors) และคลื่นความดันเสียงแกว่งกวัดซึ่งมีความถี่สูงกว่าขีดจำกัดบนของพิสัยการได้ยินของมนุษย์ (ultrasonic sensors, passive acoustic sensors) เทคโนโลยีต่างๆ ที่ได้กล่าวมานั้นมีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกัน ไป ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมแต่ละพื้นที่และความต้องการ

เครื่องมือตรวจวัดที่ใช้พลังงานเสียง เป็นเครื่องมือตรวจวัดการจราจร ที่ใช้สัญญาณเสียงทำงาน โดยไม่ต้องมีการส่งสัญญาณเสียงออกไป แต่ต้องอาศัยการตรวจจับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่าน เช่น เสียงเครื่องยนต์ เสียงล้อหรือยางรถยนต์ เมื่อมีเสียงเกิดขึ้นในพื้นที่การตรวจจับ ซึ่งสามารถจำกัดเป็นช่องทางจราจรได้ ระดับเสียงที่ตรวจจับ ถูกแปรสัญญาณโดยเครื่องประมวลผลได้ข้อมูลดังนี้ ปริมาณจราจร ความเร็วรถยนต์ การมีรถยนต์บริเวณนั้น (presence) การผ่านของรถยนต์บริเวณนั้น (passage) ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบเครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) ซึ่งเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ประเภทหนึ่งที่มีความสามารถในการเรียนรู้ จึงได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆเพื่อประโยชน์ในการทำงานหลากหลายด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้ถือว่าเป็นหนึ่งทางเลือกในการตรวจสอบข้อมูลจากสัญญาณเสียง โดยได้นำระบบเครือข่ายประสาทเทียม มาช่วยในการตรวจจับพาดนะที่วิ่งอยู่บนถนนจากสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานของการตรวจจับและการจัดการจราจรบนถนน อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณเสียงเพื่อมาตรวจจับไม่ได้นำมาทดแทนเทคโนโลยีอื่นๆ ที่มีใช้ในปัจจุบัน แต่ได้นำเสนออีกหนึ่งวิธีในการตรวจสอบจราจร ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือตรวจจับการจราจรที่ใช้สัญญาณเสียง เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรบนถนนและสามารถนำไปใช้ช่วยในระบบขนส่งอัจฉริยะหรือเป็นการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาสร้างระบบเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับ ประยุกต์ใช้ในการตรวจจับพาดนะจากสัญญาณเสียงบนถนน
- 2) เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาระบบที่ใช้สัญญาณเสียง เพื่อตรวจสอบการใช้งานบนเส้นทางการจราจร เช่น ปริมาณ ประเภท และความเร็วของพาดนะที่ใช้บนท้องถนน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม มาช่วยเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของรูปแบบและกฎเกณฑ์การตัดสินใจของพาดนะจากสัญญาณเสียงบนถนน

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้ระบบที่สามารถตรวจสอบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น และเก็บเป็นข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ได้
- 2) ได้วิธีในการตรวจจับการจราจร ที่ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม มาช่วยเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของรูปแบบและกฎเกณฑ์การตัดสินใจของพาดนะ จากสัญญาณเสียงบนถนน ซึ่งผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ สามารถนำไปใช้ในการทำระบบขนส่งอัจฉริยะและสามารถทำระบบเพื่อตรวจสอบเส้นทางได้ เป็นต้น



## บทที่ 2

### แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 2 นี้ อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูล การเตรียมข้อมูล ผู้กระบวนกรประมวลผลสัญญาณเสียง และเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้ ใช้ในระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงและได้นำเสนอผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบ ตรวจการจราจรบนถนนและประมวลผลสัญญาณเสียง ในการดำเนินงานการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ออกเป็นกลุ่มๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.2 ไมโครโฟน (microphone)

ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์ช่วยในการรับเสียงและเปลี่ยนพลังงานเสียงมาเป็นพลังงาน ไฟฟ้า ด้วยแผ่นรับเสียงที่เรียกว่า ไดอะแฟรม (diaphragm) ซึ่งจะรับและถ่ายทอดแรงสั่นสะเทือน ที่มาจากเสียงเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าอ่อนๆ แล้วจึงจะส่งต่อไปยังไมโครโฟน ปริ๊อมป์ (mic pre-amp) เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่พอที่จะส่งต่อไปยังเครื่องขยายเสียง ซึ่งเป็น หลักการเบื้องต้นของการทำงานของไมโครโฟน

ไมโครโฟนมีมากมายหลายชนิดด้วยกัน ในปัจจุบัน ทั้งแบบไม่ใช้ไฟฟ้า รวมถึง ขอบข่ายความกว้างในการรับสัญญาณเสียงของไมโครโฟน

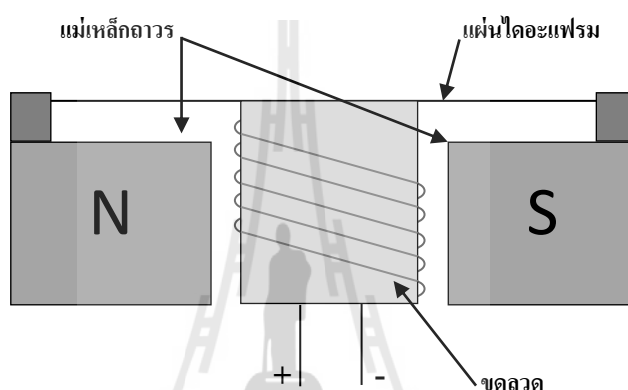
อิมพีแดนซ์ (impedance) มีส่วนในการแยกลักษณะของไมโครโฟน ซึ่งจะใช้ตัว  $Z$  เป็นสัญลักษณ์ ไมโครโฟนจะมีอิมพีแดนซ์อยู่สองลักษณะได้แก่

1) ไมโครโฟนลักษณะที่มีอิมพีแดนซ์สูงหรือ high impedance (unbalance) หมายถึงไมโครโฟนที่มีเอาต์พุต (output) ที่มีค่าความต้านทานสูงเกินกว่า 10 กิโลโอห์ม (ohms) และมีความไวต่อการรับเสียงแต่ในการผลิตนั้นจะมีต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างสูง ซึ่งในการใช้ งานไม่ควรใช้สายยาวเกิน 5-6 เมตร เพราะจะทำให้มีผลต่อคุณภาพของเสียง

2) ไมโครโฟนลักษณะที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำหรือ low impedance (balance) หมายถึง ไมโครโฟนที่มีเอาต์พุตที่มีค่าความต้านทานต่ำกว่า 10 กิโลโอห์ม (อยู่ในช่วงประมาณ 200-300 โอห์ม) สามารถใช้สายยาวมากกว่า 5 เมตร โดยไม่มีปัญหาของการลดทอนของสัญญาณ ด้วยเหตุนี้ ระบบเครื่องเสียงส่วนใหญ่ จึงออกแบบมาใช้กับไมโครโฟนลักษณะ low impedance

## 2.2.1 ชนิดของไมโครโฟน (microphone type)

2.2.1.1 ไมโครโฟนชนิดไดนามิก จะประกอบด้วยขดลวดพันอยู่บนฟอรัมพลาสติกทรงกระบอกที่ยึดติดกับแผ่นไดอะแฟรมบาง ๆ แล้วสวมลงในช่องว่างระหว่างแม่เหล็กถาวร เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบแผ่นไดอะแฟรม แผ่นไดอะแฟรมที่เป็นพลาสติกหรือแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ จะมีการอัดและคลายตัวตามคลื่นเสียง ทำให้ขดลวดเคลื่อนที่เข้าออกตามไปด้วย ซึ่งขดลวดจะตัดกับสนามแม่เหล็กถาวร ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าออกมาที่ขดลวด ตามคลื่นเสียงที่เข้ามากระทบ



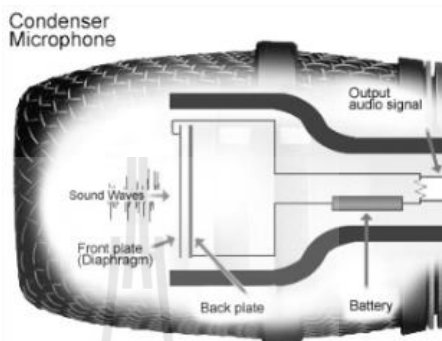
รูปที่ 2.1 การทำงานของ ไมโครโฟนชนิดไดนามิก

ไมโครโฟนแบบไดนามิกถูกคิดค้นมานานและยังใช้ได้ดีจนถึงในปัจจุบัน เนื่องจากความทนทานในการใช้งาน ทนต่อการตกหรือกระแทกได้โดยไม่เสียหายและยังทนต่อการเกิดอาการกระชาก (transient) ของเสียงได้ดี เช่น เสียงร้องที่ดังขึ้นมาในช่วงที่นักร้องแผดเสียงสูงสุดหรือในขณะที่จับเสียงเครื่องดนตรีที่ให้ความดังของเสียงอย่างมาก เช่น เสียงกลองหรือเสียงจากตู้แอมป์กีตาร์ การที่ไมโครโฟนแบบไดนามิกสามารถทนต่อแรงกระชาก (transient) ของสัญญาณได้ดีนั้นเนื่องจากว่าไดอะแฟรม มีการเคลื่อนตัวหรือขยับไปมาที่ช้า

การเคลื่อนที่ช้าให้ทั้งผลคืออย่างทีกล่าวมา ส่วนผลเสีย นั่น ทำให้ความไวหรืออรรถิในการรับเสียงไม่ดีพอจึงจำเป็นต้องพูด หรือจ่อไมโครโฟนใกล้ ๆ แหล่งกำเนิดเสียงจึงจะให้เสียงที่เต็มและยังตอบสนองต่อความถี่ได้ไม่เต็มย่านความถี่ โดยเฉพาะย่านความถี่สูง

2.2.1.2 ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ มีหลักการการทำงานตรงข้ามกับไมโครโฟนชนิดไดนามิก โดยไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ไม่ใช้แม่เหล็กถาวรแต่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แทน หลักการทำงานยังใช้ไดอะแฟรม เป็นตัวรับเสียงเหมือนเดิมซึ่งมักทำจากแผ่นพลาสติกเคลือบทองยึดติดอยู่เหนือ back plate (ทำจากเซรามิกเคลือบทอง) ซึ่งทำให้มีช่องว่างเล็ก ๆ เพื่อการเคลื่อนตัว

ไปมา ซึ่งการเคลื่อนตัวที่ว่่านี่จะทำให้แผ่นไดอะแฟรม เคลื่อนที่เข้าหา back plate แล้วแตะกันทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปมาได้ด้วย ไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดเรียกว่าแฟนทอม (phantom) โดยผ่านตัวเก็บประจุ (capacitor) ซึ่งจะมีขั้วบวกและลบอยู่ โดยขั้วบวกและลบจะถูกต่อไว้ที่ไดอะแฟรมคนละแผ่น



รูปที่ 2.2 การทำงานของ ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ ([http://human.tru.ac.th/elearning/music\\_record/rec\\_07/microphone\\_03.html](http://human.tru.ac.th/elearning/music_record/rec_07/microphone_03.html))

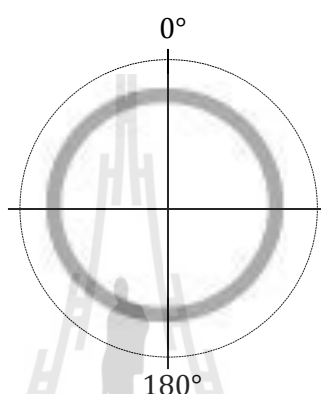
ทุกครั้งที่ไดอะแฟรมเคลื่อนที่เข้าหากัน ประจุไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำโดยจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของเสียงที่มากระทบ ไดอะแฟรม หากแรงมากไดอะแฟรมจะแตะกันนานขึ้นกระแสไฟฟ้าจะไหลได้มากขึ้น ตรงกันข้ามหากเสียงเบาจะแตะกันเร็วกระแสไฟฟ้าได้น้อยลง ผลของการไหลของกระแสจะถูกส่งผ่านไปยังปรีแอมป์เพื่อขยายให้แรงพอที่ป้อนเข้าสู่มีกเซอร์ เนื่องมาจากคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยและต้องใช้ไฟเลี้ยงซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1.5 ไปจนถึง 48 โวลต์ (volts) ดังนั้นความไวต่อการรับเสียงซึ่งสูงมากและสามารถตอบสนองต่อเสียงได้อย่างราบรื่นตลอดย่านความถี่ จึงเหมาะสำหรับการบันทึกสัญญาณต่าง ๆ เช่น เสียงร้อง เครื่องดนตรีแบบอะคูสติคหรือจับสัญญาณเสียงที่ไม่ดังมากแต่ไม่เหมาะกับการบันทึกสัญญาณที่แรงมากเช่น เสียงจากตู้แอมป์กีตาร์ ซึ่งอาจทำความเสียหายต่อไดอะแฟรม ดังนั้น ไมโครโฟนชนิดไดนามิกและไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน การใช้งานจึงขึ้นอยู่กับลักษณะของเสียงและโทนเสียงที่ต้องการบันทึก

### 2.2.2 รูปแบบของการรับเสียง (polar pattern)

การรับสัญญาณของไมโครโฟนนั้นมีหลายชนิดด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของไดอะแฟรมซึ่งจะเป็นตัวกำหนด รัศมีในการรับเสียงใน ไมโครโฟนบางชนิดสามารถเลือกลักษณะรัศมีของการรับเสียงได้ รัศมีในการรับเสียงแบบต่าง ๆ ของไมโครโฟน มีผลต่อการวาง

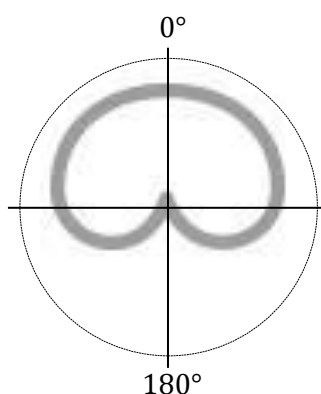
ไมโครโฟนและการรับเสียงเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเลือกใช้ไมโครโฟนเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่การบันทึก ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของเสียง

2.2.2.1 ออมนิไดเร็กชันนอล (omnidirectional) รัศมีในการรับองศาไม่ว่าจะอยู่จุดไหนก็ตามในบริเวณหรือห้องนั้น ๆ สามารถรับได้เท่าเทียมกัน และเนื่องจากการที่รัศมีการรับครอบคลุมรอบทิศ จึงเหมาะสมสำหรับการวางไมโครโฟนในลักษณะเก็บเสียงบรรยากาศของห้อง (ambience)



รูปที่ 2.3 ลักษณะของรัศมีการรับเสียง แบบอมนิไดเร็กชันนอล

2.2.2.2 คาร์ดิออยด์ (cardioid) รัศมีในการรับเป็นแบบรับเสียงที่มาจากด้านหน้าเป็นส่วนใหญ่ ส่วนเสียงที่มาจากด้านหลังจะรับได้ไม่ดี ดังนั้นรัศมีการรับเสียงจะเป็นลักษณะแบบรูปหัวใจ ซึ่งคาร์ดิออยด์จัดเป็นรัศมีการรับ ที่นิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 2.4 ลักษณะของรัศมีการรับเสียง แบบคาร์ดิออยด์

2.2.2.3 ไฮเปอร์คาร์ดิอยด์ (hyper cardioid) รัศมีการรับจะคล้าย ๆ กับคาร์ดิอยด์ต่างตรงที่รัศมีการรับจะแคบกว่า การรับแบบนี้เหมาะสำหรับงานแสดงสด โดยเฉพาะเครื่องดนตรีที่เป็นอะคูสติคมาก ๆ เช่น วงออเครสตาเนื่องจากทนต่อการเกิดอาการฟีดแบ็ค (feedback) ได้ดี

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครโฟนชนิดไฮเปอร์คาร์ดิอยด์เพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณเสียงจากบนท้องถนน ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

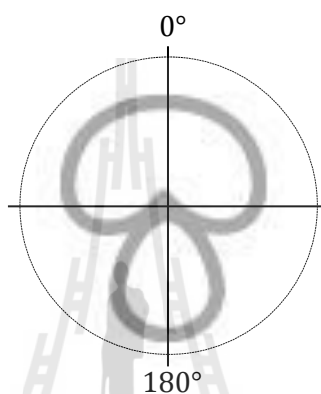
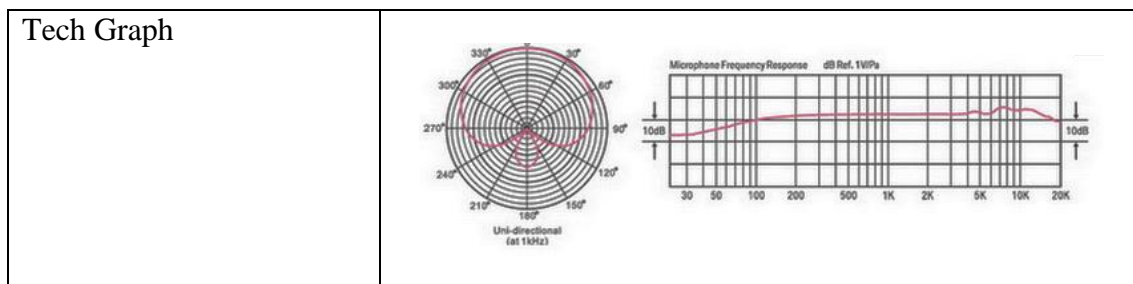


รูปที่ 2.5 ไมโครโฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb

ตารางที่ 2.1 ตารางคุณสมบัติไมโครโฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb

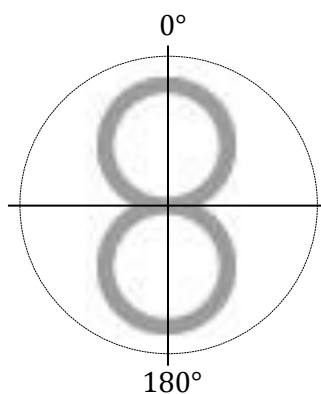
Features	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Professional sound card</li> <li>• Convenient plug and play without installation or drivers</li> <li>• Condenser capsule features wide frequency response</li> <li>• Headphone socket for real time monitoring</li> <li>• Supports accompaniment recording</li> <li>• Windows volume control includes bass, treble, AGC and MB</li> <li>• Durable and rugged metal construction</li> </ul>
Application	Recording, internet karaoke
Specification	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission Speed: USB 2.0 (480 Mbps)</li> <li>• Power Mode: USB</li> <li>• D/A &amp; A/D Converter: 24 bit when playback; 16 bit when recording</li> <li>• Bandwidth: 20 kHz (at fs=48 kHz)</li> <li>• Total Harmonic Distortion: &lt; -90dB</li> <li>• S/N Ratio: &gt; 90dB</li> <li>• Headphone Output Power: &gt;95dB</li> <li>• Frequency Response: 20Hz-20 kHz</li> <li>• Data Transmission Interface: Mini USB Socket</li> <li>• Headphone Output Interface: Ø3.5mm Stereo Socket</li> <li>• System Compatibility: Windows 2000 / Windows XP</li> </ul>

ตารางที่ 2.1 ตารางคุณสมบัติไมโครโฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb (ต่อ)



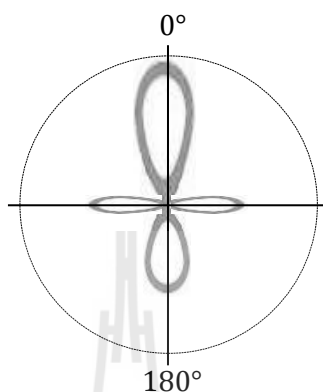
รูปที่ 2.6 ลักษณะของรัศมีการรับเสียง แบบไฮเปอร์คาร์ดิอยด์

2.2.2.4 ไบไดเรกชันนอล (bidirectional) รัศมีการรับจะรับจากทางด้านหน้าหรือด้านหลัง โดยการวางไดอะเฟรมนั้นจะวางด้านหน้าหรือด้านหลังข้างของไมโครโฟน แนวทางการใช้งานสามารถใช้กับการร้องของนักร้องสองคน โดยแต่ละคนในแต่ละด้านของไมโครโฟน หรือการอัดเสียงเครื่องดนตรี โดยด้านหนึ่งรับเสียงจากเครื่องดนตรีและอีกด้านหนึ่งจับบรรยากาศของห้องเป็นต้น



รูปที่ 2.7 ลักษณะของรัศมีการรับเสียง แบบไบไดเรกชันนอล

2.2.2.5 ชี้อัดกัน (shot gun) รัศมีในการรับเป็นแบบเฉพาะจุด ในทิศทางที่ไม่โครโฟนชี้ไปหาต้นเสียง จึงเหมาะสำหรับงานของนักข่าว งานกับการบันทึกเสียงสัตว์ในป่า งานแสดงละครหรือบทพูดบนเวที เป็นต้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะของรัศมีการรับเสียง แบบชี้อัดกัน

## 2.3 การประมวลผลสัญญาณเสียง (audio signal processing)

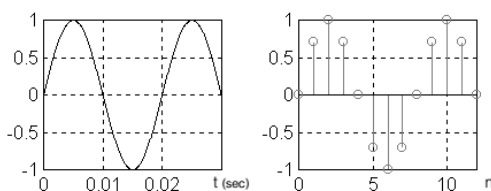
การประมวลผลสัญญาณเป็นกระบวนการปรับแต่งสัญญาณก่อนนำไปหาลักษณะเด่น เนื่องจากสัญญาณเสียงอินพุต (input) ที่บันทึกได้จากกลุ่มตัวอย่าง มีความแตกต่างในด้านระดับความดังของเสียง ความถี่ของเสียง และช่วงเวลากำเนิดเสียง จึงต้องทำการปรับแต่งสัญญาณเสียง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.3.1 สัญญาณต่อเนื่อง (continuous-time signal)

เป็นสัญญาณที่มีค่าต่อเนื่องในทางเวลา สัญญาณจะแกว่งขึ้นแกว่งลงอย่างต่อเนื่องและราบเรียบตลอดเวลา ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ คลื่นวิทยุ สัญญาณไฟฟ้า 50 Hz และอื่นๆ ถ้าแทนสัญญาณด้วยสัญลักษณ์  $x$  และแทนเวลาด้วยสัญลักษณ์  $t$  เราจะกล่าวว่า  $x$  เป็นฟังก์ชันของ  $t$  หรือ  $x$  มีค่าที่เวลา  $t$  ใดๆ เขียนแทนสัญญาณนี้ได้ว่า  $x(t)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง สัญญาณต่อเนื่องนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สัญญาณแอนะล็อก (analog signal)

### 2.3.2 สัญญาณไม่ต่อเนื่อง (discrete-time signal)

เป็นสัญญาณที่มีค่าเพียงบางจุดของเวลา โดยทั่วไปเกิดจากการสุ่มสัญญาณต่อเนื่องด้วยคาบเวลาของการสุ่มคงที่จะใช้สัญลักษณ์  $n$  แทนเวลาแบบไม่ต่อเนื่อง โดย  $n$  เป็นตัวแปรที่มีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น คือ  $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$  และสัญญาณไม่ต่อเนื่องจะเป็นฟังก์ชันของ  $n$  ดังนั้น จะเขียนแทนสัญญาณนี้ได้ว่า  $x(n)$



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างสัญญาณต่อเนื่องและสัญญาณไม่ต่อเนื่อง

### 2.3.3 การหาค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (zero mean)

เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ได้ในแต่ละครั้งจากการบันทึก จะมีค่าตรงแกนกลางที่สูงหรือต่ำกว่าศูนย์ ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปได้ยาก เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณ จึงต้องทำการปรับสัญญาณที่นอกแกนศูนย์กลับเข้าสู่แกนศูนย์โดยใช้สมการที่ (2-1)

$$signal = signal - mean(signal) \quad (2-1)$$

### 2.3.4 การลดทอนสัญญาณรบกวน (noise reduction)

การลดทอนสัญญาณรบกวนคือกระบวนการการปรับแต่งความถี่ของสัญญาณให้มีลักษณะตามที่ต้องการ โดยต้องการให้มีเฉพาะ ความถี่ต่ำ ความถี่สูง ช่วงความถี่บางช่วง หรือต้องการให้บางช่วงความถี่ไม่สามารถผ่านไปแสดงที่เอาต์พุตได้ ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

2.3.4.1 การเน้นล่วงหน้า (pre-emphasis) เป็นขั้นตอนทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าคงที่ ตลอดทุกช่วงความถี่ โดยนำสัญญาณผ่านวงจรกรองดิจิทัลอันดับหนึ่ง (first order digital filter) นี้ใช้สำหรับลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ ทำให้อัตราส่วนสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio: SNR) สูงขึ้น โดยใช้สมการ ที่ (2-3) ซึ่งโดยทั่วไปค่า  $a$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 1

$$H(z) = 1 - aZ^{-1} \quad (2-2)$$

$$\tilde{s}(n) = s(n) - as(n - 1) \quad (2-3)$$

เมื่อ  $a$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรอง

$\tilde{s}(n)$  เป็นค่าของสัญญาณเสียงขาออก ผ่านกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้า

$s(n)$  เป็นค่าของสัญญาณเสียงขาเข้าที่  $n$

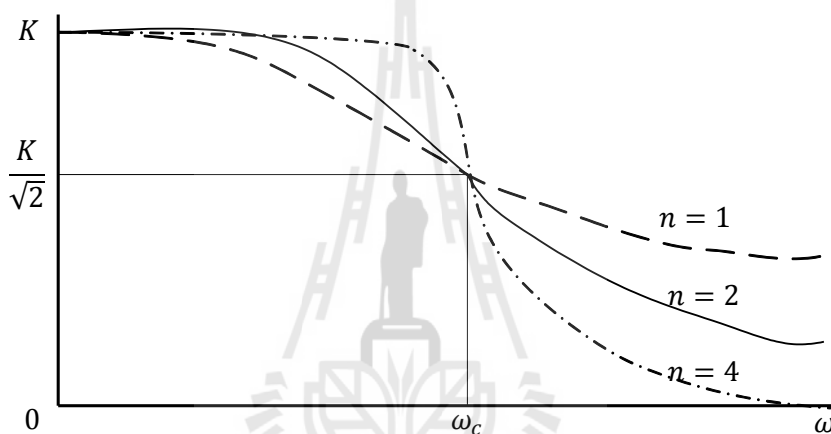
และ  $s(n - 1)$  เป็นค่าของสัญญาณเสียงขาเข้าที่  $n - 1$



2.3.4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ธ (low pass butterworth - filter) เป็นวงจรกรองความถี่ที่มีคุณลักษณะเฉพาะ ใกล้เคียงกับวงจรกรองความถี่ต่ำทางอุดมคติ โดยยอมให้ช่วงความถี่ที่ผ่านได้ มีขนาดของการเปลี่ยนแปลงเท่าที่ขมตลอดย่านความถี่ ที่ยอมให้ผ่านได้ โดยที่การตอบสนองเชิงขนาดของสัญญาณมีค่าตามสมการที่ (2-4)

$$H(j\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_c)^{2n}}} \quad (2-4)$$

เมื่อ  $n$  เป็นค่าอันดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่



รูปที่ 2.10 แสดงการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ธ เมื่อเลือกใช้  $n$  ที่ต่างกัน

### 2.3.5 การวิเคราะห์แบบหน้าต่าง (windowing)

เนื่องจากสัญญาณเสียงมีลักษณะไม่คงที่และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ไปตามเวลา จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์สัญญาณเสียงทีละช่วงสั้น ๆ เฉพาะที่อยู่ภายในกรอบสัญญาณที่กำหนดขึ้น ขนาดของกรอบสัญญาณที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเพื่อการรู้จำมีค่าประมาณ 10-30 มิลลิวินาที และควรวางกรอบสัญญาณถัดไปให้มีความเหลื่อมกันประมาณ 1/2 ถึง 1/3 ของขนาดกรอบสัญญาณ เพื่อให้ข้อมูลที่วิเคราะห์มีความต่อเนื่องกัน ฟังก์ชันหน้าต่างมี 3 ชนิดคือ

2.3.5.1 ฟังก์ชันหน้าต่างสี่เหลี่ยม (rectangular window) ตามสมการที่ (2-5)

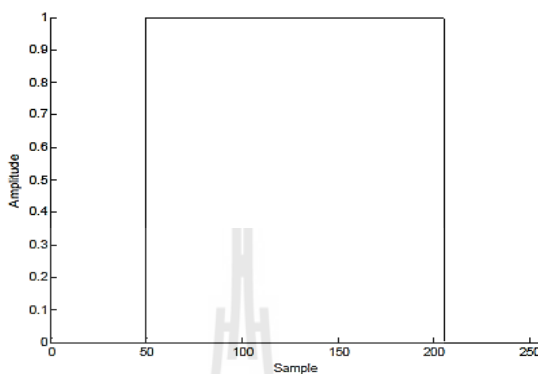
$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $w(n)$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันกรอบตำแหน่งที่  $n$

$N$  คือความกว้างหน้าต่าง

$n$  คือข้อมูลในหน้าต่าง มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง  $N - 1$

ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.11



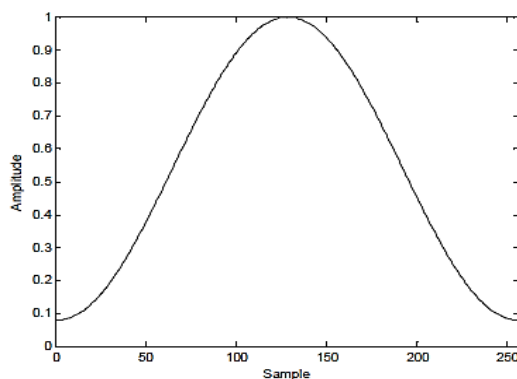
รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างสี่เหลี่ยม

2.3.5.2 ฟังก์ชันหน้าต่างแฮมมิง (hamming window) ตามสมการที่ (2-6)

$$w(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $w(n)$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันกรอบตำแหน่งที่  $n$   
 $N$  คือความกว้างหน้าต่าง  
 $n$  คือข้อมูลในหน้าต่าง มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง  $N - 1$

ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.12



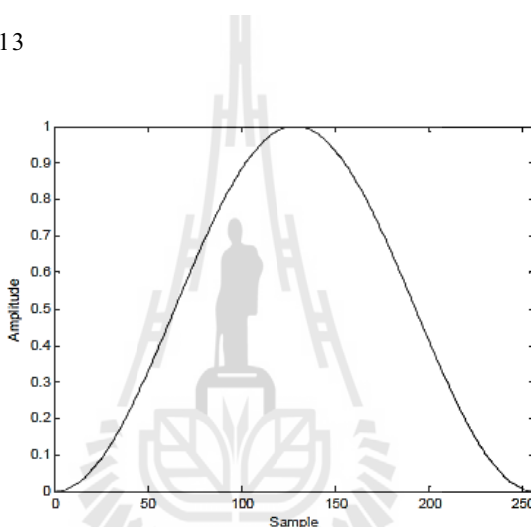
รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างแฮมมิง

2.3.5.3 ฟังก์ชันหน้าต่างแฮนนิ่ง (hanning window) ตามสมการที่ (2-7)

$$w(n) = \begin{cases} 0.5 \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \right], & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2-7)$$

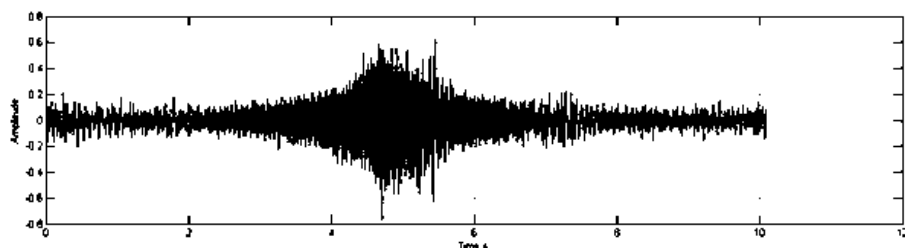
เมื่อ  $w(n)$  คือผลลัพธ์ของฟังก์ชันกรอบตำแหน่งที่  $n$   
 $N$  คือความกว้างหน้าต่าง  
 $n$  คือข้อมูลในหน้าต่าง มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง  $N - 1$

ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.13

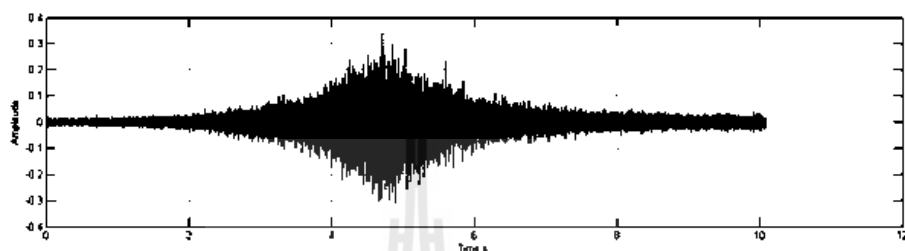


รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันกรอบสัญญาณแบบ หน้าต่างแฮนนิ่ง

ฟังก์ชันหน้าต่างในแบบแฮมมิง และแฮนนิ่งเหมาะสำหรับการประมวลผลสัญญาณเสียง เพราะสามารถเน้นสัญญาณเสียงในกรอบที่กำลังพิจารณาให้มีความสำคัญสูงสุด โดยลดความสำคัญของสัญญาณเสียงที่อยู่ในกรอบรอบข้าง แต่ยังคงความต่อเนื่องของสัญญาณเสียงให้มีความต่อเนื่องในแต่ละกรอบสัญญาณ ทำให้เสียงที่ผ่านการวางกรอบสัญญาณยังคงความครบถ้วนของข้อมูล



(ก)



(ข)

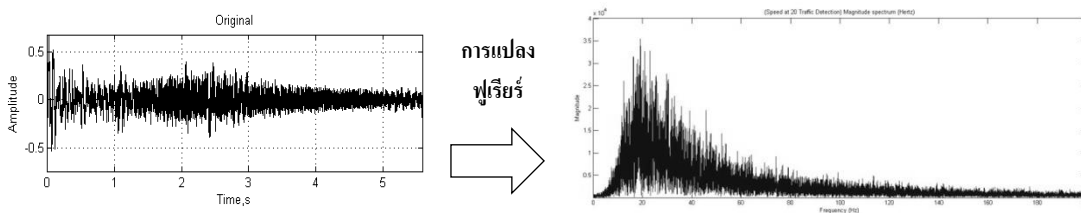
รูปที่ 2.14 การประมวลผลสัญญาณเสียงเบื้องต้น

(ก) ก่อนประมวลผลสัญญาณเสียงเบื้องต้น

(ข) หลังประมวลผลสัญญาณเสียงเบื้องต้น

### 2.3.6 การวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลา-ความถี่ (time-frequency analysis)

ตั้งแต่ช่วงต้นศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา การแปลงฟูรีเยร์ (fourier transform) กลายเป็นเครื่องมือ ในการวิเคราะห์สัญญาณ โดยใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ แนวคิดพื้นฐานของการแปลงฟูรีเยร์มาจากสมมติฐานที่ว่าสัญญาณใด ๆ ก็ตาม โดยปกติแล้วจะสามารถแยกองค์ประกอบออกเป็นกลุ่มของสัญญาณรูปคลื่นไซน์หลาย ๆ ความถี่ ซึ่งเกิดจากกระบวนการ โปรเจกชันสัญญาณบนกลุ่มของฟังก์ชันพื้นฐาน โดยในแต่ละฟังก์ชันพื้นฐานจะสร้างมาจากสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เดียว ค่าที่ได้จากการโปรเจกชัน ที่ความถี่หนึ่ง ๆ จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความใกล้เคียงของสัญญาณกับฟังก์ชันพื้นฐานรูปคลื่น ไซน์ ที่ความถี่นั้น แล้วนำมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปสเปกตรัมความถี่ ดังนั้นผลจากการแปลงฟูรีเยร์ ของสัญญาณใด ๆ จะแสดงถึงองค์ประกอบความถี่ทั้งหมดของสัญญาณนั้น ๆ



รูปที่ 2.15 การแปลงฟูรีเยร์เป็นการแสดงถึงองค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ

การแปลงฟูรีเยร์ เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณที่นำมาใช้ประโยชน์เป็นอย่างมากสำหรับสัญญาณคงที่ (stationary signal) ในขณะที่สัญญาณส่วนใหญ่ที่พบในโลกของความเป็นจริงนั้นค่อนข้างซับซ้อนและมีองค์ประกอบเชิงความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในกรณีนี้การใช้กราฟรูปคลื่นซึ่งง่ายมาแทนเป็นฟังก์ชันพื้นฐานของสัญญาณ อาจจะไม่ง่ายนัก ขณะเดียวกันการอธิบายคุณลักษณะของสัญญาณด้วยสเปกตรัมความถี่เพียงอย่างเดียวอาจจะไม่เพียงพอ ดังนั้นการแปลงสัญญาณทั้งในเชิงเวลาและความถี่พร้อม ๆ กัน จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของสัญญาณที่มีองค์ประกอบเชิงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และเรียกกราฟที่แสดงองค์ประกอบของสัญญาณลักษณะดังกล่าวว่า สเปกโตรแกรม (spectrogram) โดยพื้นฐานแล้วการสร้างสเปกโตรแกรมจะอาศัยหลักการหาองค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณในแต่ละวินโดว์ของเวลา (time window) ที่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นสเปกโตรแกรมจะประกอบด้วยข้อมูลขององค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณ ที่เวลาขณะใดขณะหนึ่งที่แตกต่างกัน สรุปคือการแปลงสัญญาณ โดยใช้สมการฟูรีเยร์นั้นเพื่อเปลี่ยนสัญญาณเสียงจากโดเมนของเวลา  $x(n)$  ให้อยู่ในโดเมนของความถี่ ตามสมการ (2-8)

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-f2\pi nk/N} \tag{2-8}$$

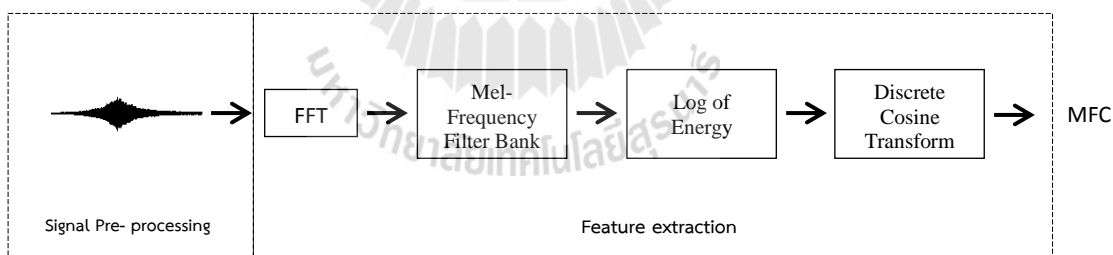
เมื่อ  $N$  คือ จำนวนตัวอย่างในหนึ่งกรอบสัญญาณ  
 $k$  คือ ลำดับของกรอบสัญญาณ  $k = 1, 2, \dots, K$

## 2.4 การสกัดลักษณะเด่น (feature extraction)

การสกัดลักษณะเด่น เป็นการดึงลักษณะเฉพาะของหน่วยเสียงแต่ละหน่วยเสียงที่แตกต่างกันออกมา แล้วให้ระบบทำการรู้จำลักษณะเด่นของหน่วยเสียงแต่ละหน่วยเสียงไว้ เมื่อสัญญาณที่เข้ามาภายหลัง มีลักษณะเด่นที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับลักษณะเด่นของหน่วยเสียงใด ระบบรู้จำจะสามารถบอกได้ว่าเป็นหน่วยเสียงกลุ่มใด หรือใกล้เคียงกับหน่วยเสียงกลุ่มใดมากที่สุด และสามารถลดจำนวนข้อมูล โดยที่ข้อมูลจำนวนมากจะถูกแปลงเป็นชุดข้อมูลที่มีจำนวนน้อยลง และยังคงคุณสมบัติสำคัญของข้อมูลเดิมไว้ได้อย่างถูกต้อง

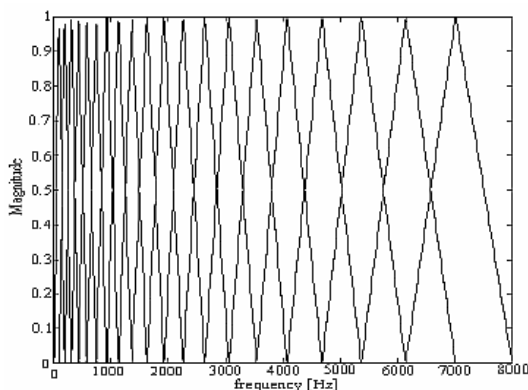
### 2.4.1 สัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล (mel frequency cepstrum coefficient, MFCC)

เซปสตรัม (cepstrum) คือ การแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete cosine-transform) ของลอการิทึมจากสเปกตรัมสัญญาณในช่วงสั้น ๆ สัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงจากเซปสตรัม ด้วยการปรับสเกลของสเปกตรัมให้อยู่บนสเกลที่เหมาะสม สำหรับการรับฟังของมนุษย์ โดยสังเกตจากลักษณะของสัญญาณเสียง สัญญาณเสียงในช่วงความถี่ต่ำ มีความสำคัญมากกว่าช่วงความถี่สูง จึงได้มีการออกแบบสเกลของสเปกตรัมให้สามารถเก็บรายละเอียดของสัญญาณเสียงช่วงความถี่ต่ำได้มากกว่า เรียกการออกแบบนี้ว่าสเกลเมล (mel scale) โดยมีขั้นตอนในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมลดังนี้



รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการหาค่า MFCC

2.4.1.1 mel-frequency filter bank เป็น ขั้นตอน การ หาค่า สัม ประ สั ทิ ทิ เซปสตรัมบนสเกลเมล เริ่มต้นจากการนำสัญญาณเสียงมาผ่านการประมวลผลสัญญาณเสียง หลังจากนั้นส่งสัญญาณไปผ่านชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ (filter bank) เพื่อเน้นความสำคัญของความถี่ที่อยู่ในช่วงกลางของชุดตัวกรองแต่ละตัวกรอง ชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ มีลักษณะดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ชุดตัวกรองแบบฟิลเตอร์แบงก์ (<http://practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs>)

โดยที่ความถี่กลางของตัวกรองแต่ละชุดนั้น เกิดจากการแปลงค่าความถี่ปรกติ ( $f$ ) ให้อยู่บนสเกลเมล ( $f_{mel}$ ) ตามสมการที่ (2-9)

$$f_{mel} = 2595 * \log_{10} \left( 1 + \frac{f}{700} \right) \quad (2-9)$$

2.4.1.2 การคำนวณหาพลังงานสเปกตรัมที่ผ่านตัวกรอง ขั้นตอนนี้นำความถี่ที่ได้จากขั้นตอนคำนวณสเปกตรัมมาหาขนาดกำลังสองได้  $|\tilde{x}(k)|^2$  ส่งผ่านชุดตัวกรองแบบสามเหลี่ยมในสเกลเมล เพื่อเน้นความสำคัญของความถี่ที่อยู่ในช่วงกลางของชุดตัวกรองแต่ละตัวกรองตามสมการที่ (2-10)

$$E_j = \sum_{k=0}^{\frac{n}{2}-1} \Phi_j(k) |\tilde{x}(k)|^2; \quad 0 \leq j \leq J \quad (2-10)$$

เมื่อ  $\Phi_j$  คือค่าประจำตัวกรองที่  $j$   
 $\tilde{x}(k)$  คือสเปกตรัม

2.4.1.3 การคำนวณสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล (MFCC) ในขั้นตอนนี้นำลอการิทึมของพลังงานมาผ่านการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล  $c$  ลำดับที่  $m$  ตามสมการที่ (2-11)

$$c_m = w_t(m) \sum_{j=1}^J \log_{10}(E_j) \cos \left( \frac{\pi}{J} (j - 0.5)m \right), \quad m = 0, 1, 2, \dots, J - 1 \quad (2-11)$$

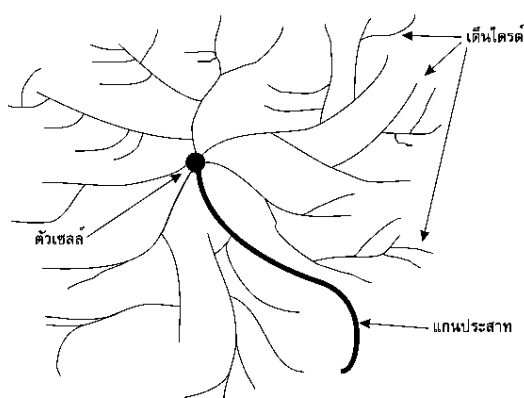
$$\text{เมื่อ } w_t(m) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{J}}, & m = 0 \\ \frac{\sqrt{2}}{J}, & 1 \leq m < J \end{cases}$$

## 2.5 เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network)

เครือข่ายประสาทเทียม เป็นเครือข่ายที่มีรูปแบบโครงสร้างและการทำงานเหมือนกับสมองในสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนตัวเองต่อสิ่งเร้าของอินพุต โดยการเรียนรู้ (Learning) ซึ่งการเรียนรู้นั้นมี 2 แบบคือ

- 1) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน
- 2) การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน

โดยที่การเรียนรู้จะตอบสนองต่อสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ออกมาเป็นผลลัพธ์ หรือเรียกว่าเอาต์พุต เมื่อเครือข่ายได้เรียนรู้แล้ว เครือข่ายนั้นสามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้ เครือข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์ โดยสมองมนุษย์ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (neurons) หรือเซลล์ประสาทสมองมนุษย์ จำนวนนิวรอนในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ  $10^{11}$  และมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง (adaptive) ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) และทำงานแบบขนาน (parallel) ในการดูแลจัดการการทำงานร่วมกันของนิวรอนในสมอง การคำนวณเชิงนิวรอนเป็นการคำนวณที่เลียนแบบมาจากการทำงานของสมองมนุษย์ เครือข่ายประสาทเทียมมีทั้งแบบชั้นเดียว และแบบหลายชั้น สถาปัตยกรรมเครือข่ายประสาทเทียมมี 2 แบบคือแบบเครือข่ายไปข้างหน้า (feed-forward network) และแบบป้อนกลับ (recurrent network)



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของเซลล์สมองมนุษย์

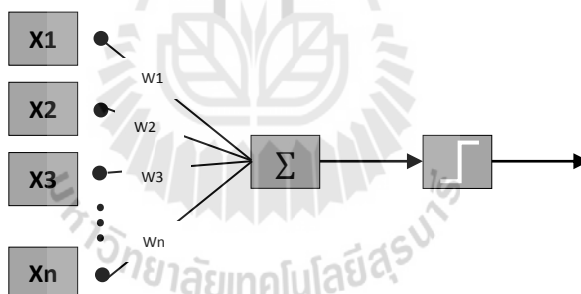


### 2.5.1 โครงสร้างของเครือข่ายประสาทเทียม

นักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเห็นตรงกันว่า เครือข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากเครือข่ายในสมองของสิ่งมีชีวิต แต่ก็ยังเหมือนสมองในแง่ที่ว่าเครือข่ายประสาทเทียมคือ การรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของเครือข่าย เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าเครือข่ายประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของเครือข่าย อย่างไรก็ตามหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยเครือข่ายประสาทเทียม

### 2.5.2 หลักการของเครือข่ายประสาทเทียมสำหรับในคอมพิวเตอร์

นิวรอนประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุตเหมือนกัน โดยจำลองให้อินพุตแต่ละหน่วยมีน้ำหนัก (weight) เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของอินพุต โดยนิวรอนแต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของอินพุตต้องมากขนาดไหน จึงจะสามารถส่งเอาต์พุตไปยังนิวรอนตัวอื่นได้ เมื่อนำนิวรอนแต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกัน การทำงานนี้ในทางตรรกะแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้น



รูปที่ 2.19 แบบจำลองของนิวรอนในคอมพิวเตอร์

### 2.5.3 การทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม

เมื่อมีอินพุตเข้ามายังเครือข่ายประสาทเทียม เครือข่ายจะนำเอาอินพุตมาคูณกับน้ำหนักของแต่ละขา ผลที่ได้จากอินพุตทุก ๆ ขาของนิวรอนจะเอามารวมกัน แล้วนำมาเทียบกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด นิวรอนจะส่งเอาต์พุตออกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในเครือข่าย ถ้าค่าผลรวมมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน จะไม่เกิดเอาต์พุตดังรูปที่ 2.20

$$\text{if } (\text{sum}(\text{input} * \text{weight}) > \text{threshold}) \text{ then output}$$

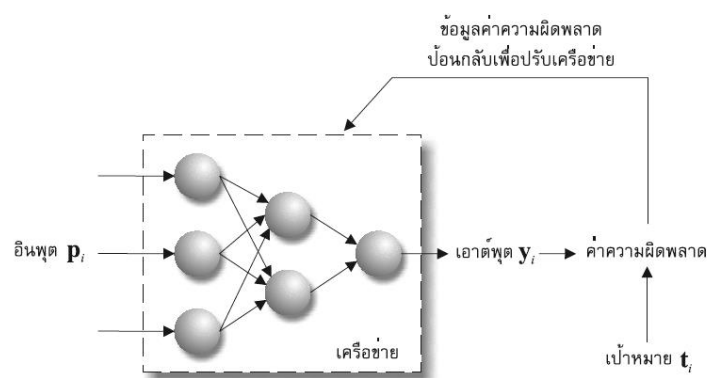
รูปที่ 2.20 อินพุตของนิวรอน มีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ไม่เกิดเอาต์พุต

สิ่งที่สำคัญคือ ต้องทราบค่าน้ำหนักและค่าขีดเริ่มเปลี่ยน สำหรับสิ่งที่ต้องการ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จัก ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับเปลี่ยนค่าเหล่านั้นได้ โดยการสอนให้รู้จักรูปแบบของสิ่งที่ต้องการให้รู้จัก เรียกว่า back propagation

ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จัก ในการฝึกสอนเครือข่ายนิวรอนแบบไปข้างหน้า จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบ back-propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนัก น้ำหนักของเครือข่าย หลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกสอนในแต่ละครั้งแล้ว ค่าที่ได้รับจากเอาต์พุตของเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายอีกครั้ง เพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักของเครือข่ายต่อไป

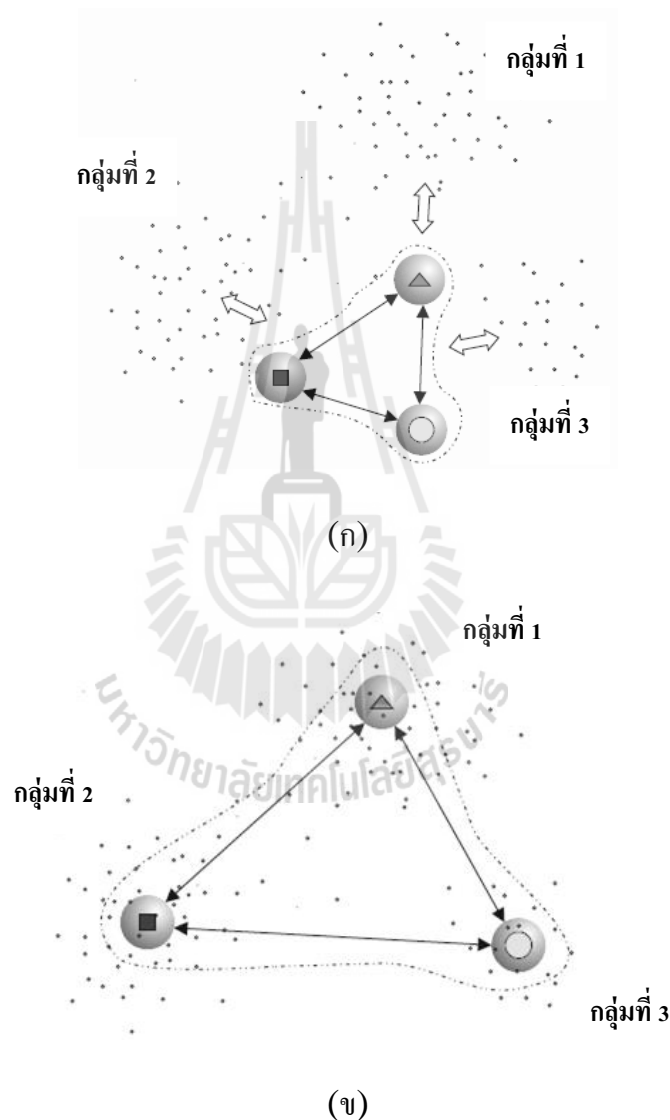
## 2.5.4 การเรียนรู้สำหรับเครือข่ายประสาทเทียม

2.5.4.1 การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (supervised learning) เป็นการเรียนรู้แบบที่มีการตรวจคำตอบ เพื่อให้เครือข่ายปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับสอนเครือข่ายจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบให้กับเครือข่ายประสาทเทียม แสดงคำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูกเครือข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคนเหมือนกับการสอนนักเรียน โดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างของการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนสอน

2.5.4.2 การเรียนแบบไม่มีผู้ฝึกสอนสอน (unsupervised learning) เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด เครือข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลของผลลัพธ์ที่ได้ เครือข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้เอง (เปรียบเทียบกับคนเช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างได้เองโดยไม่มีใครสอน)



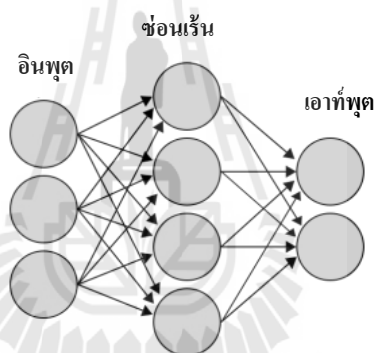
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน

- (ก) เครือข่ายเรียนรู้เพียงข้อมูลอินพุต แล้วทำการปรับตัวเอง
- (ข) แต่ละนิวรอนภายในเครือข่าย ปรับเข้าใกล้และกลายเป็นจุดศูนย์กลาง

### 2.5.5 ชั้นของเครือข่าย

ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 ชั้น ได้แก่ ส่วนอินพุต ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของส่วนซ่อนเร้น (hidden units) ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของส่วนเอาต์พุต

- 1) การทำงานของส่วนอินพุตจะทำหน้าที่แทนส่วนของข้อมูลดิบ ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่าย
- 2) การทำงานของแต่ละส่วนซ่อนเร้นจะถูกกำหนด โดยการทำงานของส่วนอินพุตและค่าน้ำหนักบนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนอินพุต และส่วนซ่อนเร้น
- 3) การทำงานของส่วนเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการทำงานของส่วนซ่อนเร้น และค่าน้ำหนักระหว่างส่วนซ่อนเร้นและส่วนเอาต์พุต



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของเครือข่ายประสาทเทียม

ประเภทของเครือข่ายประสาทเทียมเป็นที่น่าสนใจ เพราะสามารถกำหนดการแทนค่าให้แก่ส่วนอินพุตได้อย่างอิสระ ค่าน้ำหนักระหว่างส่วนอินพุตและส่วนซ่อนเร้นจะถูกกำหนด เมื่อส่วนซ่อนเร้นกำลังทำงาน ดังนั้นเวลาที่แก้ไขค่าน้ำหนัก ส่วนซ่อนเร้นจะสามารถเลือกได้จะเอาค่าอะไรแทนเข้ามา

### 2.5.6 ตัวอย่างงานที่นำเครือข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้ เพื่อการเรียนรู้และการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียม จากยุคเริ่มต้นในการพัฒนาเครือข่ายประสาทเทียมจนถึงยุคปัจจุบัน ได้มีผู้นำมาประยุกต์ใช้งานหลายประเภทในงานด้านต่าง ๆ เช่น

- 1) งานด้านวิศวกรรม
- 2) งานด้านฟิสิกส์
- 3) งานด้านจิตวิทยา
- 4) งานด้านทางการแพทย์
- 5) งานด้านสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เนื่องจากเครือข่ายประสาทเทียม
- 6) งานด้านเศรษฐศาสตร์

การคำนวณเชิงนิเวศน์ที่ได้รับจากเครือข่ายประสาทเทียม สามารถแก้ไขปัญหาที่ยุ่งยาก ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะปัญหาที่ไม่สามารถสืบหรือหาคำตอบได้

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการนำเสนอเทคโนโลยีและเทคนิคที่หลากหลายสำหรับใช้ตรวจวัดปริมาณ การจราจรบนถนนด้วยสัญญาณได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ

### 2.6.1 อุปกรณ์ตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งอยู่บนหรือใต้ผิวทาง (in-roadway sensors)

ได้แก่ pneumatic road tube, inductive loop detectors และ magnetic - sensors

### 2.6.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งเหนือผิวทาง (over-roadway sensors)

ได้แก่ video image processors, microwave radar sensors, active - infrared sensors (laser sensors), passive infrared sensors, ultrasonic sensors และ passive acoustic sensors ซึ่งมีข้อมูลงานวิจัยดังนี้

2.6.2.1 Chao Gao และ Ismo Hakala (2012) ได้เสนอผลงานวิจัยนี้ เพื่อการ ทดลอง โดยใช้เสียงเป็นเซนเซอร์ ในการการจราจรบนถนนแบบเครือข่ายไร้สาย โดยใช้เสียง เป็นเซนเซอร์ ในการตรวจสอบการจราจรบนถนน สิ่งที่สามารถตรวจสอบได้เช่น มลพิษของเสียง จำนวนยานพาหนะ และความเร็ว ซึ่งในการตรวจสอบได้ทำทดสอบที่ถนน Yhtystie ออกไปทาง ใต้ของเมืองวาซา ประเทศฟินแลนด์ ด้วยถนนเส้นนี้เป็นทางยาว โดยได้กำหนดขอบเขตงานไว้ดังนี้ ตรวจสอบความเร็วได้ไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยทำการทดสอบหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งเริ่มในช่วง ฤดูหนาวของปี 2011 ได้ติดตั้งอุปกรณ์ระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่มีระยะห่างกัน 40 เมตร ภายใน เวลา 1 ชั่วโมงที่ทำการทดสอบ มีรถยนต์วิ่งผ่าน 109 คัน โดยคัดแยกประเภทของรถยนต์ไว้ดังนี้ รถบรรทุกหรือรถโดยสาร (รถขนาดใหญ่) 7 คัน และรถยนต์ส่วนบุคคลและรถมินิแวน 102 คัน ซึ่ง การทำงานของระบบให้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการนับจำนวนและหาขนาดของพาหนะได้จาก คูจากสเปกโตรแกรมที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่นเดียวกับการหาขนาดโดยการวิเคราะห์ความกว้างจากสเปกโตรแกรม ซึ่งทั้งสองวิธีการให้ ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ โดยวิธีแรกที่สามารถทำได้เวลาจริง ในขณะที่วิธีที่สองต้องอาศัยหลักการการแปลงฟูเรียร์ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ต่อไป ในการคำนวณหาความเร็วใช้วิธีการของเวลาที่แตกต่างระหว่างสัญญาณที่ได้จากการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองจุด นำมาคำนวณหาความเร็ว ซึ่งได้จากระยะห่างระหว่างอุปกรณ์หารด้วยเวลาที่แตกต่างของข้อมูล

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ ให้ผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์ ในกรณีส่วนใหญ่ที่แสดงโดยขั้นตอนวิธีการให้ผลที่เหมาะสม และยังคุ้มค่าเพราะเนื่องจากข้อมูลที่ได้มานั้น ได้จากเครื่องมือที่มีต้นทุนที่ต่ำ เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ

2.6.2.2 Swaroop Roy, Rijurekha Sen, Swanand Kulkarni, Purushottam Kulkarni, Bhaskaran Raman และ Lokendra Kumar Singh (2011) ได้เสนอผลงานวิจัยที่ตรวจสอบการจราจรบนถนนด้วยวิธีส่งสัญญาณไร้สาย ด้วยเทคนิคของงานวิจัยนี้ ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการเชื่อมโยงแบบไร้สาย

เมื่อภาวะสัญญาณระหว่างผู้ส่งและผู้รับที่แตกต่างกันระบบ ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การส่งสัญญาณแบบต่อเนื่อง ระหว่างถนนด้วยวิธีสัญญาณไร้สาย แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับซึ่งเป็นตัวชี้วัดได้อย่างดี ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ผล เช่น ความแรงของสัญญาณคุณภาพของสัญญาณและการส่งข้อมูลของเพ็กเก็ต ตัวชี้วัดเหล่านี้จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการจราจร บนท้องถนน ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการจราจรปกติหรือแออัด

ผลของการทดลองในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองใช้กับถนนที่ Mumbai ชื่อเดิมคือ Bombay ที่ตั้งอยู่บนริมฝั่งทะเลอาหรับในประเทศอินเดีย โดยการทดสอบและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ข้อมูลการทดลองนี้ทำให้เห็นความแตกต่างกันบนถนนที่ Mumbai แสดงให้เห็นว่า สามารถแบ่งประเภท ของการจราจรแบบปกติและแออัดโดยใช้วิธีการแบ่งตามหลักเกณฑ์ความเข้มของสัญญาณตามลักษณะ ซึ่งมีความถูกต้องมากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์

2.6.2.3 Wenhao Lu, Shengjin Wang และ Xioaqing Ding (2009) ได้เสนอผลงานวิจัยนี้เพื่อตรวจจับและติดตามยานพาหนะในสภาพการจราจรที่หนาแน่นในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งใช้เทคนิคที่คิดค้นขึ้นใหม่ที่ชื่อว่า SEAP (simple but efficient after process) วิธีการนี้จะตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการ ad boost detector ซึ่งใช้ในการตรวจจับรถยนต์ในทุก ๆ กรอบภาพ ส่วนการติดตามจะใช้เทคนิคที่ชื่อว่า 4-states tracking algorithm ซึ่งมีพื้นฐานมาจาก kalian linear filter โดยจะแก้ปัญหา false positives และ false

negatives ด้วยการสร้างเครื่องสถานะจำกัด (FSM: finite state-machine) ในอัลกอริทึมของการติดตาม

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพ โดยลดความน่าจะเป็นของ false -positives และทำให้การตรวจจับและติดตามมีความเสถียรมากขึ้น แต่อาจทำให้โอกาสในการตรวจจับยานพาหนะลดลงเล็กน้อย

2.6.2.4 Kantip Kiratiratanapruk และ Supakorn Siddhichai (2009) เสนอผลงานวิจัยนี้ เพื่อแสดงระบบติดตามสภาพการจราจรแบบทันเวลา โดยใช้การตรวจจับวัตถุและการติดตาม เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ของการจราจร เช่นความเร็ว และระดับความดังของเสียง ซึ่งระบบนี้ใช้สภาพแวดล้อมคือการจราจรที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย ผลลัพธ์ที่ได้ ยืนยันถึงความถูกต้อง

ระบบนี้สร้างโมเดลพื้นหลังโดยใช้ข้อมูลขอบและใช้โมเดลที่ได้นี้ในการหาวัตถุที่เคลื่อนที่ภายในภาพ ซึ่งการใช้ข้อมูลขอบนี้ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง อีกทั้งยังใช้ทรัพยากรในการประมวลผลน้อยกว่าโมเดลที่ใช้ค่าความเข้มสี เมื่อได้วัตถุที่มีการเคลื่อนที่มาแล้วก็จะดำเนินการติดตามโดยใช้ lukas-kanade (pyramid) optical - flow algorithm ยานพาหนะที่ติดตามได้สำเร็จจะถูกนำไปพิจารณาต่อไป อัลกอริทึมที่ใช้ทั้งหมดจะถูกฝังในโมดูลเล็กๆ ประกอบกันเป็นฮาร์ดแวร์ เช่น คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์เครือข่าย

โมดูลเหล่านี้จะถูกติดตั้งไปยังสถานที่ต่างๆ บนทางหลวงสายหลักตั้งแต่เหนือจรดใต้ของประเทศไทย โมดูลเหล่านี้ทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ปี เพื่อเก็บข้อมูลการจราจรส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะของสภาพการจราจรที่ได้จากระบบ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับสภาพการจราจรจริงบนท้องถนน ระบบนี้จึงมีประโยชน์ในการวางแผน การเดินทางและตรวจอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นแบบอัตโนมัติ

2.6.2.5 Kenji Kodera, Akitoshi Itai และ Hiroshi Yasuawa (2008) ได้เสนอผลงานวิจัย เพื่อตรวจสอบเสียงรอบ ๆ ที่จะเข้ามาใกล้ เพื่อเตือนและยังทำให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ข้อดีของระบบต้นแบบนี้คือป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุทางการจราจร จึงต้องมีการตรวจสอบแบบรอบทิศทางจากพาหนะ เมื่อมีพาหนะที่เข้ามาในแต่ละทิศทางจะเกิดสัญญาณขึ้น และสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค t-intersection อย่างถูกต้องและรวดเร็ว งานวิจัยนี้ ใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ (ไมโครโฟนหลาย ๆ ตัว) แบบเชิงเส้น ซึ่งจะประเมินพาหนะที่ใกล้เข้ามาโดยใช้วิธีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกัน (cross-correlation method) โดยให้รู้แหล่งที่มาของเสียงและการประมาณการทิศทางของเสียง โดยนำเสนอบนพื้นฐานของผลเฉลี่ยรวม

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ cross-correlation ของไมโครโฟนหลายตัว ได้ตระหนักถึงพาดชนะที่กำลังใกล้เข้ามาใน t-intersection โดยใช้เสียงของยานพาหนะรับเข้าไมโครโฟนที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อการคำนวณฟังก์ชันของ cross-correlation เมื่อนำมา cross กันแล้ว จะได้ 8 คู่ ในแต่ละช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เพื่อประเมินทิศทางที่ถูกต้องและให้ผลที่ดีที่สุดของฟังก์ชัน cross-correlation จากไมโครโฟน

2.6.2.6 Thatsaphan Suwannathat, Jun-ichi Imai และ Masahide Kaneko (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อตรวจจับและหาตำแหน่งของมนุษย์ สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยการใช้กล้องเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวและใช้วิธีประมาณค่าจากเสียงรอบทิศทางจากไมโครโฟนหลาย ๆ ตัวที่ติดตั้งไว้บนหุ่นยนต์ ใช้วิธีคำนวณจากการเดินทางของเสียงเทียบกับเวลา ซึ่งเป็นการทดลองวิธีการใช้ภาพและเสียงเข้าด้วยกัน จากการทดลองนั้นการประมาณค่าจากเสียงจะถูกต้องและแม่นยำถ้าเสียงรบกวนมีน้อย แต่ถ้ามีเสียงรบกวนมาก ๆ จะทำให้การตรวจจับเกิดการผิดพลาดได้

2.6.2.7 Chung-Cheng Chiu, Chun-Yi Wang, Min-Yu Ku และ Yi-Bin Lu (2006) ได้เสนอผลงานวิจัยเพื่อรู้จำและติดตามพาหนะ ซึ่งแก้ปัญหาการบดบัง (occlusion) ด้วยวิธีการตัดแยกการบดบัง (occlusion segmentation) และรู้จำพาหนะแต่ละคัน จากความยาวและความกว้างที่มองเห็นหลังการถกระจกหน้ารถและฝากระโปรงรถ ซึ่งสามารถจำแนกยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ได้ เช่น รถตู้ รถยนต์ 4 ประตู รถบรรทุกขนาดใหญ่ เป็นต้น

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ใช้เหตุการณ์บนท้องถนนที่มีความแออัด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ แสดงถึงความถูกต้องและแม่นยำ และยังใช้เวลาในการตอบสนองที่รวดเร็ว

2.6.2.8 S. Chen, P. Sun และ B. Bridge (1998) ได้เสนอผลงานวิจัยที่ตรวจสอบการจราจร ที่ชาญฉลาดแบบอัตโนมัติโดยการตรวจสอบเสียง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใหม่ โดยใช้ไมโครโฟนอาร์เรย์ในการตรวจจับคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจากพาหนะบนท้องถนนแล้วนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผล ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการตรวจวัดการจราจรด้วยการติดตั้งอุปกรณ์อยู่ 2 วิธีคือ

- 1) ถ้าถนนไม่ซับซ้อนของช่องทางการจราจรมากการติดตั้งไมโครโฟนก็จะติดตั้งให้ ขนานกับถนนโดยใช้ไมโครโฟน 2 ตัวติดตั้งให้มีระยะห่างกันเพื่อใช้ในการ ตรวจสอบจากแหล่งที่มาของเสียงด้วยวิธีการเดินทางของเสียงที่ไม่เท่ากัน และสัญญาณของทั้งสองจะมีการตัดกัน ในตรงกลางระหว่างไมโครโฟน 2 ตัว จึงนำมาเพื่อคำนวณหาความเร็ว



- 2) ถ้าถนนซับซ้อนการจราจรมาก การติดตั้งไมโครโฟนก็จะติด 2 จุดเหมือนเดิม แต่จะแตกต่างคือในจุดแรกจะติดตั้งไมโครโฟนขนานกับถนน ส่วนในจุดที่สอง จะติดตั้งให้ตั้งฉากกับถนนเพื่อเพิ่มเติมการเก็บข้อมูล ในการตรวจวัด ส่วน การหาความเร็วและทิศทางที่จะตรวจจับยานพาหนะจะใช้เทคนิคเดียวกัน ข้อมูลที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงสภาพการจราจรบนท้องถนน เช่น ความเร็วและความหนาแน่นของยานพาหนะบนท้องถนน โดยจะส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติเพื่อให้สามารถตรวจสอบเส้นทางได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดอื่น ซึ่งมีราคาการติดตั้งและบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้แนวคิดใหม่สำหรับการตรวจวัดการจราจร ด้วยการพัฒนาาระบบเซนเซอร์จะอยู่ในช่วงเริ่มต้น แต่เทคโนโลยีนี้ก็มีข้อดี เช่น ขนาดของข้อมูลหรือสัญญาณมีขนาดเล็กกว่าสัญญาณวีดีโอจะช่วยให้ใช้พื้นที่ในการประมวลผลที่น้อยต้นทุนสำหรับอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง บำรุงรักษาต่ำ เซนเซอร์สามารถทำงานในหลากหลายของสภาพอากาศที่แตกต่างกันหรือแม้แต่สภาพแสงที่น้อยได้

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามานี้สรุปได้ว่า งานวิจัยที่กำลังจะทำมีแนวทางที่สามารถศึกษาเพื่อพัฒนาต่อไป ด้วยรูปแบบการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัยที่ถูกต้อง เชื่อถือได้ และสามารถแก้ปัญหาของประเทศที่กำลังพัฒนาได้อย่างดี

## 2.7 สรุป

บทที่ 2 เป็นการนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูล การเตรียมข้อมูล เพื่อกระบวนการประมวลผลสัญญาณเสียง และเครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่นำไปใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ได้นำเสนอรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบการจราจรบนถนน และประมวลผลสัญญาณเสียง ซึ่งได้รวบรวมมาจากแหล่งความรู้ต่าง ๆ ทำให้ทราบวิธีการ และแนวความคิดที่หลากหลาย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย รวมถึงจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละวิธีการซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการทำงานวิจัยในลำดับต่อไป

## บทที่ 3

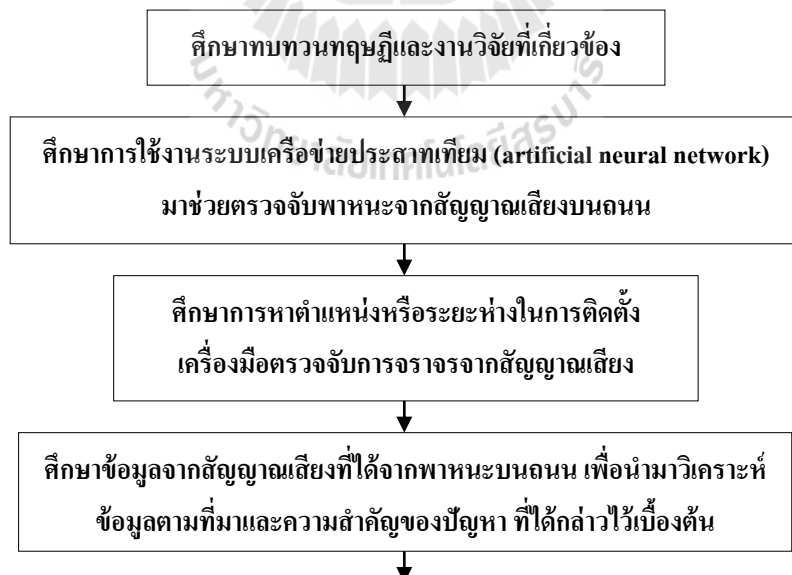
### วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 กล่าวนำ

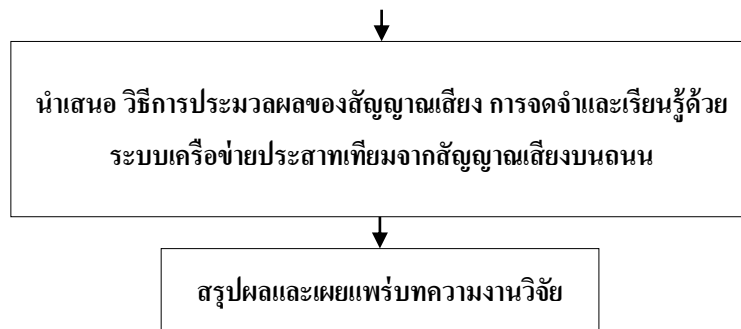
ในบทที่ 3 นี้ได้กล่าวถึงวิธีดำเนินการศึกษางานวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากสัญญาณเสียง เพื่อการเรียนรู้และการจดจำของเครือข่ายประสาทเทียม โดยอาศัยขั้นตอนและวิธีต่าง ๆ ในการรู้จำเสียงรถยนต์บนท้องถนน ซึ่งขั้นตอนการวิจัยระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ได้แบ่งเนื้อหาออกมาตามหัวข้อต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

#### 3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์แนวทางในการออกแบบการวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานและวิธีการศึกษาข้อมูลในกระบวนการต่าง ๆ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและวิธีการศึกษาข้อมูล



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและวิธีการศึกษาข้อมูล



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานและวิธีศึกษาข้อมูล(ต่อ)

### 3.3 สถานที่ใช้ทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล

#### 3.3.1 บันทึกข้อมูลที่ถนนมิตรภาพ

ทำการบันทึกข้อมูลที่ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา

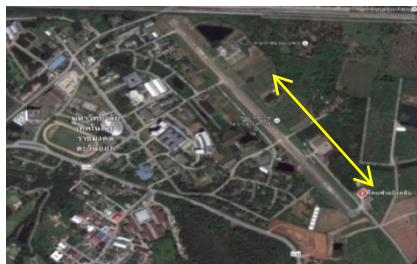


รูปที่ 3.2 (ก) ถนนมิตรภาพ (ภาพจากแผนที่ดาวเทียม)

(ข) ถนนมิตรภาพ (ภาพจริง)

#### 3.3.2 บันทึกข้อมูลที่ถนนสนามบินเล็ก

ทำการบันทึกข้อมูลที่ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
ตะวันออก จ.ชลบุรี



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) ถนนสนามบินเล็ก (ภาพจากแผนที่ดาวเทียม)

(ข) ถนนสนามบินเล็ก (ภาพจริง)

### 3.3.3 บันทึกข้อมูลที่ถนนซอยวัดวังหิน

ทำการบันทึกข้อมูลที่ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) ถนนซอยวัดวังหิน (ภาพจากแผนที่ดาวเทียม)

(ข) ถนนซอยวัดวังหิน (ภาพจริง)

## 3.4 การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

### 3.4.1 ไมโครโฟน ยี่ห้อ takstar รุ่น GL-100 usb

ซึ่งมีรูปและคุณสมบัติ ได้แสดงในรูปที่ 2.5 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์

### 3.4.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์บันทึกเสียงและระยะห่างของพื้นที่เก็บข้อมูลเสียง



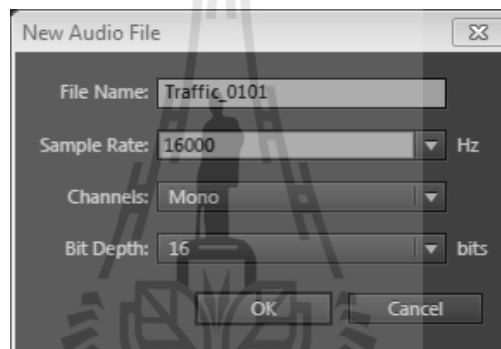
รูปที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์และระยะห่าง

ทำการติดตั้งเฉพาะช่องจราจร ที่มีช่องการจราจร 1-2 ช่องจราจร โดยนำไมโครโฟนที่เตรียมไว้มาติดตั้ง เพื่อบันทึกเสียงบนเส้นทางการจราจร ด้วยโปรแกรมบันทึกข้อมูลเสียง โดยติดตั้งอุปกรณ์แบบตั้งฉากกับถนนระยะห่างระหว่างขอบถนนกับขาค้างไมโครโฟน โดยมีระยะห่างประมาณ 2.5 เมตร

### 3.4.2 โปรแกรมบันทึกข้อมูล

ใช้โปรแกรม Adobe Audition CS6 เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียงพร้อมกับบันทึกภาพเคลื่อนไหว เพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อผิดพลาด การเก็บข้อมูลเสียงบนถนนได้เก็บและบันทึกเสียงของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมปกติ

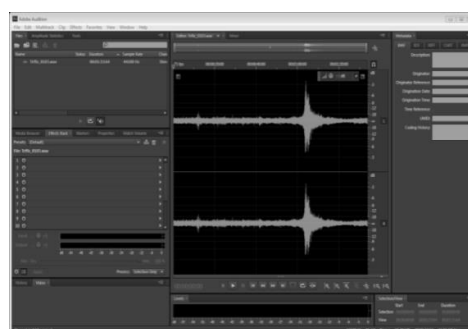
3.4.2.1 ตั้งค่าบันทึกเสียงโดยใช้อัตราการสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) เท่ากับ 16,000 เฮิรตซ์ ระดับความลึกของเสียง (bit depth) 16 บิต แบบหนึ่งช่องทางเสียง (mono - channel) อยู่ในรูปแบบไฟล์ wav เมื่อบันทึกเสียงสำเร็จ บันทึกชื่อเป็น xn.wav (x : สถานที่ , n : ครั้งที่บันทึก) การทำงานของโปรแกรมตั้งค่าต่างๆได้แสดงในรูปที่ 3.7 การตั้งค่าเริ่มต้นบันทึกเสียงในโปรแกรม Adobe Audition CS6



รูปที่ 3.7 การตั้งค่าเริ่มต้นบันทึกเสียงในโปรแกรม Adobe Audition CS6

3.4.2.2 การบันทึกสัญญาณเสียงรถยนต์ นำเมาส์คลิกที่ปุ่มเริ่มต้นการบันทึก

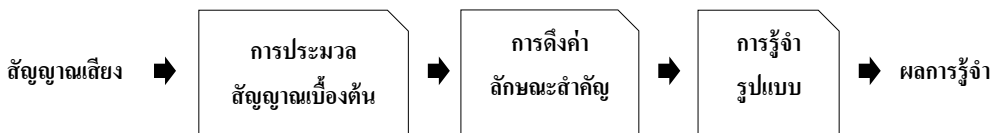
 record เพื่อทำการบันทึกไฟล์ลงใน directory ที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างสัญญาณเสียงรถยนต์ที่ทำการบันทึก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

### 3.5 การทำงานของระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทำงานของระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยง ด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.9 ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยง ด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

#### 3.5.1 ขั้นตอนการประมวลผลสัญญาณเสียง

นำสัญญาณเสียงที่ได้จากการบันทึก มาผ่านกระบวนการปรับแต่งสัญญาณ ก่อนนำไปหาลักษณะเด่น เนื่องจากสัญญาณเสียงที่ได้บันทึกจากสถานที่ต่าง ๆ เสียงบนถนนนั้น มีความแตกต่างในระดับความดังของเสียง และช่วงเวลาดำเนินเสียง จึงต้องทำการปรับหรือแต่ง ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไปเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

3.5.1.1 การเปลี่ยนสัญญาณสู่แกนศูนย์หรือการทำการทำค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (zero mean) เป็นการปรับสัญญาณที่นอกแกนศูนย์กลับเข้าสู่แกนศูนย์ตามสมการที่ (2-1)

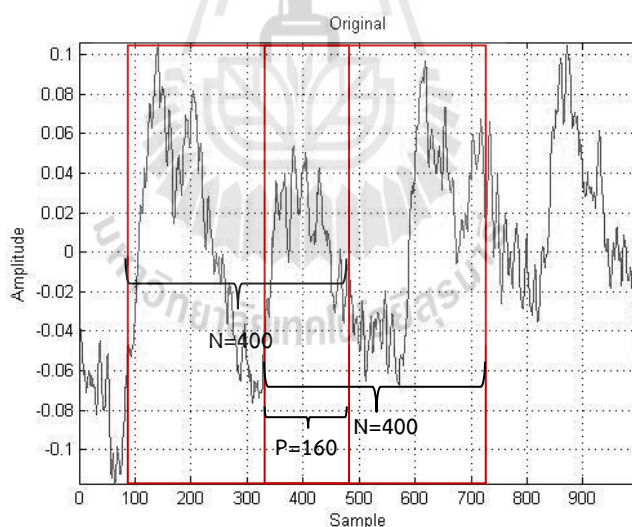
3.5.1.2 ขั้นตอนกรรมวิธีการเน้นล่วงหน้าเพื่อกรองสัญญาณรบกวนที่เป็นความถี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดออกไป ตามสมการที่ (2-3) ซึ่งผลของการทดลองค่าสัมประสิทธิ์วงจรรองในค่าที่แตกต่างกัน แสดงอยู่ในภาคผนวก ก หลังจากได้ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์วงจรรองแล้ว นั้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกค่าสัมประสิทธิ์วงจรรอง  $\alpha = 0.95$  กรองความถี่สูงผ่านตามสมการดังนี้

$$s(n) = s(n) - 0.95s(n - 1) \tag{3-1}$$

3.5.1.3 การกรองสัญญาณ (filtering) สัญญาณเสียงที่บันทึกไว้นั้นจะถูกกรองด้วยวงจรรองสัญญาณผ่านความถี่ต่ำ และสัญญาณรบกวนที่อาจเกิดขึ้นกับสัญญาณเสียงที่บันทึกโดยงานวิจัยนี้ใช้วงจรรองดิจิทัลอันดับ 5 แบบ บัตเตอร์เวิร์ธ (butterworth) ที่มีความถี่ คัทออฟที่ 5000 เฮิรตซ์

### 3.5.2 ขั้นตอนการสกัดค่าลักษณะเด่น

การสกัดค่าลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงรยยนต์นั้น เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แทนตัวอย่างของสัญญาณเสียงรยยนต์ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะบอกถึง ลักษณะสำคัญของสัญญาณเสียงรยยนต์นั้น ๆ ซึ่งค่าลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงรยยนต์ มีส่วนสำคัญอย่างมากในวิเคราะห์สัญญาณเสียง โดยค่าลักษณะเด่นที่เหมาะสมนั้นก็จะให้ผลลัพธ์ ที่ถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งในปัจจุบันมีวิธีการสกัดค่าลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันออกไป ในวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสกัดค่าลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงเสียง ด้วยวิธี MFCC เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้งานกันแพร่หลาย และให้ผลที่ดีในการสกัดค่าลักษณะเด่น เมื่อนำสัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการประมวลสัญญาณเสียง จากหัวข้อที่ 3.5.1 สัญญาณเสียง จะถูกวางด้วยกรอบสัญญาณหน้าต่างหรือเฟรม เพื่อวิเคราะห์การหาค่า MFCC โดยใช้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบแฮมมิง ขนาดของหน้าต่างเท่ากับ 25 มิลลิวินาที หรือเท่ากับ  $N=400$  sample เหลื่อมซ้อนไปครั้งละ 10 มิลลิวินาทีหรือเท่ากับ  $P=160$  sample ได้แสดงในรูปที่ 3.10 การวางกรอบสัญญาณเสียงเพื่อหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วย MFCC

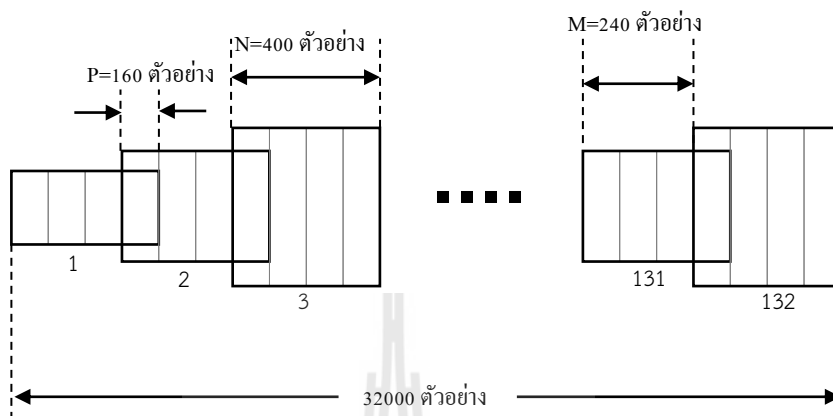


รูปที่ 3.10 การวางกรอบสัญญาณเสียงเพื่อหาค่าคุณลักษณะเด่นด้วย MFCC

ข้อมูลที่น่าไปสกัดค่าลักษณะเด่นนั้นจะถูกแบ่งเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ใช้ระยะเวลาครั้งละ 2 วินาที (32000 ตัวอย่าง) จำนวนกรอบทั้งหมดของหน้าต่าง MFCC สามารถหาได้ดังสมการที่ (3-2)



$$(MFCC) = trunc \left( \frac{Sample}{M} - 1 \right) \tag{3-2}$$



รูปที่ 3.11 การกำหนดส่วนย่อยและการเหลื่อมกันของส่วนย่อย

3.5.2.1 เมื่อสัญญาณได้ถูกแบ่งออกเป็นช่วงสั้น ๆ แล้วขั้นตอนต่อไปคือหาค่าสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล ซึ่งมีขั้นตอนและกระบวนการทำ แสดงในหัวข้อที่ 2.4.1 สัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณเสียง และวางกรอบสัญญาณเสียง ข้อมูลของสัญญาณเสียงในแต่ละเฟรมจะถูกคูณด้วยฟังก์ชันกรอบสัญญาณ เพื่อลดทอนความไม่ต่อเนื่องของขอบสัญญาณ จากนั้นทำการเตรียมข้อมูลเสียงเพื่อหาค่าฟูรีเยร์แบบเร็วในหัวข้อต่อไป

3.5.2.2 การแปลงสัญญาณฟูรีเยร์แบบเร็ว การแปลงสัญญาณ โดยใช้สมการฟูรีเยร์แบบเร็ว เพื่อเปลี่ยนสัญญาณเสียงจากโดเมนของเวลาให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้สมการที่ (3-3)

$$\tilde{x}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot w(n) e^{-j2\pi mk / N} ; 0 \leq k < N \tag{3-3}$$

- เมื่อ  $N$  คือจำนวนข้อมูลในกรอบสัญญาณ
- $x(n)$  คือสัญญาณเสียงของรถยนต์
- $k$  คือลำดับของกรอบสัญญาณ
- $w(n)$  คือฟังก์ชันกรอบสัญญาณ

แต่เนื่องจากข้อมูลเข้าเป็นจำนวนจริง ทำให้ผลที่ได้สมมาตร จึงพิจารณาเพียงครึ่งเดียว

$$0 \leq k < \frac{N}{2} - 1$$

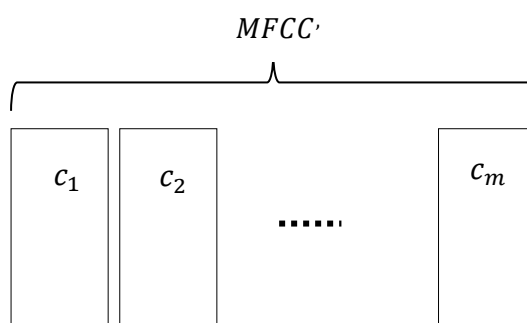
3.5.2.3 นำสัญญาณสเปกตรัมที่ผ่านขั้นตอนการแปลงสัญญาณฟูรีเยร์แบบเร็วส่งผ่านชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ เพื่อเน้นความสำคัญของความถี่ที่อยู่ในช่วงกลางของชุดตัวกรองแต่ละตัวกรอง โดยใช้ชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ 12 ตัวหรือ 12 สัมประสิทธิ์ คำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละชุดตัวกรองได้โดยใช้สมการ (2-10) ในการออกแบบชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ นำความถี่ที่สัมพันธ์อย่าง ( $fs/2$ ) มา คำนวณหาความถี่บนเมลสเกลตามสมการที่ (2-9) เมื่อได้ความถี่ที่อยู่ในรูปสเกลเมลแล้ว นำมาแบ่งเท่าๆ กันบนสเกลเมลตามขนาดชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ แล้วแปลงความถี่บนสเกลเมล ( mel) มาเป็นความถี่ปกติ ( $f$ ) ตามสมการที่ (3-4)

$$f(mel) = 700 * \left( 10^{\frac{mel}{2595}} \right) - 1 \quad (3-4)$$

3.5.2.4 คำนวณสัมประสิทธิ์เซปสตรัม โดยการแปลงแบบโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง (DCT) สัญญาณเสียงในกรอบหน้าต่าง  $n=400$  หลังจากแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยหาขนาดกำลังสอง และผ่านการกรองด้วยชุดตัวกรองฟิลเตอร์แบงก์ นำมาหาค่าลอการิทึมและเข้าสู่วิธีการแปลงโคไซน์แบบไม่ต่อเนื่องตามสมการที่ (2-11)

ทำการวางกรอบหน้าต่าง เหลื่อมซ้อนไป 160 ตัวอย่างไปเรื่อยๆ เริ่มจากจุดเริ่มต้นของสัญญาณเสียงจนถึงจุดสิ้นสุดของสัญญาณเสียง

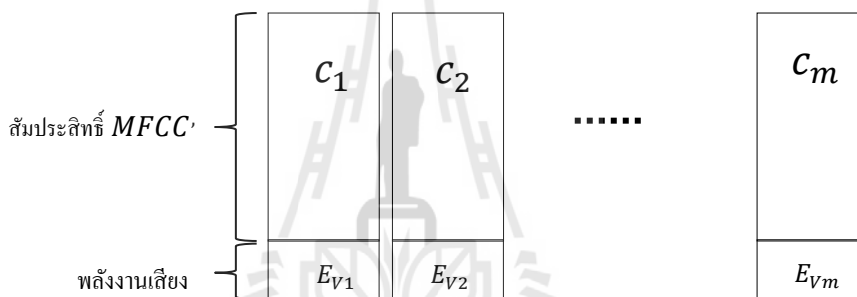
3.5.2.5 การหาค่าลักษณะสำคัญอื่น ๆ ของค่า MFCC ส่วนที่เป็นเวกเตอร์แถว ต้องถูกเปลี่ยนเป็นเวกเตอร์ด้วยการทรานสโพส ได้แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สัมประสิทธิ์ MFCC ที่เปลี่ยนเป็นเวกเตอร์หลัก

3.5.2.6 การหาค่าพลังงานเสียง ใช้คุณลักษณะค่าสำคัญของพลังงานลอการิทึมของสัญญาณเสียง โดยคำนวณได้จากความแตกต่างของพลังงานระหว่างหน่วยของเสียง จะแสดงว่าพลังงานนี้เป็นคุณสมบัติที่ดีในการแบ่งแยกระหว่างของเสียง พลังงานจะถูกประมวลผลภายในหน้าต่างสี่เหลี่ยม  $N=400$  ในลักษณะลอการิทึมของสัญญาณ พลังงานเสียงซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-5) เมื่อได้ค่าพลังงานเสียงในแต่ละเฟรม ต้องนำไปต่อท้ายค่าสัมประสิทธิ์ MFCC ได้แสดงในรูปที่ 3.13 การประกอบค่าพลังงานเสียงในเวกเตอร์

$$E_v = \log_{10} \sum_{n=1}^N s^2(n) \tag{3-5}$$



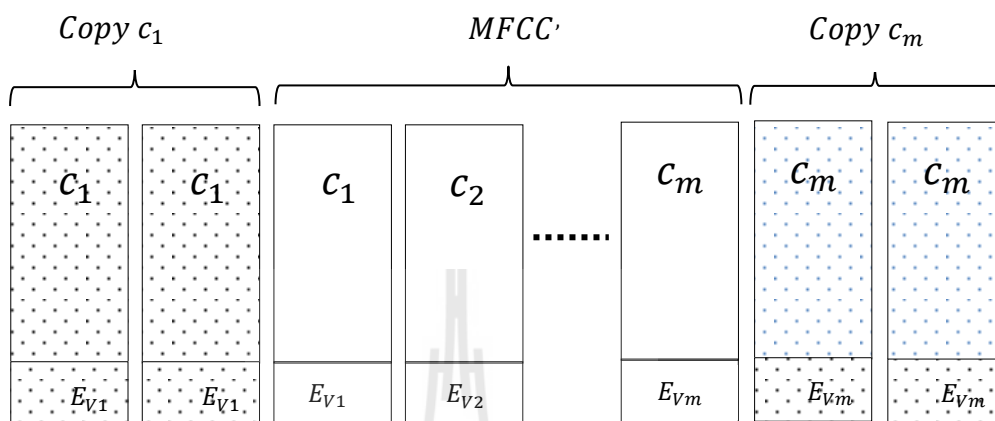
รูปที่ 3.13 การประกอบค่าพลังงานเสียงในเวกเตอร์

3.5.2.7 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงสตรึม MFCC และพลังงานเสียง ทางเวลาจากสัมประสิทธิ์ MFCC ที่เปลี่ยนเป็นเวกเตอร์หลักและพลังงานเสียง ขยายเวกเตอร์ด้านริมออกไปอีกข้างละ 2 หลัก ได้แสดงในรูปที่ 3.14 ค่าคงที่  $M$  นิยมใช้คือ 2 ดังนั้นจากสมการที่ (3-6) จะได้ตามสมการที่ (3-7)

$$\frac{\partial c_m(t)}{\partial t} = \Delta c_m(t) \approx \left[ \frac{\sum_{k=-M}^M c_m(t+k)k}{\sum_{k=-M}^M k^2} \right] \tag{3-6}$$

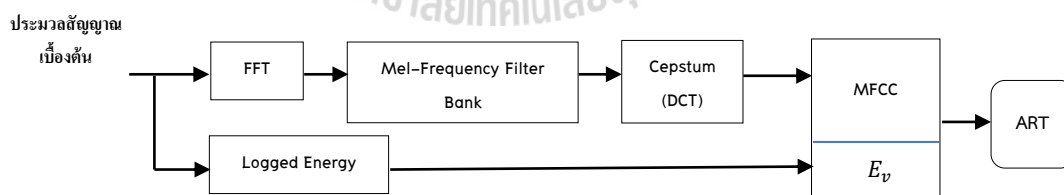
เมื่อ  $c_m$  คือ สัมประสิทธิ์เชิงสตรึมลำดับที่  $m$  ณ เวลา  $t$   
 $M$  คือค่าคงที่

$$\Delta c_m = 2(c_m(t + 2)) + (c_m(t + 1) - c_m(t - 1)) \tag{3-7}$$



รูปที่ 3.14 การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเซปตรัม MFCC และพลังงานเสียงทางเวลา

เมื่อคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเซปตรัม MFCC และพลังงานเสียงทางเวลา นำค่าที่ได้ต่อท้ายเวกเตอร์ในแต่ละหลัก เช่นเดียวกับการคำนวณค่าพลังงานเสียง การหาค่าคุณลักษณะสำคัญ เพื่อหาเวกเตอร์ที่ป้อนเข้าสู่เครือข่ายประสาทเทียม ได้แสดงในรูปที่ 3.15 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้าเครือข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนนำข้อมูลเข้าเครือข่ายประสาทเทียม

### 3.5.3 ขั้นตอนการรู้จำรูปแบบ

การทดสอบความคล้ายคลึงกันของรูปแบบ และกฎเกณฑ์การตัดสินใจเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นการจดจำรูปแบบที่ไม่แน่นอน

เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบ ที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้

เครือข่ายประสาทแบบอะแดปทีฟเรโซแนนซ์ ทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว หรือเครือข่าย ART (Adaptive Resonance Theory Network) ถูกพัฒนาโดย Carpenter และ Grossberg ได้แก่ ART1 ถูกออกแบบมาสำหรับรับค่าอินพุตแบบไบนารีและART2 สำหรับรับค่าอินพุตแบบต่อเนื่อง เครือข่าย ART เหล่านี้ เป็นเครือข่ายประสาทเทียมแบบไม่มีการฝึกสอน

โดยเมื่อทำการป้อนค่าให้เครือข่าย เครือข่ายจะจดจำข้อมูลเป็นกลุ่มข้อมูลชุดที่ 1 เมื่อป้อนข้อมูลใหม่ที่มีค่าแตกต่างจากข้อมูลชุดแรก ระบบจะทำการเพิ่มกลุ่มข้อมูลใหม่เพื่อเก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากเครือข่ายประสาทเทียมแบบอื่น เมื่อทำการป้อนข้อมูลให้เครือข่ายด้วยข้อมูลชุดที่ 1 แล้วต้องการเพิ่มข้อมูลใหม่ให้เครือข่ายเรียนรู้เพิ่มเติม จำเป็นจะต้องทำการฝึกสอนเครือข่ายใหม่อีกครั้ง ด้วยข้อมูลชุดใหม่นั้น และทำให้เครือข่าย ลืมความรู้เก่าที่ได้เรียนรู้มาจากข้อมูลชุดเดิม ซึ่งปัญหานี้เรียกว่าทวิบาลเสถียรภาพสภาพพลาสติก (stability-plasticity dilemma) (Guo, Li, and Chan, 1998)

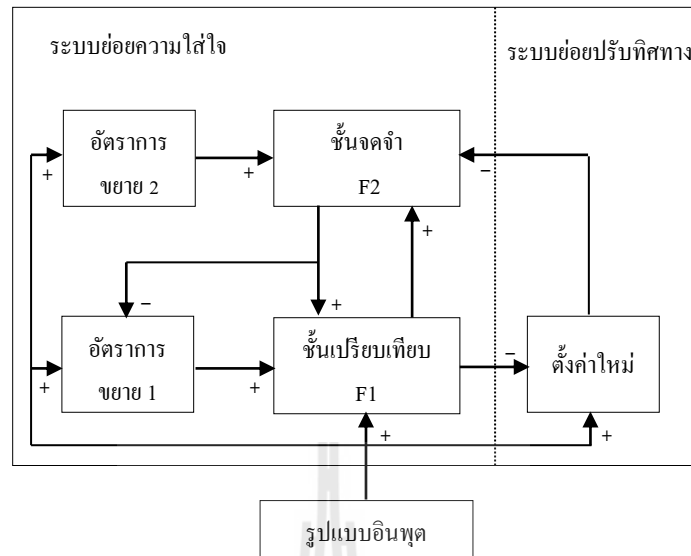
ดังนั้น Carpenter และ Grossberg (1991) จึงได้พัฒนาเครือข่าย ART เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว กล่าวคือเครือข่าย ART มีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการ ดังนี้

- 1) สามารถคงความรู้ที่เคยเรียนรู้หรือรูปแบบที่เรียนรู้มาแล้วได้ (stability)
- 2) สามารถเรียนรู้ความรู้หรือรูปแบบใหม่เพิ่มเติมได้ไปพร้อมๆ กัน (plasticity)

3.4.3.1 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย ART เป็นเครือข่ายประสาทเทียมแบบ ไม่มีการฝึกสอน โดยใช้กฎการเรียนรู้แบบแข่งขัน แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ระบบย่อย คือ

- 1) ระบบย่อยความใส่ใจ (attentional subsystem) มีโครงสร้างแบบ 2 ชั้น
  - 1.1) ชั้นเปรียบเทียบ (comparison layer: F1)
  - 1.2) ชั้นจดจำ (recognition layer: F2)
- 2) ระบบย่อยปรับทิศทาง (orienting subsystem) ทำการปรับเทียบค่าน้ำหนักประสาทให้มีความสอดคล้องกับค่าอินพุตของระบบที่เข้ามา

เครือข่ายประสาทเทียม ART ที่ได้รับการฝึกสอนแล้ว จะเก็บค่าข้อมูลอยู่ในรูปของค่าน้ำหนักประสาท (weight) โดยในชั้นเปรียบเทียบจะนำข้อมูลอินพุต (input data) ที่เข้ามามาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักประสาท ของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในชั้นจดจำ เรียกค่านี้อีกว่า ค่าเทียบเคียง



รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานของเครือข่าย ART

ถ้าข้อมูลอินพุตมีค่าสอดคล้องกับค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มใด ค่าเทียบเคียงที่ได้จากการเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักประสาทกลุ่มนั้น จะมีค่าน้อย และทำการคัดแยกกลุ่มข้อมูลอินพุต โดยการเปรียบเทียบค่าสอดคล้อง (vigilance:  $\rho$ ) กับค่าเทียบเคียง ถ้าข้อมูลที่ได้มีค่าเทียบเคียงมากกว่าค่าสอดคล้อง ระบบจะทำการปรับค่าน้ำหนักประสาทของกลุ่มข้อมูลนั้น เพื่อทำการเก็บค่าข้อมูลใหม่ในกลุ่มที่มีค่าสอดคล้องกัน

ถ้าข้อมูลที่ได้มีค่าเทียบเคียงน้อยกว่าค่าสอดคล้อง แสดงว่าข้อมูลอินพุตนั้นไม่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักประสาทในกลุ่มนั้น ระบบจะส่งค่าน้ำหนักประสาทของกลุ่มใหม่มาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอินพุตต่อไป แต่ถ้าข้อมูลอินพุตนั้นไม่สอดคล้องกับกลุ่มข้อมูลในชั้นจดจำกลุ่มใดเลย ระบบจะทำการสร้างกลุ่มใหม่และเก็บข้อมูลอินพุตนั้นไว้ในกลุ่มใหม่

3.4.3.2 ประเภทของเครือข่าย ART สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท โดยจะแตกต่างกันไปตามข้อมูลที่รับเข้ามาและรูปแบบของการเรียนรู้ ได้แก่

- 1) เครือข่าย ART1 (Carpenter and Grossberg, 1987) เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด โดยจะรับข้อมูลอินพุตที่มีค่าเป็น 0 และ 1 เท่านั้น โดยข้อมูลอินพุตจะส่งให้ชั้นเปรียบเทียบ F1 ตัดสินใจว่าข้อมูลอินพุตนั้นควรเป็นข้อมูลกลุ่มใดสมการที่ (3-8) และสมการที่ (3-9)

$$Y_j = \sum_{i=1}^n (b_{ij} I_i) \quad (3-8)$$

$$Y_j = \text{Max}(Y_j) \quad (3-9)$$

โดย  $I$  คือ อินพุตของระบบ

$b$  คือ ไบอัส ของระบบ

$Y_j$  คือ ค่ามากที่สุดของกลุ่ม

2) เครื่องข่าย ART (Carpenter and Grossberg, 1987) เป็นระบบ ที่ทำการพัฒนาต่อจาก ART1 ให้สามารถรับข้อมูลเชิงอุปมาน (analog data) จึงมีโครงสร้างของระบบที่ซับซ้อนมากกว่า ART1 โดยที่ ART2 นั้นจะมีโครงสร้างเหมือนกับ ART1 ยกเว้นในชั้นเปรียบเทียบ F1 จะทำการเพิ่มชั้นย่อย (sublayers) เพื่อให้สามารถรับข้อมูลแบบเชิงอุปมานได้ โดยข้อมูลอินพุตเชิงอุปมานนั้นมีขนาดใหญ่และมีความแตกต่างของข้อมูลมากกว่า ข้อมูลอินพุตที่มีค่าเป็น 0 และ 1 เท่านั้น ข้อมูลที่ป้อนให้เครื่องข่าย ART1 คั้งนั้นชั้นย่อยที่เพิ่มมาในชั้นเปรียบเทียบ F1 จึงทำหน้าที่ ย่อยข้อมูลขนาดใหญ่ให้เล็กลงตามสมการที่ (3-10)

$$f(x) = \begin{cases} x & \text{if } x \geq \theta \\ 0 & \text{if } x < \theta \end{cases} \quad (3-10)$$

โดย  $\theta$  เป็นค่าที่ผู้ใช้เครื่องข่ายกำหนดเลือกค่าตามความเหมาะสมของข้อมูลอินพุต

3) เครื่องข่าย ARTMAP (Carpenter, Grossberg, and Reynolds, 1991) เป็นระบบที่มีผู้ฝึกสอน (supervised) และเสมือนมีเครื่องข่าย ART 2 ชุด โดยชุดแรกจะทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุตและชุดที่ 2 รับข้อมูลเอาท์พุต ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอินพุต ระบบจะทำการเรียนรู้จากความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตกับเอาท์พุตนั้น

โดยคำว่า ARTMAP นั้นมีความหมายว่า ระบบจะดำเนินการเรียนรู้เพื่อจับคู่ หรือแมช (match) ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ถูกต้อง โดยอินพุตก่อนเข้าเครือข่ายต้องผ่านการเข้ารหัสแบบเติมเต็ม (complement coder) เพื่อปรับข้อมูลอินพุตให้มีขนาดเป็นสองเท่า ทำให้เครือข่ายสามารถพิจารณาขอบเขตของรูปแบบข้อมูลได้ครอบคลุมขึ้น จากนั้นส่งข้อมูลไปทำการเปรียบเทียบเพื่อหากลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบด้วยสมการที่ (3-11) และสมการที่ (3-12)

$$Y_j(I) = \left| \frac{I \cap w_j}{\alpha + |w_j|} \right| \quad (3-11)$$

$$Y(I)_j = \text{Max}(Y_j) \quad (3-12)$$

เมื่อ  $\cap$  ในสมการที่ (3-11) คือตรรกศาสตร์ส่วนร่วมรวม (logical AND - intersection) เป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์แสดงการรวมกันของข้อมูลอินพุต และค่าน้ำหนักประสาทที่มีค่าเหมือนกัน โดยกำหนดให้ค่า  $\alpha$  มีค่าน้อยมากๆ และ  $Y_j$  คือกลุ่มที่มีความสอดคล้องกับอินพุตมากที่สุด

- 4) เครือข่าย fuzzy ART หรือ fuzzy ARTMAP (Carpenter, Grossberg, and Rosen, 1992) เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนามาจากเครือข่าย ART และเครือข่าย ARTMAP โดยนำตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) มารวมกับเครือข่าย ดังนั้นในการเปรียบเทียบข้อมูลอินพุตกับค่าน้ำหนักประสาทจึงใช้กฎตรรกศาสตร์มาพิจารณาด้วยสมการที่ (3-13) และสมการที่ (3-14)

$$T_j(I) = \left| \frac{I \wedge w_j}{\alpha + |w_j|} \right| \quad (3-13)$$

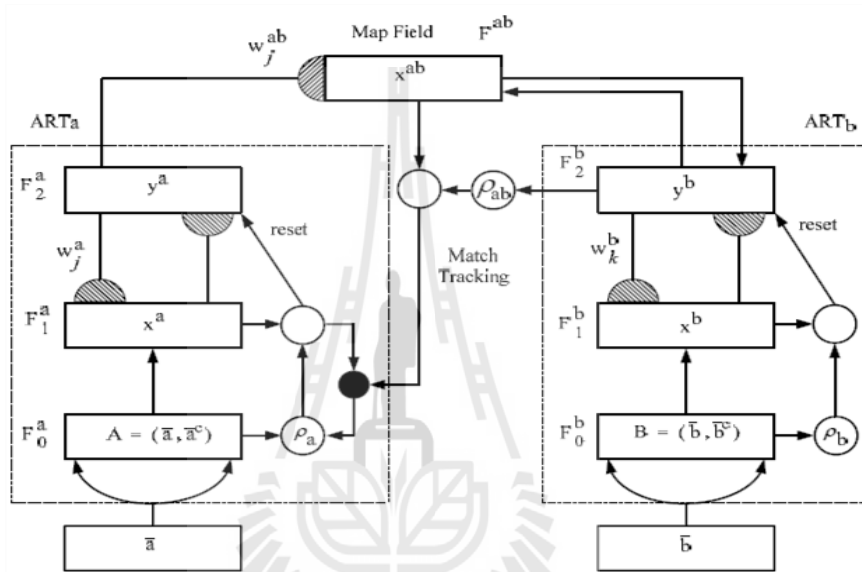
$$\text{Winner} = \text{Max}(T_j) \quad (3-14)$$

เมื่อ  $\wedge$  ในสมการที่ (3-13) คือตรรกศาสตร์คลุมเครือค่ารวมต่ำสุด (fuzzy AND - minimum) เป็นสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์แสดงการรวมกันของข้อมูลอินพุตและค่าน้ำหนัก



ประสาทโดยพิจารณาค่าที่ต่ำที่สุดในการรวมกัน และถ้าค่า  $T_j$  มีค่ามากที่สุดมากกว่า 1 ค่า ระบบ จะทำการเลือกเอาต์พุตของข้อมูลกลุ่มแรก เป็นกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดของอินพุตนั้น สถาปัตยกรรม ของ fuzzy ARTMAP ประกอบด้วย ARTa และ ARTb

ในระหว่างการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน ได้กำหนดชุดของอินพุต  $(\bar{a}, \bar{b})$  โดยมี  $F^{ab}$  ซึ่งเป็น โมดูลระหว่าง ART หรือเรียกว่าสนามส่ง (map field) เป็นตัวเชื่อมต่อ ARTa และ ARTb สถาปัตยกรรมของ fuzzy ARTMAP ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย fuzzy ARTMAP (Carpenter et al., 1992)

การทำงานของระบบ เริ่มที่ตัวดำเนินการแปลงผ่านการเข้ารหัสแบบเติมเต็ม ARTa และ ARTb จะแปลงรูปแบบอินพุต  $\bar{a}$  และ  $\bar{b}$  ให้เป็นอินพุตแบบเติมเต็ม แทนด้วย  $A = (\bar{a}, \bar{a}^c)$  และ  $B = (\bar{b}, \bar{b}^c)$  โดย  $F_1^a$  และ  $F_1^b$  จะรับ A และ B เป็นอินพุต

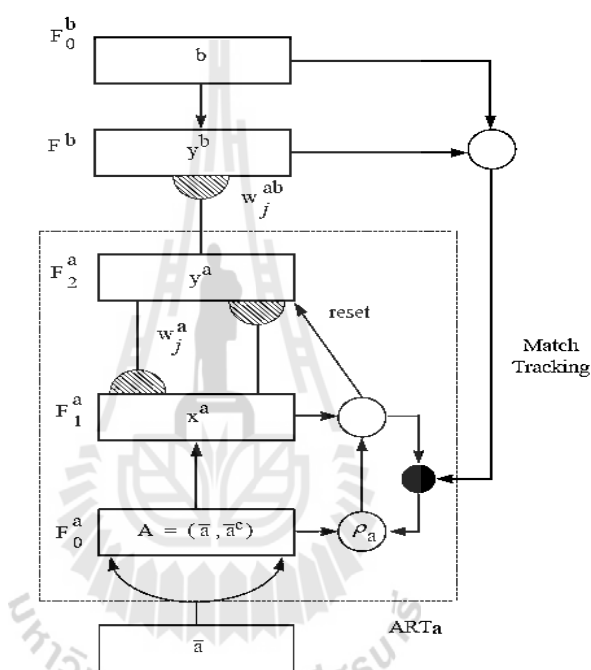
ถ้าการทำนาย ซึ่งทำขึ้นโดย ARTa ถ้าไม่ถูกต้องหรือได้รับการยืนยันที่ ARTb ก็จะทำให้เกิดการขัดขวาง ของการกระตุ้นสนามส่ง นั่นคือกระบวนการ match tracking

match tracking ทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์สอดคล้องของ ARTa ที่  $F_1^a$  และ  $F_0^a$  ให้เหมาะสมและเป็นการกระตุ้น ARTa ให้ทำนายได้อย่างถูกต้อง

- simplified fuzzy ARTMAP (SFAM) (Kasuba, 1993) ก็ อ รูปแบบที่ง่ายของ fuzzy ARTMAP โดยที่สนามส่ง และ ARTb

ถูกลดให้เป็น สนามเดี่ยว (single field)  $F^b$  สถาปัตยกรรมของ simplified fuzzy ARTMAP ดังแสดง ในรูปที่ 3.18 SFAM ได้ลดค่าดำเนินการที่เกี่ยวกับการคำนวณ และความซับซ้อนที่มากเกินไปเมื่อเทียบกับแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ยังใช้สมการการเรียนรู้ที่ง่ายและ สามารถเรียนรู้ตัวอย่างหรือรูปแบบด้วยจำนวนรอบที่น้อยครั้งของการฝึกสอนซ้ำ

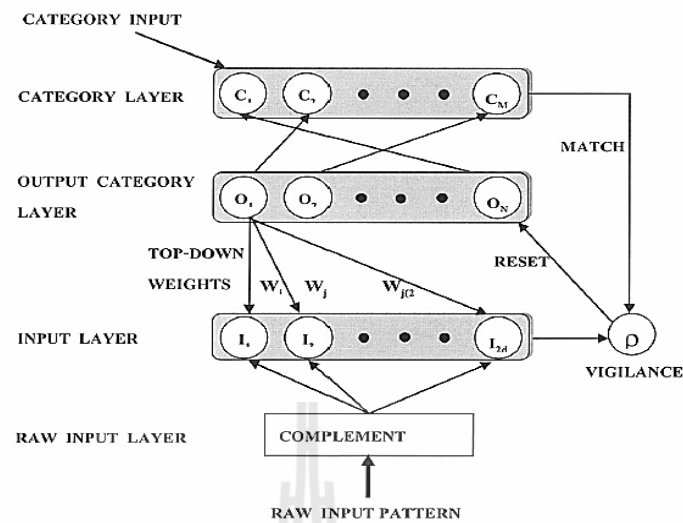


รูปที่ 3.18 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP (Kasuba., 1993)

เครือข่าย SFAM มีจำนวนชั้นการทำงานทั้งหมด 4 ชั้น (Layer) คือ

- 1.) ชั้นการเข้ารหัสแบบเติมเต็ม (complement coder layer)
- 2.) ชั้นอินพุต (input layer)
- 3.) ชั้นกลุ่มเอาต์พุต (output category layer)
- 4.) ชั้นการแบ่งประเภทกลุ่ม (category layer)

แสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 simplified fuzzy ARTMAP  
(Kasuba., 1993)

### 3.6 ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเดี่ยวด้วยเครือข่าย ART

ค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้ ถูกนำมาเป็นอินพุตของเครือข่าย ART ซึ่งเมื่อพิจารณาจากลักษณะสถาปัตยกรรม และการทำงานของระบบแล้ว ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครือข่าย ART แบบ simplified fuzzy ARTMAP (SFAM) ซึ่งเป็นเครือข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่ง ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากการส่งผ่านทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวด้วยพีชคณิต โครงสร้างของเครือข่าย SFAM จะถูกลดความซ้ำซ้อน (redundancy) ทำให้มีความเร็วของการคำนวณที่รวดเร็วกว่า FAM นอกจากนี้จะมีชั้นการแบ่งประเภทกลุ่ม ที่มีการรับเอาชั้นอินพุตเข้ามา

ลักษณะพิเศษนี้ทำให้เครือข่าย SFAM สามารถแก้ปัญหากรณีข้อมูลที่อินพุตที่เข้ามาเป็น nonlinear decision region คือการจัดประเภทกลุ่มชุดข้อมูลโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

ทั้งนี้จะมีการเข้ารหัสแบบเติมเต็มให้กับอินพุตเวกเตอร์ ก่อนที่จะเข้าสู่เครือข่าย SFAM เนื่องจากการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize) และเพิ่มขยายข้อมูลอินพุต ให้มีขนาดเป็นสองเท่าของชุดข้อมูลเดิมเพื่อช่วยให้เครือข่าย SFAM ได้ทำการตัดสินใจได้ดีขึ้น ซึ่งเครือข่าย SFAM ยังคงคุณสมบัติสำคัญอยู่ 2 ประการคือ

- 1.) สามารถคงความรู้ที่เคยเรียนรู้รูปแบบหรือชนิดของรูปแบบมาแล้วได้
- 2.) สามารถที่จะเรียนรู้รูปแบบใหม่ๆ ไปพร้อมกันได้

จากสถาปัตยกรรมของเครือข่าย SFAM สัญลักษณ์  $\rho$  จะใช้แทนถึงค่าพารามิเตอร์ สอดส่อง ซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าพารามิเตอร์สอดส่องจะเป็นพารามิเตอร์เดียวที่ผู้ใช้เครือข่าย สามารถกำหนดค่าเริ่มต้นได้

ค่าพารามิเตอร์สอดส่องจะเป็นค่าที่ควบคุมการจัดกลุ่มของเอ้าท์พุท โหนด โดยกลุ่มรูปแบบ อินพุทจะต้องมีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด ถึงจะสามารถจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ ยิ่งถ้าค่าพารามิเตอร์สอดส่องมีค่าสูง ก็ยิ่งจะต้องมีความเหมือนกันมากจึงจะจัดอยู่ในกลุ่มเอ้าท์พุท เดียวกันได้ ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์สอดส่องยิ่งสูง ทำให้จำนวน โหนดของเอ้าท์พุทการแบ่งประเภทกลุ่ม ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนการทำ match tracking เป็นส่วนที่เครือข่ายจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์สอดส่อง ระหว่างการเรียนรู้ โดยจะทำการเพิ่มค่าขึ้นจากค่าน้อยที่สุดที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด การเพิ่มค่าจะเกิดขึ้น เมื่อมีความผิดพลาด ในการจำแนกชนิดข้อมูลในระหว่างช่วงของการสอนเครือข่าย ในการทำ match tracking นั้น เพื่อให้มีการพิจารณาเอ้าท์พุท โหนดใหม่ขึ้นมา หรือก็คือการลดขนาดของ ขอบเขตกลุ่มลง (ขอบเขตในการพิจารณาว่ากลุ่มข้อมูลข้อมูลรูปแบบอินพุทนั้น ๆ อยู่ภายในกลุ่ม เดียวกันหรือไม่ถ้าอยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีขนาดเล็กลง)

### 3.7 กระบวนการทำงานของเครือข่าย SFAM

อินพุทที่เข้ามาจะต้องผ่านกระบวนการเข้ารหัสแบบเติมเต็ม กล่าวคือถ้ากลุ่มอินพุท เวกเตอร์  $a$  มีจำนวนพีเจอร์ทั้งหมด  $d$  พีเจอร์ เวกเตอร์ที่ได้รับการเข้ารหัสแบบเติมเต็ม  $\bar{a}$  สามารถ กำหนดอยู่ในรูปสมการที่ (3-15)

$$\bar{a} = 1 - a \quad (3-15)$$

โดย  $a$  คือโอเคนเวกเตอร์

เนื่องจากเครือข่ายนี้ เป็นการดำเนินการที่ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ดังนั้นอินพุททั้งหมด ในเครือข่าย SFAM จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 อินพุทเวกเตอร์ที่ได้รับการดำเนินการเข้ารหัสแบบ เติมเต็ม จะมีขนาดความยาวเป็นสองเท่าคือ  $2d$  และสามารถแทนค่าของอินพุทได้ดังสมการที่ (3-16) และสมการที่ (3-17) ตามลำดับ

$$I = (a, \bar{a}) = (a_1, \dots, a_d, \bar{a}_1, \dots, \bar{a}_d) \quad (3-16)$$

$$|I| = (a, \bar{a}) = \sum_{i=1}^d a_i + \left( d - \sum_{i=1}^d a_i \right) = d \quad (3-17)$$

โดย  $I$  คือข้อมูลส่วนเติมเต็ม  
เมื่อค่า  $| \cdot |$  สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$|p| = \sum_{i=1}^d p_i \quad (3-18)$$

กระบวนการทำงานของเครือข่ายนี้ จำเป็นต้องมีวิธีการในการที่จะกระตุ้นการตอบสนองของชั้นเอาต์พุตที่มีต่ออินพุตที่เข้ามาในเครือข่าย เมื่อ  $I$  คืออินพุตที่อยู่ในรูปที่ได้รับการดำเนินการเข้ารหัสแบบเติมเต็มแล้ว ค่าการกระตุ้นของเอาต์พุตสำหรับเอาต์พุตโนดลำดับที่  $j$  สามารถเขียนแทนด้วย  $T_j$  และมีค่าน้ำหนัก  $w_j$  ฟังก์ชันในการคำนวณนี้ดังสมการที่ (3-13) ค่า  $\alpha$  จะได้รับการกำหนดให้เป็นค่าที่น้อยมากๆ ที่มีค่าเข้าใกล้ 0 ปกติจะให้มีค่าประมาณ 0.0000001 เอาต์พุตโนดที่จะเป็นโนดชนะคือโนดที่มีค่า  $T_j$  สูงที่สุดหาได้จากสมการที่ (3-14) ถ้ามี  $T_j$  ที่มีค่ามากกว่า 1 ค่า จะเลือกเอาต์พุตโนดของโนดที่  $j$  ซึ่งเป็น โนดแรกที่พบ ( $j$  มีค่าน้อยที่สุด) ชนิดของรูปแบบที่สัมพันธ์กับเอาต์พุต โนดที่ชนะก็คือ วิธีจำแนกประเภทของรูปแบบอินพุตที่เครือข่ายนี้ดำเนินการนั่นเอง

Match function เป็นการนำเอาอินพุตพีเจอร์มาเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนัก โดยจะนำมาพิจารณาร่วมกับค่าสอดคล้อง เพื่อดูว่าอินพุตมีความเหมือนกันกับเอาต์พุตโนดที่เกี่ยวข้องเพียงพอหรือไม่ หรือควรเพิ่มเอาต์พุตโนดเข้าไปในเครือข่าย เพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบอินพุตนี้ กล่าวคือ ถ้าค่าของ match function มีค่ามากกว่าค่าสอดคล้อง แสดงว่าเกิดสถานะที่เรียกว่า เรโซแนนซ์ ซึ่งเงื่อนไขนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.19)

$$\frac{|I \wedge w_j|}{d} \geq \rho \quad (3.19)$$

การเกิดเรโซแนนซ์หมายถึงเอาท์พุตโนดที่  $j$  นั้นดีพอที่จะเป็นตัวแทนของอินพุต  $I$  (เอาท์พุตที่  $j$  และอินพุต สามารถจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้) และจะทำการพิจารณาต่อไปว่าเอาท์พุตโนด  $j$  นั้นให้คำตอบเป็นชนิดเดียวกับรูปแบบของอินพุต  $I$  หรือไม่ ค่าน้ำหนักของเอาท์พุตโนด  $j$  จะได้รับการปรับค่าเพื่อทำการเรียนรู้โดยใช้อินพุต  $I$  ตัวนี้ แต่ถ้าค่าของชนิดเอาท์พุตโนดกับอินพุตไม่เหมือนกัน ค่าน้ำหนักจะไม่มีเปลี่ยนแปลงใด ๆ

โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อมีอินพุตตัวหนึ่งเข้ามาเพื่อให้ระบบทำการเรียนรู้จะมีเพียงเอาท์พุตโนดเดียวเท่านั้น ที่สามารถปรับค่าน้ำหนักได้เมื่อโนด  $j$  ซึ่งเป็นโนดที่ชนะและผ่านเงื่อนไขดังสมการที่ (3-19) รวมถึงมีเอาท์พุตชนิดเดียวกันกับโนด  $I$  ด้วยแล้ว ค่าน้ำหนักจะได้รับการปรับดังสมการที่ (3-20)

$$w_j^{new} = \beta(I \wedge w_j^{old}) + (1 - \beta)w_j^{old} \quad (3.20)$$

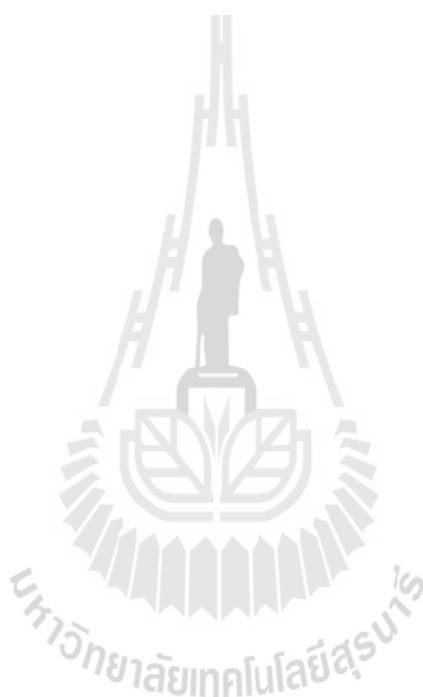
โดย  $w^{new}$  คือค่าน้ำหนักประสาทใหม่  
 $w^{old}$  คือค่าน้ำหนักประสาทเดิม  
 $\beta$  คือค่าอัตราการเรียนรู้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

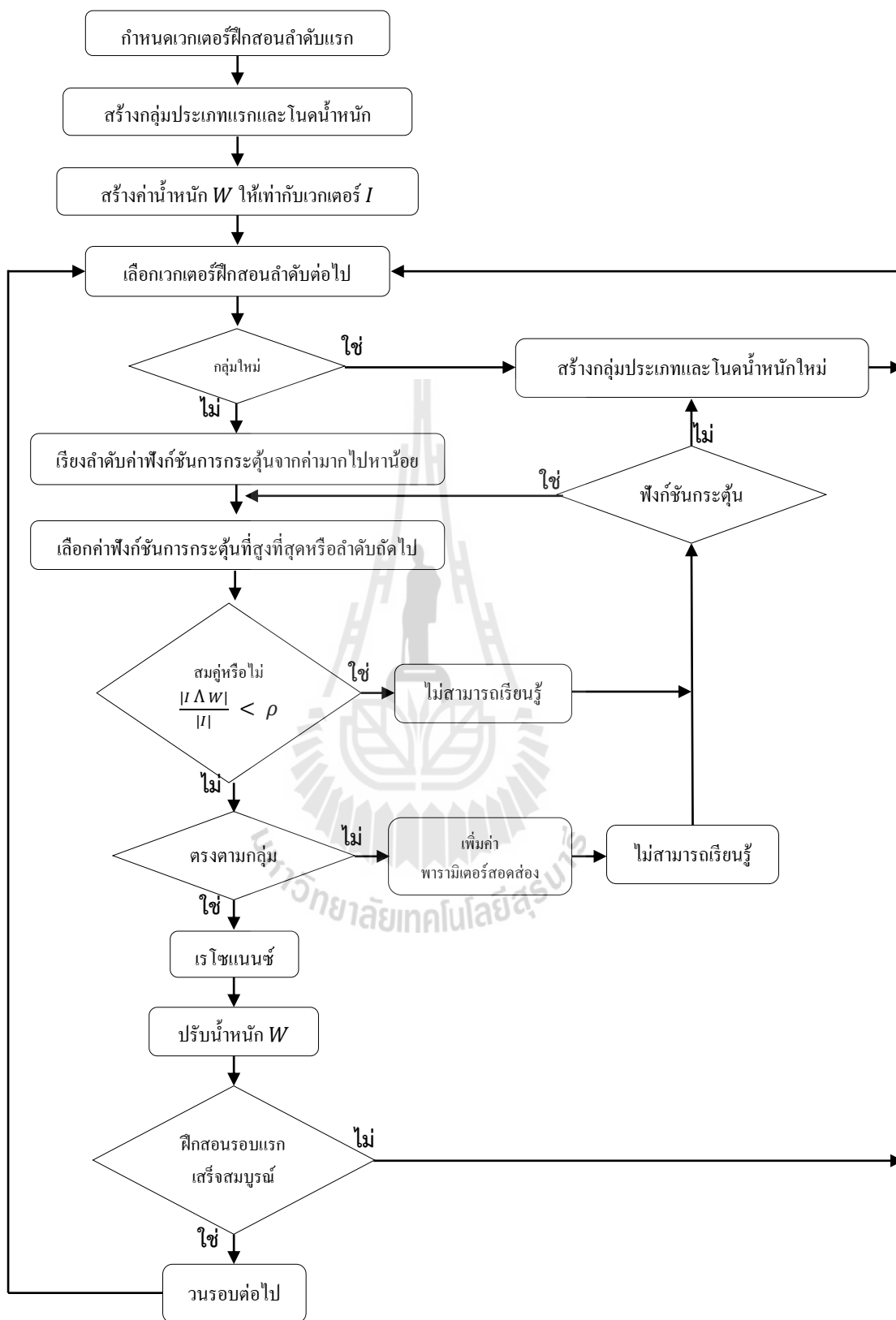
ค่า  $\beta$  คือค่าอัตราการเรียนรู้มีค่ามากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 ถ้า  $\beta$  ยิ่งมีค่ามาก การเรียนรู้ก็จะรวดเร็วมากยิ่งขึ้น หากต้องการให้การปรับค่าน้ำหนักง่ายขึ้น ทำให้ค่าอัตราการเรียนรู้เป็น 1 ดังนั้น การปรับค่าน้ำหนักจะสามารถเขียนอยู่ในรูปดังสมการที่ (3-21)

$$w_j^{new} = (I \wedge w_j^{old}) \quad (3.21)$$

ในกรณีที่เงื่อนไขของสมการ (3-21) เป็นเท็จ จะทำการเพิ่มค่าสอดคล้องขึ้นอีกเล็กน้อย และพิจารณาค่าของ  $T$  ของโนดที่มีค่ามากที่สุดถัดไป ถ้าพิจารณาจนครบแล้วไม่มีค่า  $T$  ใด ๆ ที่ไม่ผ่านเงื่อนไขนี้เลย หรือกรณีประเภทของอินพุต  $I$  กับประเภทที่ได้จากเอาท์พุตโนด  $J$  ที่ชนะเป็นคนละชนิดกัน จะทำการเพิ่มเอาท์พุตโนดใหม่อีกหนึ่งโนด โดยให้มีชนิดเป็นชนิดเดียวกันกับอินพุต  $I$  และมีค่าน้ำหนักเท่ากับค่าของอินพุต  $I$  ที่ได้รับการทำ

เข้ารหัสแบบเติมเต็มแล้ว และกรณีที่เป็นอินพุตแรกหรืออินพุตนั้นเป็นชนิดที่ยังไม่ได้รับการเรียนรู้มาก่อนจะทำการสร้างเอาต์พุต โหนดใหม่ที่มีชนิดเดียวกับอินพุตนั้น และมีค่าน้ำหนักเท่ากับค่าของอินพุตที่ได้รับการทำการเข้ารหัสแบบเติมเต็มแล้ว





รูปที่ 3.20 ลักษณะการทำงานของระบบ และการประยุกต์ใช้เครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP



### 3.8 สรุป

เนื้อหาภายในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอน และกระบวนการทดสอบระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆดังนี้

- 1) วิธีการเก็บข้อมูลของสัญญาณเสียง เพื่อนำมาเข้าสู่ระบบการทดสอบ
- 2) การเตรียมข้อมูลของสัญญาณเสียง การลดทอนสัญญาณรบกวน และกระบวนการหาคูณลักษณะเด่นของสัญญาณ
- 3) ใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยในเรื่องของการจดจำรูปแบบจำแนกประเภท โดยใช้เป็นกฎเกณฑ์การตัดสินใจ



## บทที่ 4

# ผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทาง ปัญญาประดิษฐ์

### 4.1 กล่าวนำ

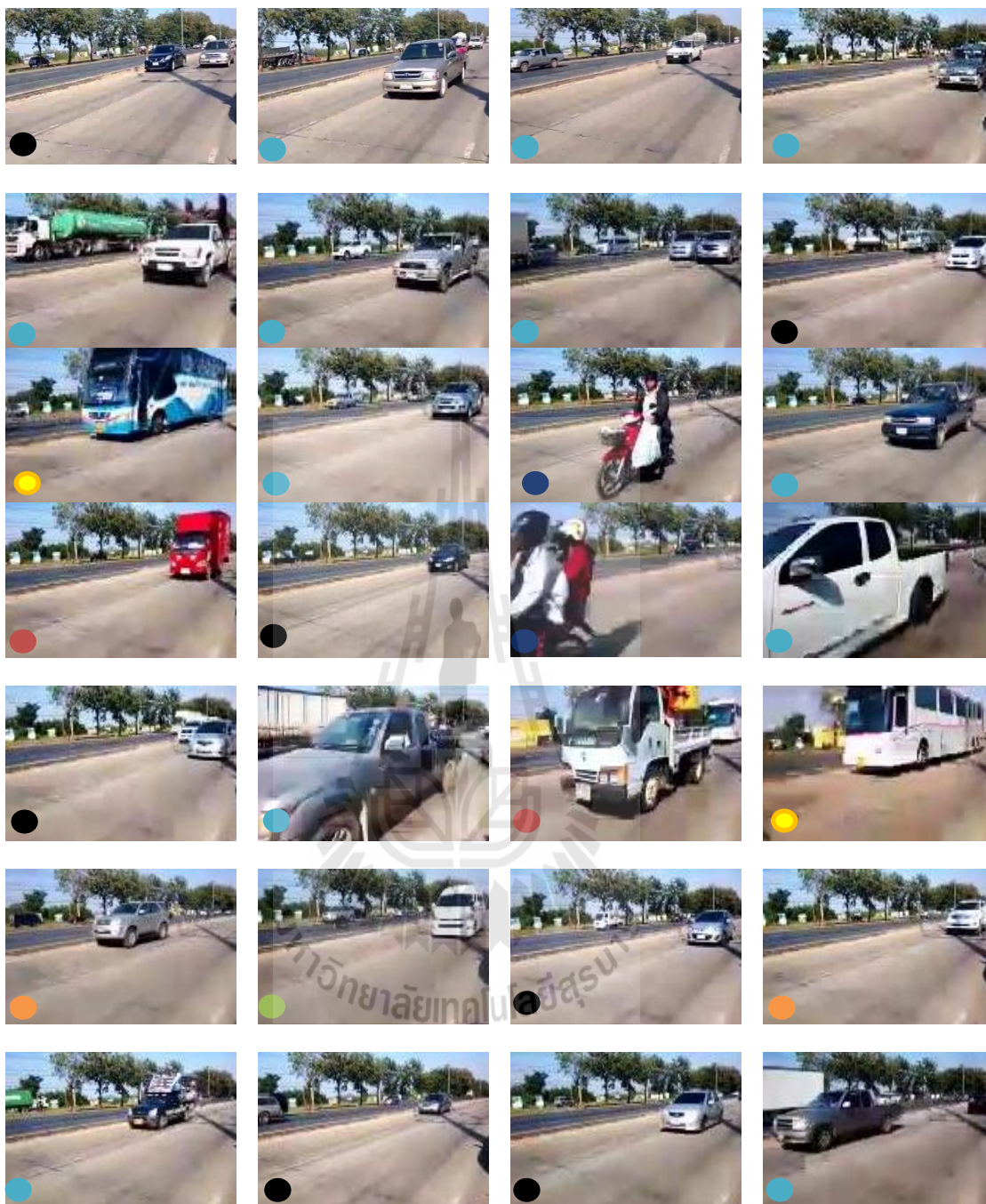
ในบทที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วยเครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP (SFAM) มาใช้เพื่อรู้จำ และจำแนกประเภท เริ่มต้นด้วยการฝึกสอน โครงข่าย SFAM ด้วยสัญญาณเสียงของรถยนต์ โดยแบ่งเป็นตามประเภทของรถยนต์ เช่น รถยนต์ ประเภทนั่งส่วนบุคคล รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง รถยนต์กระบะ รถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง รถยนต์ประเภทรถบรรทุก รถยนต์โดยสารประจำทาง และจักรยานยนต์ เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยเสียงที่ใช้ทดสอบได้จากการเก็บข้อมูลในสถานที่ ต่าง ๆ นำมาทดสอบระบบ ให้สามารถรู้จำและจำแนกประเภทสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 4.2 ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนมิตรภาพ

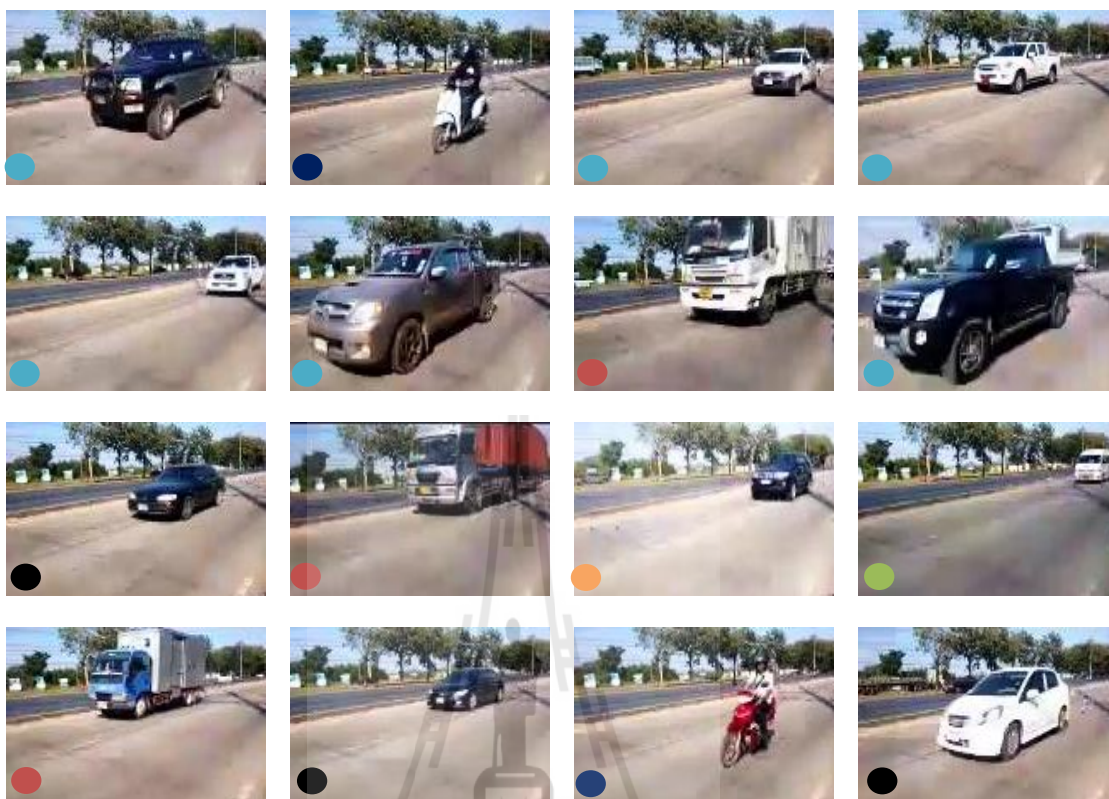
ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณเสียงของรถยนต์ ที่ได้จากถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย สถานีไฟฟ้าแรงสูงนครราชสีมาจำนวน 48 คัน โดยเก็บข้อมูลรถยนต์หลากหลายประเภท เช่น รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล รถเก๋ง 4 ประตูทั่วไป รถยนต์อเนกประสงค์ไม่เกิน 7 ที่นั่ง รถยนต์ประเภทกระบะ รถยนต์ประเภทรถตู้ รถยนต์ประเภทรถบรรทุก รถยนต์โดยสารสาธารณะ และรถจักรยานยนต์



รูปที่ 4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณเสียงของเสียงรถยนต์ จากถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา จำนวน 48 คัน



รูปที่ 4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ จากถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา จำนวน 48 คัน (ต่อ)



รูปที่ 4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ จากถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้า  
ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา จำนวน 48 คัน (ต่อ)

ตารางที่ 4.1 ตารางประเภทของรถยนต์ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้า  
ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา

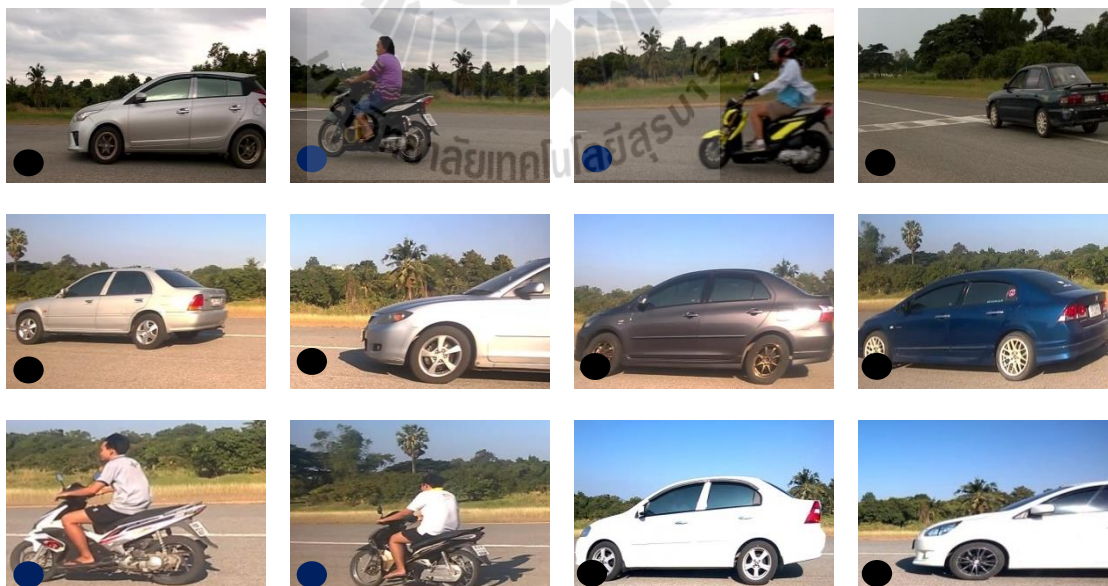
ประเภทของรถยนต์	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนที่เก็บ ข้อมูล
รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง		● 11 คัน
รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง		● 3 คัน
รถยนต์กระบะ		● 20 คัน
รถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง		● 2 คัน

ตารางที่ 4.1 ตารางประเภทของรถยนต์ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ถนนมิตรภาพด้านหน้าการไฟฟ้า ฝ้ายผลิตแห่งประเทศไทยสถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา (ต่อ)

ประเภทของรถยนต์	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนที่เก็บข้อมูล
รถยนต์ประเภทบรรทุกและรถพ่วง		● 6 คัน
รถยนต์โดยสารประจำทาง		● 2 คัน
จักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง		● 4 คัน








#### 4.3 ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก

ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณเสียงของรถยนต์ ที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรีจำนวน 12 คัน โดยเก็บข้อมูลรถยนต์ ได้สองประเภทได้แก่ รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคลรถเก๋ง 4 ประตูทั่วไป และรถจักรยานยนต์



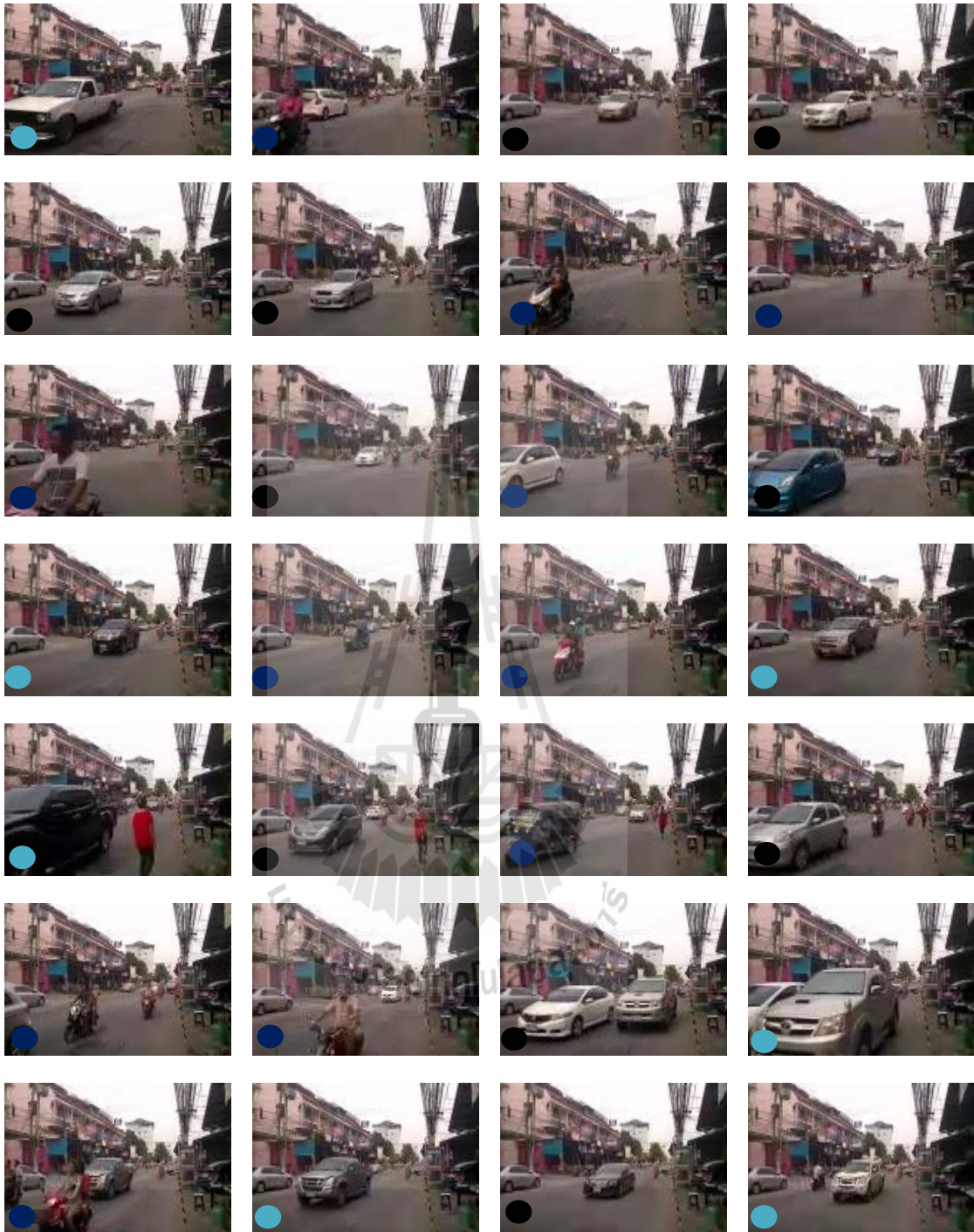
รูปที่ 4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ ที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี จำนวน 12 คัน

ตารางที่ 4.2 ตารางประเภทของรถยนต์ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก จ.ชลบุรี

ประเภทของรถยนต์	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนที่เก็บข้อมูล
รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง		● 8 คัน
รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง		● 0 คัน
รถยนต์กระบะ		● 0 คัน
รถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง		● 0 คัน
รถยนต์ประเภทบรรทุกและรถพ่วง		● 0 คัน
รถยนต์โดยสารประจำทาง		● 0 คัน
จักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง		● 4 คัน

#### 4.4 ข้อมูลของเสียงที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน

ถนนซอยวัดวังหิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณเสียงของรถยนต์ ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี จำนวน 40 คัน โดยเก็บข้อมูลรถยนต์หลายหลายประเภท เช่น รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคลรถเก๋ง 4 ประตูทั่วไป รถยนต์อเนกประสงค์ไม่เกิน 7 ที่นั่ง รถยนต์ประเภทกระบะ รถสามล้อเครื่องและรถจักรยานยนต์



รูปที่ 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี จำนวน 40 คั่น



รูปที่ 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณของเสียงรถยนต์ ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี จำนวน 40 คั่น (ต่อ)

ตารางที่ 4.3 ตารางประเภทของรถยนต์ ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี

ประเภทของรถยนต์	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนที่เก็บข้อมูล
รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง		● 15 คั่น
รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง		● 4 คั่น
รถยนต์กระบะ		● 7 คั่น
รถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง		● 0 คั่น
รถยนต์ประเภทรถบรรทุกและรถพ่วง		● 0 คั่น



ตารางที่ 4.3 ตารางประเภทของรถยนต์ ในกลุ่มตัวอย่าง ที่ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี (ต่อ)

รถยนต์โดยสารประจำทาง		● 0 คัน
จักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง		● 14 คัน

#### 4.5 การประยุกต์ใช้เครือข่าย simplified fuzzy ARTMAP

การประยุกต์ใช้เครือข่าย SFAM การรู้จำและการจำแนกประเภทของเสียงรถยนต์ เริ่มด้วยข้อมูลของสัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณ กระบวนการสกัดค่าลักษณะเด่น ซึ่งได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการที่ผ่านมา ทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่หนึ่ง (กลุ่มตัวอย่าง) ใช้ในการฝึกสอนเครือข่าย SFAM และกลุ่มที่สอง (กลุ่มทดสอบ) ใช้สำหรับทดสอบระบบ ตรวจสอบการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

##### 4.5.1 การเตรียมข้อมูลสำหรับการรู้จำและทำการฝึกสอน

ลักษณะของโปรแกรมการรู้จำและการจำแนกประเภทของเสียงรถยนต์ ด้วยเครือข่าย SFAM จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดเรียงข้อมูล ข้อมูลที่ใช้สำหรับการรู้จำและการจำแนกประเภทนั้น ประกอบด้วยค่าคุณลักษณะเด่น ซึ่งจัดเรียงข้อมูลในรูปแบบเมตริกซ์ขนาด  $13 \times 132$  ใช้ชื่อว่า data ประกอบด้วย (รถยนต์ 1 คันจะเท่ากับ 1 ชุดข้อมูล)

- 1) แถวที่ 1-12 เป็นข้อมูลค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ MFCC
- 2) แถวที่ 13 เป็นข้อมูลมูลค่าพลังงานเสียงทางเวลา

ตารางที่ 4.4 ตารางจัดเรียงข้อมูลก่อนนำเข้าไปสู่กระบวนการเรียนรู้และทดสอบ

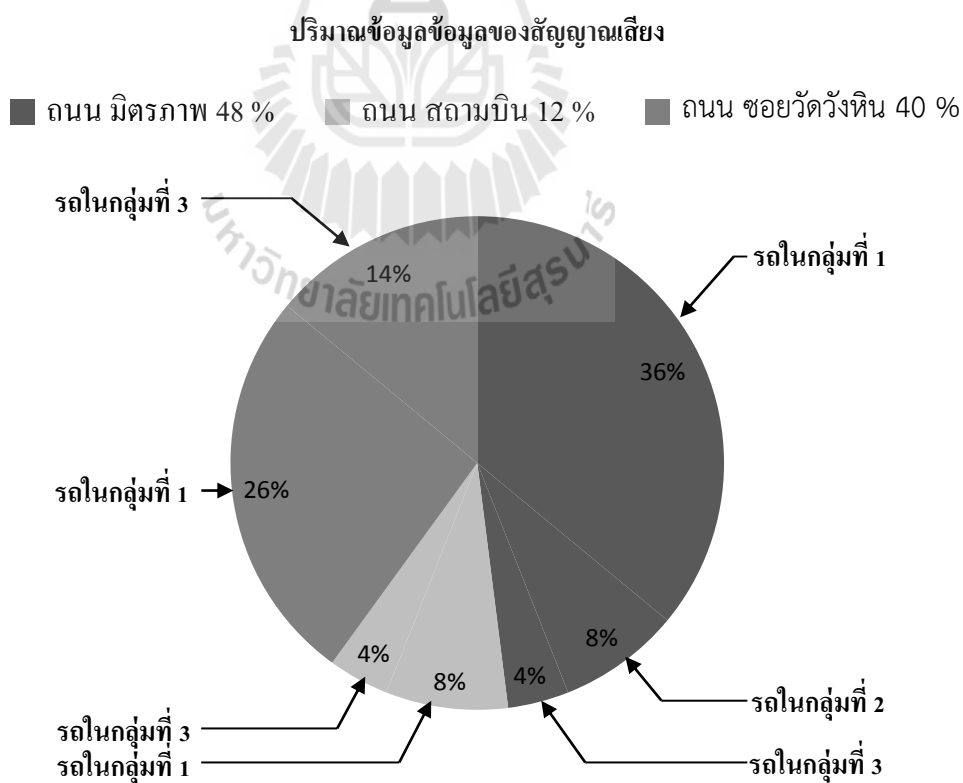
ค่าลักษณะสำคัญ	จำนวน	จำนวนรอบหน้าต่าง
MFCC	12	132
Energy	1	132
$\Delta$ MFCC+ Energy	13	132

ข้อมูลกลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์ ซึ่งจัดเรียงข้อมูลในรูปแบบเมตริกซ์ขนาด  $13 \times 1$  ใช้ชื่อว่า labels ประกอบด้วย

- 1) รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง รถยนต์กระบะและรถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่งเป็นกลุ่ม 1
- 2) รถยนต์ประเภทรถบรรทุกและรถพ่วง เป็นกลุ่ม 2
- 3) จักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง เป็นกลุ่ม 3

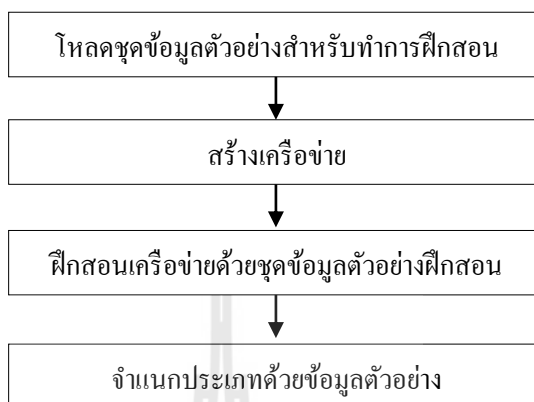
ตารางที่ 4.5 ตารางแบ่งกลุ่มหรือประเภทของรถยนต์

กลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์	ประเภทของรถยนต์
1	รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง รถยนต์กระบะและรถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง
2	รถยนต์ประเภทรถบรรทุกและรถพ่วง
3	จักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง



รูปที่ 4.4 ปริมาณข้อมูลของสัญญาณเสียงทั้ง 3 สถานที่ เก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 100 %

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เครือข่าย SFAM เพื่อทำการรู้จำและทำการฝึกสอนของกลุ่มตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการใช้อัลกอริทึมเครือข่าย SFAM เพื่อทำการรู้จำและทำการฝึกสอนของกลุ่มตัวอย่าง

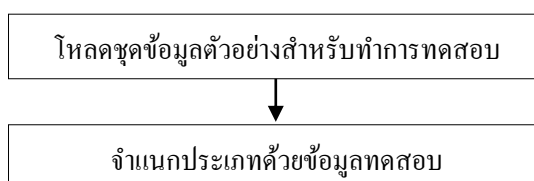
#### 4.5.2 การเตรียมข้อมูลสำหรับการทดสอบ

การจัดเรียงข้อมูลต้องจัดเรียงในลักษณะเดียวกับข้อมูลตัวอย่าง แต่ถ้าต้องการพื้นฐานข้อมูลฝึกสอนสามารถทำได้ โดยเพิ่มค่าคุณลักษณะเด่นของเสียงรถยนต์ในเมตริกซ์ “data” และเพิ่มข้อมูลกลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์ ในเมตริกซ์ “labels” โดยมีความสอดคล้องกันเหมือนข้อมูลครั้งแรกที่ทำการฝึกสอน

ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลฝึกสอน สามารถเก็บค่าข้อมูลที่ได้จากฝึกสอนเครือข่ายด้วยข้อมูลฝึกสอนดังกล่าว เพื่อใช้ในขั้นตอนการจำแนกประเภทในครั้งต่อ ๆ ไปได้

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้เครือข่าย SFAM เพื่อทดสอบของกลุ่มทดสอบแสดงดังรูปที่

4.6



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการใช้อัลกอริทึมเครือข่าย SFAM สำหรับการทดสอบ ของกลุ่มทดสอบ

#### 4.6 ผลการรู้จำและการจำแนกประเภทด้วยเครือข่าย SFAM

เมื่อได้ทำการทดสอบการรู้จำและการจำแนกประเภทของรถยนต์ ด้วยระบบตรวจจับการจราจรบนถนน เริงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งสถานที่ทดสอบทั้งหมดออกเป็น 3 สถานที่ ได้แก่ ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี และถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี ซึ่งทั้ง 3 สถานที่ ที่เก็บข้อมูลมานั้นจะแตกต่างกันด้วยปริมาณความหนาแน่นของการจราจร การใช้ความเร็ว และประเภทของรถยนต์ต่าง ๆ ที่ใช้งานจริงในสภาวะปกติ

ในกระบวนการฝึกสอนได้ทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง ที่เหมาะสมแต่ละสถานที่ (ค่าทดสอบอยู่ในภาคผนวก ก) ในกระบวนการทดสอบ ผู้วิจัยได้จัดแบ่งกลุ่มของเสียงเพื่อนำไปฝึกสอน 50 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลสำหรับการทดสอบ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งผลที่ได้หลังจากทำการทดสอบแล้ว มีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.6 ตารางกำหนดค่าสำหรับข้อมูลทดสอบ

ค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง	$0 < \rho < 1$
ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน	50 %
ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ	50 %
ตรวจสอบความถูกต้อง	$\leq 96$ %

##### 4.6.1 ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนมิตรภาพ

ผลทดสอบที่ ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา มีจำนวนรถยนต์และแบ่งตามกลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 36 ชุดข้อมูล

กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 8 ชุดข้อมูล

กลุ่มที่ 3 มีจำนวน 4 ชุดข้อมูล

รวมทั้งรวม 48 ชุดข้อมูล ผลการทดลองมีความถูกต้องร้อยละ 91.67 ของข้อมูลทดสอบ โดยกำหนดค่าสอดคล้อง (vigilance:  $\rho$ ) คือ 0.65 ผลทดสอบแสดง ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทาง  
ปัญญาประดิษฐ์ ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย  
สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา

กลุ่มข้อมูล	ชุดข้อมูล (ชุด)	ฝึกสอน (ชุด)	ทดสอบ (ชุด)	ผลการจำแนกที่ถูกต้อง (ชุด)	เปอร์เซ็นต์(%) ความถูกต้อง
กลุ่มที่ 1	36	18	18	17	94.44
กลุ่มที่ 2	8	4	4	3	75
กลุ่มที่ 3	4	2	2	2	100
รวม	48	24	24	22	91.67

#### 4.6.2 ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนสนามบินเล็ก

ผลทดสอบที่ ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี มีจำนวนรถยนต์และแบ่งตามกลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 8 ชุดข้อมูล

กลุ่มที่ 2 ขณะที่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลนั้น ไม่พบรถยนต์ในประเภทนี้

กลุ่มที่ 3 จำนวน 4 ชุดข้อมูล

รวมทั้งหมด 12 ชุดข้อมูล ผลการทดลองมีความถูกต้องร้อยละ 100 ของข้อมูลทดสอบ โดยกำหนดค่าสอดคล้อง (vigilance:  $p$ ) คือ 0.75 ผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทาง  
ปัญญาประดิษฐ์ ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
จ.ชลบุรี

กลุ่มข้อมูล	ชุดข้อมูล (ชุด)	ฝึกสอน (ชุด)	ทดสอบ (ชุด)	ผลการจำแนกที่ถูกต้อง (ชุด)	เปอร์เซ็นต์(%) ความถูกต้อง
กลุ่มที่ 1	8	4	4	4	100
กลุ่มที่ 2	-	-	-	-	-
กลุ่มที่ 3	4	4	2	2	100
รวม	12	6	6	6	100

#### 4.6.3 ผลการทดสอบของข้อมูล ที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน

ผลทดสอบ ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี มีจำนวนรถยนต์และแบ่งตามกลุ่มหรือประเภทของเสียงรถยนต์ได้ตามนี้

กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 26 ชุดข้อมูล

กลุ่มที่ 2 ขณะที่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลนั้นไม่ตรวจพบรถยนต์ในประเภทนี้

กลุ่มที่ 3 จำนวน 14 ชุดข้อมูล

รวมทั้งหมด 40 ชุดข้อมูลผลการทดลองมีความถูกต้องร้อยละ 80 ของข้อมูลทดสอบ โดยกำหนดค่า สอดส่อง (vigilance:  $\rho$ ) คือ 0.65 ผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.9

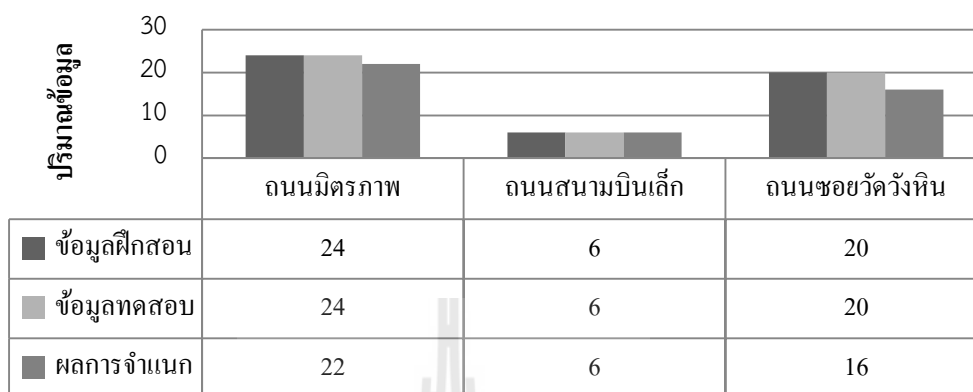
ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี

กลุ่มข้อมูล	ชุดข้อมูล (ชุด)	ฝึกสอน (ชุด)	ทดสอบ (ชุด)	ผลการจำแนกที่ ถูกต้อง (ชุด)	เปอร์เซ็นต์(%) ความ ถูกต้อง
กลุ่มที่ 1	26	13	13	11	84.62
กลุ่มที่ 2	-	-	-	-	-
กลุ่มที่ 3	14	7	7	5	71.43
รวม	40	20	20	16	80

#### 4.7 สรุป

ค่าคุณลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงรถยนต์ ถูกนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการฝึกสอนให้กับเครือข่ายประสาทเทียม simplified fuzzy ARTMAP จากนั้นค่าคุณลักษณะเด่นของสัญญาณเสียงรถยนต์ ที่นำมาทดสอบเพื่อจำแนกประเภทโดยอาศัยเครือข่ายประสาทเทียม (ที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว) ผลของการรู้จำและการจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงรถยนต์ ด้วยข้อมูลที่ทดสอบนั้น ให้ผลการจำแนกที่มีความถูกต้องร้อยละ 88 ของข้อมูลทดสอบทั้งหมด ข้อผิดพลาดหรือข้อมูลที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

### ผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

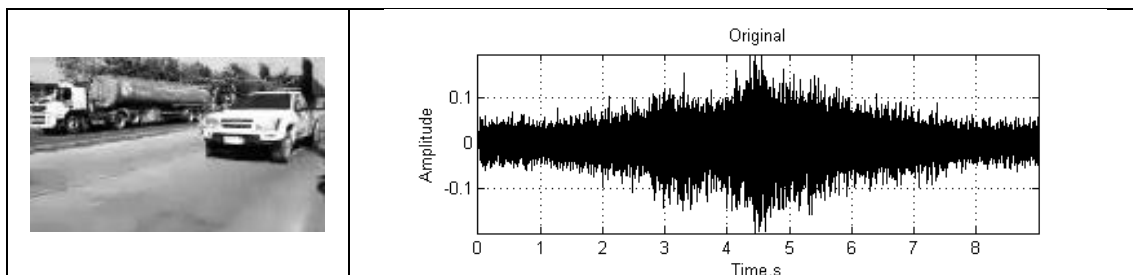


รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

#### 4.7.1 การตรวจวัดสัญญาณเสียงมีมากกว่า 1 สัญญาณเสียงในเวลาเดียวกัน (สัญญาณแทรกสอด)

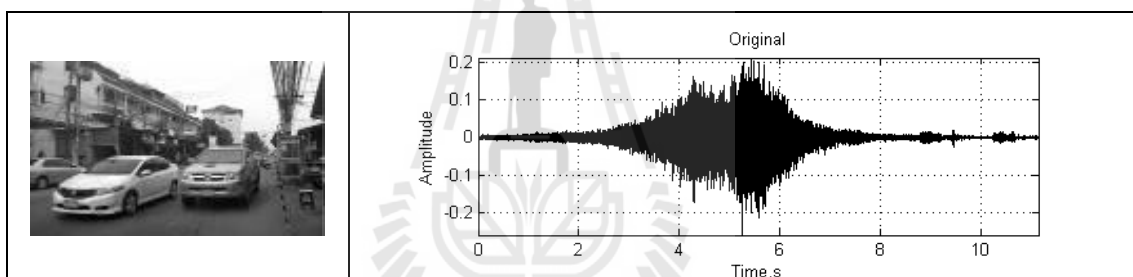
สัญญาณเสียงในสถานที่ต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างทางข้อมูล ได้แก่ ปริมาณการจราจร ช่องทางการจราจร และความเร็วของรถยนต์ ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ให้ผลออกมาอยู่ในระดับเกณฑ์ที่ดี งานวิจัยนี้ได้ตรวจพบข้อมูล ที่ไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ เนื่องจากเสียงของช่องทางจราจรอื่น ๆ ที่ไม่ได้ตรวจจับนั้นได้เข้ามาในระบบ ซึ่งมีผลทำให้ข้อมูลที่ได้นั้น เป็นข้อมูลของสัญญาณเสียงที่มีสัญญาณเสียงอื่น ๆ ผสมอยู่ ดังนั้น สัญญาณเสียงของถนนอีกช่องทางจราจร จึงมีผลต่อระบบ ทำให้ไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งปัญหาที่พบสามารถสรุปได้ดังนี้

4.7.1.1 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนน มิตรภาพเป็นข้อมูลเสียง ที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทสัญญาณของเสียงของรถยนต์ได้ เนื่องจากช่องทางการจราจรที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลอยู่ช่องขวาสุด แต่อีกช่องทางจราจรมีรถบรรทุกวิ่งแซงขึ้นมา ซึ่งมีผลทำให้เสียงของรถบรรทุกคันดังกล่าวเข้ามาแทรกสอดดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ข้อผิดพลาดที่ได้จากรถบรรทุกขนาดใหญ่ ถนนมิตรภาพ ประเภทสัญญาณแทรกสอด

4.7.1.2 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนนซอยวัดวังหิน เป็นข้อมูลเสียง ที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ เนื่องจากช่องทางการจราจรที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลอยู่ช่องขวาสุด แต่อีกช่องทางมีรถกระบะวิ่งแซงขึ้นมา ในช่องทางด้านในสุด (ติดไหล่ทาง) ซึ่งมีผลทำให้เสียงของรถกระบะคันดังกล่าว เข้ามาแทรกสอดดังรูปที่ 4.9



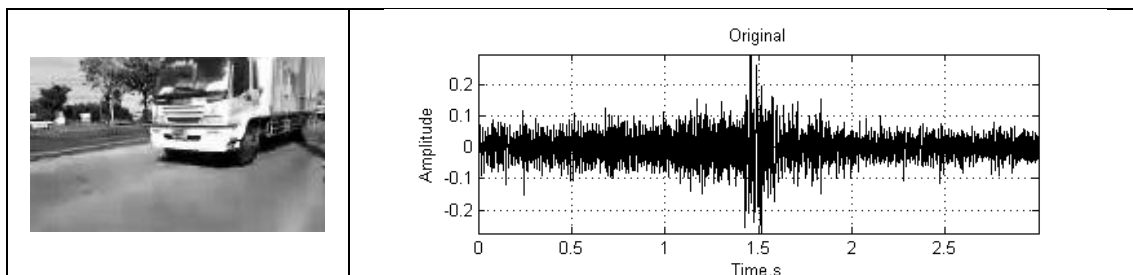
รูปที่ 4.9 ข้อผิดพลาดที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณแทรกสอด

#### 4.7.2 คลื่นสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก (impact or impulse noise)

เป็นสัญญาณเสียงที่มีความดังและหายไปอย่างรวดเร็ว ตรวจพบบนท้องถนนทั่วไป ขึ้นอยู่ว่าจะมากหรือน้อย ในงานวิจัยนี้ได้พบข้อมูลของเสียงที่เป็นคลื่นสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก อยู่ในระดับของสัญญาณที่มีผลทำให้ระบบ ไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ ซึ่งปัญหาที่พบสามารถสรุปได้ดังนี้

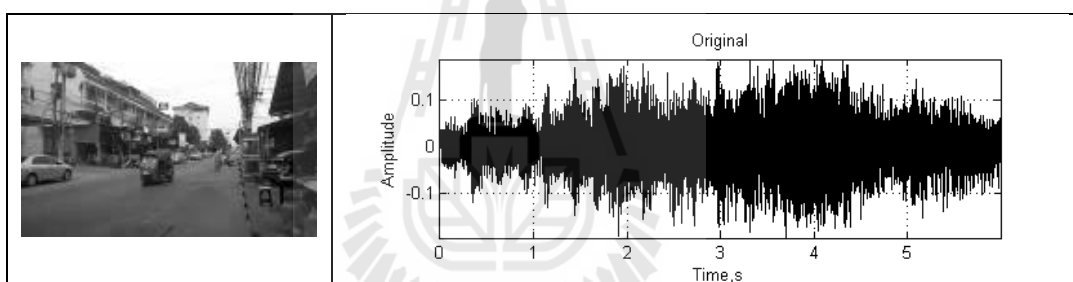
4.7.2.1 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนนมิตรภาพ เป็นข้อมูลเสียง ที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ โดยพบที่รถบรรทุก ที่ปรับแต่งท่อไอเสีย ซึ่งมีผลทำให้เกิดเสียงแตกและเสียงกระแทกดังรูปที่ 4.10





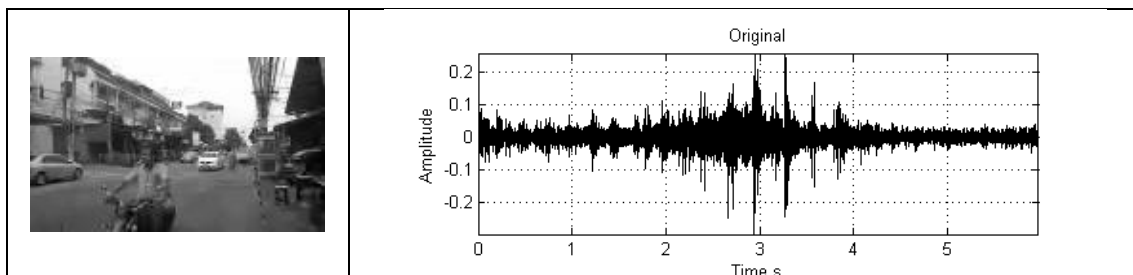
รูปที่ 4.10 ข้อผิดพลาดที่ได้จากรถบรรทุกถนนมิตรภาพ ประเภทสัญญาณเสียงกระทบ หรือกระแทก

4.7.2.2 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนนซอยวัดวังหิน เป็นข้อมูลเสียง ที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ โดยพบที่รถสามล้อเครื่อง ได้ปรับแต่งเครื่องเสียงเพิ่มเติม และเปิดเสียงดังในขณะที่ขับรถทำให้เกิดเสียงกระแทก ดังรูปที่ 4.11



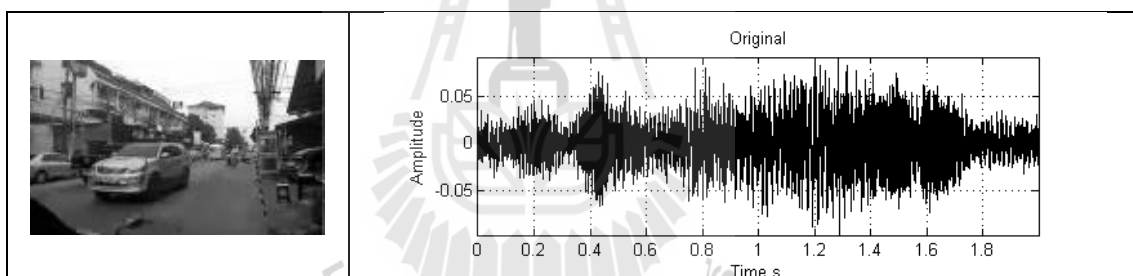
รูปที่ 4.11 ข้อผิดพลาดที่ได้จากรถสามล้อเครื่อง ถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบ หรือกระแทก

4.7.2.3 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนนซอยวัดวังหินเป็นข้อมูลเสียงที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ โดยพบที่รถจักรยานยนต์ ปรับแต่งท่อไอเสีย ซึ่งมีผลทำให้เกิดเสียงแตกและเสียงกระแทกดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ข้อผิดพลาดที่ได้จากรถจักรยานยนต์ ถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก

4.7.2.4 สัญญาณเสียงรถยนต์ได้จากถนนซอยวัดวังหิน เป็นข้อมูลเสียง ที่ระบบไม่สามารถรู้จำและจำแนกประเภทของสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ โดยช่องทางการจราจรที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูล อยู่ช่วงขวาศดแต่อีกช่องทาง มีรถแห่โฆษณาที่เปิดเสียงดัง ซึ่งมีผลทำให้เกิดเสียงแตกและเสียงกระแทกดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ข้อผิดพลาดที่ได้จากรถแห่โฆษณา ถนนซอยวัดวังหิน ประเภทสัญญาณเสียงกระทบหรือกระแทก

## บทที่ 5

### สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำความรู้ทางด้าน การประมวลสัญญาณดิจิทัล และเครือข่ายประสาทเทียม เพื่อนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้สร้างระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการออกแบบระบบทั้งหมด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีการทำ และขั้นตอนต่าง ๆ เข้ามาพัฒนาระบบ ให้สามารถรู้จำเปรียบเทียบสัญญาณเสียงของรถยนต์ได้ โดยที่การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วย การนำสัญญาณเสียงที่ผ่านขั้นตอน และกระบวนการต่าง ๆ เช่น ประมวลผลสัญญาณเสียง เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนของสัญญาณเสียง การสกัดค่าคุณลักษณะสำคัญด้วยวิธี หาค่าสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมด (MFCC) เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลของสัญญาณยังคงความเป็นเอกลักษณ์ของเสียงนั้น ๆ และใช้เครือข่ายประสาทเทียม simplified fuzzy ARTMAP (SFAM) มาช่วย ในขั้นตอนการทดสอบความคล้ายคลึงกันของรูปแบบ และกฎเกณฑ์การตัดสินใจ ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง เป็นองค์ความรู้ที่น่าสนใจ สามารถนำมาประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อกับงานด้านอื่น ๆ เช่น การประมาณค่า คัดแยก หรือการพยากรณ์ และงานด้านวิศวกรรมต่าง ๆ โดยเครือข่ายนี้มีความคลาดเคลื่อนต่ำ แต่อาจมีปัญหายุ่งยากในการพัฒนาอัลกอริทึม และการเขียนโปรแกรมเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับงานในด้านต่าง ๆ ให้ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการ

#### 5.1 สรุปงานวิจัย

ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสี่ยงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาเครือข่ายประสาทเทียม SFAM เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตรวจจับพาดหน้าจากสัญญาณเสียงบนถนน ซึ่งสามารถใช้งานได้จริง แนวคิดนี้ยังเป็นแนวทางกับการพัฒนาระบบที่ใช้สัญญาณเสียง สามารถนำไปตรวจสอบการใช้งานบนเส้นทางการจราจร เช่น ปริมาณ ประเภท และความเร็วของพาดหน้า เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูล สำหรับพัฒนาเทคโนโลยีต่อไป

การทดสอบกระบวนการรู้จำและจำแนกประเภทของรถยนต์ ในระบบตรวจจับการจราจร บนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยนำสัญญาณเสียงของรถยนต์ที่ได้จาก 3 สถานีที่ได้แก่ ถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานีไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา ถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี และถนนชอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี ที่ผ่านกระบวนการประมวลสัญญาณเสียง กระบวนการหาคุณลักษณะเด่นด้วยวิธี MFCC ซึ่งผลที่ออกมาจะเก็บอยู่ในรูปแบบ เมตริกซ์ขนาด  $13 \times 132$  โดยที่แบ่งข้อมูลเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มข้อมูลสำหรับไว้ฝึกสอนให้กับเครือข่าย 50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มข้อมูลสำหรับทดสอบระบบรู้จำ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครือข่าย SFAM เป็นส่วนที่จำแนกและคัดแยกกลุ่มของประเภทสัญญาณ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง ทั้ง 3 สถานีที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ถนนมิตรภาพ โดยกำหนดค่า สอดส่อง (vigilance:  $\rho$ ) คือ 0.65 โดยแบ่งตามกลุ่ม ที่จัดไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง รถยนต์เนกประสงค์ 7 ที่นั่ง รถกระบะ และรถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 94.44

กลุ่มที่ 2 รถยนต์ประเภทรถบรรทุก และรถพ่วง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 75

กลุ่มที่ 3 รถจักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 100

โดยความถูกต้องที่ได้จากถนนมิตรภาพ ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 91.67

2) ถนนสนามบินเล็ก โดยกำหนดค่า สอดส่อง (vigilance:  $\rho$ ) คือ 0.75 โดยแบ่งตามกลุ่มที่จัดไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง รถยนต์เนกประสงค์ 7 ที่นั่ง รถยนต์กระบะและรถยนต์โดยสาร 12 ที่นั่ง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 100

กลุ่มที่ 3 รถจักรยานยนต์ และรถสามล้อเครื่องให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 100

โดยความถูกต้องที่ได้จากถนน สนามบินเล็ก ของข้อมูลทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องร้อยละ 100

3) ถนนซอยวัดวังหิน โดยกำหนดค่าสอดคล้อง (vigilance:  $p$ ) คือ 0.65 โดยแบ่งตามกลุ่มที่จัดไว้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 รถยนต์ประเภทนั่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง รถยนต์อเนกประสงค์ 7 ที่นั่ง  
รถจักรยานยนต์และรถโดยสาร 12 ที่นั่ง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง  
ร้อยละ 84.62

กลุ่มที่ 3 รถจักรยานยนต์และรถสามล้อเครื่อง ให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง  
ร้อยละ 71.43

โดยความถูกต้องที่ได้จากถนนซอยวัดวังหิน ของข้อมูลทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง  
ร้อยละ 80

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้พบว่าผลของงานวิจัยที่ได้นั้นเป็นที่ยอมรับได้ในระดับหนึ่ง การที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้นั้น ต้องมองด้านอื่นประกอบด้วย เพื่อให้ได้ผลที่สัมฤทธิ์ที่ดีที่สุดซึ่งมีแนวทางดังนี้

### 5.2.1 การใช้งานเครือข่ายประสาทเทียม

การใช้งานเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อนำมาจำ และจำแนกสัญญาณเสียงรถยนต์ ข้อมูลที่ต้องส่งให้กับ โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อนำไปเรียนรู้หรือทดสอบนั้น ต้องมีชุดข้อมูลเท่ากันทั้งหมด ดังนั้นถ้าสามารถเปลี่ยนวิธีการจำด้วยวิธีอื่น ๆ ที่สามารถจำและจำแนกสัญญาณเสียงโดยข้อมูลไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพ และหาผลสัมฤทธิ์ที่ดีที่สุดต่อไป

### 5.2.2 วิธีสกัดค่าคุณลักษณะสำคัญ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการนำเอาวิธีการสกัดค่าคุณลักษณะสำคัญ ด้วยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงสตรัมบนสเกลเมล MFCC มาใช้เพียงอย่างเดียว จึงไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพ ดังนั้นควรทดลองใช้เทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถสกัดค่าคุณลักษณะสำคัญ เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพ และหาผลสัมฤทธิ์ที่ดีที่สุดต่อไป

### 5.2.3 ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละการทดลอง จะมีค่าที่เหมาะสมต่างกัน ควรมีการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละงาน เพื่อที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้

#### 5.2.4 ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม

ควรมีอุปกรณ์ที่สามารถช่วยการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ สำหรับการบันทึกเสียง เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนให้ได้มากที่สุด จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดียิ่งขึ้น



## รายการอ้างอิง

- อาทิตย์ ศรีแก้ว (2552). **ปัญญาเชิงคำนวณ**. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ .  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- เอกชัย เนาวนิช (2550). **โปรแกรมฝึกออกเสียงพยัญชนะไทยสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยิน โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อภิรดี อัมพะศิริ (2551). **เทคนิคการตรวจจับหน้าคนด้วยโครงข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ชานนท์ โสติดถาวร (2551). **ระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบหลักและเครือข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศุภชัย บุญปก (2553). **การพัฒนาระบบรู้จำแบบรูปของดีสซาร์จบางส่วนโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุวณี ตุ่มทอง (2553). **การรู้จำผู้พูดโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคลัสเตอร์รีง**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ธีระพงษ์ บุญหล้า (2554). **การคัดแยกผู้ป่วยอาการโรคซึมเศร้าโดยการเปรียบเทียบ ML ของคุณลักษณะ MFCC**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไพลิน แสงเพชร และ สุพจน์ นิตยสุวัฒน์ (2556). **ระบบระบุผู้พูดด้วยเสียงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- F. Alilat, S. Loumi and B. Sansal, “A new learning algorithm for the fuzzy adaptive resonance theory: Multispectral classification of the Algiers’s Bay”, LADIS trans on computer science and information system Vol. 4
- Carpenter, G., Grossberg, S., Markuzon, N., Reynolds, J.H., and Rosen, D.D. (1992). Fuzzy ARTMAP : A neural network architecture for incremental supervised learning of analog multidimensional maps. IEEE , Transactions on Neural Networks. 3(5) : 689- 713.

- Carpenter, G., Grossberg, S., and Iizuka, K. (1992). **Comparative performance measures of Fuzzy ARTMAP learned vector quantization, and back propagation for handwritten character recognition.** IEEE , International Joint Conference on Neural Networks.  
1 : 794- 799.
- S. Chen , P. Sun and B. Bridge (1998). **Automatic traffic monitoring by intelligent sound detection.** IEEE 1998.
- Wei Han, Cheong-Fat Chan, Chiu-Sing Choy and Kong-Pang Pun (2006). **An Efficient MFCC Extraction Method in Speech Recognition.** Department of Electronic Engineering The Chinese University of Hong Kong.
- Kenji KODERA, Akitoshi ITAI and Hiroshi YASUKAWA (2 0 0 8 ). **Approaching Vehicle Detection Using Linear Microphone Array.** International Symposium on Information Theory and its Applications, ISITA2008.
- Kantip Kiratiratanapruk and Supakorn Siddhichai (2 0 0 9 ). **Practical Application for Vision-based Traffic Monitoring System.** National Science and Technology Development Agency Thailand Science Park, Pathumthani, Thailand.
- X. Pan, Y. Guo, A. Men. **Traffic Surveillance System for Vehicle Flow Detection** (2010) Second International Conference on Computer Modeling and Simulation, Vol. 2, pp.314-318, 2010.
- Swaroop Roy, Rijurekha Sen, Swanand Kulkarni, **Purushottam Kulkarni, Bhaskaran Raman and Lokendra Kumar Singh** (2 0 1 1 ). **WirelessAcrossRoad: RF based Road Traffic Congestion Detection.** Department of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology, Bombay.
- Chao Gao and Ismo Hakala (2 0 1 2 ). **Road Traffic Detection Using Wireless Noise Sensors.** IEEE ICC 2012 - Ad-hoc and Sensor Networking Symposium.



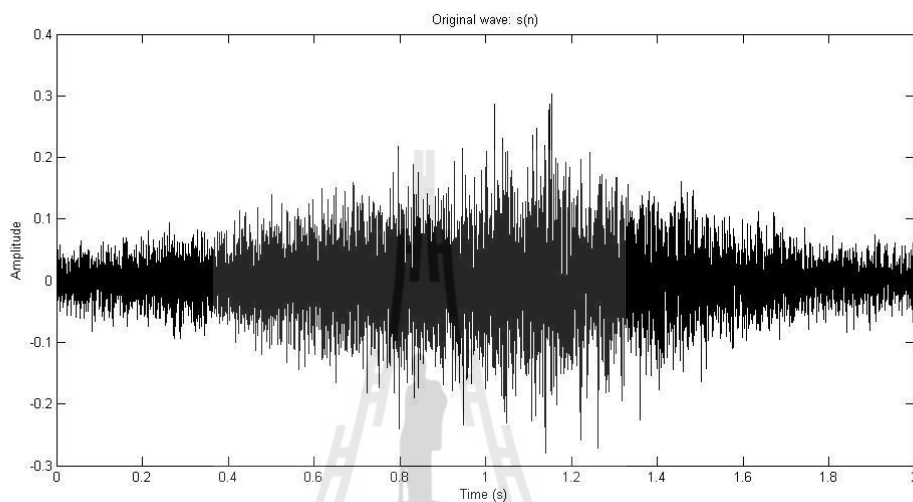
ภาคผนวก ก

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในกระบวนการต่างๆ

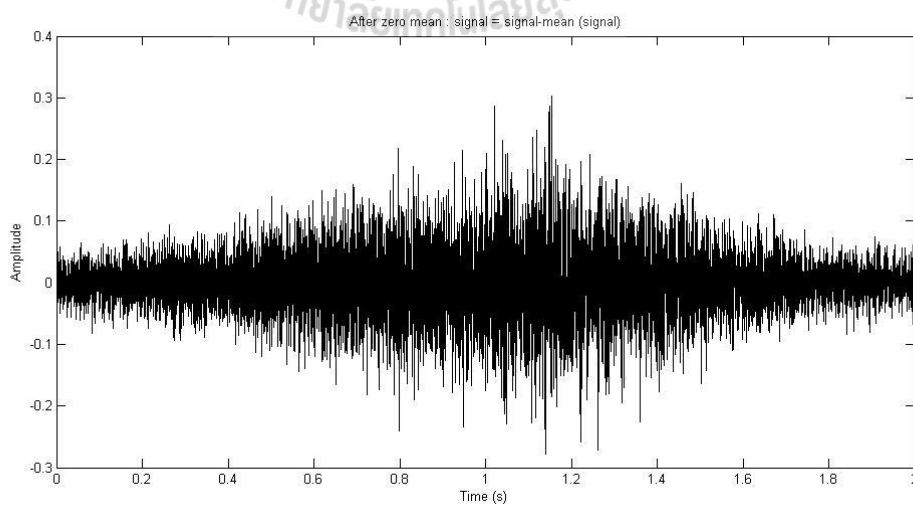


## ก.1 ข้อมูลของสัญญาณเสียงรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณเสียง

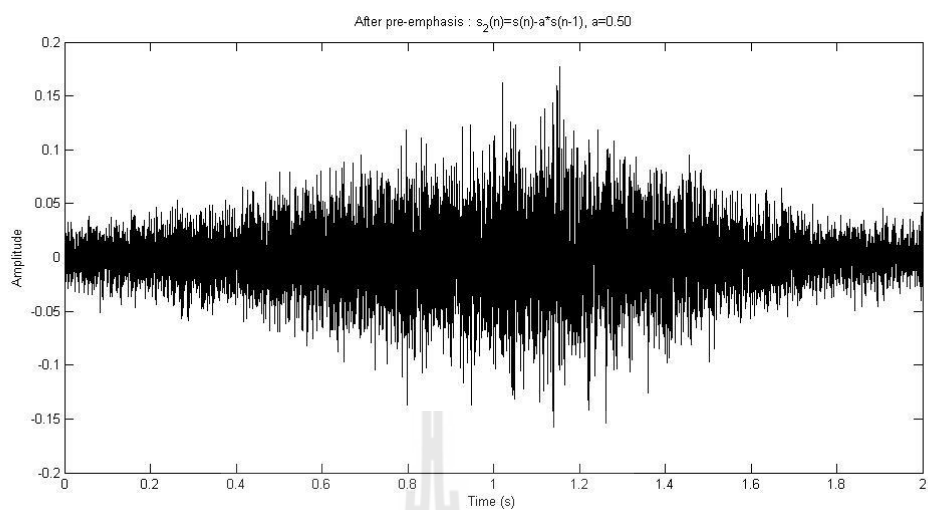
ก.1.1 ตัวอย่างของสัญญาณรถยนต์ปกติทั่วไปก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผลสัญญาณเสียง



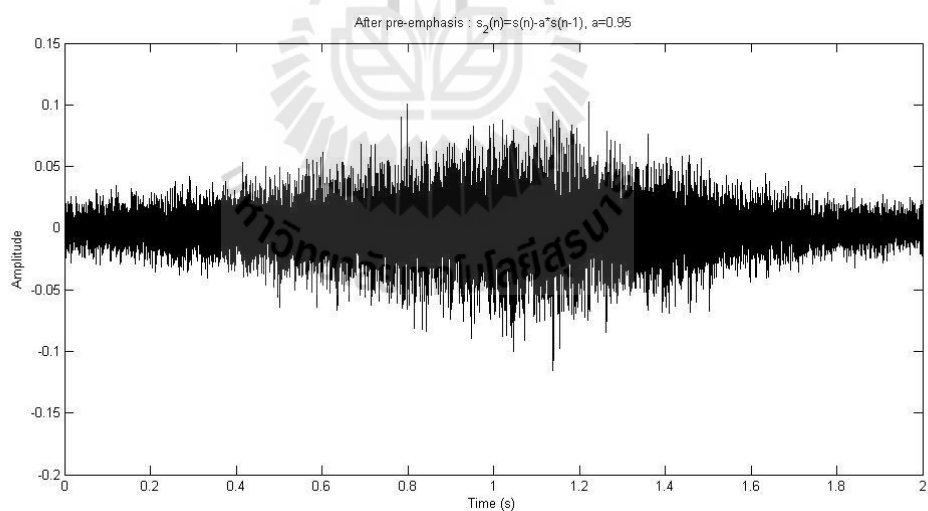
ก.1.2 ตัวอย่างของสัญญาณรถยนต์ที่ปรับเปลี่ยนสัญญาณสู่แกนศูนย์



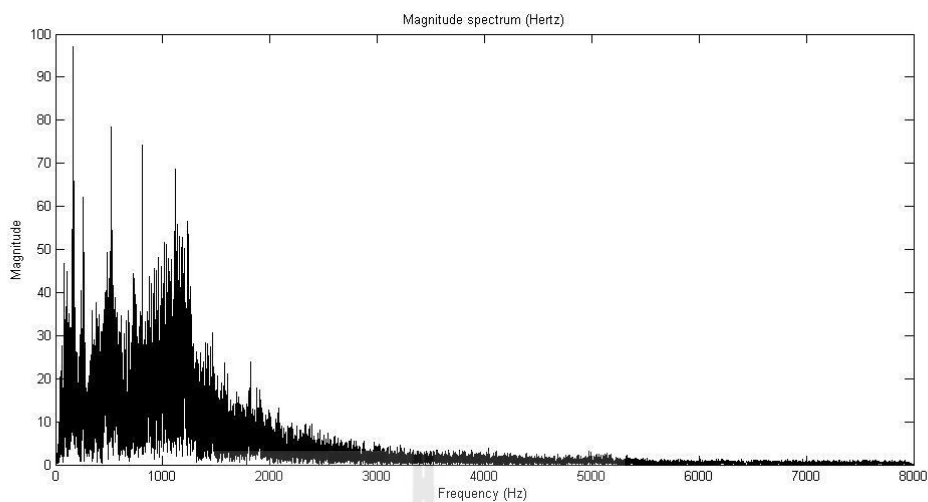
ก.1.3 ตัวอย่างของสัญญาณรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการ การเน้นล่งหน้าโดยที่ค่า  $\alpha = 0.50$



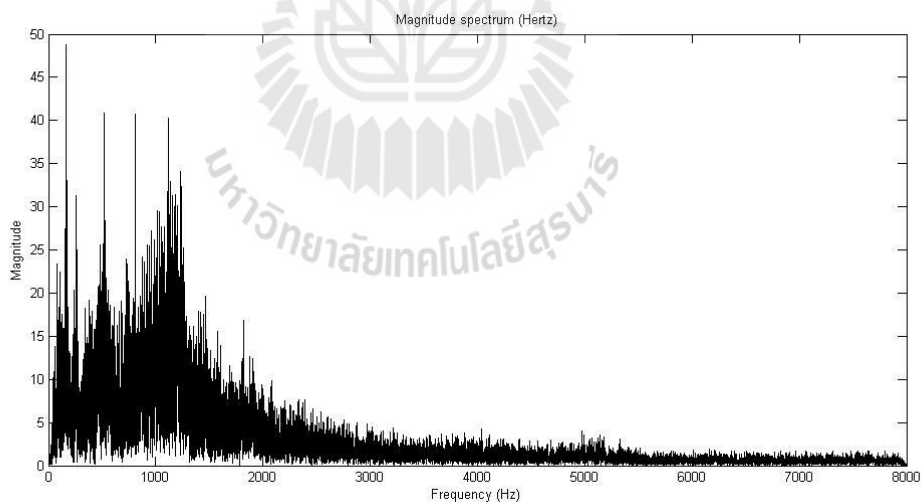
ก.1.4 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนที่ผ่านกระบวนการ การเน้นล่วงหน้าโดยที่ค่า  $a = 0.95$



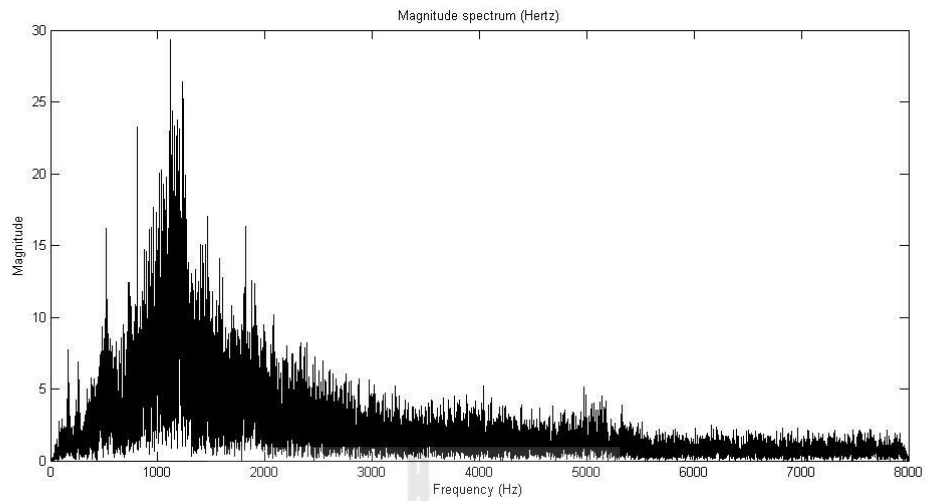
ก.1.5 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนที่แปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ สัญญาณปกติทั่วไป ก่อนเข้าสู่กระบวนการประมวลผลสัญญาณเสียง



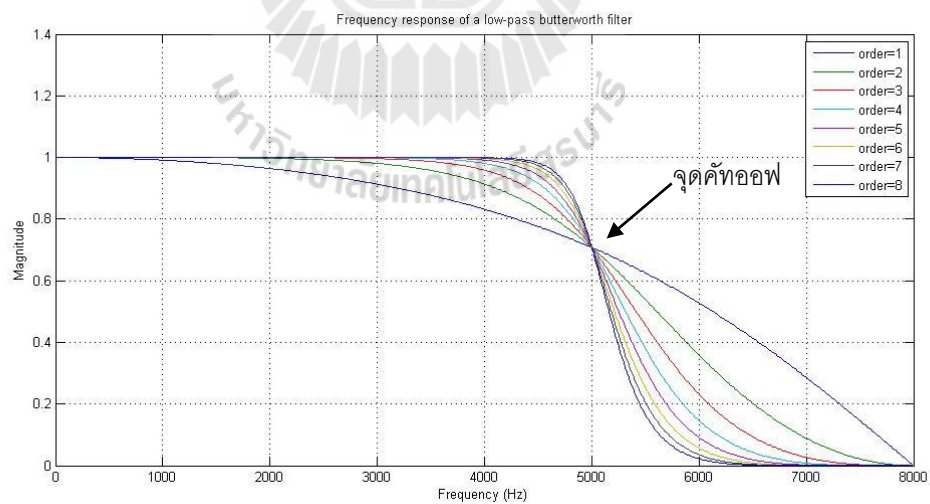
ก.1.6 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนที่แปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ที่ผ่านกระบวนการ การเน้นล่วงหน้าโดยที่ค่า  $\alpha = 0.50$



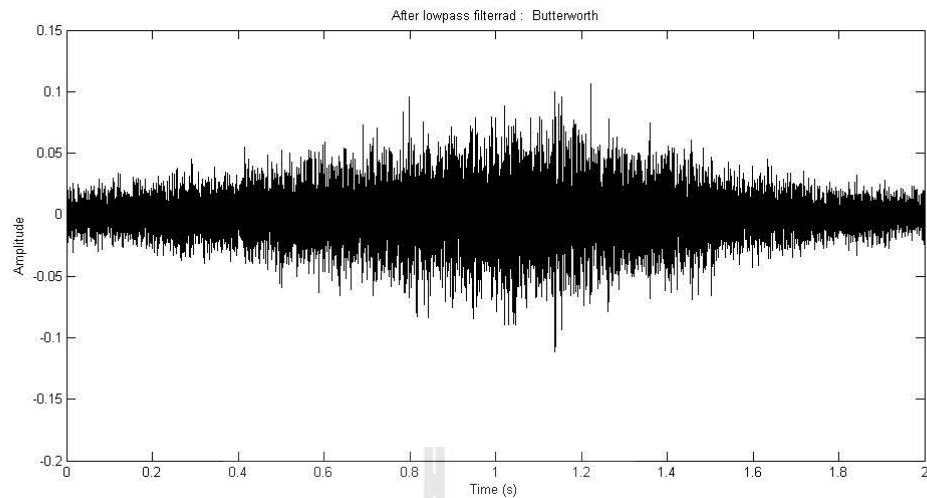
ก.1.7 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนที่แปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ที่ผ่านกระบวนการ การเน้นล่วงหน้าโดยที่ค่า  $\alpha = 0.95$



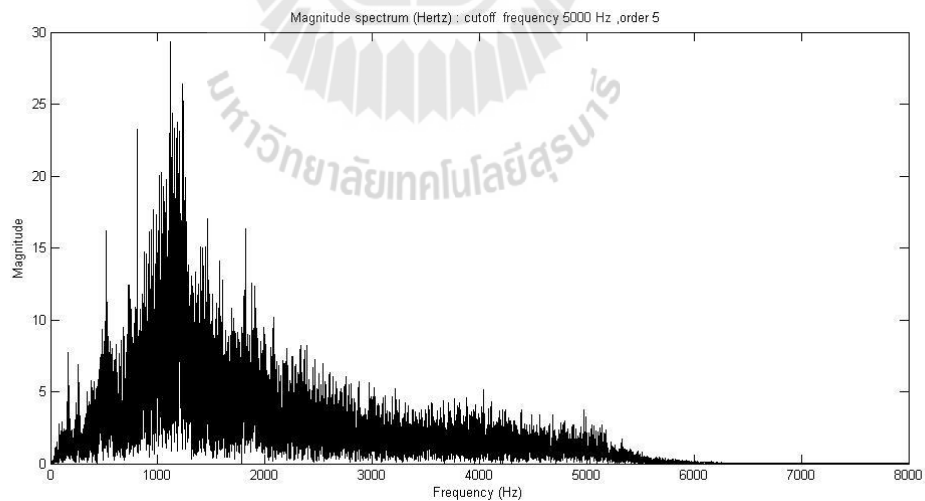
ก.1.8 ตัวอย่างการทดสอบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Low Pass - Butterworth Filter) ที่ตอบสนองค่าอันดับที่ต่างกัน ตั้งแต่ ค่าอันดับที่ 1 ถึงค่าอันดับที่ 8 ตามลำดับ คัทออฟที่ 5000 เฮิรตซ์



ก.1.9 ตัวอย่างสัญญาณเสียงรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการ กรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์เวิร์ธ โดยใช้ค่าอันดับที่ 5 และคัทออฟที่ 5000 เฮิรตซ์

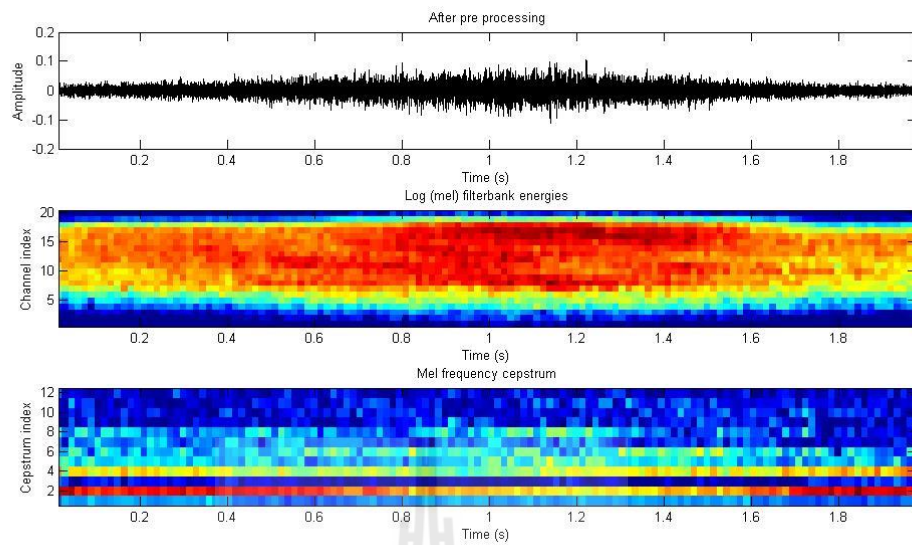


ก.1.10 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนที่แปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ที่ผ่านกระบวนการ กรองความถี่ต่ำแบบบัตเตอร์ โดยใช้ค่าอันดับที่ 5 และคัทออฟที่ 5000 เฮิรตซ์

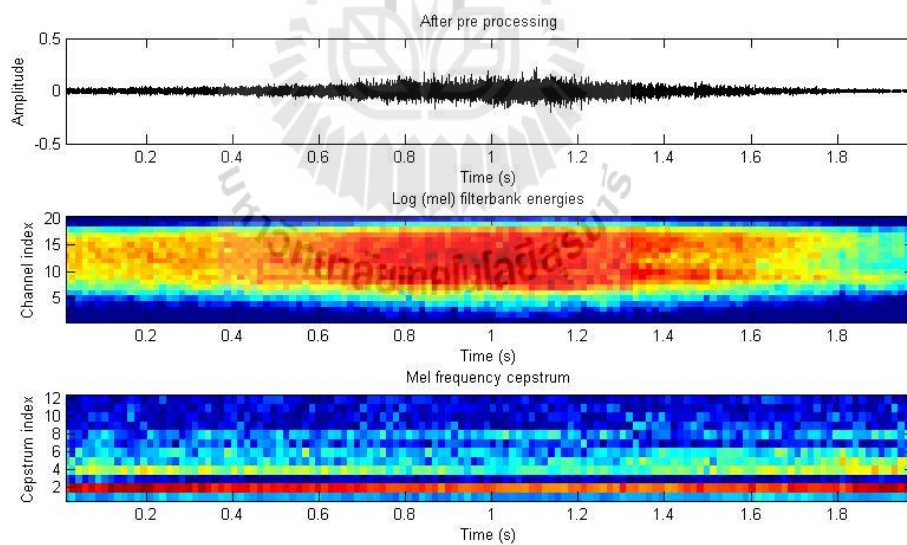


ก.2 ข้อมูลของสัญญาณเสียงรบกวนที่ผ่านกระบวนการหาสัมประสิทธิ์เซปสตรัมบนสเกลเมล

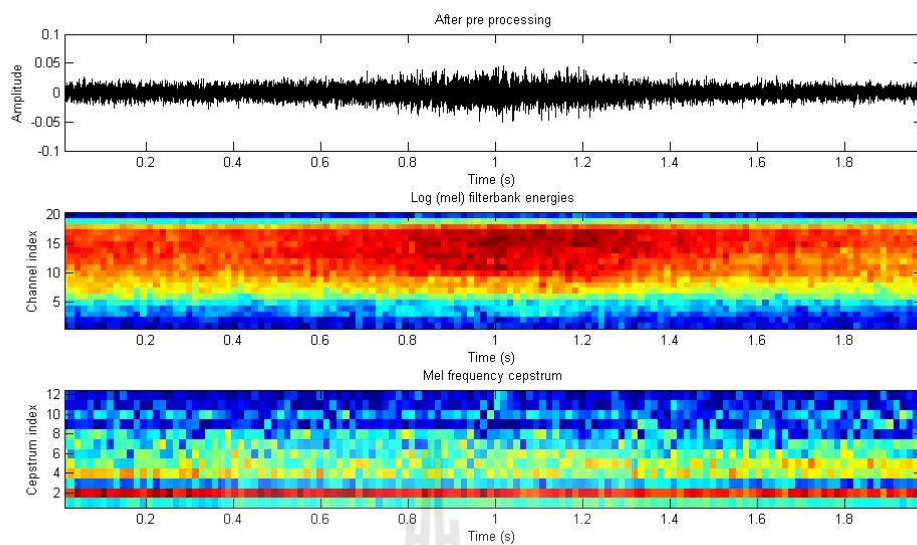
ก.2.1 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนในกลุ่มประเภทหนึ่งส่วนบุคคล 4 ที่นั่ง



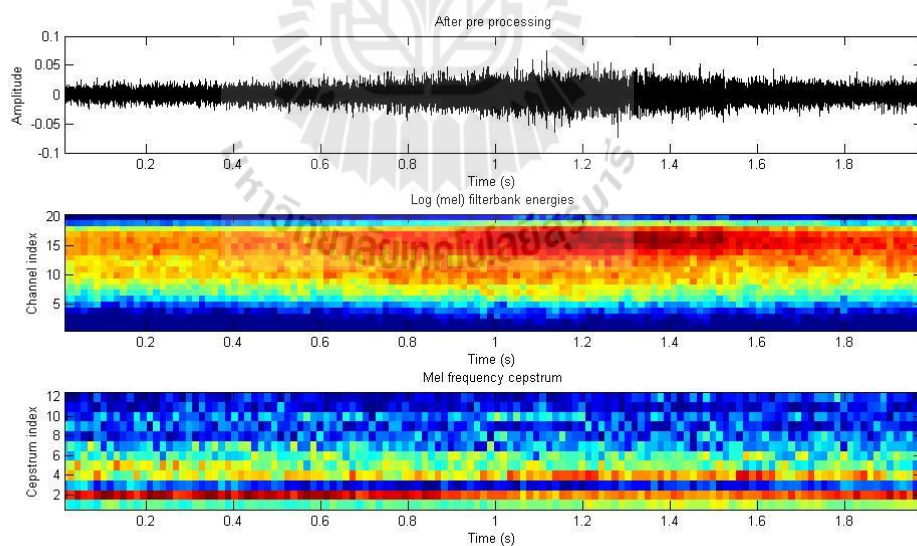
ก.2.2 ตัวอย่างของสัญญาณรยนต์ในกลุ่มประเภทรยนต์อเนกประสงค 7 ที่นั้ง



ก.2.3 ตัวอย่างของสัญญาณรยนต์ในกลุ่มประเภทรกระบะ

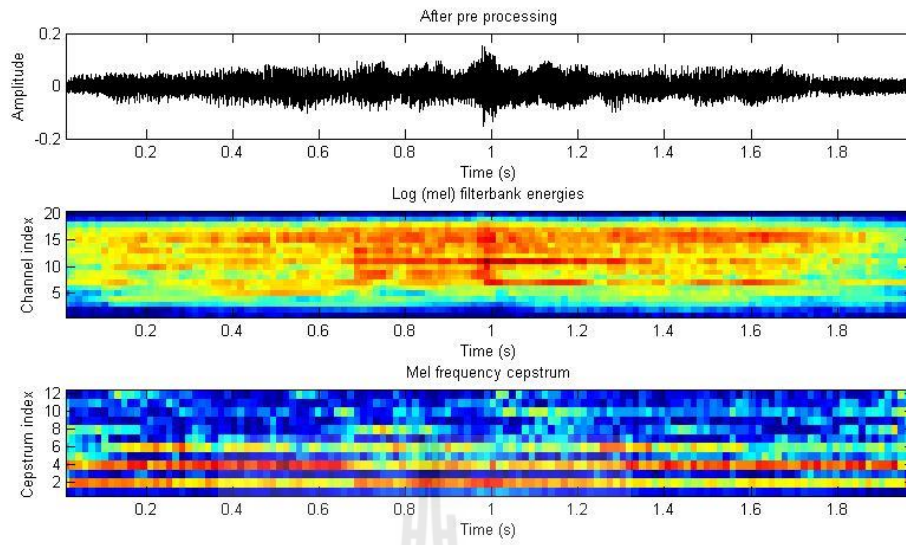


ก.2.4 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนดีในกลุ่มประเภทรถโดยสาร 12 ที่นั่ง

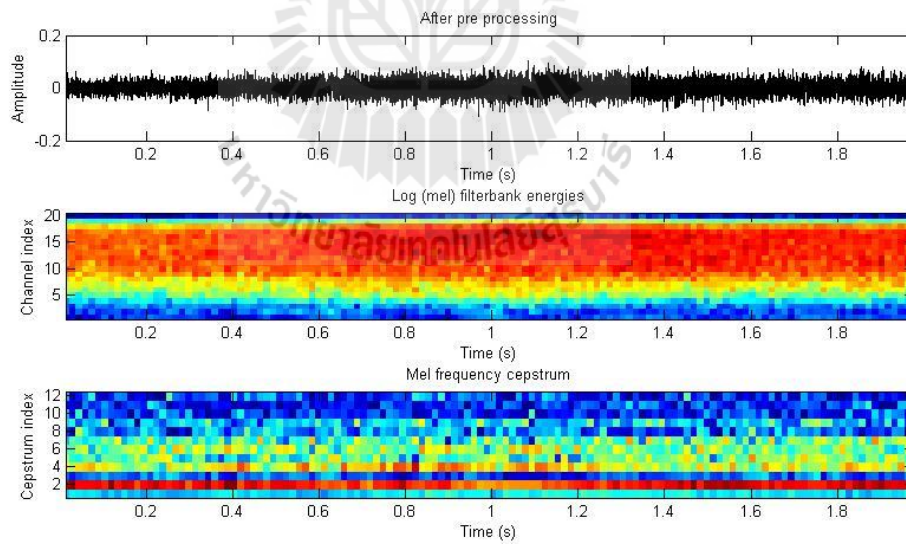


ก.2.5 ตัวอย่างของสัญญาณรบกวนดีในกลุ่มประเภทรถบรรทุกและรถพ่วง

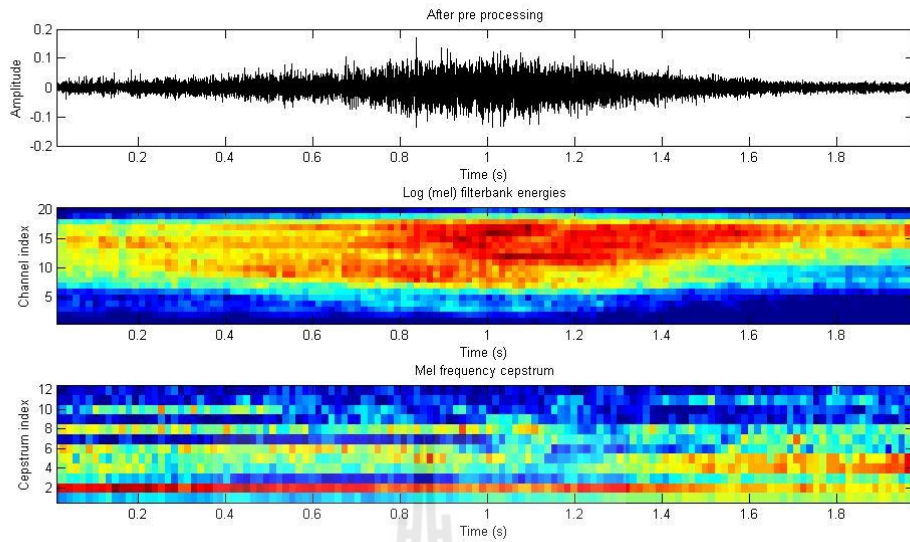




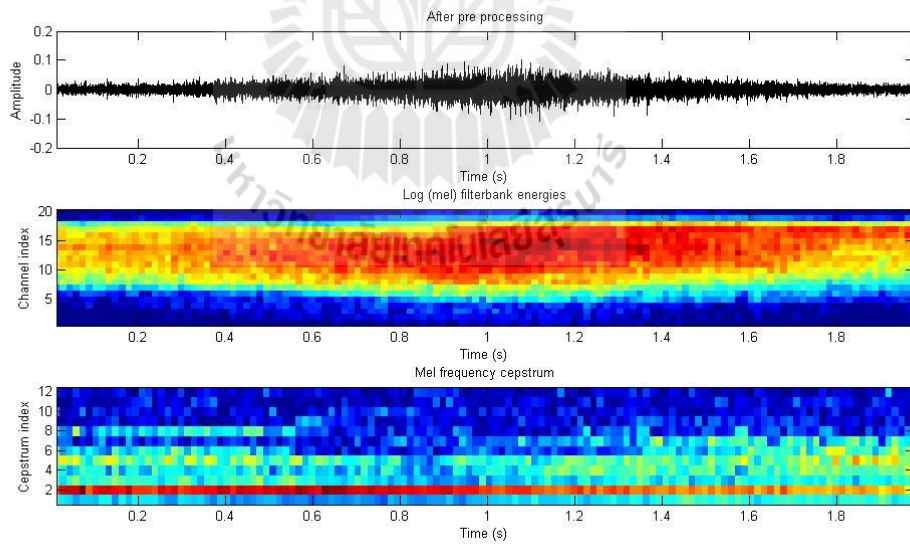
ก.2.6 ตัวอย่างของสัญญาณรอนต์ในกลุ่มประเภทรถโดยสารประจำทาง



ก.2.7 ตัวอย่างของสัญญาณในกลุ่มประเภทรถจักรยานยนต์

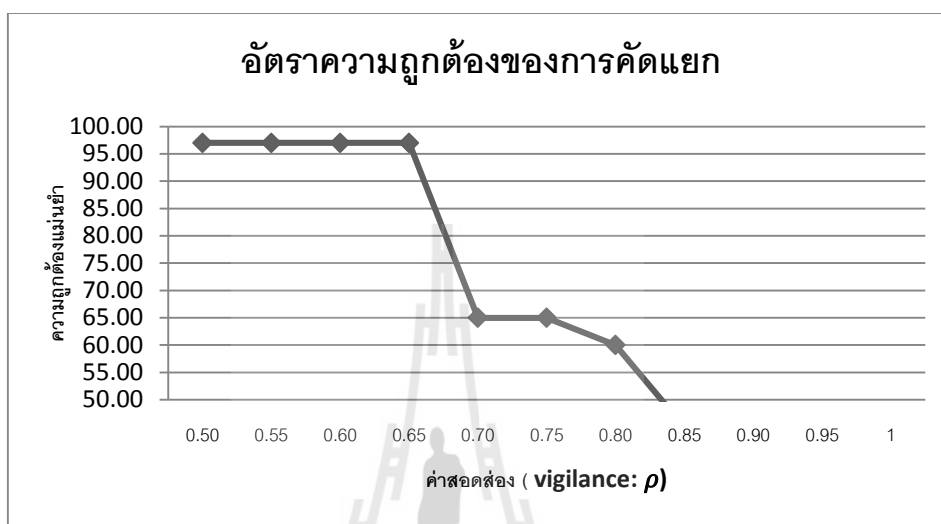


### ก.2.8 ตัวอย่างของสัญญาณในกลุ่มประเภทรถสามล้อเครื่อง

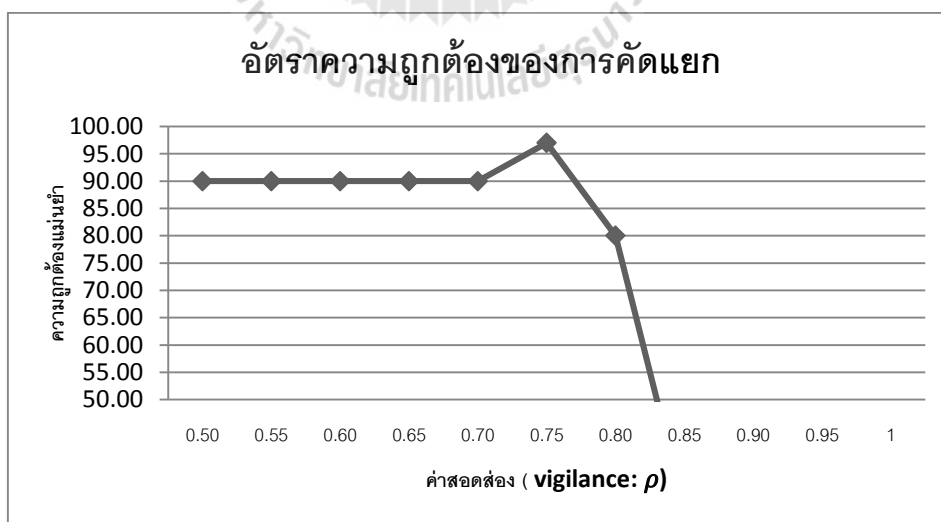


ก.3 ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์สอดคล้อง (vigilance parameter :  $\rho$ ) ให้สอดคล้องกับรูปแบบชุดข้อมูล เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

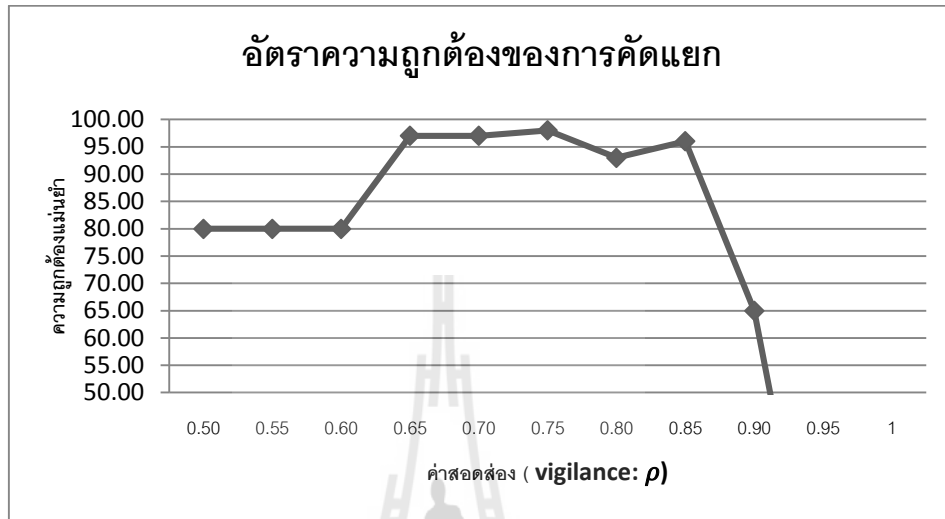
ก.3.1 ตัวอย่างของค่าพารามิเตอร์สอดส่องที่ทดสอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับระบบ  
ฝึกสอนของถนนมิตรภาพ ด้านหน้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถานี  
ไฟฟ้าแรงสูง จ.นครราชสีมา



ก.3.2 ตัวอย่างของค่าพารามิเตอร์สอดส่องที่ทดสอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับระบบ  
ฝึกสอนของถนนสนามบินเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.  
ชลบุรี



ก.3.3 ตัวอย่างของค่าพารามิเตอร์สอดส่องที่ทดสอบ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับระบบ  
ฝึกสอนของถนนซอยวัดวังหิน อ. ศรีราชา จ. ชลบุรี



ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

อภิวัฒน์ จันโท, อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2558). ระบบตรวจจัดการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์. ในงานประชุมวิชาการระดับชาติ วิศวกรรมและการก่อสร้างครั้งที่ 2 (NECC-2)., หน้า 227-233



## ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์

Sound-based Road Traffic Detection Using Artificial Intelligent Approach

อภิวัฒน์ จันโท<sup>1\*</sup> อาทิตย์ ศรีแก้ว<sup>1\*</sup>

Apiwat Junto <sup>1\*</sup> Arthit Srikaew<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ โดยวิธีการตรวจสอบข้อมูลจากสัญญาณเสียงที่ได้จากพาหนะเคลื่อนที่บนถนน ระบบจะทำการแปลงข้อมูลสัญญาณเสียงด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยประยุกต์ใช้สัมประสิทธิ์เซปสตรัลบนความถี่เมล เพื่อหาคุณลักษณะเด่นของพาหนะจากค่าพลังงานเสียง ในขั้นตอนการทดสอบความคล้ายคลึงกันของรูปแบบและกฎเกณฑ์การตัดสินใจ มาเข้ากระบวนการเรียนรู้ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว การทดสอบได้ทดสอบในสภาวะการจราจรปกติ และมีผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจจับการจราจรบนถนนที่มีความถูกต้อง

คำสำคัญ: ตรวจจับการจราจร ทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว

Abstract: This research presents the sound-based road traffic detection using artificial intelligent approach. Firstly, we check the audio signal from a moving vehicle on the road. The system converts the sound-based data by principal component analysis. Mel frequency cepstral coefficients (MFCC) technique was applied for detecting features from the frequency of the sound sample in order to characterize individual sound-based. The learning process, we use neural network theory resonant simplified adaptation. The test was tested in normal traffic conditions, and the results analyzed to detect traffic on the road with accuracy.

Keywords: Sound-based Road Traffic Detection, Adaptive Resonance Theory

<sup>1</sup> อภิวัฒน์ จันโท สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

1. บทนำ

ปัจจุบันการตรวจจับและจัดการจราจร ได้มีการศึกษาและวิจัยเป็นเวลายาวนาน เพื่อต้องการลดปัญหาการจราจร ซึ่งปัญหาคือการจราจรที่ติดขัดเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เร่งรีบที่มีปริมาณรถยนต์มากกว่าช่วงเวลาปกติ ทำให้เกิดปัญหาขึ้นมากมาย เช่น ไม่มีความคล่องตัว ลื่นเปลี่ยนหลังงาน เกิดปัญหามลภาวะและอุบัติเหตุ เป็นต้น โดยทั่วไป ในการตรวจจับบนท้องถนนมีอยู่สองอย่างคือการตรวจจับบนท้องถนนโดยตรง และตรวจจับริมขอบถนน โดยการตรวจจับนั้น ได้นำเซนเซอร์ไปติดตั้งด้านข้าง ด้านบน ด้านล่าง หรืออยู่ที่พื้นผิวของถนน เพื่อให้สามารถตรวจจับได้ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนนได้แก่ ความเร็ว จำนวนประเภท และน้ำหนัก

เทคโนโลยีการตรวจจับและจัดการจราจร ส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ video image processors, microwave radar sensors, active infrared sensors (laser sensors), passive infrared sensors, ultrasonic sensors และ passive acoustic sensors เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานั้น มีข้อดีและข้อเสียที่ต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม แต่ละพื้นที่และความต้องการ

Passive acoustic sensors เป็นเครื่องมือตรวจจับการจราจรที่ใช้สัญญาณเสียง ทำงานโดยไม่ต้องมีการส่งสัญญาณเสียงออกไป แต่ต้องอาศัยการตรวจจับสัญญาณเสียงที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะที่เคลื่อนผ่าน เช่น เสียงเครื่องยนต์ เสียงล้อ หรือยางรถยนต์ เมื่อมีเสียงเกิดขึ้นในพื้นที่การตรวจจับ ซึ่งสามารถจำกัดเป็นช่องทางจราจรได้ ระดับเสียงที่ตรวจจับ ถูกแปลงสัญญาณโดยเครื่องประมวลผลได้ ข้อมูลดังนี้ ปริมาณจราจร ความเร็วรถยนต์ การมีรถยนต์บริเวณนั้น (presence) การผ่านของรถยนต์บริเวณนั้น (Passage) ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบเครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) ซึ่งเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ ประเภทหนึ่งที่มีความสามารถในการเรียนรู้ จึงได้นำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ เพื่อ

ประโยชน์ในการทำงานหลายด้าน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1][2]

งานวิจัยนี้ถือว่าเป็นหนึ่งทางเลือก ในการตรวจสอบข้อมูลจากสัญญาณเสียง โดยได้นำระบบเครือข่ายประสาทเทียม มาช่วยในการตรวจจับพาหนะที่วิ่งอยู่บนถนนจากสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานของการตรวจจับ และจัดการจราจรบนถนน อย่างไรก็ตามการใช้สัญญาณเสียงเพื่อมาตรวจจับไม่ได้นำมาทดแทนเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่มีใช้ในปัจจุบันแต่ได้นำเสนอวิธีที่ถูกต้องในการตรวจสอบจราจร ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือตรวจจับการจราจรที่ใช้สัญญาณเสียงเพียงพอสำหรับกรณีวิเคราะห์ปัญหาการจราจรบนถนน และสามารถนำไปใช้ช่วยในระบบขนส่งอัจฉริยะ หรือเป็นการศึกษาเพื่อตอบสนองประเทศที่กำลังพัฒนาในอนาคตต่อไป [3]

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถจำแนกกระบวนการต่าง ๆ ออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การประมวลผลสัญญาณเบื้องต้น (preprocessing) การดึงค่าลักษณะสำคัญ (feature extraction) และการรู้จำรูปแบบ (pattern recognition) ดังรูปที่ 1

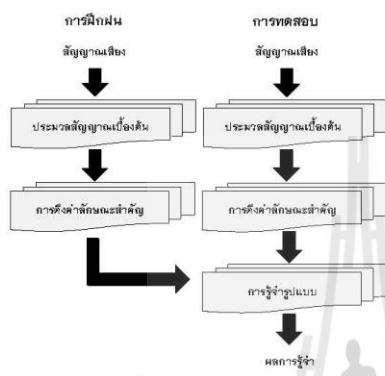


รูปที่ 1 กระบวนการต่าง ๆ การทำงานของระบบ

ในการรู้จำรูปแบบ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การฝึกฝน (training) เป็นการสร้าง



ข้อมูลอ้างอิง (reference template) ขึ้นจากค่าในชุดฝึกฝน และขั้นตอนที่สองคือการทดสอบ (testing) เพื่อหาผลลัพธ์ของระบบ เป็นการหาความคล้ายคลึงกันของรูปแบบและกฎเกณฑ์การตัดสินใจ (similarity calculation) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

2.1. ประมวลผลสัญญาณเบื้องต้น

ประมวลผลสัญญาณเป็นกระบวนการปรับแต่งสัญญาณเบื้องต้น ก่อนนำไปหาลักษณะเด่น เนื่องจากสัญญาณเสียงอินพุตที่ได้บันทึกจากกลุ่มตัวอย่าง นั้นมีความแตกต่างกัน ในด้านระดับความดังของเสียง ความถี่ของเสียง ช่วงเวลาของเสียง และจะมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย จึงต้องมีขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน รวมถึงการแบ่งสัญญาณเสียงซึ่งเป็นวิธีการจัดเตรียมสัญญาณให้เหมาะกับการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ [4]

2.1.1. สัญญาณเสียงที่เข้ามาในระบบจะถูกปรับเปลี่ยนสัญญาณสู่แกนศูนย์ เป็นการปรับสัญญาณที่นอกแกนศูนย์กลับเข้าสู่แกนศูนย์โดยใช้สมการที่ 1

$$signal = signal - mean (signal) \quad (1)$$

2.1.2. การเน้นล่วงหน้า (pre-emphasis) คือการใช้วงจรกรองดีจิตอลอันดับหนึ่ง (first-order digital filter) เพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำ ทำให้มีอัตราส่วนสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน

(signal to noise ratio: SNR) สูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปค่า a จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 1 โดยใช้สมการที่ 2

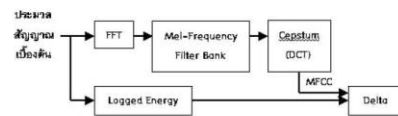
$$s(n) = s(n) - as(n - 1) \quad (2)$$

2.1.3. การแบ่งสัญญาณออกเป็นช่วงสั้น ๆ (frames) โดยทั่วไปขนาดความยาวประมาณ 15 - 50 มิลลิวินาที เพราะถือว่าสัญญาณภายในช่วงนี้ค่อนข้างคงที่ (stationary)

2.1.4. การลดขอบด้วยฟังก์ชันหน้าต่าง (smoothing window) [5] เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์อัตราสลับพหุคูณ ซึ่งการนำสัญญาณเสียงมาผ่านฟังก์ชันที่กำหนด จะมีผลให้เกิดการลดทอนค่าแอมพลิจูดที่ขอบทั้งสองด้านของส่วนย่อย เป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่บริเวณขอบ และเป็นการเน้นให้มีการประมวลผลในช่วงกลาง ของส่วนย่อยเป็นหลัก สัญญาณที่ผ่านการลดขอบด้วยฟังก์ชันหน้าต่างแบบแฮมมิง (Hamming Window) [6] จะเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.2. การดึงค่าลักษณะสำคัญ

การดึง ค่า ลักษณะ สำคัญ [7] (feature extraction) การดึงค่าลักษณะสำคัญของเสียง คือ การหาค่าลักษณะเด่นที่เป็นตัวแทน (representation) ของสัญญาณเพื่อใช้ในการลดจำนวนข้อมูล และการสกัดลักษณะเด่นเป็นการดึงลักษณะเฉพาะของหน่วยเสียงแต่ละหน่วยเสียง ที่แตกต่างกันออกมา แล้วให้ระบบรู้จำ ทำการจดจำลักษณะเด่นของหน่วยเสียงแต่ละหน่วยเสียงไว้ เมื่อสัญญาณที่เข้ามาภายหลัง มีลักษณะเด่นที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับลักษณะเด่นของหน่วยเสียงใด ระบบรู้จำจะสามารถบอกได้ว่า เป็นหน่วยเสียงกลุ่มใดหรือใกล้เคียงกับหน่วยเสียงกลุ่มใดมากที่สุด และยังคงคุณสมบัติสำคัญของข้อมูลเดิมไว้ได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3 ขั้นตอนการหาลักษณะสำคัญ MFCC

2.2.1. สัมประสิทธิ์เซปสตรัลบนสเกลเมล (mel frequency cepstral coefficient : MFCC) [8] นอกจากเซปสตรัลปกติแล้ว ซึ่งหาได้จากการแปลงฟูริเยร์ย้อนกลับ (Inverse fourier transformation) ของค่าลอการิทึม (Logarithm) ของสเปกตรัมสัญญาณเสียง แต่วิธีการที่ให้ประสิทธิภาพดีกว่า คือการปรับสเกลของสเปกตรัล ให้อยู่บนสเกลที่เหมาะสมสำหรับการรับฟังของมนุษย์ เนื่องจากสัญญาณเสียงในช่วงความถี่ต่ำ จะมีความสำคัญมากกว่าช่วงความถี่สูง จึงมีการออกแบบสเกลของสเปกตรัลให้สามารถเก็บรายละเอียดของสัญญาณเสียงช่วงความถี่ต่ำได้มากกว่า เช่น สเกลเมล (mel scale) และสเกลบาร์ก (bark scale เป็นต้น ขั้นตอนการหาลักษณะสำคัญ MFCC ดังรูปที่ 3 สูตรในการแปลงหน่วยจากเฮิรตซ์ไปเป็นหน่วยของสเกลเมล โดยใช้สมการที่ 3

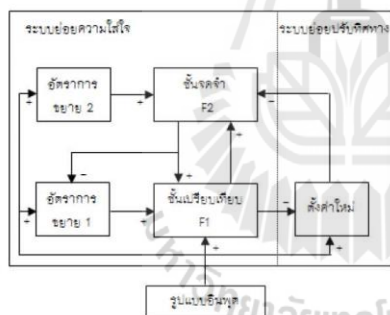
$$m = 2595 \log_{10} \left( \frac{f}{700} + 1 \right) \quad (3)$$

### 2.3. การจดจำรูปแบบ

โครงข่ายประสาทเทียม (neural network) [9] โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโครงข่ายที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุตตามกฎการเรียนรู้ (learning rule) หลังจากที่ได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องการแล้ว โครงข่ายจะสามารถทำงานที่กำหนดไว้ได้ โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกพัฒนาคิดค้นจากการทำงานของสมองมนุษย์ โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม (neuron) จำนวนเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์มีอยู่ประมาณ  $10^{11}$  และมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย สมองมนุษย์จึงสามารถกล่าวได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง ไม่เป็นเชิงเส้น และทำงานแบบขนานในการดูแลจัดการการทำงานร่วมกันของเซลล์ประสาท

ในสมอง ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมที่เลียนแบบมาจากการทำงานของสมองมนุษย์นี้ จึงมีความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่าง และการทำให้เป็นกรณีทั่วไป (generalize) ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายจะถูกฝึกสอนโดยการแสดงรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการให้โครงข่ายเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้ ขบวนการเรียนรู้ได้ของโครงข่ายนี้ทำให้มีความแตกต่างไปจากการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ การที่โครงข่ายถูกทำให้เป็นกรณีทั่วไป ทำให้ตัวโครงข่ายสามารถจำแนกแยกแยะรูปแบบของอินพุตแบบใหม่ ๆ ที่ตัวโครงข่ายไม่รู้จักมาก่อนได้ ตัวโครงข่ายประสาทเทียมทำการเก็บข้อมูลความรู้ในระหว่างขั้นตอนของการเรียนรู้ ซึ่งเก็บไว้ที่จุดน้ำหนักประสาท (synaptic weights) ในโครงสร้างของตัวเซลล์ประสาทเทียม ภายในโครงข่ายมีอยู่หลายชนิด ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้คุณลักษณะต่าง ๆ ของโครงข่ายแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นการจัดวางเรียงตัวของเซลล์ประสาทเทียม กฎการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนค่าของน้ำหนักประสาท และเงื่อนไขในการฝึกฝนของโครงข่าย อย่างไรก็ตาม โครงข่ายชนิดต่าง ๆ มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมาก เหมือนกับสมองของมนุษย์ ความไม่เป็นเชิงเส้นเป็นคุณลักษณะร่วมกันของโครงข่ายเกือบทุกแบบ นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังมีข้อดีอีกมากมาย เช่น มีความทนทานต่อความบกพร่องเพราะข้อมูลภายในโครงข่าย ได้ถูกกระจายไปทั่วทั้งโครงข่ายตามเซลล์ประสาทเทียมต่าง ๆ การจะทำให้ทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้นั้นจะต้องทำให้เกิดความเสียหายอย่างหนักเท่านั้น และโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการโต้ตอบและตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้ โดยเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลง ตัวโครงข่ายจะสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ แล้วทำการฝึกฝนให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ได้

2.3.1. โครงข่าย ART (adaptive resonance theory network) [10] โครงข่าย ART เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่มีการฝึกสอน โดยเมื่อทำการป้อนค่าให้โครงข่ายโครงข่ายจะจัดจำข้อมูลนั้นเป็นกลุ่มข้อมูลชุดที่ 1 เมื่อป้อนข้อมูลใหม่ที่มีค่าแตกต่างจากข้อมูลชุดแรก ระบบจะทำการเพิ่มกลุ่มข้อมูลใหม่เพื่อเก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่นที่เมื่อทำการป้อนข้อมูลให้โครงข่ายด้วยข้อมูลชุดที่ 1 แล้ว ต้องการเพิ่มข้อมูลใหม่ให้โครงข่ายเรียนรู้เพิ่มเติม จำเป็นจะต้องทำการฝึกสอนโครงข่ายใหม่อีกครั้ง ด้วยข้อมูลชุดใหม่นั้นและทำให้โครงข่ายมีความรู้เท่าที่เรียนรู้มาจากข้อมูลชุดเดิม โครงข่าย ART มีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ สามารถคงความรู้ที่เคยเรียนรู้หรือรูปแบบที่เรียนรู้มาแล้วได้ (stability) และสามารถเรียนรู้ความรู้หรือรูปแบบใหม่เพิ่มเติมได้ไปพร้อม ๆ กัน (plasticity) [11] สถาปัตยกรรมและการทำงานของโครงข่าย ART ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของโครงข่าย ART

3. การดำเนินงานและผลงานวิจัย

การดำเนินงานในการทดลองระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียงด้วยวิธีทางปัญญาประดิษฐ์สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนดังนี้

3.1. ขั้นตอนการบันทึกเสียง

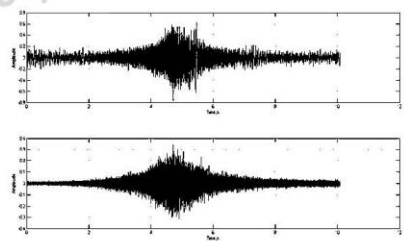
เก็บข้อมูลเสียงบนถนนที่รถใช้ความเร็วคงที่บันทึกเสียงโดยใช้อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) เท่ากับ 44,100 เฮิร์ตซ์ ระดับความลึกของเสียง (Bit Depth) 16 บิต แบบหนึ่งช่องทางเสียง (Mono Channel) อยู่ในรูปแบบไฟล์ wav

เก็บข้อมูลรถยนต์ทั้งหมด 3 คัน โดยแบ่งประเภทรถยนต์ตามนี้ รถยนต์นั่งขนาดเล็ก (compact car) จำนวน 2 คัน และรถกระบะขนาดกลาง (pickup) จำนวน 1 คัน เก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ครั้งด้วยความเร็วคงที่ ในสภาพแวดล้อมปกติ เมื่อบันทึกเสียงสำเร็จบันทึกชื่อเป็น xn.wav โดยที่ n คือลำดับรถยนต์และ k คือลำดับในการบันทึก

3.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบ

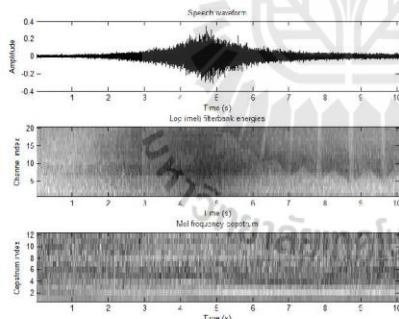
ระบบตรวจจับการจราจรบนถนนนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนของการเรียนรู้เสียงรถยนต์ และขั้นตอนของการทดสอบเสียงรถยนต์ โดยที่โครงสร้างโดยภาพรวมแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ขั้นตอนของการเรียนรู้นั้นเริ่มจากกระบวนการทำงาน จากการป้อนสัญญาณเสียงที่ทำการบันทึกได้นั้น เข้ามาในระบบ สัญญาณเสียงจะถูกนำไปผ่านกระบวนการปรับแต่ง และตัดเสียงเพื่อนำเสียงที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการนี้จึงได้สัญญาณเสียงที่เป็นเฉพาะเสียงของรถยนต์ [12] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สัญญาณเสียงหลักจากการปรับแต่ง

จากนั้นนำสัญญาณเสียงที่ได้มาผ่านกระบวนการสกัดหาคุณสมบัติของเสียงด้วยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์เซปสตรัลบนเมลสเกล ซึ่งขั้นตอนนี้ใช้สำหรับเน้นค่าความถี่ของเสียง เพื่อที่จะได้คุณสมบัติเสียงของรถยนต์แต่ละคันออกมา ดังรูปที่ 6 สัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการสกัดหาคุณสมบัติของเสียงด้วย MFCC จากนั้นนำสัญญาณเสียงของรถยนต์มาเข้ากระบวนการเรียนรู้จำ โดยโครงข่ายประสาทเทียมด้วยทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัวได้ ซึ่งจะเสริมสั้นของกระบวนการการเรียนรู้ ขั้นตอนการทดสอบเสียงรถยนต์ขั้นตอนการทดสอบมีขั้นตอนย่อยต่าง ๆ คล้ายกับขั้นตอนการเรียนรู้ โดยการนำสัญญาณเสียงรถยนต์ที่จะทดสอบเข้ามาผ่านกระบวนการวางกรอบสัญญาณวินโดว การหาคุณสมบัติของเสียง และนำสัญญาณเสียงที่ได้ มาเปรียบเทียบกับโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากกระบวนการการเรียนรู้ จึงจะได้ผลลัพธ์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว



รูปที่ 6 สัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการสกัดหาคุณสมบัติของเสียงด้วย MFCC

3.3. ผลการทดสอบระบบ

นำข้อมูลของสัญญาณเสียงแต่ละประเภทของรถทำตามกระบวนการของข้อ 3.2 ทดสอบข้อมูลของรถ

แต่ละประเภทอย่างละ 3 ครั้ง ผลที่ได้ออกมาตามตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการทดลอง

ประเภทของรถยนต์	ครั้งที่ 1 ของการทดสอบ	ครั้งที่ 2 ของการทดสอบ	ครั้งที่ 3 ของการทดสอบ
รถยนต์มีขนาดเล็ก (1)	ตรวจสอบพบ	ตรวจสอบพบ	ตรวจสอบพบ
รถยนต์มีขนาดเล็ก (2)	ตรวจสอบไม่พบ	ตรวจสอบพบ	ตรวจสอบพบ
รถกระบะขนาดกลาง	ตรวจสอบไม่พบ	ตรวจสอบพบ	ตรวจสอบพบ

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการทดลอง

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองปรากฏว่าผลที่ออกมาสามารถตรวจสอบในการทดลองครั้งที่ 2 เป็นต้นไป แสดงให้เห็นว่าการนำสัญญาณจากเสียงของรถยนต์มาเข้าสู่กระบวนการการเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมด้วยทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว มีการปรับตัวเพื่อเรียนรู้สัญญาณที่ใกล้เคียงได้เป็นอย่างดี จึงเหมาะแก่การนำมาใช้กับระบบตรวจจับการจราจรบนถนนเชิงเสียง

ในส่วนของข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคตนั้น เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทำงานเทคนิค MFCC ในการหาคุณลักษณะเด่นมาใช้เพียงอย่างเดียว ค่าของการวิเคราะห์ต่างๆอาจจะคลาดเคลื่อน จึงอาจมีการใช้เทคนิคอื่นเข้ามาช่วยด้วยเช่น ประสิทธิภาพของ LPC, LSP หรือ PCA เป็นต้น ซึ่งอาจจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวิธีการหาคุณลักษณะเด่นได้แม่นยำกว่านี้

5. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ ต่องานวิจัย รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัย จนสำเร็จไปได้ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่สนับสนุนทุนการศึกษาพร้อมทั้ง สถานที่ และ เครื่องมือในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีต และปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chao Gao and Ismo Hakala, 2012. Road Traffic Detection Using Wireless Noise Sensors. IEEE ICC 2012 – Ad-hoc and Sensor Networking Symposium.
- [2] S. Chen , P. Sun and B. Bridge, 1998. Automatic traffic monitoring by intelligent sound detection. IEEE 1998.
- [3] Kantip Kiratiratanapruk and Supakorn Siddhichai, 2009. Practical Application for Vision-based Traffic Monitoring System. National Science and Technology Development Agency Thailand Science Park, Pathumthani, Thailand.
- [4] Swaroop Roy, Rjirekha Sen, Swanand Kulkarni, Purushottam Kulkarni, Bhaskaran Raman and Lokendra Kumar Singh, 2011. WirelessAcrossRoad: RF based Road Traffic Congestion Detection. Department of Computer Science and Engineering Indian Institute of Technology, Bombay.
- [5] เอกชัย เนาวนิช , 2550.โปรแกรมฝึกออกเสียงพยัญชนะไทยสำหรับผู้บกพร่องทางการได้ยินโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [6] โพลิน แสงเพชร และ สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์, 2556. ระบบระบุผู้พูดด้วยเสียงโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] สุวิทย์ ตุ่มทอง, 2553. การรู้จำผู้พูดโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคัลัสเตอร์ริง. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [8] Wei Han, Cheong-Fat Chan, Chiu-Sing Choy and Kong-Pang Pun, 2006. An Efficient MFCC Extraction Method in Speech Recognition. Department of Electronic Engineering The Chinese University of Hong Kong.
- [9] อาทิตย์ ศรีแก้ว, 2552. ปัญญาเชิงคำนวณ. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [10] อภิรดี อัมพะลิว, 2551. เทคนิคการตรวจจับหน้าคนด้วยโครงข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [11] ชานนท์ ไสตถิถาวร, 2551. ระบบติดตามพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ห้วงคัมภ์ประกอบหลักและโครงข่ายทฤษฎีเรโซแนนซ์แบบปรับตัว. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [12] Kenji KODERA, Akitoshi ITAI and Hiroshi YASUKAWA, 2008. Approaching Vehicle Detection Using Linear Microphone Array. International Symposium on Information Theory and its Applications, ISITA2008.

## ประวัติผู้เขียน

นายอภิวัฒน์ จันโท เกิดเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2530 ณ โรงพยาบาลตากสิน แขวง คลองสาน เขตคลองสาน จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียน เซนต์เทเรซา (หนอง-จอก) จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียน บดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ๔ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา ระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพวุฒิการศึกษา ปวช. ในสาขาไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยการอาชีพกาญจนาภิเษกหนองจอก จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี ในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ศาสตรบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) เมื่อปีการศึกษา 2552 ภายหลังสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงาน ในตำแหน่งหัวหน้างานพัฒนาระบบสารสนเทศ สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีการศึกษา 2555 ได้ต่อในระดับบัณฑิตศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในระหว่างการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ได้ทำวิจัยร่วมกับ บริษัท ที.เอ็ม.ซี.อุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) ทั้งนี้มีความสนใจในด้านการเขียนโปรแกรม PLC การเขียนโปรแกรมการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ และการประมวลผลสัญญาณภาพและเสียง