

เครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

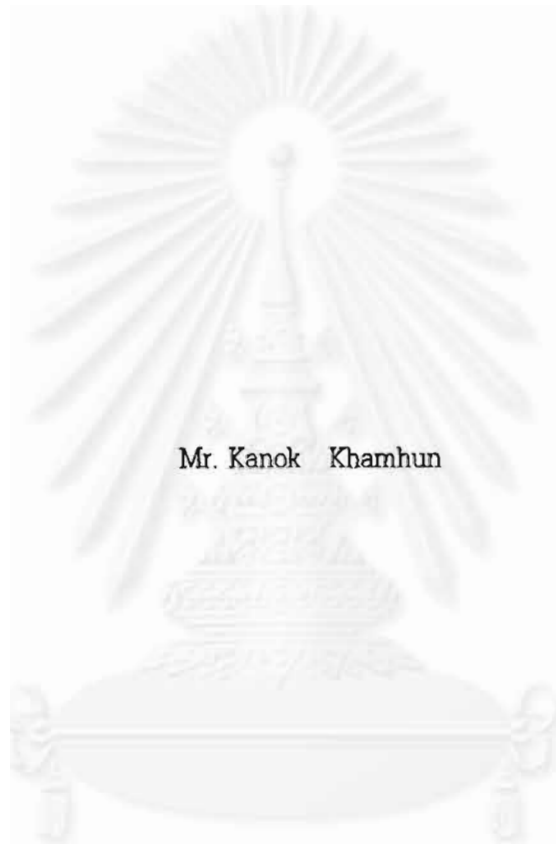
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-563-3

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN ULTRASONIC ROAD TRAFFIC DETECTOR



Mr. Kanok Khamhun

สถาบันวิทยบริการ
วารสารของมหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 1999

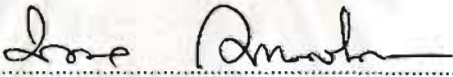
ISBN 974-333-563-3

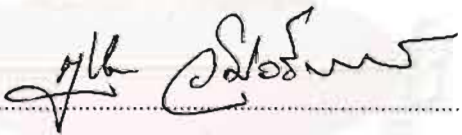
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์
โดย นาย กนก ขำหุ่น
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิชาชีรานนท์

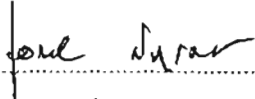
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

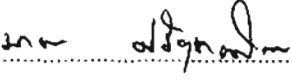

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เดชนครินทร์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์กฤษดา วิชาชีรานนท์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลากรณ์)

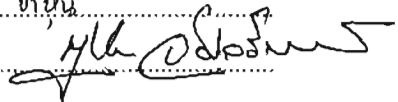

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์)

กนก ขำหุ่น : เครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (An Ultrasonic Road Traffic Detector) อ.ที่ปรึกษา : รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ ; 77 หน้า.

ISBN 974-333-563-3

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องวัดปริมาณการจราจรแบบหนึ่งที่ตั้งไว้เหนือถนน ซึ่งมีข้อดีในแง่การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการเคลื่อนย้ายที่สะดวก การตรวจวัดใช้การปล่อยเสียงในย่านอัลตราซาวด์ลงไปยังพื้นถนน แล้วรับเสียงที่สะท้อนกลับนำมาประมวลผลโดยอาศัยความแตกต่างของเวลาที่เสียงใช้สะท้อนกลับจากผิวถนนและจากยานพาหนะ ข้อมูลด้านการจราจรอันได้แก่ ปริมาณ อัตราเร็วเฉลี่ยและการครอบครองถนน จะถูกบันทึกและสามารถนำมาแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ เครื่องต้นแบบถูกสร้างขึ้นและได้นำไปทดสอบบนท้องถนนจริง จากการทดสอบพบว่ามีค่าผิดพลาดจากการนับปริมาณยานพาหนะในสภาพการจราจรคล่องตัว เท่ากับ 1.17% และในสภาพการจราจรติดขัดเท่ากับ 6.01%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

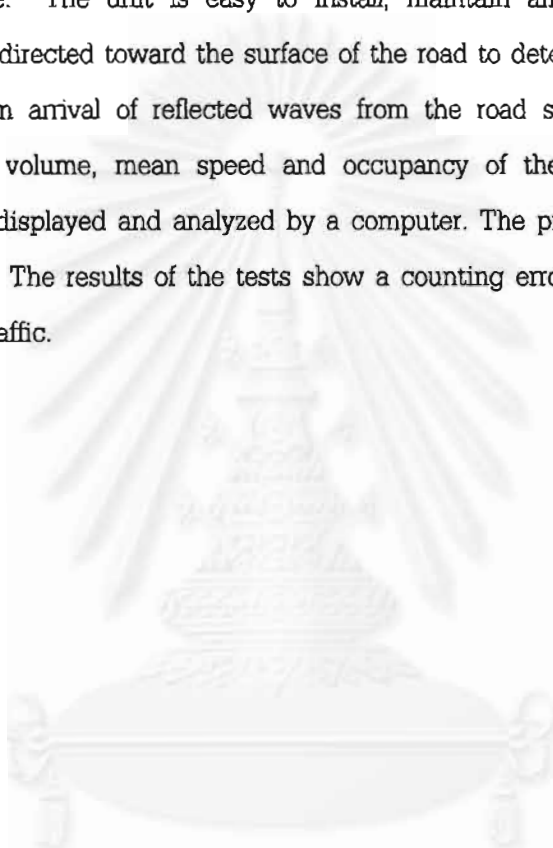
ภาควิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่อนิสิต.....	กนก ขำหุ่น.....
สาขาวิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....	
ปีการศึกษา.....	2542.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....	

KANOK KHAMHUN : AN ULTRASONIC ROAD TRAFFIC DETECTOR.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. KRISADA VISAVATEERANON ; 77 PP.

ISBN 974-333-563-3

This thesis presents a design of non-contact type road traffic detector to be installed above a road surface. The unit is easy to install, maintain and move to other places. Ultrasonic waves are directed toward the surface of the road to detect vehicles by measuring the time difference in arrival of reflected waves from the road surface and vehicles. The traffic data such as volume, mean speed and occupancy of the traffic is recorded into memory and can be displayed and analyzed by a computer. The prototype is developed and tested on a real road. The results of the tests show a counting error of 1.17 % on low traffic and 6.01 % on high traffic.



ภาควิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่อนิสิต.....	กนก	บ้าน
สาขาวิชา.....	วิศวกรรมไฟฟ้า.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....	<i>Krisada Visavateeranon</i>	
ปีการศึกษา.....	2542.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....		



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.กฤษดา วิสวธีรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง โดยได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ และอีกหลายๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง ให้ยืมเครื่องมือต่างๆ และให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการทำวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆตลอดจนให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
แนวเหตุผล.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ข้อมูลด้านการจรรยาและเครื่องวัดปริมาณการจรรยา.....	3
2.1 คำนิยามของข้อมูลด้านการจรรยาต่างๆ.....	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านการจรรยา.....	5
2.3 ความเป็นมาของเครื่องวัดปริมาณการจรรยา.....	6
2.4 ตัวตรวจวัดแบบรูปเหนียวน้ำ.....	7
2.5 ตัวตรวจวัดแบบใช้สนามแม่เหล็ก.....	8
2.6 ตัวตรวจวัดแบบอาศัยการกดทับ.....	9
2.7 ตัวตรวจวัดแบบใช้การประมวลผลภาพ.....	10
2.8 ตัวตรวจวัดแบบใช้ไมโครเวฟ.....	11
2.9 ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรด.....	12
2.10 ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงเลเซอร์.....	13
2.11 ตัวตรวจวัดแบบใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์.....	14
2.12 ตัวตรวจวัดแบบพาสซีฟอะคูสติก.....	15
2.13 สรุปข้อดีข้อเสียของตัวตรวจวัดแต่ละประเภท.....	16
3 หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับอัลตราซาวด์.....	19

3.1	คุณสมบัติทั่วไปและธรรมชาติของคลื่นเสียง.....	19
3.2	คลื่นเสียงอัลตราซาวด์.....	21
3.3	อัตราเร็วของเสียง.....	22
3.4	การกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราซาวด์.....	23
3.5	ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก.....	23
3.6	อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก.....	24
3.7	การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการตรวจจذبวัตถุ.....	29
4	รายละเอียดของเครื่องวัดปริมาณการจราจรที่สร้างขึ้น.....	32
4.1	ส่วนประกอบของเครื่องวัดปริมาณการจราจร.....	32
4.2	หลักการทำงานและการออกแบบเครื่องตรวจวัด.....	33
4.3	ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของตัวตรวจวัด.....	36
4.4	ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์ของตัวตรวจวัด.....	41
4.5	ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องบันทึกข้อมูล.....	43
4.6	ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์ของเครื่องบันทึกข้อมูล.....	44
4.7	ฐานข้อมูลการจราจร.....	49
4.8	ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแสดงข้อมูลและจัดพิมพ์รายงาน.....	49
5	ผลการทดสอบ.....	51
5.1	การทดสอบการทำงานของตัวตรวจวัด.....	51
5.2	การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล.....	53
5.3	การทดสอบหาความยาวของการตรวจจذبได้ที่พื้นถนนของตัวตรวจวัด.....	54
5.4	การทดสอบการตรวจวัดการครอบครองถนน.....	54
5.5	การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดอัตราเร็ว.....	54
5.6	การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดปริมาณยานพาหนะ.....	56
5.7	สรุปผลการทดสอบ.....	60
6	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	62
6.1	สรุป.....	62
6.2	ข้อเสนอแนะ.....	63
	รายการอ้างอิง.....	65
	ภาคผนวก.....	67
	ประวัติผู้เขียน.....	77

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและการครอบครองถนน.....	5
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราเร็ว.....	6
รูปที่ 2.3	ตัวตรวจวัดแบบรูปเหนียวน้ำ.....	7
รูปที่ 2.4	ตัวตรวจวัดแบบใช้สนามแม่เหล็ก.....	8
รูปที่ 2.5	โครงสร้างของตัวตรวจวัดแบบอาศัยการกดทับ.....	10
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมประมวลผลภาพ.....	11
รูปที่ 2.7	การตรวจวัดโดยใช้ไมโครเวฟ.....	12
รูปที่ 2.8	ตัวตรวจวัดแบบใช้ไมโครเวฟ.....	12
รูปที่ 2.9	ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรด.....	13
รูปที่ 2.10	โครงสร้างของยานพาหนะขนาดเล็กที่ได้จากตัวตรวจวัดแบบเลเซอร์.....	14
รูปที่ 2.11	ตัวตรวจวัดแบบใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์.....	14
รูปที่ 2.12	ตัวตรวจวัดแบบพาสซีฟอะคูสติก.....	15
รูปที่ 3.1	คลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง.....	19
รูปที่ 3.2	คลื่นตามขวางเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง.....	19
รูปที่ 3.3	แสดงการจำแนกความถี่ในย่านต่างๆ.....	21
รูปที่ 3.4	การเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก.....	24
รูปที่ 3.5	รูปร่างภายนอกของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก.....	25
รูปที่ 3.6	โครงสร้างภายในของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก.....	25
รูปที่ 3.7	ลักษณะการรวมเสียงของเลนส์รูปทรงกลม และ รูปกรวยกลม.....	26
รูปที่ 3.8	การทำงานของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก.....	27
รูปที่ 3.9	ผลตอบทางความถี่ของตัวรับคลื่นขณะที่ต่อโหลดความต้านทานค่าต่างๆ.....	28
รูปที่ 3.10	การใช้งานอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ในงานตรวจจับวัตถุ.....	29
รูปที่ 3.11	ขอบเขตการมองเห็น(FOV).....	30
รูปที่ 4.1	ส่วนประกอบของเครื่องวัดปริมาณการจราจรขนาด 4 ช่องจราจร.....	33
รูปที่ 4.2	การตรวจวัดโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์.....	34
รูปที่ 4.3	หลักการทำงานของตัวตรวจวัด.....	35
รูปที่ 4.4	ส่วนประกอบของตัวตรวจวัด.....	37
รูปที่ 4.5	วงจรรขยายสัญญาณและกรองความถี่สูงผ่าน.....	38

รูปที่ 4.6	วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	39
รูปที่ 4.7	การทำงานของตัวควบคุม.....	40
รูปที่ 4.8	ไดอะแกรมของเครื่องบันทึกข้อมูล.....	44
รูปที่ 4.9	ตัวอย่างฐานข้อมูลการจราจรซึ่งจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ.....	49
รูปที่ 4.10	การกำหนดรายงานที่ต้องการสร้าง.....	50
รูปที่ 4.11	การกำหนดแผนภูมิที่ต้องการสร้าง.....	51
รูปที่ 5.1	ต้นแบบของเครื่องวัดปริมาณจราจร.....	52
รูปที่ 5.2	สัญญาณที่ใช้ในการขับตัวส่งเสียงอัลตราโซนิก.....	53
รูปที่ 5.3	สัญญาณแอดพัตจากวงจรถายสัญญาณ.....	53
รูปที่ 5.4	การทดสอบหาความยาวของการตรวจจับได้ที่พื้นถนน.....	54
รูปที่ 5.5	ค่าความผิดพลาดจากการตรวจวัดอัตราเร็วของยานพาหนะ.....	55
รูปที่ 5.6	การติดตั้งตัวตรวจวัด.....	56
รูปที่ 5.7	ค่าความผิดพลาดจากการตรวจนับยานพาหนะในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่เร็ว).....	58
รูปที่ 6.1	รูปแบบการจัดวางอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพื่อเพิ่มมุมการรับส่งคลื่น.....	63

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของตัวตรวจวัดแต่ละประเภท.....	16
ตารางที่ 3.1	ความเร็วของเสียงที่ใช้เดินทางในตัวกลางต่างๆ.....	22
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบความสามารถในการตรวจวัดอัตราเร็ว.....	55
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่เร็ว).....	57
ตารางที่ 5.3	ผลการทดสอบในสภาพการจราจรคล่องตัวและเคลื่อนที่ช้า.....	59
ตารางที่ 5.4	ผลการทดสอบในสภาพการจราจรติดขัด.....	60
ตารางที่ 5.5	สรุปผลการทดสอบหาปริมาณยานพาหนะ.....	61



บทที่ 1

บทนำ



1.1 แนวเหตุผล

การตรวจวัดปริมาณการจราจรมีความจำเป็นเนื่องจากสภาพการจราจรในปัจจุบันหนาแน่นไปด้วยยานพาหนะที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในหลายประเทศได้มีการพัฒนาระบบควบคุมการจราจรอัตโนมัติขึ้น ระบบที่ว่านี้ประกอบด้วยเครื่องตรวจวัด ระบบสื่อสาร และศูนย์ควบคุม ซึ่งสามารถให้ข้อมูลแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะได้ทราบ และสามารถเลือกใช้เส้นทางได้อย่างเหมาะสม ระบบต่างๆ เหล่านี้ต้องการข้อมูลด้านการจราจร นอกจากนั้นแล้วข้อมูลด้านการจราจรที่ได้ยังอาจนำมาใช้ในการปรับปรุงถนนและวางแผนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น

ในการวัดปริมาณการจราจรนั้นต้องอาศัยตัวตรวจวัดซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิดแต่สามารถแบ่งตามลักษณะการติดตั้งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือแบบติดตั้งบนผิวถนนและแบบติดตั้งเหนือถนน อุปกรณ์ตรวจวัดที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือแบบลูปเหนี่ยวนำ (Inductive Loop) และแบบท่อลมยาง (Pneumatic Tube) ซึ่งเป็นประเภทที่ติดตั้งบนผิวถนน การติดตั้งและซ่อมแซมทำได้ไม่สะดวกนัก ต้องหยุดการจราจรและมีค่าใช้จ่ายสูง สำหรับแบบท่อลมยางจะมีปัญหาเรื่องอายุการใช้งานที่ไม่แน่นอนเนื่องจากต้องถูกล้อของยานพาหนะบดทับ อุปกรณ์ตรวจวัดประเภทติดตั้งเหนือถนนจะให้ข้อดีกว่าในแง่ของการติดตั้ง การซ่อมแซม การเคลื่อนย้ายที่สะดวก และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า

ได้มีความพยายามที่จะพัฒนาเครื่องตรวจวัดการจราจรที่เหมาะสมขึ้นใช้ในประเทศ เช่นเครื่องตรวจวัดปริมาณการจราจรโดยใช้อุปกรณ์ไพโรอิเล็กทริก[3] ซึ่งเป็นเครื่องตรวจวัดแบบที่ติดตั้งเหนือถนน สามารถตรวจนับยานพาหนะในสภาพการจราจรที่คล่องตัวได้อย่างแม่นยำ แต่ยังมีคามผิดพลาดในเกณฑ์ที่สูงเมื่อนำไปใช้ในบริเวณที่สภาพการจราจรติดขัดอีกทั้งข้อมูลด้านการจราจรที่ได้คือปริมาณ ซึ่งได้จากการนับจำนวนยานพาหนะเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาเครื่องตรวจวัดแบบอัลตราซาวด์ขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ เครื่องตรวจวัดนี้เป็นเครื่องตรวจวัดแบบติดตั้งเหนือถนนอีกชนิดหนึ่งสามารถให้ข้อมูลด้านการจราจรอันได้แก่ปริมาณ, อัตราเร็วและการครอบครองถนนของยานพาหนะ การติดตั้งและการปรับแต่งทำได้สะดวก ใช้เวลาน้อย โดยติดตั้งไว้ที่ปลายเสาหรือคานในระดับเหนือถนนแล้วเล็งตัวตรวจวัดลงมาตั้งฉากกับพื้นที่เป้าหมาย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้ตัวตรวจวัดอัลตราซาวด์

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. สร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดปริมาณการจราจรโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ที่สามารถตรวจวัดได้ 4 ช่องจราจร ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
2. สร้างซอฟต์แวร์สำหรับนำข้อมูลที่ได้ มาพิมพ์เป็นรายงานเพื่อใช้วิเคราะห์สภาพการจราจรได้
3. นำเครื่องต้นแบบไปทดสอบในสภาพการใช้งานจริง

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องตรวจวัดปริมาณการจราจรแบบต่างๆ
2. ศึกษาและทำความเข้าใจหลักการทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
3. ออกแบบฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ในส่วนของตัวตรวจวัด
4. ทดสอบการทำงานของตัวตรวจวัด
5. สร้างฮาร์ดแวร์ของเครื่องบันทึกข้อมูล
6. สร้างซอฟต์แวร์ ที่ใช้สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องบันทึกข้อมูล
7. ทดสอบระบบทั้งหมดในสภาพการใช้งานจริง
8. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่อง
9. ประเมินผลและสรุป
10. เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณการจราจรที่เหมาะสมขึ้นใช้ในประเทศ
2. ได้ต้นแบบของเครื่องวัดปริมาณการจราจรที่สามารถใช้ตรวจวัดปริมาณ อัตราเร็วและการครอบครองถนนของยานพาหนะ
3. เป็นแนวทางในการใช้คลื่นอัลตราซาวด์เพื่อการตรวจจับวัตถุ

บทที่ 2

ข้อมูลด้านการจราจรและเครื่องวัดปริมาณการจราจร

สิ่งที่ได้รับจากการตรวจวัดปริมาณการจราจรก็คือข้อมูลด้านการจราจร ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ข้อมูลเชิงมหภาค เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงถึงพฤติกรรมของยานพาหนะจำนวนหนึ่งที่อยู่ในส่วนของถนนที่ทำการตรวจวัด เช่น ความหนาแน่น (Density), การครอบครองถนน (Occupancy), ปริมาณ (Volume) และ อัตราเร็วโดยเฉลี่ย (Mean Speed) ฯลฯ
2. ข้อมูลเชิงจุลภาค เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงถึงพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน เช่น อัตราเร็วเฉพาะที่ (Spot Speed), ระยะห่างระหว่างรถ (Head Way) ฯลฯ

2.1 คำนิยามของข้อมูลด้านการจราจรต่างๆ

- 2.1.1 ปริมาณการจราจร(Volume) คือจำนวนยานพาหนะซึ่งเคลื่อนที่ผ่านจุดที่กำหนดในคาบเวลาหนึ่งหน่วยที่นิยมใช้วัด คือ จำนวนคัน/ชม. ถือเป็นค่าวัดพื้นฐานที่จำเป็น แต่การใช้ปริมาณนี้เป็นข้อมูลเพียงชนิดเดียวนั้น ยังไม่สามารถบอกได้ว่าสภาพการจราจรแออัด มากน้อยเพียงใด เนื่องจากกลุ่มของยานพาหนะจำนวนมากซึ่งเคลื่อนที่ช้าในกรณีของสภาพการจราจรติดขัด อาจจะทำให้ปริมาณค่าเดียวกับที่ตรวจวัดได้จากยานพาหนะเคลื่อนที่ได้ไว้ในสภาพการจราจรที่คล่องตัว
- 2.1.2 ความหนาแน่น(Density) คือจำนวนยานพาหนะที่มีอยู่บนช่วงความยาวของถนนที่กำหนด หน่วยที่นิยมใช้วัด คือ จำนวนคัน/ไมล์ หรือจำนวนคัน/กม.
- 2.1.3 การครอบครองถนน(Occupancy) คืออัตราส่วนระหว่างเวลาที่มียานพาหนะอยู่ในส่วนของถนนที่กำหนดต่อช่วงเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 2.1[12]

$$LO = \left[\sum_{i=1}^N (ti) \right] / T * 100 \quad (2.1)$$

- เมื่อ LO = เปอร์เซ็นต์การครอบครองถนน
 ti = เวลาที่ยานพาหนะแต่ละคันอยู่ในพื้นที่ที่ตรวจจับได้ของตัวตรวจวัด
 T = ช่วงเวลาในการตรวจวัด
 N = จำนวนยานพาหนะทั้งหมดในช่วงเวลาการตรวจวัด T

การครอบครองถนนเป็นข้อมูลที่ใช้แทนความหนาแน่น โดยสามารถวัดได้ง่ายกว่า ทั้งความหนาแน่นและการครอบครองถนนจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งจะแสดงว่าการจราจรขณะนั้นอยู่ในสภาพแออัด

2.1.4 อัตราเร็ว(Speed) เป็นข้อมูลที่ใช้แสดงอัตราการเคลื่อนตัวของการจราจร แบ่งเป็นสองชนิด คือ อัตราเร็วเฉพาะที่ (Spot Speed) และอัตราเร็วโดยเฉลี่ย(Mean Speed)

- อัตราเร็วเฉพาะที่ เป็นอัตราเร็วขณะใดๆ ของยานพาหนะแต่ละคันที่วิ่งผ่านจุดสังเกต การวัดหาอัตราเร็วเฉพาะที่นั้นโดยทั่วไปทำได้สองวิธี วิธีแรกใช้ตัวตรวจวัดสองตัวติดตั้งห่างกันด้วยระยะห่างคงที่ จากนั้นคำนวณหาอัตราเร็วเฉพาะที่ได้จากระยะห่างระหว่างตัวตรวจวัดหารด้วยเวลาที่ยานพาหนะใช้เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ตรวจวัดของตัวตรวจวัดทั้งสอง อีกวิธีหนึ่งคือใช้ตัวตรวจวัดเพียงตัวเดียว โดยใช้ความยาวเฉลี่ยของยานพาหนะในการประมาณค่าอัตราเร็วเฉพาะที่ ดังสมการที่ 2.2[12]

$$S = 3.6(VL+DL)/T \quad (2.2)$$

โดยที่ S คือ อัตราเร็วเฉพาะที่ (กม./ชม.)

3.6 คือ ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย เมตร/วินาที เป็น กม./ชม.

VL คือ ความยาวเฉลี่ยของยานพาหนะ (เมตร)

DL คือ ความยาวของพื้นที่ตรวจจับได้ของตัวตรวจวัด (เมตร)

T คือ เวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านตลอดพื้นที่ตรวจจับได้ของตัวตรวจวัด (วินาที)

- อัตราเร็วโดยเฉลี่ย เป็นการนำเอาอัตราเร็วเฉพาะที่ของยานพาหนะแต่ละคันที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่กำหนดมาหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.3[12]

$$V_t = \Sigma X/n \quad (2.3)$$

โดยที่ V_t คือ อัตราเร็วโดยเฉลี่ย (กม./ชม.)

ΣX คือ ผลรวมของอัตราเร็วเฉพาะที่ของยานพาหนะทั้งหมด

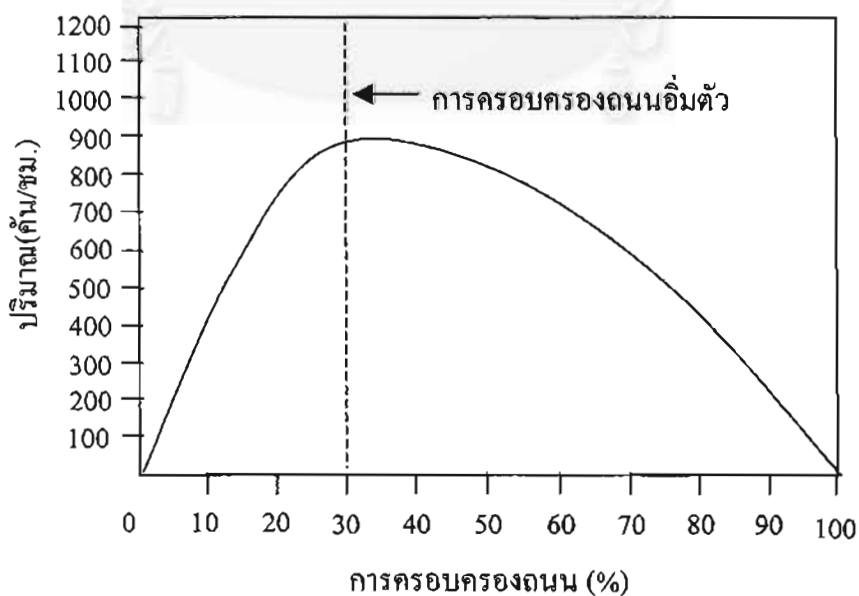
n คือ จำนวนของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ

2.1.5 ระยะระหว่างรถ(Headway) คือระยะห่างระหว่างยานพาหนะที่อยู่ในช่องการจราจรเดียวกัน โดยทั่วไปมีหน่วยเป็นเวลา(วินาที) แต่วัดเป็นระยะทางก็ได้ ในสภาพการจราจรที่คล่องตัว ระยะระหว่างรถจะมาก

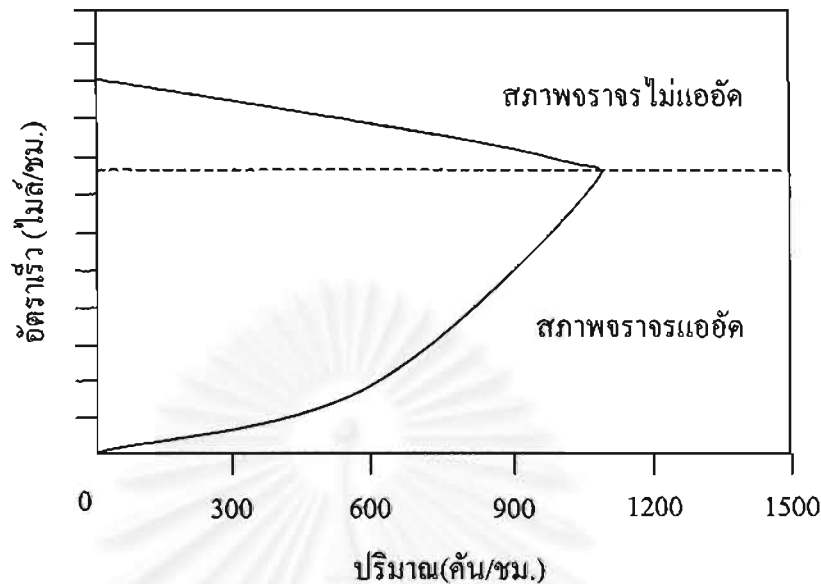
เมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิมตัว ระยะระหว่างรถจะน้อยลงจนกระทั่งยานพาหนะจอดอยู่กับที่ ปริมาณจะเริ่มลดลง และยานพาหนะจะจอดเรียงกันในลักษณะท้ายต่อท้ายกันไปเรื่อยๆ

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านการจราจร

ข้อมูลที่ได้มากกว่าหนึ่งชนิดสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบลักษณะของสภาพการจราจรได้ ข้อมูลคนละชนิดกันจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันอยู่ รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและการครอบครองถนน จะเห็นว่าปริมาณเพิ่มขึ้นตามการครอบครองถนนที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดอิมตัว หลังจากนั้นปริมาณจะลดลงเนื่องจากเกิดความแออัดของการจราจร จุดอิมตัวของการครอบครองถนนนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของถนนว่าจำกัดความเร็วหรือไม่ และลักษณะทางเรขาคณิตของถนนว่าเป็นเส้นตรงหรือมีมุมเลี้ยวโค้ง รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราเร็ว รูปร่างความสัมพันธ์ที่แน่นอนจะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะเฉพาะของแต่ละถนนเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและการครอบครองถนน ลักษณะสำคัญที่ชี้ให้เห็นในรูปที่ 2.2 ก็คือในช่วงที่การจราจรยังไม่แออัดนั้น อัตราเร็วของยานพาหนะจะลดลงอย่างช้าๆ ในขณะที่ปริมาณของการจราจรบนถนนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนถึงพิกัดความจุของถนน ผลของความแออัดจะลดอัตราเร็วของยานพาหนะลงอย่างรวดเร็วและปริมาณจะเริ่มลดลง



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและการครอบครองถนน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและอัตราเร็ว

จากรูปตัวอย่างความสัมพันธ์ทั้งสองดังกล่าวมาแล้วนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลด้านการจราจรเพียงชนิดเดียว ยังไม่เพียงพอที่จะใช้ตรวจสอบสภาพการจราจร ตัวอย่างเช่น เมื่อกล่าวถึงปริมาณการจราจรจะต้องนำเอาการครอบครองถนนหรืออัตราเร็วมาพิจารณาควบคู่กันไปด้วย จึงจะทราบได้ว่าการจราจรอยู่ในสภาพที่แออัดมากน้อยเพียงใด

2.3 ความเป็นมาของเครื่องวัดปริมาณการจราจร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจนับยานพาหนะได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Charles Adler, Jr[17] สามารถตรวจนับเสียงแตรรถได้ในจุดที่กำหนด และได้นำมาติดตั้งใช้งานครั้งแรกในปี ค.ศ.1928 และต่อมาในระยะเวลาใกล้เคียงกัน Henry A. Haugh[17] ได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจนับแบบใช้แรงกด ประกอบด้วยแผ่นโลหะคู่ ซึ่งทำงานเหมือนกับหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า โดยอาศัยแรงกดจากล้อรถที่วิ่งผ่าน หลักการนี้เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากกว่า 30 ปี แต่มีปัญหาเรื่องอายุใช้งานเนื่องจากหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ

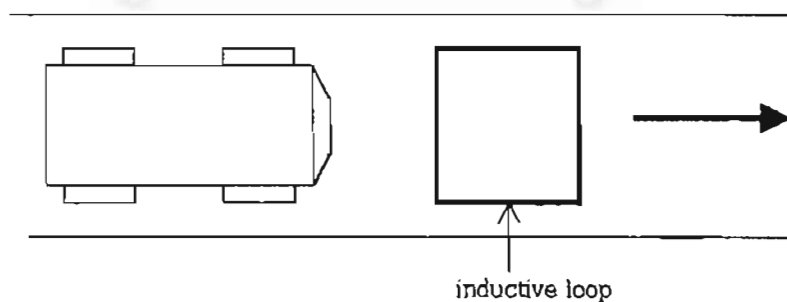
ได้มีการพัฒนาตัวตรวจวัดแบบอื่น ๆ ขึ้นมาจนมีรูปแบบต่าง ๆ กันมากมาย และสามารถนำมาใช้งานร่วมกันเพื่อให้ข้อมูลต่างๆ สำหรับการวิเคราะห์สภาพการจราจร เช่น ปริมาณ(Volume), อัตราเร็ว(Speed), การครอบครองถนน(Occupancy), ความหนาแน่น(Density), ความยาวแถวคอย(Queue Length), ระยะระหว่างรถ(Headway) ฯลฯ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการติดตั้ง ดังนี้

1. ประเภทติดตั้งกับถนน เช่น แบบลูปเหนี่ยวนำ(Inductive Loop), แบบใช้สนามแม่เหล็ก(Magnetic Detector), แบบอาศัยการกดทับ(Treadle)
2. ประเภทติดตั้งเหนือถนน เช่น แบบใช้การประมวลผลภาพ(Video Image Processor), แบบไมโครเวฟ(Microwave), แบบใช้แสงเลเซอร์(Laser), แบบใช้แสงอินฟราเรด(Infrared), แบบใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์(Ultrasonic Detector) และแบบพาสซีฟอะคูสติก(Passive Acoustic Detector)

ตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากได้รับการพัฒนามาเป็นเวลายาวนาน ให้ความแม่นยำในการตรวจจับยานพาหนะดีมาก อย่างไรก็ตามในการติดตั้งและซ่อมแซมต้องหยุดการจราจร เพราะต้องใช้เนื้อที่ของถนนทำให้ไม่สะดวก ดังนั้นตัวตรวจวัดประเภทติดตั้งเหนือถนนจึงได้รับความสนใจที่จะนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้น

2.4 ตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำ

ตัวตรวจวัดประเภทนี้ได้ถูกนำมาใช้งานในปี ค.ศ. 1960 และกลายเป็นระบบที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1970 จนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา ถือเป็นระบบมาตรฐาน โครงสร้างประกอบด้วยสายที่พันเป็นขดหลายๆ รอบ โดยทั่วไปจะขดเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีพื้นที่หน้าตัดขนาดประมาณ 6X6 ฟุต ผึงไว้ใต้ผิวการจราจรและมีวงจรออสซิลเลเตอร์ ป้อนสัญญาณความถี่ในย่าน 10 kHz ถึง 200 kHz ให้แก่ขดลวด เมื่อมียานพาหนะหยุดหรือวิ่งผ่านลูปจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของตัวขดลวดเปลี่ยนไป ค่าความเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนนี้จะทำให้ค่าของความถี่เปลี่ยนไป วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในจะทำให้กำเนิดพัลส์ออกไปเพื่อแสดงการมีอยู่หรือผ่านไปของยานพาหนะ

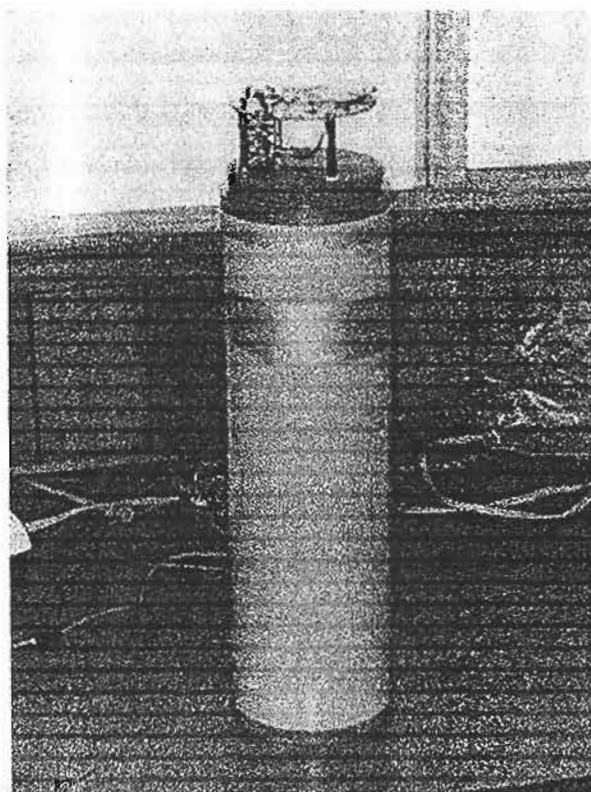


รูปที่ 2.3 ตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำ

ข้อมูลด้านการจราจรที่ได้โดยตรงจากตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำนี้ ใช้แสดงการมีอยู่ การผ่านไป ปริมาณ และการครอบครองถนนของยานพาหนะ

2.5 ตัวตรวจวัดแบบใช้สนามแม่เหล็ก

ตัวตรวจวัดแบบนี้จะมีรูปร่างเป็นแท่งกลมยาว มีสายสัญญาณออกมาจากตัวตรวจวัดดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวตรวจวัดแบบใช้สนามแม่เหล็ก

ตัวตรวจวัดลักษณะนี้มี 2 แบบย่อย คือ

1. แบบแอกทิฟ ซึ่งรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า “แมกนีโทมิเตอร์”(Magnetometer) มีหลักการคล้ายกับ ตัวตรวจวัดแบบรูปเหนี่ยวนำมากเพียงแต่จะใช้ลวดพันเป็นขดรอบแกนแม่เหล็ก ลักษณะเป็นแท่งกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 นิ้ว และมีความยาวไม่เกิน 4.25 นิ้ว ตัวตรวจวัดชนิดนี้จะถูกฝังลงในผิวถนนลึกประมาณ 12 ถึง 18 นิ้ว ซึ่งจะผลิตสนามแม่เหล็กและตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเมื่อมียานพาหนะปรากฏอยู่ในพื้นที่ตรวจวัด ตรวจวัดได้ทั้งยานที่เคลื่อนที่และหยุดนิ่ง เหมาะกับการตรวจวัดในที่แคบและไม่สามารถขุดเจาะลึกๆ เพื่อติดตั้งตัวตรวจวัดแบบรูปเหนี่ยวนำได้ เช่น บริเวณสะพาน เป็นต้น

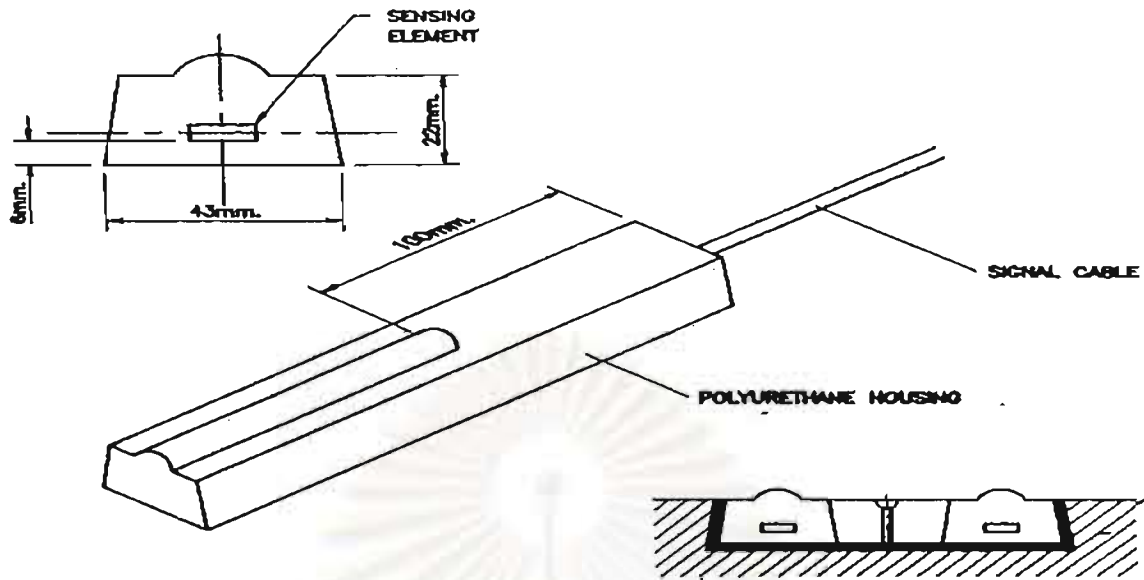
2. แบบพาสซีฟ จะตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กของโลกที่เกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะเคลื่อนผ่านไป ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งได้ โดยทั่วไปยานพาหนะที่ตรวจวัดได้ต้องมีอัตราเร็วอย่างน้อย 4.8 ถึง 8 กม./ชม. ตัวตรวจวัดแบบนี้มี 2 ชนิดย่อยแตกต่างกันเฉพาะขนาดและการติดตั้งใช้งานเท่านั้น ชนิดแรกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 20 นิ้วติดตั้งโดยการใส่ลงในท่อที่ไม่เป็นสารแม่เหล็กฝังลงบนพื้นถนน ส่วนอีกชนิดหนึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 3 นิ้ว×5 นิ้ว ยาว 20 นิ้ว ถูกห่อหุ้มด้วยตัวถังที่ทำด้วยอะลูมิเนียม ติดตั้งโดยวางราบกับผิวถนน ตัวตรวจวัดแบบนี้มีพื้นที่การตรวจจับที่กว้างครอบคลุมถึง 3 ช่องจราจร ดังนั้นอาจนำไปใช้ตรวจจับการจราจรแบบหลายช่อง(Multiple Lanes)ทางได้

ปัจจุบันมีการใช้งานตัวตรวจวัดประเภทนี้อย่างแพร่หลายกับงานต่างๆ หลายประเภท ทั้งในงาน การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบอัตโนมัติ และในระบบที่มีการเก็บค่าผ่านทาง เช่น ในระบบทางด่วนที่บริษัททางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน) เป็นต้น

2.6 ตัวตรวจวัดแบบอาศัยการกดทับ

ตัวตรวจวัดแบบนี้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับในยุคแรกๆ มีหลักการที่ง่ายที่สุด มีลักษณะเป็นท่อลมยางกลวง (Pneumatic tube) ทำงานโดยใช้หลักการของแรงดันอากาศ เมื่อมีน้ำหนักมากกดทับหนึ่งครั้งก็จะให้แรงดันอากาศออกมาหนึ่งครั้ง โดยนำมวามขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เมื่อมียานพาหนะวิ่งผ่านก็จะมีการกดทับลงบนตัวตรวจวัด ซึ่งเปรียบเสมือนกับการกดสวิทช์ ทำให้สามารถนับจำนวนเพลารถได้ ในปัจจุบันยังคงใช้ในงานตรวจนับจำนวนยานพาหนะแบบติดตั้งชั่วคราว ซึ่งได้รับการปรับปรุงให้มีความแม่นยำและทนทานขึ้น แต่ก็ยังคงใช้หลักการเดิม คือ อาศัยการตรวจจับแรงอัดอากาศที่เกิดขึ้นจากการที่ล้อรถวิ่งมาทับท่ออย่าง ค่าวัดที่ได้รับคือจำนวนเพลลา อย่างเดียวเท่านั้น

ตัวตรวจวัดประเภทนี้ที่ได้รับการพัฒนาต่อมีสองแบบ แบบแรกสร้างด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) เมื่อมียานพาหนะวิ่งทับจะเกิดแรงกดกระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น อีกแบบหนึ่งใช้หลักที่ว่าความต้านทานของเนื้อสารจะเปลี่ยนไปเมื่อมีน้ำหนักมากกดทับ โดยทั่วไปแล้วจะให้ค่าความต้านทานลดลงจนใกล้ศูนย์เมื่อมีน้ำหนักมากกดทับ ตัวตรวจวัดที่ใช้หลักการนี้ มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะมีราคาค่อนข้างถูกกว่าตัวตรวจวัดแบบอื่นๆ ในประเภทเดียวกัน มีลักษณะเป็นแท่งหรือเส้น ทำด้วยวัสดุหยุ่นมีหลายแบบ สามารถใช้ได้ทั้งชั่วคราวและถาวร ถ้าใช้ชั่วคราวจะวางขวางบนพื้นถนน ถ้าใช้แบบถาวรก็จะฝังตัวตรวจวัดไว้ที่พื้นผิวการจราจร โดยให้พื้นผิวด้านบนยื่นพื้นผิวการจราจรเล็กน้อย และจะวางขวางทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

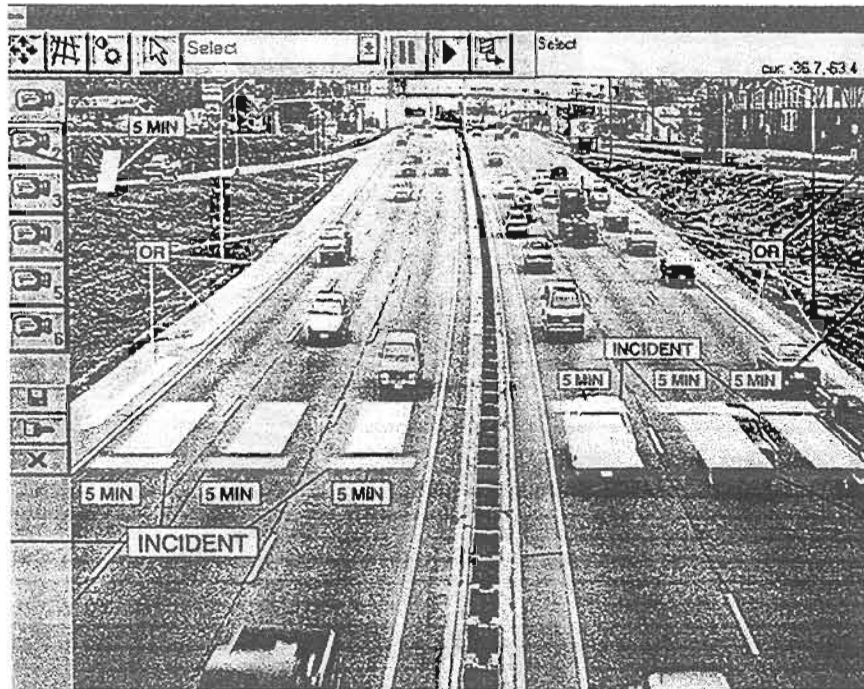


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของตัวตรวจวัดแบบอาศัยการกดทับ

ในระยะต่อมาได้มีการพัฒนาตัวตรวจวัดประเภทนี้โดยมีการใช้สารพวก PVDF (Polyvinylidene Fluoride) และสารพวก PZT (Lead Zirconate Titanate) มาใช้แทนสารโพลีเมอร์ ตัวตรวจวัดที่ใช้สารเหล่านี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักที่กดทับ ดังนั้นนอกจากใช้ในการนับจำนวนเพลลาแล้ว ยังสามารถใช้วัดน้ำหนักของยานพาหนะได้อีกด้วย สัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่ได้จะส่งออกมาในรูปของแรงดัน ดังนั้นตัวตรวจวัดชนิดนี้จึงสามารถนำไปใช้ในการวัดน้ำหนักรถแบบ WIM (Weight-In-Motion) คือการวัดน้ำหนักที่ไม่ต้องให้ยานพาหนะจอดนิ่งอยู่กับที่ และยังสามารถใช้ในการแยกประเภทของล้อยานพาหนะแบบล้อเดี่ยวและแบบล้อคู่ได้อีกด้วย

2.7 ตัวตรวจวัดแบบใช้การประมวลผลภาพ

ตัวตรวจวัดประเภทนี้ใช้กล้องโทรทัศน์วงจรปิด(CCTV) ในการจับภาพการจราจรต่างๆ แล้วนำภาพที่ได้มาประมวลผล ให้ข้อมูลการจราจรได้หลากหลายโดยใช้กล้องเพียงตัวเดียวก็สามารถตรวจวัดได้หลายช่องจราจร และยังสามารถประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องมากกว่าหนึ่งตัวได้ ผลที่ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่การจัดการในเรื่องที่จอดรถ การอ่านป้ายทะเบียนรถ การหาค่าของปริมาณการจราจรต่างๆ วัดอัตราการเคลื่อนไหวไหลของการจราจร ฯลฯ ระบบการตรวจวัดประเภทนี้มีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้กล้องถ่ายภาพที่มีสมรรถนะสูง สามารถปรับตัวได้อัตโนมัติในสภาวะของแสงต่างๆ กัน และยังต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงๆ เพื่อที่จะประมวลผลสัญญาณได้ในเวลาจริง รูปที่ 2.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรมประมวลผลภาพที่ใช้กับตัวตรวจวัดแบบนี้

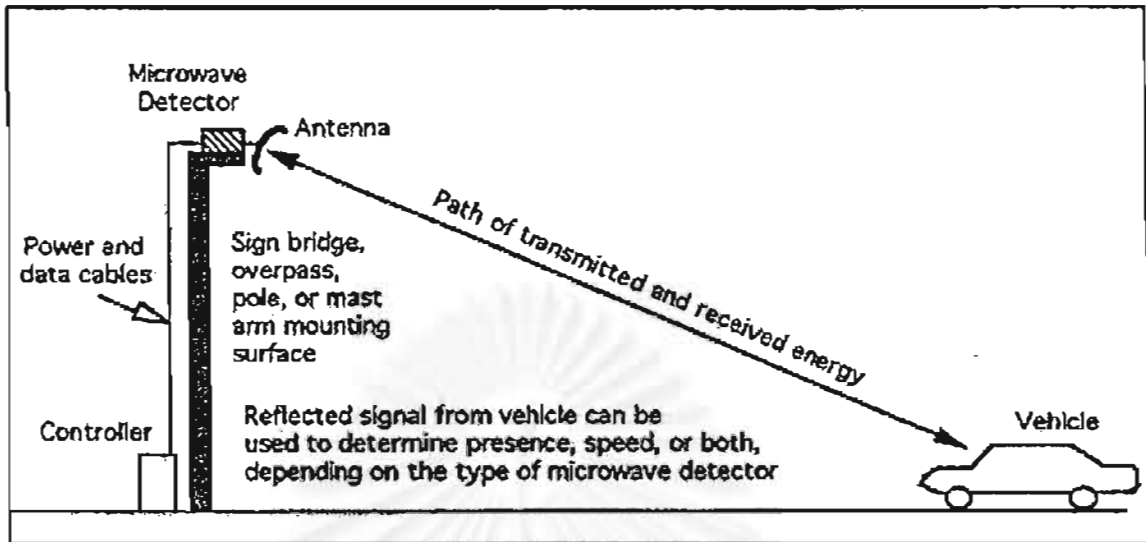


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมประมวลผลภาพ

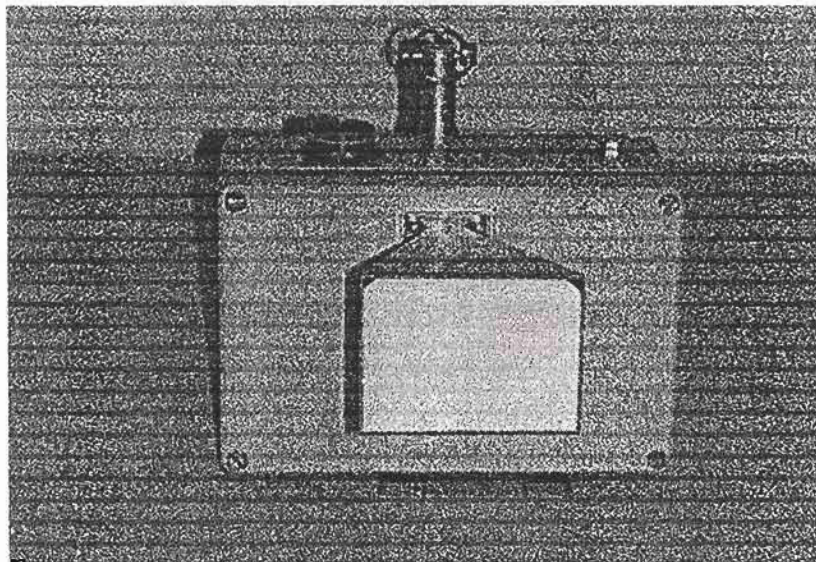
2.8 ตัวตรวจวัดแบบใช้ไมโครเวฟ

เป็นระบบที่ใช้นิยมใช้ในยุโรป ตัวตรวจวัดชนิดนี้จะติดตั้งอยู่เหนือถนนจากทางด้านข้างหรือด้านบน แล้วส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านสายอากาศลงมายังพื้นที่ตรวจวัดดังรูปที่ 2.7 โดยความถี่ที่ใช้อยู่ในย่าน 10.5 - 24 GHz เมื่อมียานพาหนะแล่นเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัดจะทำให้คลื่นเกิดการสะท้อนกลับไปยังสายอากาศทำให้สามารถตรวจจับได้ ตัวตรวจวัดชนิดนี้มี 2 แบบ

- ◆ แบบแรก จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความถี่คงที่ออกไปอย่างต่อเนื่อง แล้ววัดความเร็วของยานพาหนะภายในบริเวณที่มันสามารถตรวจจับได้โดยอาศัยหลักการดอปเปลอร์(Doppler) กล่าวคือ ผลต่างของความถี่ระหว่างคลื่นที่ส่งออกไปกับความถี่ของคลื่นที่รับเข้ามา จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของยานพาหนะ ดังนั้นตัวตรวจวัดแบบนี้จึงสามารถวัดความเร็วของยานพาหนะที่แล่นเข้ามาได้โดยตรง แต่ไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งได้
- ◆ แบบที่สอง จะส่งรูปคลื่นพัลส์ที่เรียกว่า Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) ซึ่งแปรเปลี่ยนความถี่การส่งไปกับเวลาอย่างต่อเนื่อง สามารถใช้ตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งได้ โดยการวัดเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านจุด 2 จุดที่รู้ระยะทาง จะสามารถคำนวณความเร็วออกมาได้ เนื่องจากตัวตรวจจับแบบนี้ใช้ตรวจจับยานพาหนะที่อยู่กับที่ได้ บางครั้งจึงรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า "True-Presence Microwave Radar"



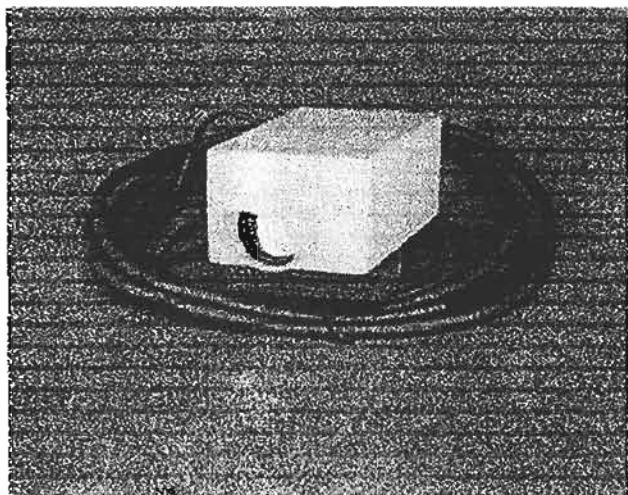
รูปที่ 2.7 การตรวจวัดโดยใช้ไมโครเวฟ



รูปที่ 2.8 ตัวตรวจวัดแบบใช้ไมโครเวฟ

2.9 ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรด

ตัวตรวจวัดประเภทนี้ถูกติดตั้งไว้ด้านบนหรือทางด้านข้างเหนือถนนแล้วเล็งตัวตรวจจับลงมายังผิวถนน มี 2 แบบย่อย คือ แบบแอคทีฟ(Active Infrared) และ แบบพาสซีฟ(Passive Infrared)

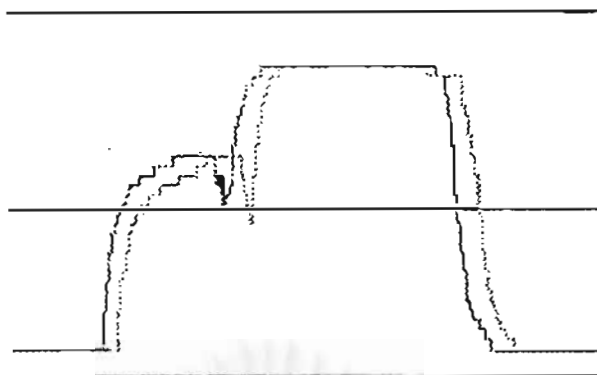


รูปที่ 2.9 ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงอินฟราเรด

1. แบบแอคทีฟ ทำงานโดยส่งแสงในย่านอินฟราเรดลงมายังผิวถนน แล้ววัดเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจนกระทั่งสะท้อนกลับมา ถ้าหากมียานพาหนะวิ่งผ่านเข้ามาในบริเวณที่ตรวจวัด เวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจะลดลงทำให้ตรวจจับการมีอยู่ของยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในบริเวณนั้นได้ ข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจวัดแบบนี้ ได้แก่ การมีอยู่ การครอบครองถนน ความยาว ปริมาณ และเมื่อติดตั้งตัวตรวจวัดจำนวน 2 ตัว จะทำให้สามารถวัดค่าความเร็วและจำแนกชนิดของยานพาหนะได้ แต่อย่างไร้ราคาค่อนข้างสูงอยู่
2. แบบพาสซีฟ ในการทำงานจะไม่มี การส่งคลื่นแสงอินฟราเรดออกมา แต่จะตรวจจับรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากบริเวณที่ตรวจวัด โดยปริมาณของรังสีความร้อนในขณะที่มียานพาหนะและไม่มียานพาหนะจะแตกต่างกัน ทำให้ตรวจนับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาได้

2.10 ตัวตรวจวัดแบบใช้แสงเลเซอร์

ตัวตรวจวัดประเภทนี้ใช้หลักการส่งแสงเลเซอร์ออกไป แล้ววัดสัญญาณสะท้อนกลับ โดยใช้ตัวส่งแสงเลเซอร์ที่เรียงติดกันเป็นแถวในการส่งผ่านแสงออกไป ทำให้สามารถตรวจจับวัตถุที่มีความกว้างตามขนาดที่กำหนดไว้ ซึ่งผ่านเข้ามาในบริเวณการตรวจวัด เมื่อติดตั้งตัวตรวจวัดชนิดนี้ในแนวตั้งและแนวนอน จะสามารถตรวจจับการวิ่งผ่านเข้ามาของยานพาหนะได้ อีกทั้งสามารถนำสัญญาณที่ได้นี้ไปประมวลผล เพื่อหารูปโครงภายนอกของวัตถุได้อย่างหยาบๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นรูปของรถแก๊งเล็ก ปัจจุบันมีการนำตัวตรวจวัดชนิดนี้มาใช้งานจริงในประเทศไทย กังงานวัดปริมาณการจราจรของกรมทางหลวง



รูปที่ 2.10 โครงร่างของยานพาหนะขนาดเล็กที่ได้จากตัวตรวจวัดแบบเลเซอร์

2.11 ตัวตรวจวัดแบบใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์

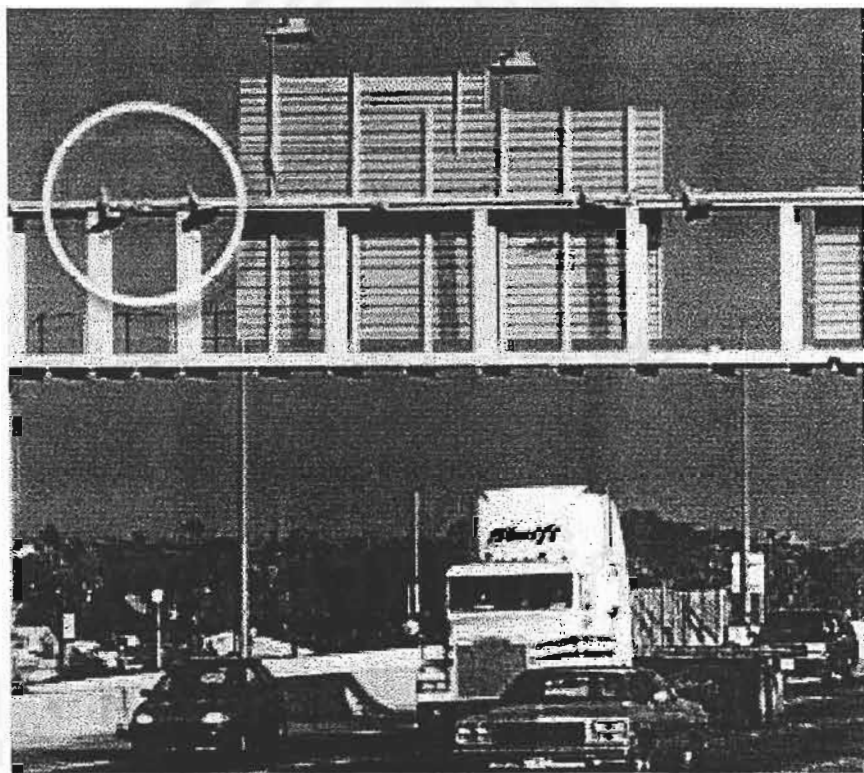
ตัวตรวจวัดประเภทนี้จะติดตั้งไว้ด้านบนหรือด้านข้างเหนือถนน ทำงานด้วยการปล่อยคลื่นเสียงความถี่คงที่ในช่วงประมาณ 20 kHz ถึง 65 kHz (ขึ้นกับผู้ผลิต) ลงมายังบริเวณพื้นที่ตรวจวัดแล้วรับคลื่นที่สะท้อนกลับมาประมวลผล มีสองชนิด ชนิดแรกจะปล่อยคลื่นเสียงเป็นจังหวะออกไปโดยมีคาบเวลาการส่งคงที่ จากนั้นรับฟังเสียงที่สะท้อนกลับเข้ามาแล้วอาศัยความแตกต่างของเวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางระหว่างที่มียานพาหนะและไม่มียานพาหนะ ทำให้ตรวจจับยานพาหนะได้ อีกชนิดหนึ่งทำงานโดยการปล่อยคลื่นเสียงออกไปอย่างต่อเนื่องแล้วอาศัยหลักการดอปเปลอร์ในการตรวจวัดยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่านทำให้สามารถหาความเร็วของยานพาหนะได้ ตัวตรวจวัดแบบนี้ให้ ข้อมูลการจราจร ได้แก่ ปริมาณ การมีอยู่ การครอบครอง และความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งอยู่ในแต่ละช่องทางได้ การติดตั้งและการปรับแต่งทำได้โดยง่าย ไม่มีผลกระทบจากสภาพบรรยากาศ



รูปที่ 2.11 ตัวตรวจวัดแบบใช้คลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์

2.12 ตัวตรวจวัดแบบพาสซีฟอะคูสติก

ตัวตรวจวัดชนิดนี้จะใช้แผงไมโครโฟนซึ่งติดตั้งอยู่เหนือถนนจากทางด้านข้างหรือด้านบนแล้วเล็งลงมายังบริเวณที่ตรวจวัด เพื่อฟังเสียงของยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในบริเวณที่กำหนดไว้ แหล่งกำเนิดเสียงหลักของการตรวจวัดแบบนี้ ได้มาจากเสียงที่เกิดขึ้นระหว่างล้อกับผิวถนน ขณะที่มียานพาหนะแล่นเข้ามาในพื้นที่ การตรวจวัดระดับพลังงานเสียงจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำเสียงที่ไมโครโฟนรับได้มาผ่านกระบวนการประมวลผลสัญญาณก็จะสามารถให้สัญญาณออกไปในขณะที่มียานพาหนะแล่นเข้ามาในพื้นที่ที่ตรวจวัด โดยเสียงที่อยู่ภายนอกพื้นที่จะถูกลดทอน ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ที่ตรวจวัดจะถูกกำหนดโดยขนาดของช่องรับเสียง ย่านความถี่มีใช้ในการประมวลผลสัญญาณ และลักษณะการติดตั้งตัวตรวจวัด ข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจวัดชนิดนี้ ได้แก่ ปริมาณ การครอบครองถนน ความเร็วเฉลี่ย และสามารถจำแนกประเภทของยานพาหนะได้ รูปที่ 2.12 แสดงตัวตรวจวัดแบบพาสซีฟอะคูสติก



รูปที่ 2.12 ตัวตรวจวัดแบบพาสซีฟอะคูสติก

2.13 สรุปข้อดีข้อเสียของตัวตรวจวัดแต่ละประเภท

ตัวตรวจวัดแต่ละประเภทมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ในการเลือกใช้งานนั้นจะต้องพิจารณาในหลายๆด้าน เช่น ความเหมาะสมต่องานที่ใช้, ข้อมูลการจราจรที่ต้องการ, ลักษณะการติดตั้ง, สภาพแวดล้อมของสถานที่ตรวจวัด, การบำรุงรักษา, อายุการใช้งาน และค่าใช้จ่ายทั้งระบบ ข้อดีข้อเสียตัวตรวจวัดแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของตัวตรวจวัดแต่ละประเภท

ตัวตรวจวัด	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบรูปเหนียนำ	<ul style="list-style-type: none"> - นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ให้ความแม่นยำในการตรวจจับที่ดี - ใช้ได้ทุกสภาพอากาศและสภาวะแสง 	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและซ่อมแซมสูง - การติดตั้งและซ่อมแซมยุ่งยาก ต้องหยุดการจราจร - เสียหายได้เมื่อมีการซ่อมถนนและการเคลื่อนผ่านของรถที่มีน้ำหนักมาก
แบบใช้สนามแม่เหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> - มีขนาดเล็ก,ติดตั้งได้ง่าย ใช้แทนรูปเหนียนำเพื่อตรวจวัดในที่แคบๆ ได้ - สามารถติดตั้งโดยฝังไว้ใต้สะพานได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างสะพาน 	<ul style="list-style-type: none"> - มีพื้นที่การตรวจจับที่แคบกว่าแบบรูปเหนียนำ การตรวจจับยานพาหนะขนาดเล็กเช่น มอเตอร์ไซด์ต้องใช้มากกว่า 1 ตัว - ต้องหยุดการจราจรขณะติดตั้งหรือซ่อมแซม
แบบอาศัยการกดทับ	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้ในแบ่งประเภทยานพาหนะและวัดน้ำหนักยานพาหนะได้ - มีให้เลือกทั้งแบบติดตั้งถาวรและติดตั้งชั่วคราว 	<ul style="list-style-type: none"> - อายุการใช้งานที่จำกัดเนื่องจากถูกการกดทับจากยานพาหนะที่ตรวจวัด - ต้องหยุดการจราจรขณะติดตั้งหรือซ่อมแซม
แบบใช้อัลตราซาวด์	<ul style="list-style-type: none"> - ติดตั้งในระดับเหนือถนน ทำให้ไม่ต้องหยุดการจราจร - ให้ความแม่นยำดีในการตรวจนับยานพาหนะ - ราคาไม่สูง 	<ul style="list-style-type: none"> - มีผลกระทบจากการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิอากาศ และลมที่พัดด้วยความเร็วสูงมากๆ - ไม่สามารถวัดความเร็วได้แม่นยำนัก
แบบเอกซัฟอนิฟราเรด	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่ต้องหยุดการจราจรขณะติดตั้ง - สามารถติดตั้งได้จากด้านบนและด้านข้างในระดับเหนือถนน - ใช้วัดความเร็วและขนาดยานพาหนะได้โดยตรง 	<ul style="list-style-type: none"> - มีผลกระทบจากหมอกและฝุ่นละอองที่หนา

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ตัวตรวจวัด	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบพาสซีฟอินฟราเรด	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่ต้องหยุดการจราจรขณะติดตั้ง - สามารถติดตั้งได้จากด้านบนและด้านข้าง ในระดับเหนือถนน 	<ul style="list-style-type: none"> - มีผลกระทบจากฝน หรือหิมะที่ตกอย่างหนัก
แบบใช้ไมโครเวฟ	<ul style="list-style-type: none"> - ติดตั้งได้จากด้านบนและด้านข้างในระดับเหนือถนน ไม่ต้องหยุดการจราจร - สามารถตรวจวัดได้หลายช่องจราจรโดยตัวตรวจวัดเพียงชุดเดียว - วัดความเร็วของยานพาหนะได้โดยตรง 	<ul style="list-style-type: none"> - มีราคาสูง - ต้องใช้สายอากาศที่มีมุมการกระจายคลื่นที่แคบ เมื่อนำไปตรวจวัดเพียงช่องจราจรเดียว - แบ่งประเภทยานพาหนะไม่ได้
แบบใช้แสงเลเซอร์	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถติดตั้งได้จากด้านบนและด้านข้าง ในระดับเหนือถนน ทำให้ไม่ต้องหยุดการจราจร - ตรวจจับได้แม่นยำเนื่องจากมีลำแสงที่แคบ ทำให้ไม่เกิดการรบกวนจากยานพาหนะที่วิ่งอยู่ในช่องจราจรข้างเคียง - แยกประเภทยานพาหนะได้คร่าวๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีราคาสูง - การตรวจจับยานพาหนะขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์ไซด์ ซึ่งวิ่งอยู่ตรงขอบของช่องจราจร
แบบประมวลผลภาพ	<ul style="list-style-type: none"> - ติดตั้งในระดับเหนือถนน ไม่ต้องหยุดการจราจร - สามารถใช้ตรวจวัดได้หลายช่องจราจรด้วยกล้องเพียงตัวเดียว - มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถให้ข้อมูลปริมาณการจราจรได้หลายชนิดขึ้นกับโปรแกรมที่ใช้ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีราคาสูง - ประสิทธิภาพการทำงานมีผลกระทบต่อสภาพแสง, ความสว่าง และแสงสะท้อนจากพื้นที่ตรวจวัด
แบบพาสซีฟอะคูสติก	<ul style="list-style-type: none"> - ติดตั้งได้จากด้านบนและด้านข้างในระดับเหนือถนน ไม่ต้องหยุดการจราจร - แยกประเภทยานพาหนะได้คร่าวๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - การลดทอนของเสียงระหว่างล้อกับผิวถนน เนื่องจากผิวถนนถูกปกคลุมด้วยหิมะ ทำให้การตรวจจับผิดพลาดได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกที่จะพัฒนาเครื่องตรวจวัดแบบใช้คลื่นอัลตราซาวด์ เนื่องจากเป็นแบบที่ติดตั้งเหนือถนน มีข้อดีในแง่ของการติดตั้งและการซ่อมแซมซึ่งทำได้ง่ายกว่าเพราะไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับส่วนใดส่วนหนึ่งของถนน มีราคาไม่สูงนัก ใช้ได้ทั้งกลางวันและกลางคืนโดยไม่มีผลกระทบจากสภาวะแสง และให้ข้อมูลด้านการจราจรได้หลายชนิด เช่น ปริมาณ อัตราเร็ว และการครอบครองถนน



บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับอัลตราซาวด์

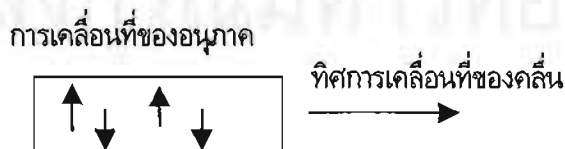
3.1 คุณสมบัติทั่วไปและธรรมชาติของคลื่นเสียง

คลื่นเกิดจากการแกว่งหรือสั่นของวัตถุซึ่งทำให้เกิดพลังงานถ่ายเทออกจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณโดยรอบ สามารถจำแนกตามความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางกับทิศทางการเคลื่อนที่ได้ 2 ชนิดคือ

1. คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) คือคลื่นที่ทำให้อนุภาคตัวกลางเกิดการสั่นไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง เป็นต้น คลื่นตามยาวนี้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ทำให้เกิดการส่งและการรับคลื่นได้ง่าย มีความเร็วสูงมากในตัวกลางเกือบทั้งหมด
2. คลื่นตามขวาง (Transverse wave) คือคลื่นที่ทำให้อนุภาคตัวกลางเกิดการสั่นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 3.1 คลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง



รูปที่ 3.2 คลื่นตามขวางเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง

3.1.1 คลื่นเสียง (Sound wave)

คลื่นเสียงเป็นคลื่นตามยาวที่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยที่อนุภาคของตัวกลางนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่คลื่นเสียงผ่าน เราสามารถแบ่งย่านความถี่ของคลื่นเสียงออกเป็น 3 ย่านได้ดังนี้

1. ย่านอินฟราโซนิก (Infrasonic range) เป็นย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าที่มนุษย์ได้ยิน มีความถี่อยู่ในช่วง 0 ถึงต่ำกว่า 20 Hz
2. ย่านออดิเบิล (Audible range) เป็นย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินมีความถี่อยู่ในช่วง 20 Hz ถึง 20 kHz
3. ย่านอัลตราซาวด์ (Ultrasound range) เป็นย่านความถี่ของคลื่นเสียงที่สูงกว่าที่มนุษย์ได้ยิน มีความถี่มากกว่า 20 kHz

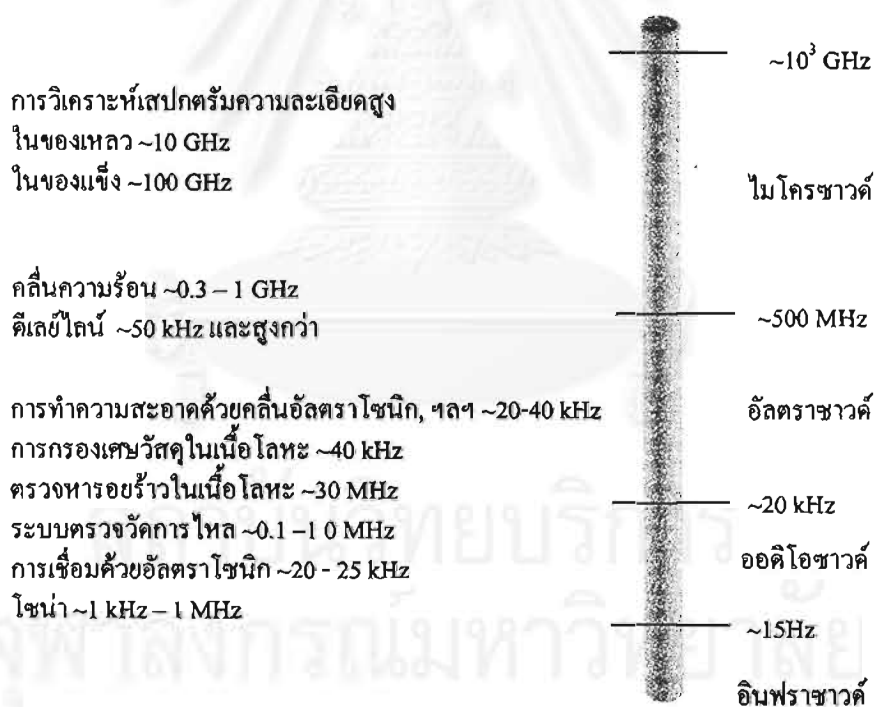
3.1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นเสียง

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียงมี 4 แบบดังนี้

1. การแทรกสอด(Interference) เกิดจากการรวมกันของคลื่นสองคลื่นขึ้นไปในตัวกลางเดียวกัน ผลที่ได้ทำให้เกิดการบีต (Beats) และคลื่นนิ่ง (Standing waves)
 - การบีต เป็นผลที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นที่มีความถี่หรือเฟสต่างกันในตัวกลางเดียวกัน ทำให้เกิดเป็นคลื่นใหม่ที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป
 - คลื่นนิ่ง เป็นผลจากการแทรกสอดของคลื่นที่มีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากันแต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือมีเฟสตรงข้ามกัน
2. การเลี้ยวเบน(Diffraction) คลื่นเสียงสามารถเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบได้ ลักษณะเช่นนี้พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การได้ยินเสียงแตรรถที่เลี้ยวเบนผ่านมุมตึก หรือการได้ยินเสียงที่ลอดผ่านช่องเล็กๆจากอีกห้องหนึ่ง
3. การสะท้อน(Reflection) คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลาง โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน การสะท้อนของเสียงที่ทำให้เราได้ยินเสียงห่างจากครั้งแรกเป็นเวลามากกว่า 0.1 วินาที จะทำให้เราได้ยินเสียงก้อง (Echo)
4. การหักเห(Refraction) เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน ทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไปในขณะที่ความถี่คงเดิม ผลที่เกิดจากการหักเหคือทิศทางของเสียงเกิดการเปลี่ยนไปโดยเกิดการเบนออกจากแนวเส้นปกติเมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า และเกิดการเบนเข้าหาเส้นปกติ เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า

3.2 คลื่นเสียงอัลตราซาวด์

อัลตราซาวด์เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่ามนุษย์สามารถได้ยิน ซึ่งมีความถี่ตั้งแต่ 20 kHz จนถึง 10^4 GHz คุณสมบัติของคลื่นอัลตราซาวด์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับคลื่นเสียงที่กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์มาใช้งานก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง สิ่งนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง คลื่นที่มีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องที่เปิดให้เสียงนั้นออกมา คลื่นจะเลี้ยวเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้คลื่นเสียงเกิดการกระจายในทิศทางต่างๆ แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราซาวด์เช่น 40 kHz ความยาวคลื่นในอากาศจะเหลือเพียง 8 มม. เท่านั้น ซึ่งสามารถทำให้รูเปิดของตัวกำเนิดคลื่นเสียงมีขนาดใหญ่กว่าได้ คลื่นเสียงจึงไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบทำให้เกิดการพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ เรียกได้ว่ามีทิศทางนั่นเอง



รูปที่ 3.3 การจำแนกความถี่ในย่านต่างๆ

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราซาวด์ทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น เครื่องควบคุมระยะไกล (Remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) เครื่องวัดความหนาของวัตถุ เครื่องวัดความลึกท้องทะเล เครื่องทดสอบการรั่วของท่อ เครื่องวัดระยะทาง เป็นต้น โดยความถี่ที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น เมื่อใช้งานโดยให้คลื่นเดินทางผ่านอากาศ ความถี่ที่ใช้จะจำกัดไว้ไม่เกิน 50 kHz ถ้าความถี่สูงกว่านี้คลื่นเสียงจะถูกดูดกลืนในอากาศเพิ่มมากขึ้นทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะทางออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์นั้นจะใช้ระยะทำการสั้นๆ จึงใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่ในระดับ GHz จะมีใช้งานในตัวกลางที่ไม่ใช่อากาศ

3.3 อัตราเร็วของเสียง

อัตราเร็วของคลื่นเสียงแปรตามคุณสมบัติของตัวกลางที่เสียงเดินทางผ่าน ซึ่งตัวแปรที่จำกัดอัตราเร็วของเสียงคือความหนาแน่น (Density) อุณหภูมิ (Temperature) และความยืดหยุ่น (Elasticity) ของตัวกลาง อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆแสดงดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 ความเร็วของเสียงที่ใช้เดินทางในตัวกลางต่างๆ

ตัวกลาง	ความเร็วของเสียง (m/s)	
	ที่ 0 องศาเซลเซียส	ที่ 25 องศาเซลเซียส
อากาศ	331.5	345.0
ไนโตรเจน	1270.0	1339.0
น้ำ	1450.0	1498.0
แก้ว	5500.0	4554.0
เหล็ก	5100.0	5200.0

จากตารางจะเห็นว่า ในตัวกลางแต่ละชนิดอัตราเร็วของเสียงจะแตกต่างกันไป อัตราเร็วของเสียงจะต่ำเมื่อเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยเนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานจลน์ระหว่างโมเลกุลเป็นไปได้ยาก เมื่อคลื่นเดินทางในตัวกลางใดๆ ความถี่ ความยาวคลื่น และอัตราเร็วจะสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3.1

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น (m)
 c คือ ความเร็วคลื่น (m /s)
 f คือ ความถี่ (Hz)

เวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางในอากาศมีผลกระทบเล็กน้อยจาก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นและความดันบรรยากาศ แต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของเสียงมากที่สุดคืออุณหภูมิอากาศ ดังสมการที่ 3.2[12]

$$V_t = 331+0.6t \quad (3.2)$$

โดยที่ V_t คืออัตราเร็วของเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิ ใดๆ (m/s)
 t คืออุณหภูมิแวดล้อมของอากาศ (°C)

3.4 การกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราซาวด์

การกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราซาวด์อาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า “อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์” (Ultrasonic Transducer) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นอัลตราซาวด์ในตัวกลางหรือในทางกลับกันสามารถแปลงพลังงานกลที่เกิดจากคลื่นเสียงอัลตราซาวด์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในปัจจุบันอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่นิยมใช้สำหรับการสร้างคลื่นเสียงออกไปในอากาศนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

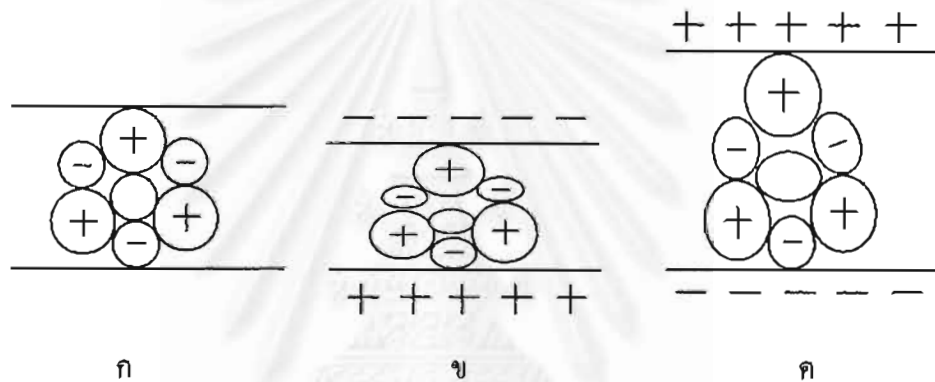
1. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric transducer) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่ตัวทรานสดิวเซอร์ ชั้นสารเซรามิกจะเกิดการบิดงอไปมาตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้านี้ ทำให้เกิดการสร้างคลื่นเสียงออกไปในอากาศได้โดยมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง
2. แบบอิเล็กโตรสแตติก (Electrostatic transducer) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้แก่ตัวทรานสดิวเซอร์ แผ่นฟิล์มพลาสติกที่ฉาบด้วยโลหะภายในตัวทรานสดิวเซอร์จะเกิดการสั่นด้วยความถี่เดียวกันกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา สร้างคลื่นเสียงที่มีความเข้มสูงออกไปในอากาศได้

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (Ultrasonic Piezoelectric transducer) เนื่องจากเป็นแบบที่ใช้กันมากในปัจจุบัน, มีราคาไม่แพง และหาซื้อได้ในประเทศ รายละเอียดของทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้จะถูกกล่าวถึงในหัวข้อ 3.6

3.5 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)

สารไดอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้น้อยมากหรือไม่นำไฟฟ้าเลย อิเล็กตรอนในโมเลกุลของไดอิเล็กทริกไม่สามารถหลุดพ้นจากโมเลกุลได้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีสนามไฟฟ้ามากระทำ ประจุบวกและลบในโมเลกุลของ

สารไดอิเล็กทริกจะแยกตัวห่างจากกันเล็กน้อย และแสดงตัวเป็นไดโพลไฟฟ้า แต่ยังมีโมเลกุลของสารบางชนิดเป็นไดโพลอยู่ในตัวทุกๆ ที่ไม่มีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากกระทำ โมเลกุลชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า “โมเลกุลเชิงขั้ว” (Polar molecule) เมื่อตัดผลึกของสารที่ประกอบด้วยโมเลกุลเชิงขั้วให้มีลักษณะเป็นแผ่น แล้วทำให้เกิดการบิดงอจะทำให้จุดศูนย์กลางของประจุบวกอยู่คนละที่กับจุดศูนย์กลางของประจุลบ เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าของแผ่น เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกโดยตรง” (Direct Piezoelectric Effect) และเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างผิวหน้าของแผ่น จะทำให้แผ่นเกิดการบิดเบี้ยว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกผกผัน” (Inverse Piezoelectric Effect) รูปที่ 3.4 แสดงเซลล์หนึ่งหน่วยที่อยู่ระหว่างระนาบขนาน

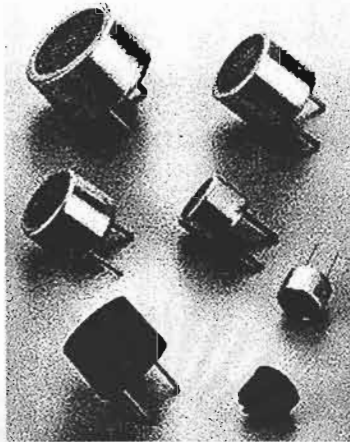


รูปที่ 3.4 การเกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

ในสภาวะปกติ ดังรูปที่ 3.4 ก จุดศูนย์กลางของประจุบวกอยู่ที่เดียวกับจุดศูนย์กลางของประจุลบ และประจุไฟฟ้าทั้งสองมีจำนวนเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่เกิดไดโพลไฟฟ้าขึ้น ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างระนาบขนานจึงเป็นศูนย์ด้วย ถ้าทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิมโดยการอัดให้หดดังรูปที่ 3.4 ข หรือดึงให้ยืดดังรูปที่ 3.4 ค จุดศูนย์กลางของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกัน ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างระนาบขนาน และเมื่อให้สนามไฟฟ้าระหว่างระนาบขนานจะทำให้จุดศูนย์กลางของประจุบวกและลบเคลื่อนออกจากกันในทิศตรงข้ามส่งผลให้เซลล์ขยายและหดตัวเกิดการสั้น ด้วยความถี่เดียวกันกับสนามไฟฟ้า ทำให้สามารถผลิตคลื่นเสียงออกไปได้

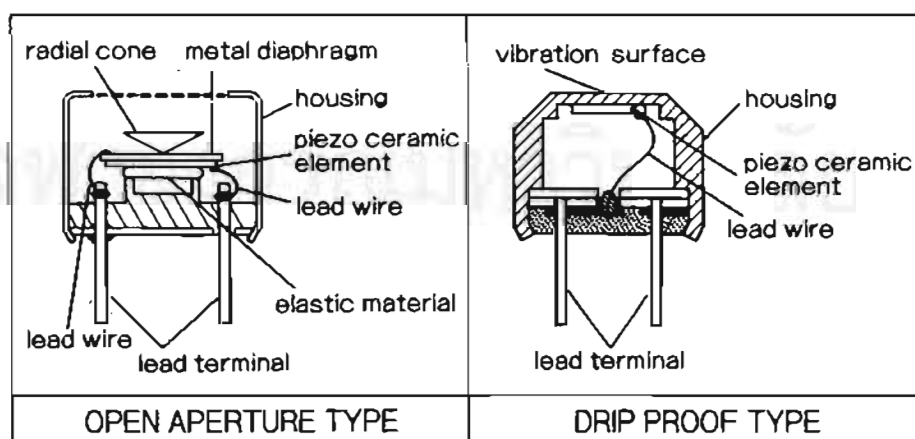
3.6 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (Ultrasonic Piezoelectric transducer)

ทรานสดิวเซอร์แบบนี้ที่นิยมใช้กันทั่วไปจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดและมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอัลตราซาวด์ส่งออกไปหรือรับเข้ามาจากช่องเปิดนี้ โดยตะแกรงจะช่วยป้องกันสิ่งแปลกปลอม เช่น แมลง ฯลฯ มีขาต่อใช้งานภายนอก 2 ขา โดยขาข้างหนึ่งจะต่อกับตัวถังลงกราวด์เพื่อชิลด์ รูปร่างภายนอกของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก แสดงดังรูปที่ 3.5



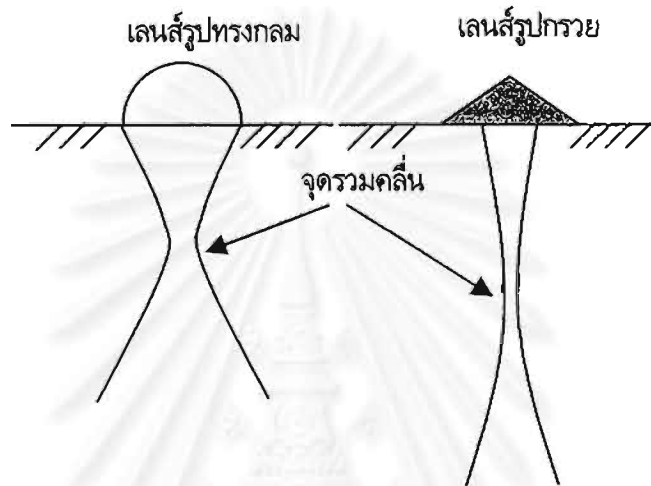
รูปที่ 3.5 รูปร่างภายนอกของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

โครงสร้างภายในประกอบด้วยชิ้นสารเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอตซ์ (Quartz) แบเรียมไทเทเนต (Barium Titanate) เกลือโรแซลล์ (Rochelle Salt) ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชิ้นสารเพียโซอิเล็กทริกที่ทำจากแบเรียมติตาเนต ซึ่งได้มาจากการผสมสารไทเทเนียมเข้ากับแบเรียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิประมาณ 1300 - 1400 °C และผลิออกมาในรูปของชิ้นสารเซรามิกที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่ โครงสร้างภายในของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก แสดงดังรูปที่ 3.6 ชิ้นสารนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิก 2 ชิ้นประกบกัน โดยมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 ด้านเพื่อใช้ต่อออกมาเป็นขั้วเล็กโทรดภายนอก 2 ขานั่นเอง ด้านหนึ่งของชิ้นสารเซรามิกถูกยึดติดไว้ภายในตัวถังอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นในขณะที่ได้รับการกระทบกระเทือนจากภายนอก ส่วนอีกด้านหนึ่งจะยึดกับกรวยกลม (Radial Cone) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมเสียง (Acoustical Lens)



รูปที่ 3.6 โครงสร้างภายในของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

เลนส์รวมเสียงทำหน้าที่รวมพลังงานของคลื่นเสียงที่ได้จากชั้นสารเซรามิก ให้มีความเข้มสูงเพื่อที่จะส่งคลื่นไปยังเป้าหมายได้ รูปที่ 3.7 เปรียบเทียบให้เห็นลักษณะการรวมคลื่น ของเลนส์รวมเสียงแบบต่างๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า เลนส์แบบกรวยกลมมีระยะทางของจุดรวมคลื่นที่ไกลกว่าเลนส์แบบทรงกลม และจะให้ลำคลื่นที่แคบกว่าแบบทรงกลม



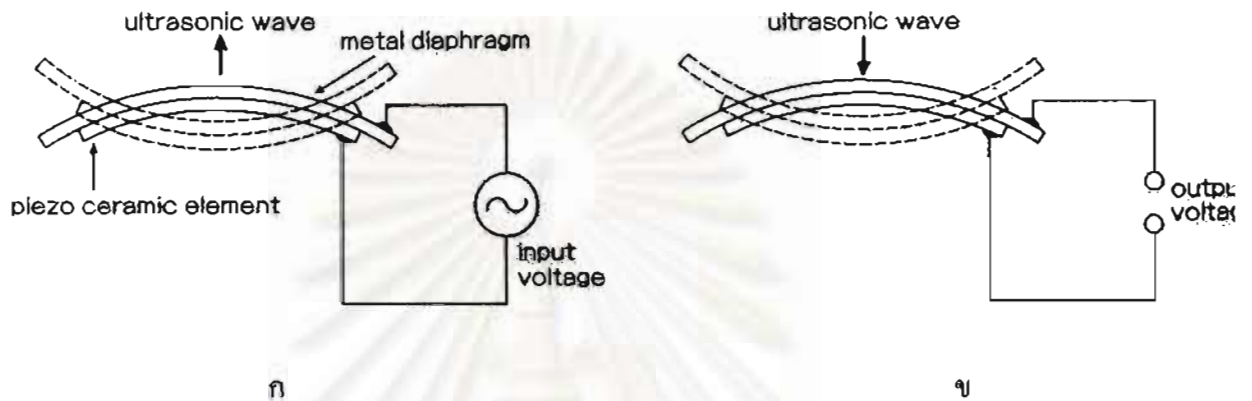
รูปที่ 3.7 ลักษณะการรวมเสียงของเลนส์รูปทรงกลมและรูปกรวยกลม

จากปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกที่อธิบายในหัวข้อ 3.5 เมื่อมีสัญญาณแรงดันตกคร่อมขั้วทั้งสองของชั้นสารเซรามิกดังรูปที่ 3.8ก จะทำให้ชั้นสารโค้งงอ มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ป้อนเข้ามา ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณนั้นออกไป คลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังสูงสุดเมื่อความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกที่ใช้ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังออกจะลดลงกว่านี้มาก

ในทางกลับกัน เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชั้นสารโค้งงอไปมาและสร้างแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบขึ้นระหว่างขั้วทั้งสองของมันเองได้ดังรูปที่ 3.8ข ซึ่งเราสามารถมองได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดของแรงดันขึ้นอยู่กับความเข้มเสียงที่ตกกระทบ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแปรผันโดยตรงกับความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังสมการที่ 3.3[20]

$$V_x = K_x \cdot \epsilon \quad (3.3)$$

โดยที่ V_x คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านทั้งสอง
 K_x คือ ความไวของแผ่นเพียโซ
 E คือ ความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นเพียโซ



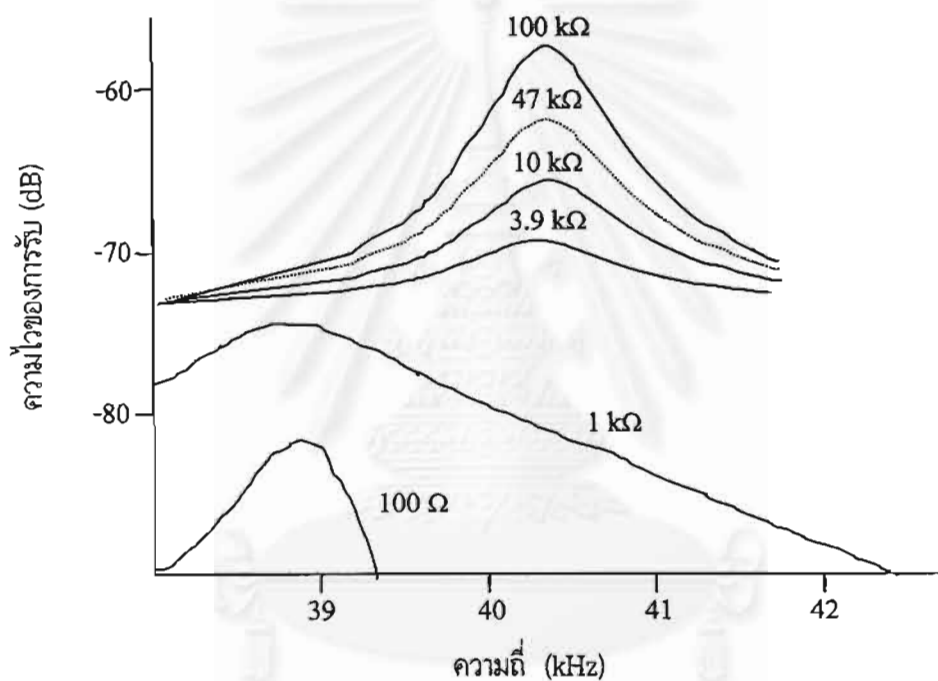
รูปที่ 3.8 การทำงานของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สารเซรามิกนี้ จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่งเสียง (Transmitter) และตัวรับเสียง (Receiver)

ตัวส่งถูกออกแบบมาให้ใช้สำหรับแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา ให้เป็นคลื่นเสียงย่าน อัลตราซาวด์ หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้ายกับเป็นลำโพง ส่วนตัวรับถูกออกแบบมาให้แปลงคลื่นเสียงย่าน อัลตราซาวด์ที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้ายกับเป็นไมโครโฟนนั่นเอง อีกทั้งรูปร่างลักษณะภายนอกจะเหมือนกันมากมีแต่รหัสบอกไว้ที่ตัวถังเพื่อให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่ง ตัวใดเป็นตัวรับ โดย Tx หมายถึงตัวส่ง ส่วน Rx หมายถึงตัวรับ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก จนสามารถนำมาใช้แทนกันได้โดยตรงในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อ รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงมีความถี่เรโซแนนซ์ค่าเดียวกันเท่านั้น

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิกที่มีจำหน่ายทั่วไป จะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ให้เลือกตั้งแต่ 23 kHz ขึ้นไปจนถึง 40 kHz แต่ที่พบเห็นบ่อยก็มี 23 kHz 25 kHz และ 40 kHz โดยรุ่นที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ 40 kHz เนื่องจากมีทิศทางที่ดีกว่า สำหรับตัวส่งจะมีความถี่เรโซแนนซ์(ความถี่ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ที่ 40 kHz โดยมีแถบความถี่ประมาณ 5 kHz สำหรับตัวรับจะมีแถบความถี่กว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจได้ว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้ แรงดันตกคร่อมสูงสุดที่ทนได้ไม่เกิน 20 โวลต์ ทั้งตัวส่งและตัวรับมีทิศทางคล้ายกันมาก คือที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB

ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาจะลดลงประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ในการใช้งานตัวรับต้องมีการต่อตัวต้านทานขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด และเพื่อปรับปรุงลักษณะผลตอบสนองทางความถี่ ค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนานกับตัวรับนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วง จาก 10 k Ω ถึง 100 k Ω จากการทดลองพบว่าเมื่อเปลี่ยนโหลดจาก 100 k Ω มาเป็น 10 k Ω ความไวจะลดลงประมาณ 10 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ผลตอบทางความถี่ของตัวรับคลื่นขณะต่อโหลดความต้านทานค่าต่างๆ

คลื่นที่ถูกส่งออกไปจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ จะมีพลังงานแผ่ขยายออกเป็นลักษณะกรวยกลมที่มีความสมมาตรรอบแกนที่ตั้งฉากกับผิวการสั่น รูปร่างของการแผ่กระจายคลื่นเสียงบริเวณที่อยู่ใกล้ๆกับทรานสดิวเซอร์จะมีความซับซ้อนมาก อย่างไรก็ตามในบริเวณที่ไกลออกไป(ระยะห่างมากกว่า $D^2/2\lambda$ [16]) การแผ่กระจายของลำคลื่นจะขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลาง(D)ของทรานสดิวเซอร์และความยาวคลื่น ดังสมการที่ 3.4[16]

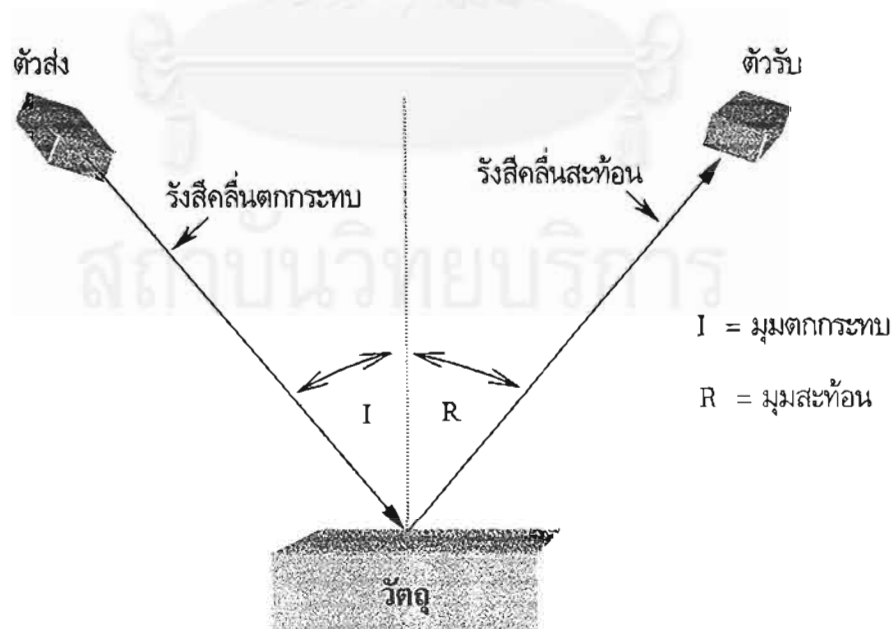
$$\theta = 1.22(\lambda/D) \quad (3.4)$$

โดยที่ θ = มุมของลำคลื่นเสียง มีหน่วยเป็น เรเดียน ($\theta \ll 1$ เรเดียน)
 λ = ความยาวคลื่น
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรานสดิวเซอร์

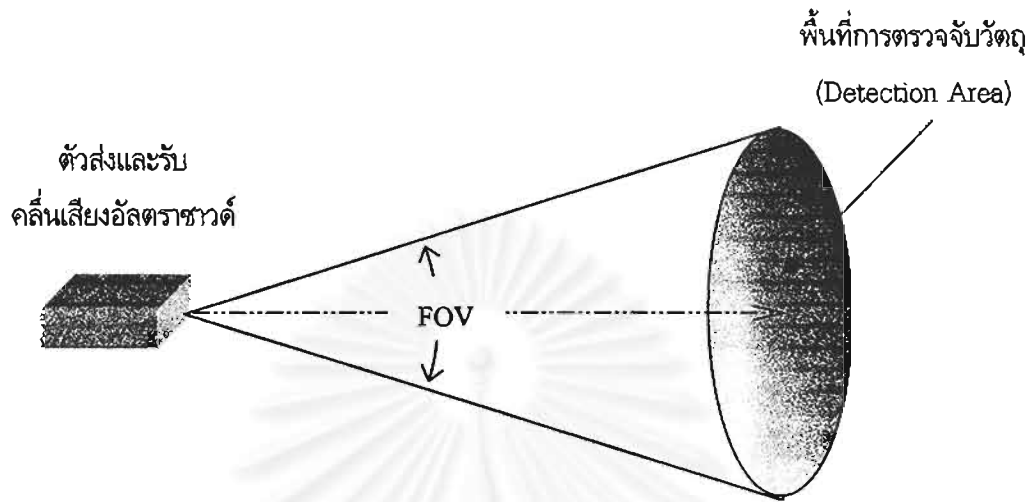
3.7 การใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการตรวจจับวัตถุ

การใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ในงานตรวจจับวัตถุแสดงดังรูปที่ 3.10 โดยการปล่อยคลื่นเสียงออกไปแล้วรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจจับได้แก่ลักษณะทางเรขาคณิตของลำคลื่นเสียง มุมตกกระทบ คุณสมบัติพื้นผิวของวัตถุที่ตรวจจับและความไวของทรานสดิวเซอร์ จากปัจจัยเหล่านี้จึงนิยามคำว่า "ขอบเขตการมองเห็น" (Field Of view) โดยใช้ตัวย่อว่า FOV ขึ้นแทนมุมของลำคลื่นสำหรับใช้ในทางปฏิบัติ

ขอบเขตการมองเห็น คือมุมของลำคลื่นที่ครอบคลุมบริเวณที่เสียงสามารถสะท้อนกลับจากวัตถุมายังตัวรับด้วยความเข้มเสียงที่สูงพอที่จะตรวจจับวัตถุนั้นได้ เมื่อวัตถุนั้นมีคุณสมบัติพื้นผิวที่แน่นอนค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การใช้งานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ในงานตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 3.11 ขอบเขตการมองเห็น (FOV)

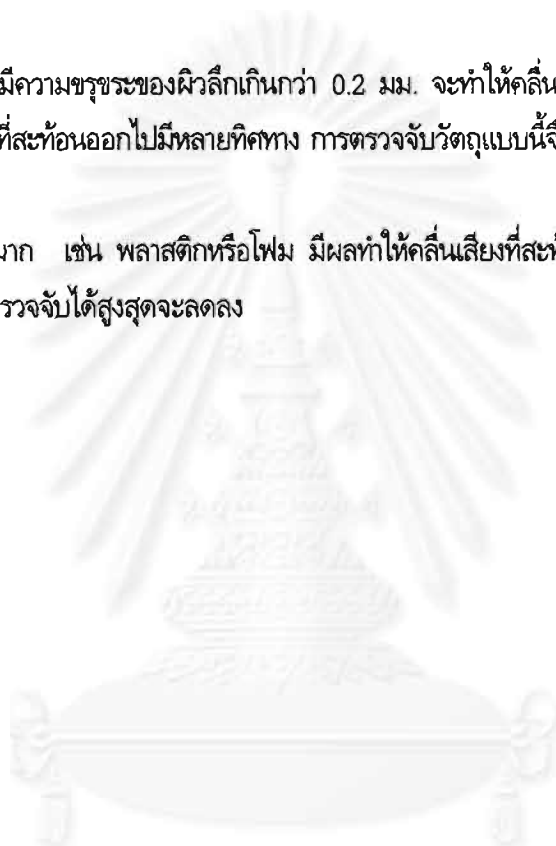
คลื่นเสียงอัลตราซาวด์ที่ถูกส่งออกไปในอากาศจะมีพลังงานลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะทางที่คลื่นใช้เดินทาง ทำนองเดียวกันคลื่นที่สะท้อนกลับจะมีพลังงานลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะทางเช่นเดียวกัน นอกจากนี้พลังงานของคลื่นเสียงยังมี การสูญเสียจากความหนืดของอากาศ , การสูญเสียจากการนำความร้อน และการสูญเสียเนื่องจากการแลกเปลี่ยนพลังงานในโมเลกุล ดังนั้นกำลังของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปในอากาศจะถูกลดทอน อย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ 3.5[16]

$$P_r = P_t \cdot e^{-2ad} / d^4 \quad (3.5)$$

โดยที่ P_r = กำลังของคลื่นเสียงที่รับเข้ามา
 P_t = กำลังของคลื่นเสียงที่ส่งออกไป
 a = สัมประสิทธิ์การดูดกลืน
 d = ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง

คุณลักษณะของพื้นผิวการสะท้อน เป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการตรวจจับ ดังนี้

- วัตถุที่เป็นของแข็งมีผิวเรียบเช่น โลหะที่ถูกขัดเงา คลื่นเสียงจะสะท้อนได้ดีมากและไม่เกิดการแตกกระจาย ดังนั้นต้องให้ผิววัตถุวางตั้งฉากกับรังสีของคลื่นตกกระทบ หรือยอมให้เบนจากแนวตั้งฉากได้อย่างมากไม่เกิน 3 องศา (มุมตกกระทบไม่เกิน 3 องศา) เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุนั้นได้อย่างแน่นอนที่ระยะไกลถึง 6 เมตร
- วัตถุที่มีผิวไม่เรียบโดยมีความขรุขระของผิวลึกเกินกว่า 0.2 มม. จะทำให้คลื่นเสียงที่ตกกระทบเกิดการแตกกระจาย ส่งผลให้คลื่นที่สะท้อนออกไปมีหลายทิศทาง การตรวจจับวัตถุแบบนี้จึงยอมให้มีมุมตกกระทบได้สูงถึง 45 องศา
- วัตถุที่ดูดกลืนเสียงได้มาก เช่น พลาสติกหรือโฟม มีผลทำให้คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับไม่มีกำลังอ่อนลงมาก ดังนั้นระยะที่สามารถตรวจจับได้สูงสุดจะลดลง



บทที่ 4

รายละเอียดของเครื่องวัดปริมาณการจราจรที่สร้างขึ้น

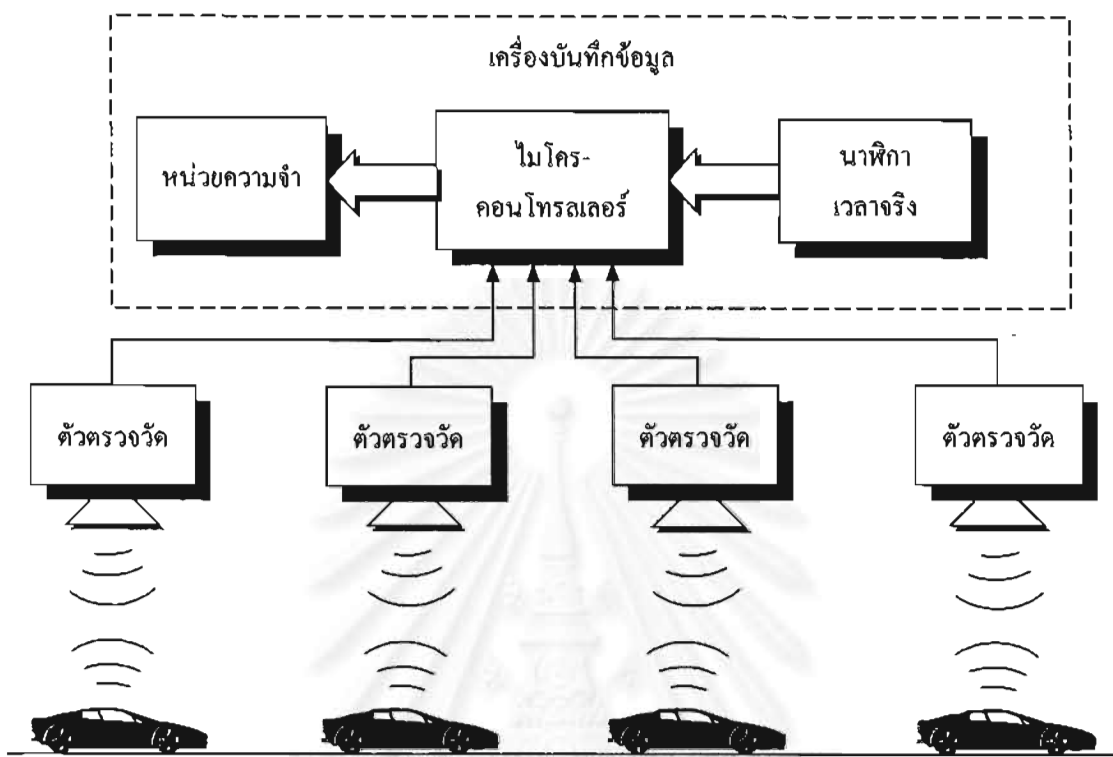
เครื่องวัดปริมาณการจราจรที่สร้างขึ้นมีข้อกำหนดต่างๆ สำหรับการออกแบบเบื้องต้น ดังนี้

1. สามารถติดตั้งในระดับเหนือถนนที่ความสูงอย่างน้อย 5 เมตรได้
2. สามารถตรวจวัดยานพาหนะได้ทุกประเภท เช่น รถยนต์ รถเมล์ รถบรรทุก ฯลฯ
3. สามารถตรวจวัดยานพาหนะที่หยุดนิ่งไปจนถึงยานพาหนะที่วิ่งเร็วไม่น้อยกว่า 160 กม. / ชม. ได้
4. สามารถตรวจวัดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ในขณะที่ใช้งาน
5. สามารถตรวจวัดยานพาหนะได้สูงสุดไม่น้อยกว่า 4 ช่องจราจร
6. สามารถบันทึกข้อมูลด้านการจราจร(ปริมาณ อัตราเร็วเฉลี่ยและการครอบครองถนน) ในทุกๆ ช่วงเวลา 15 นาทีไว้ได้นานติดต่อกันไม่น้อยกว่า 1 เดือน
7. สามารถนำข้อมูลการจราจรที่เก็บไว้มาแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์และจัดพิมพ์เป็นรายงานได้
8. สามารถทำงานได้โดยใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่
9. มีราคาถูก ใช้อุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ

4.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดปริมาณการจราจร

เครื่องวัดปริมาณการจราจรที่สร้างขึ้นนี้ใช้ตัวตรวจวัดแบบอัลตราซาวด์ ประกอบด้วยส่วนใหญ่อะไรๆ 2 ส่วนคือ ส่วนของตัวตรวจวัดและส่วนของเครื่องบันทึกข้อมูล โดยในแต่ละช่องจราจรจะใช้ตัวตรวจวัดหนึ่งชุดติดตั้งไว้ในระดับเหนือถนน ส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 4.1

ตัวตรวจวัดจะปล่อยคลื่นเสียงในย่านอัลตราซาวด์ลงมากระทบกับผิวถนนหรือตัวยานพาหนะที่แล่นผ่านเป็นจังหวะอย่างต่อเนื่อง แล้วรับคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณสำหรับการนับ, สัญญาณสำหรับคำนวณหาอัตราเร็วและการครอบครองถนน ส่งให้กับเครื่องบันทึกข้อมูลทำการบันทึกข้อมูลไว้ในหน่วยความจำโดยสามารถเก็บข้อมูลไว้ได้นานกว่า 1 เดือน ในการบันทึกข้อมูลจะอาศัยนาฬิกาเวลาจริง (Real Time Clock) เป็นตัวกำหนดฐานเวลา ได้แก่ วัน เดือน ปี และเวลาในขณะนั้น เมื่อต้องการบันทึกเวลา ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะดึงข้อมูลจากนาฬิกาเวลาจริงมาใช้ ข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลนี้สามารถเรียกออกมาจัดพิมพ์เป็นรายงานหรือแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยอาศัยซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดปริมาณการจราจรขนาด 4 ช่องจราจร

4.2 หลักการทำงานและการออกแบบเครื่องตรวจวัด

จากรูปที่ 4.2 ตัวตรวจวัดถูกติดตั้งไว้ด้านบนในลักษณะตั้งฉากกับผิวถนน เพื่อทำหน้าที่ส่งและรับคลื่นเสียงโดยมีคาบเวลาในการส่งคงที่เท่ากับ T_{send} เมื่อยังไม่มียานพาหนะเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัด เสียงที่ส่งออกไปจะกระทบกับผิวถนนและสะท้อนกลับมายังตัวตรวจวัด โดยใช้เวลาเดินทางดังสมการที่ 4.1

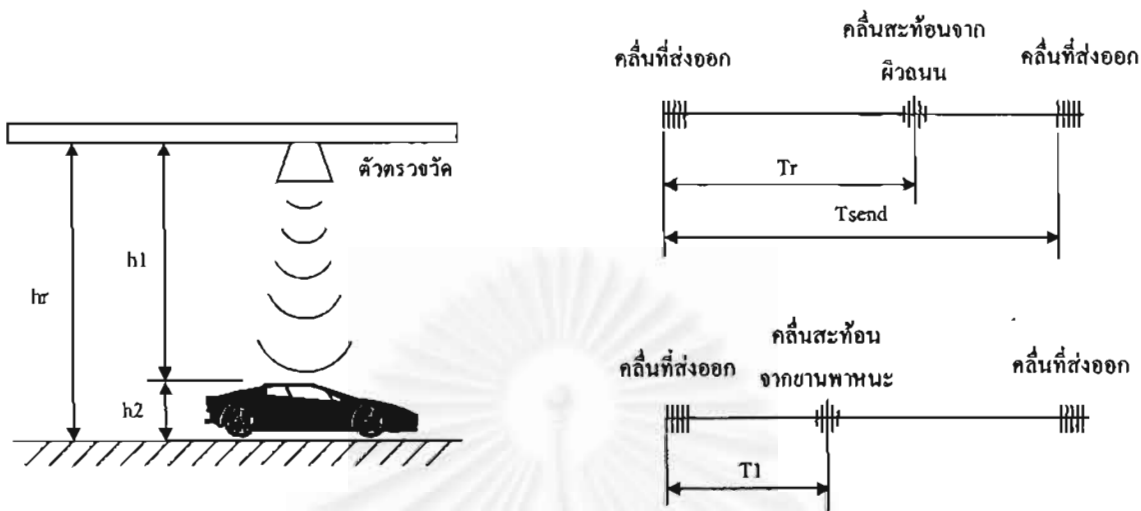
$$T_r = 2hr / C \quad (4.1)$$

โดยที่ T_r คือเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากตัวตรวจวัดไปกระทบผิวถนนแล้วสะท้อนกลับมายังตัวตรวจวัด (วินาที)

hr คือระยะตั้งฉากจากผิวถนนถึงตัวตรวจวัด (เมตร)

C คือความเร็วของเสียงในอากาศ ซึ่งเท่ากับ $331+0.6T$ (เมตร/วินาที)

และ T คืออุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)



รูปที่ 4.2 การตรวจวัดโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์

เมื่อมียานพาหนะเข้ามาอยู่ในพื้นที่ตรวจวัด คลื่นที่ส่งออกไปจะกระทบกับผิวยานพาหนะแล้วสะท้อนกลับเข้ามายังตัวตรวจวัด โดยใช้เวลาเดินทางดังสมการที่ 4.2

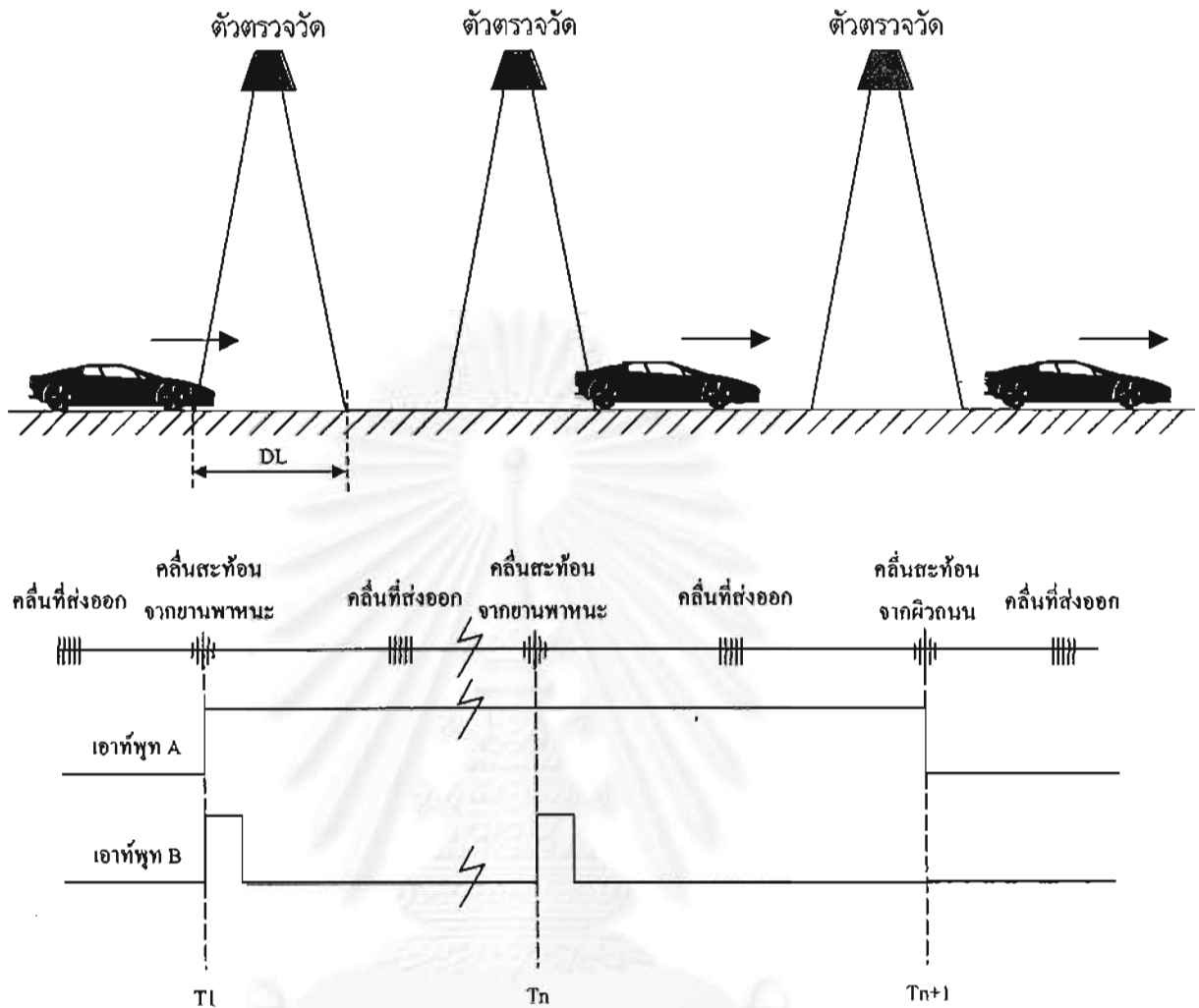
$$T1 = 2h1/C = 2(hr-h2)/C \tag{4.2}$$

โดยที่ T1 คือเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากตัวตรวจวัดไปกระทบผิวยานพาหนะแล้วสะท้อนกลับมายังตัวตรวจวัด (วินาที)

h1 คือระยะตั้งฉากจากผิวยานพาหนะถึงตัวตรวจวัด (เมตร)

h2 คือความสูงของยานพาหนะ ณ ตำแหน่งที่คลื่นเสียงตกกระทบ(เมตร)

คาบเวลาในการส่งคลื่นเสียง(Tsend)นี้ ต้องเลือกให้มีค่ามากกว่า Tr โดยการพิจารณาจากสมการที่ 4.1 เมื่อแทนค่า hr ด้วยระยะทางสูงสุดที่ตรวจวัดได้ (ประมาณ 6 เมตร) โดยคิดที่อุณหภูมิแวดล้อมที่ให้ใช้งานได้ต่ำสุด(0 °C) จะได้ Tr ประมาณ 36.25 ms ในเครื่องต้นแบบได้เลือกใช้ Tsend เท่ากับ 40 ms



รูปที่ 4.3 หลักการทำงานของตัวตรวจวัด

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าเวลาที่เสียงใช้เดินทางกลับมายังตัวตรวจวัดในขณะที่มียานพาหนะจะน้อยกว่าในขณะที่ไม่มียานพาหนะอยู่ในพื้นที่ตรวจวัด ตัวตรวจวัดจะทำการตรวจสอบเวลาตั้งแต่เริ่มปล่อยคลื่นเสียงออกไปจนกระทั่งรับเสียงสะท้อนกลับเข้ามา เมื่อพบว่ามียานพาหนะปรากฏอยู่ในพื้นที่ตรวจวัดก็จะให้กำเนิดพัลส์ออกไปทางเอาต์พุต A และ B การทำงานอธิบายได้จากรูปที่ 4.3 โดยเริ่มต้นสมมุติว่ายังไม่มียานพาหนะใดๆแล่นเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัด ที่เอาต์พุต A และ B จะยังไม่มีสัญญาณใดๆออกมา ต่อมาที่เวลา T_1 เมื่อยานพาหนะแล่นเข้ามาโดยขอบหน้าของยานพาหนะเข้ามาอยู่ในพื้นที่การตรวจจับได้ของตัวตรวจวัดแล้ว ตัวตรวจวัดจะเริ่มให้กำเนิดพัลส์ออกทางเอาต์พุต A เพื่อใช้ในการนับจำนวนยานพาหนะ โดยจะมีสถานะเป็น "1" คงอยู่จนกระทั่งยานพาหนะคันเดียวกันนี้ออกไปพ้นจากพื้นที่ตรวจวัด(ที่เวลา T_{n+1}) ขณะเดียวกันตัวตรวจวัดจะให้กำเนิดพัลส์ออกไป 1 ลูกทางเอาต์พุต B ในทุกๆครั้งที่ตัวตรวจวัดปล่อยเสียงไปกระทบกับผิวของยานพาหนะ พัลส์ที่ได้จากเอาต์พุต B นี้จะใช้ในการคำนวณอัตราเร็วและการครอบครองถนนของยานพาหนะต่อไป

4.1.1 การคำนวณหาอัตราเร็วของยานพาหนะ

พิจารณาจำนวนพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุต B จากรูป 4.3 จะเห็นว่าเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านตลอดพื้นที่ตรวจจับได้ของตัวตรวจวัดมีค่าประมาณ $40(n-1)$ มิลลิวินาที เมื่อ n คือจำนวนพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุต B จากการทดสอบตัวตรวจวัดพบว่า ตัวตรวจวัดมีความยาวของพื้นที่ตรวจจับได้ (DL) ประมาณ 1.3 เมตร และความยาวเฉลี่ยของยานพาหนะเท่ากับ 4.3 เมตร (คิดจากรถพิกอัพและเก๋ง) แทนค่าต่างๆในสมการที่ 2.2 จะได้ว่า

$$S = 504/(n-1) \quad (4.3)$$

โดยที่ S คือ อัตราเร็วโดยประมาณของยานพาหนะ(กม./ชม.)

n คือ จำนวนพัลส์ที่ได้จากเอาต์พุต B

4.1.2 การคำนวณหาการครอบครองถนนของยานพาหนะ

จากสมการที่ 2.1 สามารถคำนวณหาการครอบครองถนนของยานพาหนะ โดยนำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$LO = \left[\sum_{i=1}^N (ni) \right] / n * 100 \quad (4.4)$$

เมื่อ LO = เปอร์เซนต์การครอบครองถนน

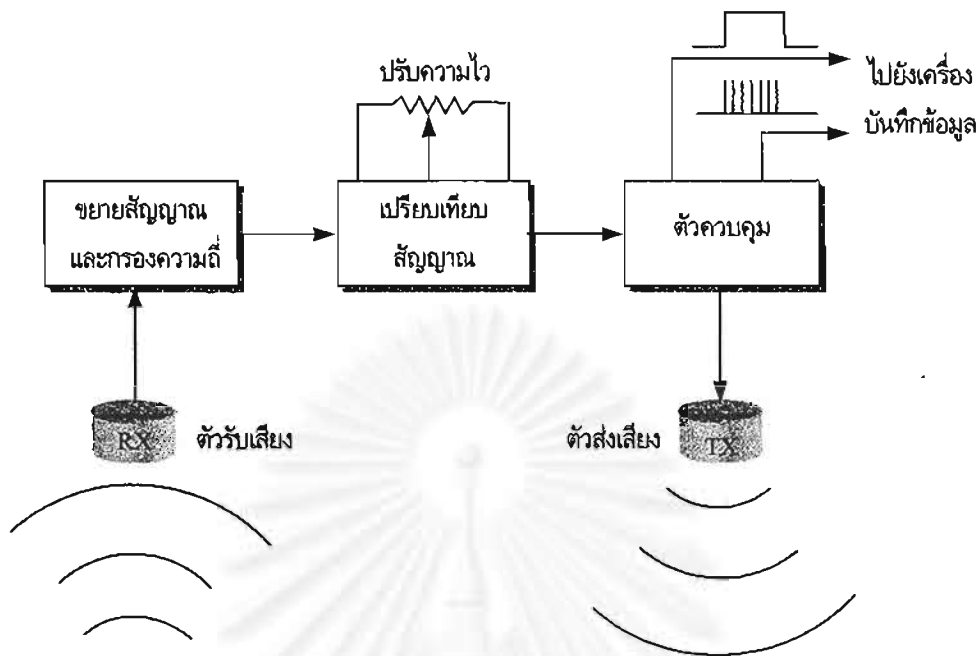
ni = จำนวนพัลส์จากเอาต์พุต B ที่ได้จากยานพาหนะแต่ละคันซึ่งวิ่งเข้ามาในพื้นที่ตรวจจับได้ของตัวตรวจวัด

n = จำนวนพัลส์จากเอาต์พุต B ซึ่งถูกสมมุติว่าได้จากการตรวจจับยานพาหนะที่จอดอยู่กับที่ ตลอดช่วงเวลการตรวจวัด

N = จำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัด ตลอดช่วงเวลการตรวจวัด

4.3 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของตัวตรวจวัด

ตัวตรวจวัดประกอบด้วยสามส่วนหลักได้แก่ ตัวควบคุม วงจรเปรียบเทียบ วงจรขยายและกรองความถี่ ส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของตัวตรวจวัด

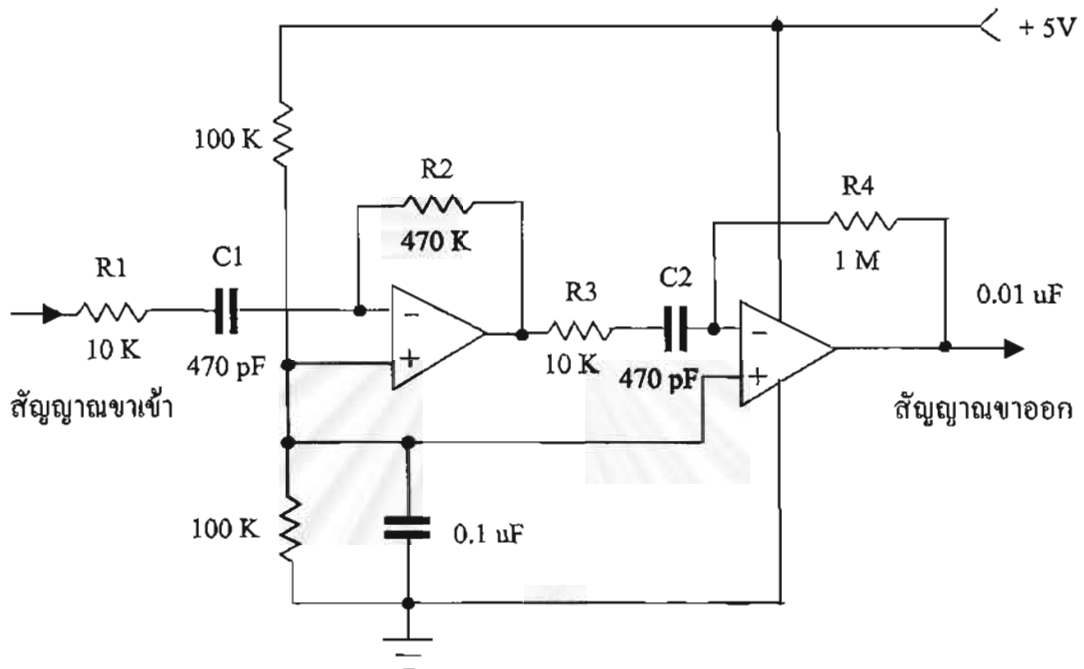
ตัวควบคุมจะให้กำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมความถี่ 40 kHz บ้อนให้แก่ตัวส่งเสียงอัลตราโซนิก (TX) โดยมีคาบเวลาในการส่งคงที่เท่ากับ 40ms เพื่อให้เกิดการสั่นผลิตคลื่นเสียงความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศ คลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปนี้จะไปกระทบกับผิวถนนหรือไม้กั้นของยานพาหนะแล้วสะท้อนกลับมายังตัวรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (RX) ผลิตเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านไปเข้าวงจรขยายสัญญาณและกรองความถี่สูงผ่านเพื่อให้มีแอมพลิจูดที่ใหญ่พอและชัดเจนของสัญญาณรบกวนเนื่องจากเสียงความถี่ต่ำซึ่งปนเข้ามา จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งต่อให้กับวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ซึ่งมีหน้าที่สร้างสัญญาณไปกระตุ้นตัวควบคุมให้รับรู้และทำการประมวลผลโดยเปรียบเทียบเวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนนและยานพาหนะเพื่อสร้างสัญญาณสำหรับการนับ สัญญาณสำหรับคำนวณหาอัตราเร็วและการครอบครองถนนของยานพาหนะออกไปให้กับเครื่องบันทึกข้อมูล

4.3.1 วงจรขยายสัญญาณและกรองความถี่สูงผ่าน

หน้าที่ของวงจรขยายสัญญาณคือ ต้องให้สัญญาณที่ขยายแล้วมีแอมพลิจูดเพียงพอในการใช้งานที่ระยะตรวจวัดสูงสุด (6 เมตร) และต้องไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดสูงมากกว่าสัญญาณที่ต้องการ

ตัวรับคลื่นเสียงอัลตราโซนิก (RX) ที่ใช้นั้น มีความถี่เรโซแนนซ์ 40 kHz และมีแถบความถี่กว้างประมาณ 5 kHz วงจรขยายสัญญาณและกรองความถี่สูงได้ถูกออกแบบขึ้นโดยอาศัยการทดลอง จากการทดลองโดยการติดตั้งตัวตรวจวัดที่ระดับความสูง 6 เมตรและทำการส่งคลื่นรับคลื่น วัดสัญญาณที่ได้จากวงจร

ขยายสัญญาณพบว่าอัตราขยายที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 4,700 - 5,000 เท่า เพื่อขจัดผลของสัญญาณรบกวนต่างๆ ได้ดีขึ้นจึงได้ออกแบบวงจรขยายให้มีการกรองความถี่ด้วย โดยออกแบบความถี่ตัดไว้ที่ 33.86 kHz วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านสูงแสดงดังรูปที่ 4.5

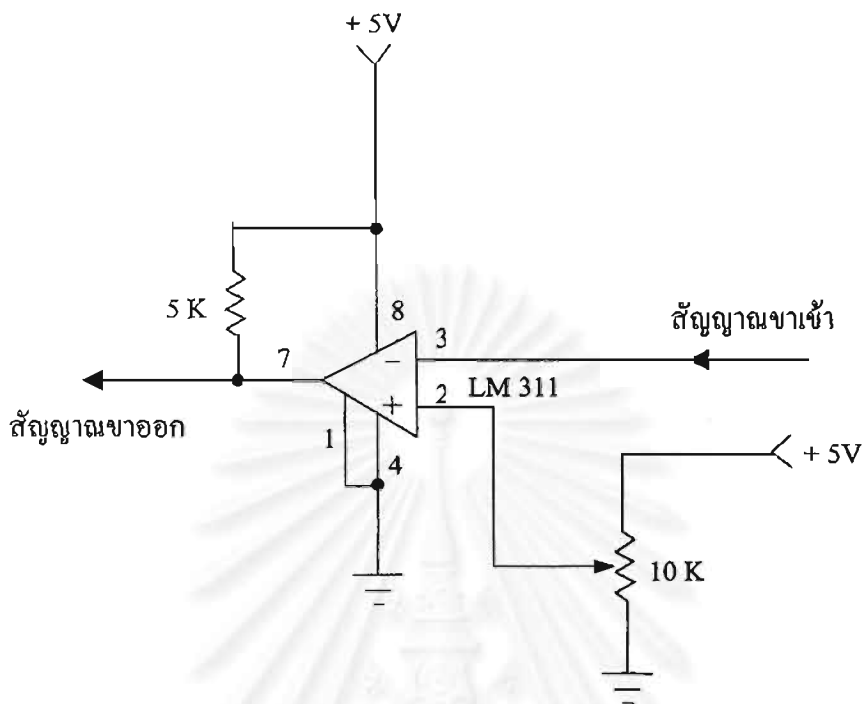


รูปที่ 4.5 วงจรขยายสัญญาณและกรองผ่านสูง

- จากรูปที่ 4.4 อัตราขยายของภาคแรกคำนวณได้จาก $R2/R1 = 47$ เท่า
 อัตราขยายของภาคที่ 2 คำนวณได้จาก $R4/R3 = 100$ เท่า
 อัตราขยายรวม = $47 \times 100 = 4,700$ เท่า
 ความถี่ตัดคำนวณได้จาก $1/2\pi R1C1 = 1/2\pi R3C2 = 33.86$ kHz

4.3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบสัญญาณทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่ใช้ในการจัดจังหวะตัวควบคุมเพื่อให้รู้ว่ามีคลื่นเสียงสะท้อนกลับเข้ามาแล้ว โดยนำเอาสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายมาทำการเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงไฟตรงที่มีระดับแรงดันสูงกว่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณรบกวนแต่น้อยกว่าแอมพลิจูดของสัญญาณจากคลื่นเสียงที่รับเข้ามา ดังรูปที่ 4.6 ผลที่ได้จะทำให้เกิดสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงระดับจากสูงไปต่ำเมื่อมีสัญญาณจากคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับส่งเข้ามา สัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบจะถูกส่งให้กับตัวควบคุมเพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 4.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

วงจรเปรียบเทียบได้ออกแบบขึ้นโดยใช้ไอซี LM311 ซึ่งเป็นไอซีที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ในงานเปรียบเทียบแรงดันโดยเฉพาะ เมื่อสัญญาณที่เข้ามา มีระดับแรงดันต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงจะให้แรงดันเอาต์พุตขนาด 5 โวลต์ ถ้าระดับแรงดันของสัญญาณที่เข้ามาสูงกว่าแรงดันอ้างอิงจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์โวลต์ ตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขาสัญญาณออกทำหน้าที่เป็นโหลดของเอาต์พุตทรานซิสเตอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดในตัวไอซี ตัวต้านทานปรับค่าได้มีไว้สำหรับปรับแรงดันอ้างอิงให้เหมาะสม โดยต้องให้แรงดันอ้างอิงสูงกว่าแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนแต่น้อยกว่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้จากคลื่นเสียงซึ่งสะท้อนกลับมา

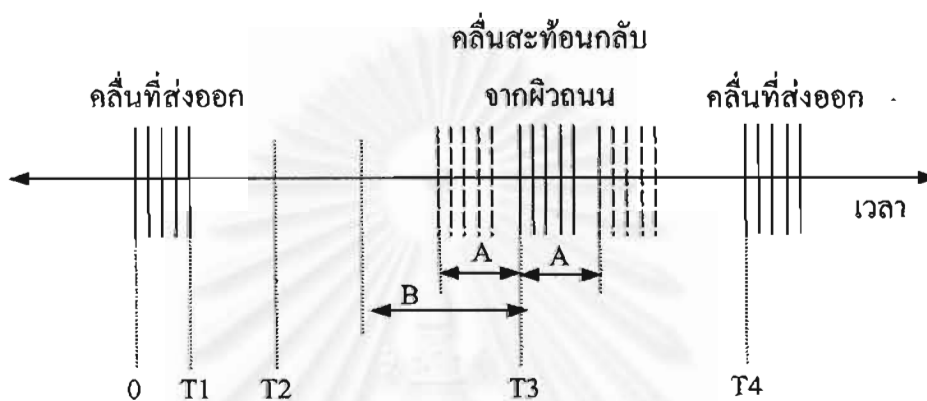
4.3.3 ตัวควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการรับส่งคลื่นและให้กำเนิดพัลส์ออกไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลเมื่อพบว่ามียานพาหนะอยู่ในพื้นที่ที่ตรวจวัด ตัวควบคุมออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตตระกูล PIC เบอร์ 16F84 ของบริษัทไมโครชิพ ซึ่งมีหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) ขนาด 1 กิโลไบต์ สำหรับเก็บโปรแกรม เพื่อควบคุมการทำงานต่างๆตามต้องการ

ปัจจัยสำคัญที่คำนึงถึงในการออกแบบตัวควบคุมก็คือ อัตราเร็วของเสียงที่แปรตามอุณหภูมิแวดล้อม ทำให้เวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวนอนเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อแก้ปัญหาหนึ่งจึงได้ออกแบบตัวควบคุมให้สามารถ

ปรับเปลี่ยนค่าเวลานี้ได้อย่างอัตโนมัติ โดยการเปรียบเทียบระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางครั้งปัจจุบันกับครั้งที่แล้ว ถ้าความแตกต่างไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตัวควบคุมจะยังถือว่าเป็นเวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนนอยู่

การทำงานของตัวควบคุมอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 4.7 ดังนี้



รูปที่ 4.7 การทำงานของตัวควบคุม

เริ่มแรกตัวควบคุมจะผลิตคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 40 kHz ป้อนให้แก่ตัวส่ง(TX) เป็นระยะเวลา T_1 โดยมีคาบเวลาการส่งเท่ากับ T_4 (40 ms) ในช่วงเวลาน้อยกว่า T_2 ตัวควบคุมจะยังไม่มี การรับสัญญาณใดๆ เข้ามา ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรับสัญญาณที่เกิดจากความเฉื่อยของการส่งจากตัวทรานสดิวเซอร์ เมื่อผ่านช่วงเวลา T_2 ไปแล้ว ตัวควบคุมจะเริ่มรับฟังเสียงที่สะท้อนเข้ามา ค่าของ T_2 ได้ถูกกำหนดไว้ที่ประมาณ 6 ms ซึ่งทำให้ตัวตรวจวัดไม่รับรู้วัตถุใดๆ ที่อยู่ห่างจากด้านหน้าของตัวตรวจวัดในระยะประมาณ 1 m

ค่าเวลา T_3 เป็นระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิแวดล้อม ค่าเวลา T_3 นี้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำภายในของตัวควบคุม โดยการสุ่มหาค่าระยะเวลานี้จากยานพาหนะที่แล่นผ่านจำนวน 15 คันในช่วงเริ่มต้นการทำงานเพื่อให้มั่นใจว่าได้ค่าเวลาที่ถูกต้อง หลังจากที่ได้บันทึกค่าเวลา T_3 เอาไว้แล้ว ในครั้งถัดไปจะนำระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกับค่าเวลา T_3 ที่ได้บันทึกไว้ หากพบว่าผลต่างของเวลาทั้งสองน้อยกว่าค่า A ก็จะถือว่าค่าระยะเวลาที่ได้ใหม่นี้ยังเป็นเวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนน ตัวควบคุมจะบันทึกค่าเวลาใหม่นี้แทนค่าเดิมเพื่อใช้เปรียบเทียบในคราวต่อไป ค่า A นี้ใช้เพื่อจัดผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมที่มีต่ออัตราเร็วของเสียง โดยถูกกำหนดไว้ก่อนในหน่วยความจำของตัวควบคุมโดยจะต้องเลือกให้น้อยกว่าส่วนสูงต่ำสุดของยานพาหนะที่ต้องการตรวจวัด น้อยกว่าค่า B และมากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้จากผลของอุณหภูมิแวดล้อม

ในการออกแบบได้เลือกค่า A ไว้ประมาณ 2ms หรือเทียบได้กับความสูงจากผิวถนนประมาณ 35 cm (ที่ 30°C) ดังนั้นตัวตรวจวัดจะรับรู้ได้ว่าเป็นผิวถนนโดยยอมให้หวัะความสูงคลาดเคลื่อนได้ ± 35 cm

ถ้าคลื่นที่สะท้อนกลับมาถึงก่อน T3 เป็นเวลามากกว่าค่า B จะถือว่าคลื่นที่สะท้อนกลับนี้มาจากยานพาหนะ ตัวควบคุมจะสร้างพัลส์สำหรับการนับออกไป 1 ลูกทางเอาต์พุต A โดยมีช่วงกว้างของสัญญาณเท่ากับเวลาที่ยานพาหนะอยู่ในพื้นที่ตรวจวัดและสร้างพัลส์สำหรับคำนวณหาอัตราเร็วและการครอบครองถนนออกไปทางเอาต์พุต B ตลอดเวลาที่ยานพาหนะยังอยู่ในพื้นที่ตรวจวัด ค่า B นี้จะถูกกำหนดไว้ก่อนในหน่วยความจำของตัวควบคุมโดยจะต้องเลือกให้มากกว่าค่า A แต่น้อยกว่าส่วนสูงต่ำสุดของยานพาหนะที่ตรวจวัด ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถตรวจวัดได้ตลอดความยาวของยานพาหนะ ในการออกแบบได้เลือกค่า B ไว้ที่ประมาณ 3.84 ms หรือเทียบได้กับความสูงจากผิวถนนประมาณ 67 cm (ที่ 30°C) ดังนั้นเมื่อมียานพาหนะแล่นเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัดโดยมีส่วนสูงมากกว่า 67 cm จากผิวถนน ตัวตรวจวัดจะสามารถรับรู้และให้สัญญาณเอาต์พุตออกไป ดังรูปที่ 4.3

สำหรับคลื่นที่มาถึงหลัง T3 เป็นเวลามากกว่าค่า A หรือถึงก่อน T3 เป็นเวลามากกว่าค่า A แต่น้อยกว่าค่า B ตัวควบคุมจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าเวลาของระยะผิวถนนที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเอาต์พุตใดๆ

4.4 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์ของตัวตรวจวัด

ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของตัวตรวจวัด ได้แก่

1. ส่งพัลส์สี่เหลี่ยมความถี่ 40 kHz เป็นจังหวะออกไปด้วยคาบเวลาการส่งคงที่คือ 40 ms
2. ในช่วงเริ่มต้นทำงานจะตรวจหาระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนนจากการปล่อยคลื่นทดสอบกับยานพาหนะที่แล่นผ่านจำนวน 15 ครั้ง จากนั้นบันทึกค่าเวลานี้เก็บไว้ในหน่วยความจำ เพื่อใช้เปรียบเทียบในครั้งถัดไป
3. รับฟังคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปกระทบผิวถนน เพื่อตัดสินใจให้กำเนิดพัลส์สำหรับการนับ พัลส์สำหรับคำนวณอัตราเร็วและการครอบครองถนนออกไป
4. ปรับปรุงระยะเวลาที่คลื่นเสียงใช้เดินทางไปกระทบผิวถนนอย่างอัตโนมัติ เพื่อจัดผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ฯลฯ อันทำให้ความเร็วเสียงเปลี่ยนแปลงไป

โดยสามารถเขียนเป็นโมดูล (ใช้ Pseudo code) ได้ ดังนี้

Module Sensor

Initial flag = 1

START : reset timer counter(tc)

Transmit 10 pulse of 40 kHz

While (tc < 6.144mS)

Stay here

```

Do while (Echo signal off)
Begin
    While (tc < 40mS)
        Stay here
    Goto START
End Do
Save tc in counter1
Calculate difference /d/ between counter1 and counter2
If /d/ < a then
    Vehicle flag = 0
    Volume output = 0
Savec2 : save counter1 in roadcounter
    Save counter1 in counter2
    Goto init_count
End if
If counter1 > counter2 and initial flag set then
    Goto savec2
Elseif counter1 > counter2 and initial flag reset then
    Goto saveR2
End if
If /d/ >= b then
    Speed output = 1
Elseif /d/ < b and initial flag set then
    Goto savec2
Elseif /d/ < b and initial flag reset then
    Goto saveR2
End if
If vehicle flag = 0 then
    Vehicle output = 1
    n = n+1
End if
Vehicle flag = 1
SaveR2 : save roadcounter in counter2

```

```

Init_count : if n >= 15 then
                Initial flag = 0
            End if
        While (tc < 40mS)
            Stay here
        Speed output = 0
        Goto START
    End Module

```

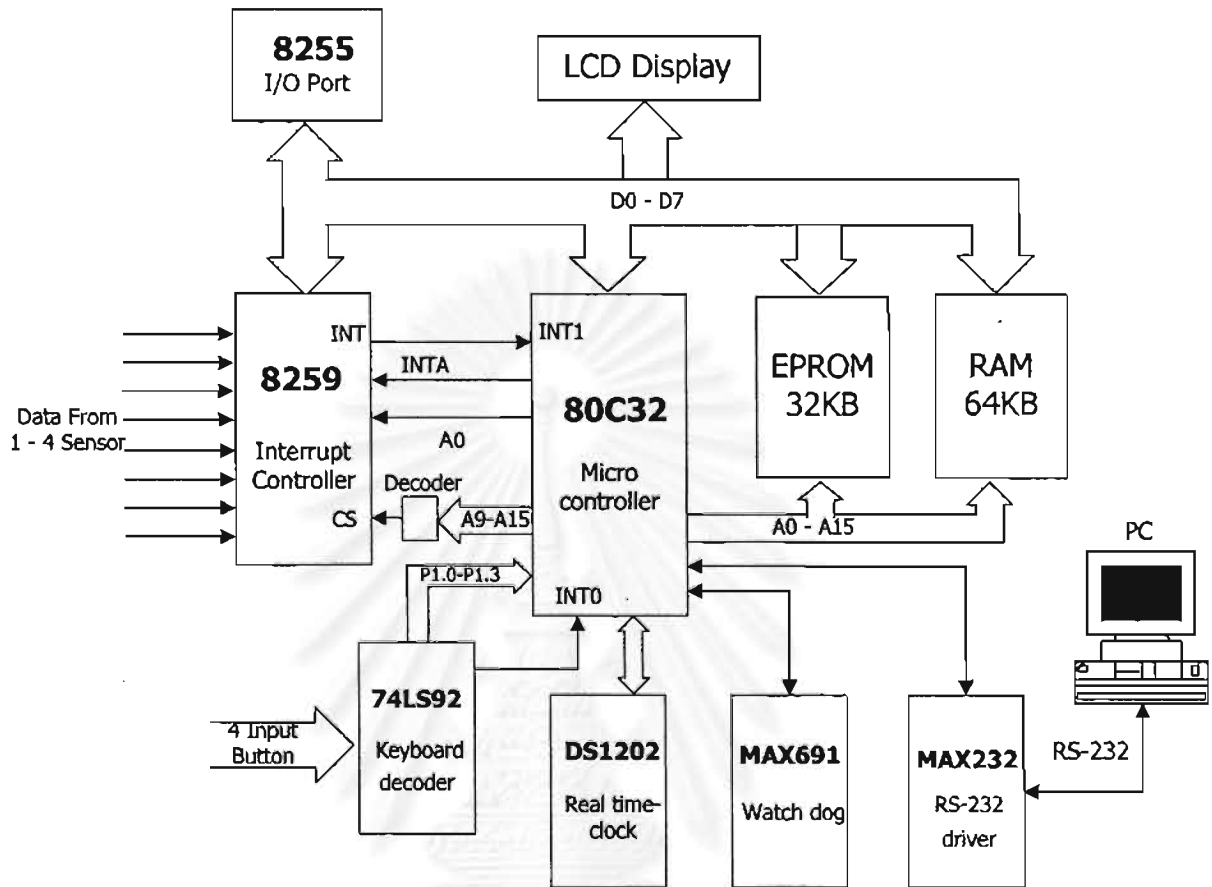
4.5 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูลสามารถรับสัญญาณจากตัวตรวจวัดได้สูงสุดจำนวน 4 ตัว แล้วนำข้อมูลที่ได้อ่านบันทึกลงในหน่วยความจำทุกๆ 15 นาที โดยมีการป้องกันข้อมูลสูญหายด้วยแบตเตอรี่สำรองข้อมูล และสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้แล้วนี้ออกไปแสดงผลและจัดพิมพ์รายงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

เครื่องบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ บอร์ดควบคุมหลัก(Main Controller Board), วงจรควบคุมการขัดจังหวะ(Interrupt Controller) และวงจรถอดรหัสคีย์บอร์ด(Key Decoder) ส่วนประกอบโดยรวมแสดงดังรูปที่ 4.8

ส่วนของบอร์ดควบคุมหลัก(Main Controller Board)ได้ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ANT-32 ของบริษัทซิลิโคน ภายใต้บอร์ดประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 80C32 หน่วยความจำโปรแกรมขนาด 32 KB หน่วยความจำเก็บข้อมูลขนาด 64 KB ส่วนของวงจรมหาค่าเวลาจริง (Real time clock)ซึ่งใช้ไอซี DS1202 ส่วนของวอตช์ดีอกไทมเมอร์และควบคุมแรงดันเพื่อสำรองข้อมูลให้แก่หน่วยความจำใช้ไอซี MAX691 พอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบขนานใช้ไอซี 8255 และส่วนของการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม ใช้ไอซี MAX232

ส่วนของวงจรควบคุมการขัดจังหวะ(Interrupt Controller)ใช้ไอซี 8259 ทำหน้าที่จัดลำดับของสัญญาณ (จำนวน 8 ช่องสัญญาณ) ที่รับมาจากตัวตรวจวัดจำนวน 4 ตัว โดยตัวตรวจวัดแต่ละตัวจะให้เอาต์พุตออกมา 2 ช่องสัญญาณ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาพร้อมกันมากกว่าหนึ่งสัญญาณวงจรจะเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของสัญญาณแต่ละช่องและตอบสนองต่อสัญญาณที่มีความสำคัญสูงสุดก่อน โดยส่งสัญญาณขอการขัดจังหวะไปยังขา INT1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณตอบรับกลับมายังขา INTA ของไอซี 8259 เพื่อให้ส่งค่าของช่องสัญญาณที่กำลังตอบสนองอยู่ออกมาบนบัสข้อมูล หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนับสัญญาณที่ได้รับเข้ามาจากช่องสัญญาณนั้นแล้วบันทึกค่าที่ได้พร้อมทั้งค่าเวลาในขณะนั้นลงในหน่วยความจำชนิดแรม โดยอ่านค่าเวลาในขณะนั้นจากนาฬิกาเวลาจริง



รูปที่ 4.8 ไดอะแกรมของเครื่องบันทึกข้อมูล

ส่วนของวงจรถอดรหัสคีย์บอร์ด(Key Decoder) ใช้ไอซี 74LS922 ทำหน้าที่ถอดรหัสสัญญาณที่เกิดจากการกดสวิตช์จำนวน 4 ตัวสร้างเป็นข้อมูลเอาต์พุตขนาด 4 บิตส่งให้แก่ขา P1.0 - P1.3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมกดแต่ละปุ่มมีไว้สำหรับเลือกการทำงานต่างๆ ให้กับเครื่องบันทึกข้อมูล เมื่อกดปุ่มใดๆจะเกิดสัญญาณส่งไปยังขา INT0 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าแล้วทำงานตามคำสั่งที่กำหนดของแต่ละปุ่ม

4.6 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์ของเครื่องบันทึกข้อมูล

ในส่วนของซอฟต์แวร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบไว้จะมีแบบวิธีการทำงาน 2 แบบวิธีคือ

1. แบบวิธีของการเก็บข้อมูล ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจวัดมาประมวลผลแล้วบันทึกข้อมูลที่ได้ออกของแต่ละช่องสัญญาณลงในหน่วยความจำแรมทุกๆ 15 นาที โดยจะบันทึกค่าเวลาเริ่มต้นของการนับไว้ด้วย ในขณะที่เดียวกันจะทำการตรวจสอบการกดปุ่มอยู่ตลอดเวลา หากมีการกดปุ่มใดๆ ก็จะไม่ทำงานในโหมดเมนู
2. แบบวิธีเมนู ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานทางปุ่มกด 4 ปุ่มบนเครื่องบันทึกข้อมูล โดยมี 4 คำสั่ง ได้แก่ ดูข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขณะนั้นบนตัวแสดงผล LCD, ตั้งวันที่และเวลาให้แก่ระบบ สั่งให้เครื่องเริ่มเก็บข้อมูล และเข้าสู่ระบบเมนูการรับคำสั่งผ่านทาง RS-232

ซอฟต์แวร์ที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็นโมดูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.6.1 โมดูลที่ใช้กำหนดการขัดจังหวะ

โมดูลนี้ทำหน้าที่เรียกใช้โมดูลต่างๆ เพื่อตอบสนองการขัดจังหวะที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิด 3 แหล่ง คือ จากตัวตรวจวัด (INT1) จากการกดปุ่ม (INT0) และจากตัวตั้งเวลารายใน (TIMER0) ซึ่งทำให้เกิดการขัดจังหวะทุกๆ 15 นาที

```

Module Switcher
    If (INT0)      Then
        Call Button_Menu
    EndIf
    If (INT1)     Then
        Call Data_In
    EndIf
    If (TIMER0)  Then
        Call Timer
    EndIf
End Module
  
```

4.6.2 โมดูลที่ใช้รับข้อมูลจากตัวตรวจวัด

โมดูลนี้ทำหน้าที่อ่านค่าสัญญาณจากตัวตรวจวัดผ่านทางตัวควบคุมการขัดจังหวะ โดยเก็บข้อมูลของแต่ละช่องสัญญาณไว้ในตัวแปร แบบอาร์เรย์ IR ซึ่งใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวให้กับแต่ละช่องสัญญาณ

```

Module Data_In
  Read ( CH)
  IR [CH] = IR [CH]+1
  Call Save_Data
End Module

```

4.6.3 โมดูลที่ใช้เก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ

โมดูลนี้ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากช่องสัญญาณแต่ละช่องลงในหน่วยความจำแรม โดยจะเก็บในรูปแบบของอาร์เรย์ 3 มิติ

```

Module Save_Data
  Read (Time)
  Read (Date)
  Data [Date][Time][CH] = IR [CH]
End Module

```

4.6.4 โมดูลที่ใช้รับคำสั่งผ่านทางปุ่มกดบนเครื่องบันทึกข้อมูล

โมดูลนี้ทำหน้าที่ทำตามคำสั่งย่อยที่กำหนด จากการกดปุ่มซึ่งมีอยู่ 4 ปุ่มเพื่อใช้เลือกการทำงานต่างๆ ได้แก่ ดูข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขณะนั้น ตั้งวันที่และเวลาให้แก่ระบบ สั่งให้เครื่องเริ่มเก็บข้อมูล และเข้าสู่ระบบเมนูการรับคำสั่งผ่านทาง RS-232

```

Module Button_Menu
  Select case KeyPress
  Case Keypress = 1
    Display data on LCD
  Case Keypress = 2
    Set Date / Time
  Case Keypress = 3
    Start Process
  Case Keypress = 4
    Call Screen_Menu
End Module

```

4.6.5 โมดูลที่ใช้การรับคำสั่งผ่านทาง RS-232

โมดูลนี้ทำหน้าที่รับคำสั่งจากการกดคีย์ โดยกำหนดเป็นเมนูให้เลือก 6 เมนูย่อย ได้แก่ ตั้งวันที่และเวลา กำหนดชื่อสถานที่ กำหนดทิศทางของช่องจราจรแต่ละช่อง ลบข้อมูล และโหลดข้อมูล

Module Screen_Menu

```

Print (" d      -Set Date")
Print (" t      -Set Time")
Print (" p      -Set Place and Direction ")
Print (" r      -Clear data")
Print (" l      -Download Data")
Print (" q      -Quit ")
Select case KeyIn
  Case KeyIn = d
    Set Date
  Case KeyIn = t
    Set Time
  Case KeyIn = p
    Set Place and Direction
  Case KeyIn = r
    Clear Data
  Case KeyIn = l
    Download Data
  Case KeyIn = q
    Quit Menu

```

End Select

End Module

4.6.6 โมดูลของโปรแกรมหลัก

โมดูลนี้ทำหน้าที่กำหนดค่าการเริ่มต้นให้แก่ส่วนต่างๆในการทำงาน ได้แก่ ส่วนของการจับเวลา ส่วนของตัวควบคุมการขัดจังหวะ และส่วนของการติดต่อแบบอนุกรม จากนั้นรอให้เกิดการขัดจังหวะเพื่อทำงานตามโมดูลที่กำหนดไว้

```

Module Main
    Setup Timer
    Setup Interrupt Controller
    Setup Serial System
    Do While (1)
        Call Switcher
    End Do
End Module
  
```

4.6.7 โมดูลที่ใช้ในการตรวจสอบเวลาสำหรับบันทึกข้อมูล

โมดูลนี้ทำหน้าที่ตรวจสอบเวลา โดยเมื่อครบรอบ 15 นาทีให้ทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำแรม จากนั้นล้างค่าของตัวแปร IR เพื่อเริ่มต้นการเก็บข้อมูลในรอบต่อไป

```

Module Timer
    Read (Time)
    If (Time_Interval >= 15) Then
        For CH = 1 to 8
            Call Save_Data
        End For
        For CH = 1 to 8
            IR (CH) = 0
        End For
    EndIf
End Module
  
```

4.7 ฐานข้อมูลการจราจร

ข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำแรมของเครื่องบันทึกข้อมูลจะถูกนำออกมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบของแฟ้มข้อความ(Text File) ดังรูปที่ 4.9 โดยอาศัยการรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมระหว่างเครื่องบันทึกข้อมูลและเครื่องคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย ชื่อของสถานที่(Location), วันเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการตรวจวัด(Record Date) ทิศทางการเดินทาง(Direction) และข้อมูลการจราจรของแต่ละช่องจราจร โดยในแต่ละช่องจราจรจะเก็บข้อมูลไว้ 2 ชนิด คือข้อมูลของปริมาณยานพาหนะ(CH) และข้อมูลแสดงการครอบครองถนนของยานพาหนะ(OC) ซึ่งข้อมูลทั้งสองนี้ได้มาจากการนับพัลส์ที่ออกมาจากเอาต์พุต A และ B ของตัวตรวจวัด ตามลำดับ ข้อมูลทั้งสองนี้จะถูกนำมาประมวลผลบนคอมพิวเตอร์โดยอาศัยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแสดงผลและจัดพิมพ์ข้อมูลออกมาเป็นรายงานต่างๆ

Location :	Phrama 3								
Record Date :	17:30 25/11/99								
TO :	18:30 25/11/99								
Direction		OUT	-	IN	-	IN	-	OUT	-
Date	Time	CH1	OC1	CH2	OC2	CH3	OC3	CH4	OC4
25/11/99	17:30	12	89	35	120	24	94	26	102
	17:45	226	1483	383	2375	257	1465	326	2119
	18:00	197	1284	387	2399	338	1927	314	2041
	18:15	199	1329	405	2511	341	1944	339	2204
	18:30	216	1390	410	2542	312	1778	331	2152

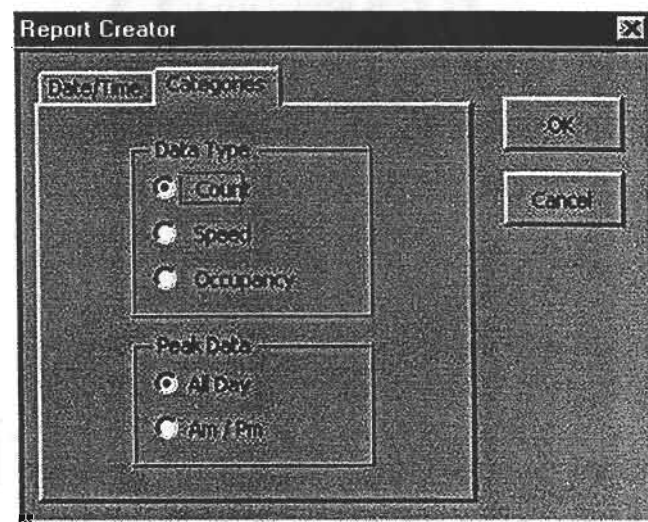
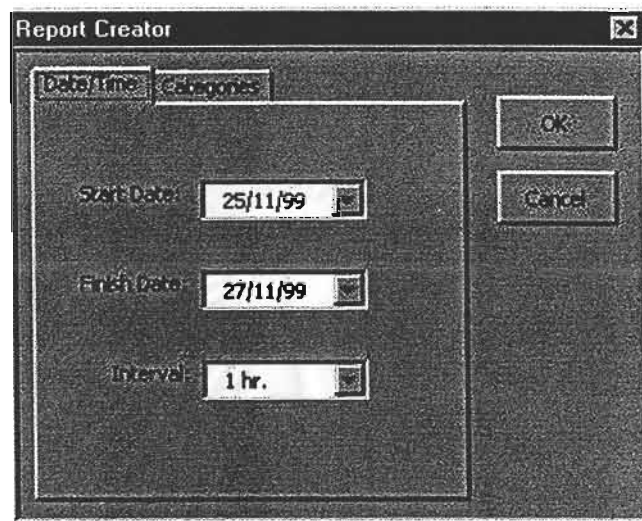
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างฐานข้อมูลการจราจรซึ่งจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ

4.8 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแสดงผลและจัดพิมพ์รายงาน

ในการแสดงผลข้อมูลการจราจรที่ตรวจวัดมาได้นั้นจะอาศัยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษา Visual Basic ซึ่งออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยให้ผู้ใช้เลือกรูปแบบของแผนภูมิและรายงานต่างๆที่ต้องการ พร้อมทั้งสามารถจัดพิมพ์ลงบนกระดาษได้ การทำงานของซอฟต์แวร์นี้แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ

1. การกำหนดรายงานที่ต้องการสร้าง ในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบของรายงานต่างๆได้ผ่านทางแบบฟอร์มที่ซอฟต์แวร์กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งได้แก่
 - เลือกวันเริ่มต้นและวันสุดท้ายของรายงานที่ต้องการสร้าง
 - เลือกช่วงการแสดงผลรายงานได้ 3 แบบคือ 15 นาที 30 นาที และ 1 ชั่วโมง

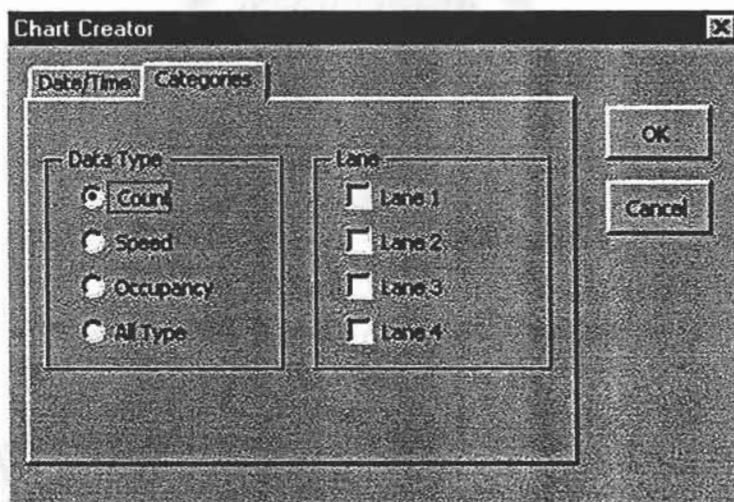
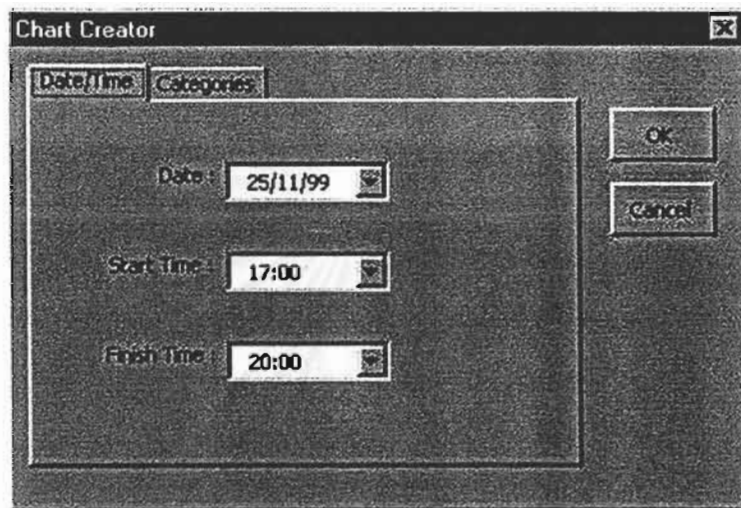
- เลือกข้อมูลด้านการจราจรที่ต้องการสร้างรายงานได้ 3 ประเภท คือปริมาณ อัตราเร็ว หรือการครอบครองถนน
- เลือกการสรุปข้อมูลค่ายอด(Peak Data) ได้ 2 แบบคือ แบบทั้งวัน หรือแบบเช้า/บ่าย



รูปที่ 4.10 การกำหนดรายงานที่ต้องการสร้าง

2. การกำหนดแผนภูมิที่ต้องการสร้าง ในส่วนนี้ผู้ใช้สามารถเลือกการแสดงผลแผนภูมิต่างๆได้ผ่านทางแบบฟอร์มที่ซอฟต์แวร์กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งได้แก่
 - เลือกวันที่ต้องการสร้างแผนภูมิ
 - เลือกเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดในการสร้าง

- เลือกข้อมูลด้านการจราจรที่จะนำมาสร้างแผนภูมิได้ 4 ประเภท คือปริมาณ อัตราเร็ว การครอบครองถนน หรือทุกประเภทบนแผนภูมิเดียวกัน
- เลือกช่องการจราจรที่ต้องการนำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิ

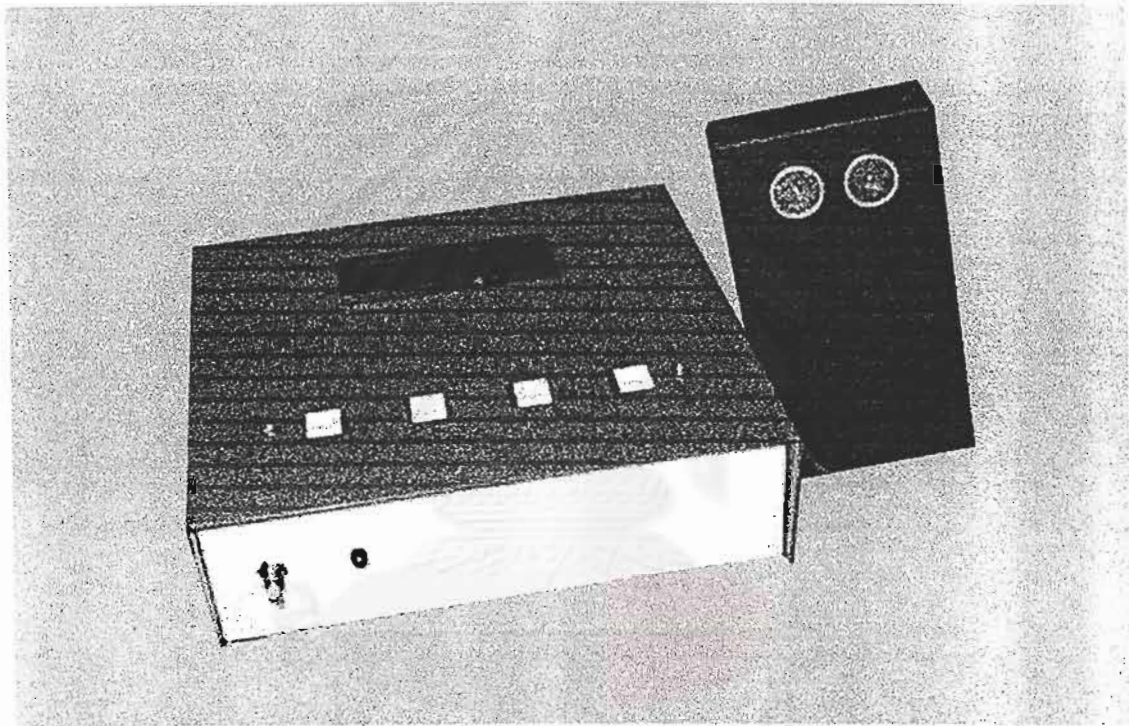


รูปที่ 4.11 การกำหนดแผนภูมิที่ต้องการสร้าง

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

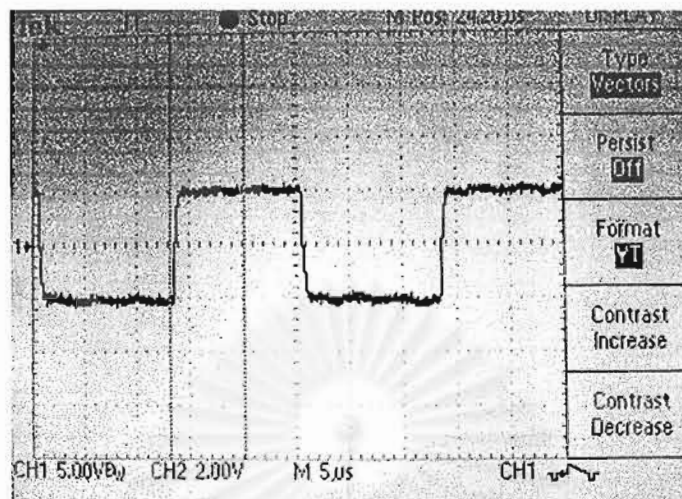
ต้นแบบของเครื่องวัดปริมาณจรรยาได้ถูกสร้างขึ้นมา ดังรูปที่ 5.1 และได้นำมาทดสอบการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้



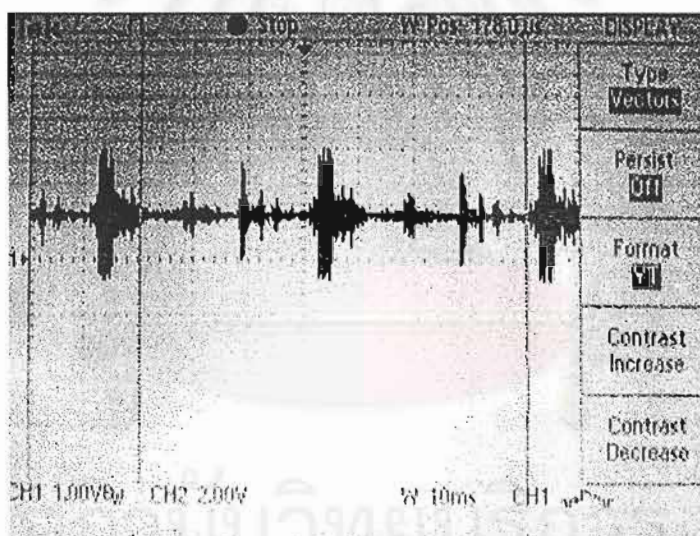
รูปที่ 5.1 ต้นแบบของเครื่องวัดปริมาณจรรยา

5.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจวัด

การทดสอบนี้ทำโดยการวัดสัญญาณตามจุดต่างๆ เพื่อตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของตัวตรวจวัด ก่อนที่จะนำไปทดลองบนถนนจริง โดยรูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณที่สร้างขึ้นโดยตัวควบคุม เพื่อใช้ในการขับตัวส่งเสียงอัลตราโซนิก และรูปที่ 5.3 เป็นสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรมายสัญญาณ เมื่อติดตั้งตัวตรวจวัดไว้เหนือถนนประมาณ 5 เมตร



รูปที่ 5.2 สัญญาณที่ใช้ในการขับตัวส่งเสียงอัลตราโซนิก



รูปที่ 5.3 สัญญาณแอมป์ที่หลุดจากวงจรขยายสัญญาณ

5.2 การทดสอบเครื่องบันทึกข้อมูล

ได้ทดสอบการทำงานโดยการป้อนพัลส์เข้าที่อินพุตของช่องสัญญาณแต่ละช่องพร้อมกัน เป็นเวลาต่อเนื่องนาน 2 สัปดาห์ รวมทั้งทดสอบความสามารถในการเก็บรักษาข้อมูลโดยไม่ป้อนแรงดันไฟฟ้าให้แก่เครื่องบันทึกข้อมูลเป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นได้ทำการตรวจดูข้อมูลที่บันทึกได้ พบว่าข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องโดยสมบูรณ์

5.3 การทดสอบหาความยาวของการตรวจจับได้(Detection Length)ที่พื้นถนนของตัวตรวจวัด

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้เป็นแบบเพียโซเซรามิก มีความถี่เรโซแนนซ์ที่ $40 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$ สามารถตรวจจับวัตถุได้ที่ระยะไกลสุดประมาณ 6 เมตร ได้ทำการทดสอบหาความยาวของการตรวจจับได้ที่พื้นถนน โดยได้ติดตั้งตัวตรวจวัดที่ระดับความสูงเหนือถนนเป็นระยะ 6 เมตร จากนั้นนำรถเคลื่อนที่ช้าๆผ่านพื้นที่การตรวจจับของตัวตรวจวัดและสังเกตการติดสว่างของ LED ที่ตัวตรวจวัด พบว่าความยาวของการตรวจจับได้ที่พื้นถนน(DL) ดังรูปที่ 5.4 มีค่าประมาณ 1.3 เมตร



รูปที่ 5.4 การทดสอบหาความยาวของการตรวจจับได้ที่พื้นถนน

5.4 การทดสอบการตรวจวัดการครอบครองถนน

การทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง โดยได้ติดตั้งตัวตรวจวัดไว้สูงเหนือถนน 6 เมตร

- การทดลองแรก ให้เครื่องวัดตรวจวัดยานพาหนะที่จอดนิ่งอยู่ในพื้นที่ตรวจวัดตลอดเวลา 3 ชม. แล้วตรวจดูการครอบครองถนนที่ได้จากการตรวจวัดพบว่ามีค่าเท่ากับ 100% ทุกๆ ช่วง 15 นาที
- การทดลองที่สอง ให้เครื่องวัดตรวจวัดผิวถนนโดยไม่ให้มียานพาหนะใดๆอยู่ในพื้นที่ตรวจวัดเลยตลอดเวลา 3 ชม. จากนั้นตรวจดูการครอบครองถนนที่ได้จากการตรวจวัด พบว่ามีค่าเท่ากับ 0 % ทุกๆช่วง 15 นาที

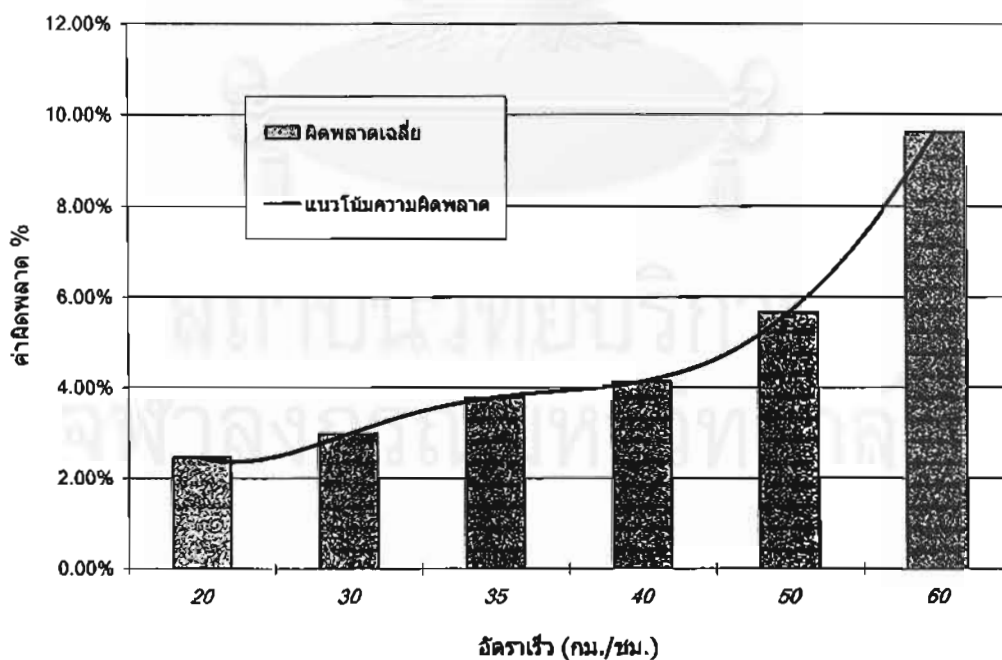
5.5 การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดอัตราเร็ว

ตัวตรวจวัดสามารถหาอัตราเร็วของยานพาหนะโดยอาศัยการคำนวณจากจำนวนพัลส์ที่ได้จากการปล่อยเสียงไปกระทบผิวของยานพาหนะตลอดความยาว ตามที่กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 ซึ่งได้ใช้สมการที่ 4.3 ในการคำนวณหาอัตราเร็วของยานพาหนะ

ผู้วิจัยได้ทดสอบหาอัตราเร็วของยานพาหนะโดยติดตั้งตัวตรวจวัดสูงจากผิวถนนเป็นระยะ 6 เมตร แล้วให้รถวิ่งผ่านจุดที่ติดตั้งตัวตรวจวัดด้วยอัตราเร็วระหว่าง 20 - 60 กม./ชม. โดยดูจากมิเตอร์วัดอัตราเร็วที่ติดตั้งอยู่ในรถ รถที่ใช้ในการทดสอบเป็นรถพิกอ์มีความยาว 4.6 เมตร การทดสอบได้กระทำโดยให้รถวิ่งผ่านเป็นจำนวน 5 ครั้งในแต่ละค่าของอัตราเร็ว ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความสามารถในการตรวจวัดอัตราเร็ว

อัตราเร็ว(กม. / ชม.)	ค่าที่ได้จากการตรวจวัด(กม. / ชม.)						
	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 4	ครั้ง 5	ผิดพลาดสูงสุด	ผิดพลาดเฉลี่ย
20	20.82	20.82	20.00	20.82	20.00	4.10 %	2.46 %
30	30.93	30.93	29.16	30.93	29.16	3.10 %	2.98 %
35	32.93	35.21	35.21	32.93	32.93	5.90 %	3.78 %
40	40.86	37.82	40.86	37.82	37.82	5.45 %	4.13 %
50	53.83	53.83	48.68	48.68	53.83	7.66 %	5.65 %
60	63.75	60.20	68.30	68.30	68.30	13.83 %	9.61 %

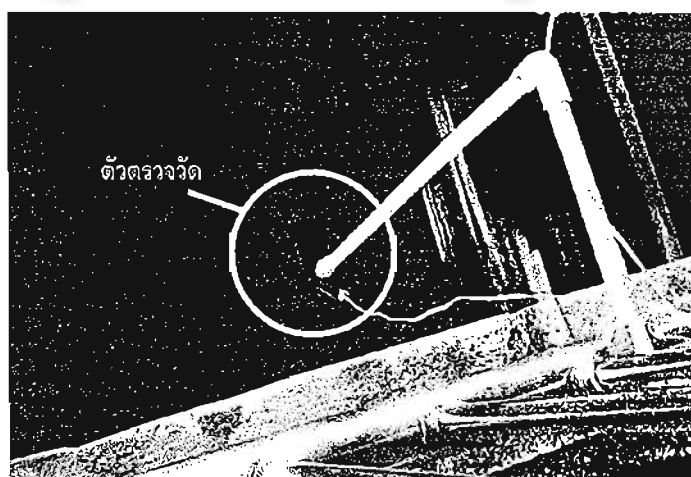
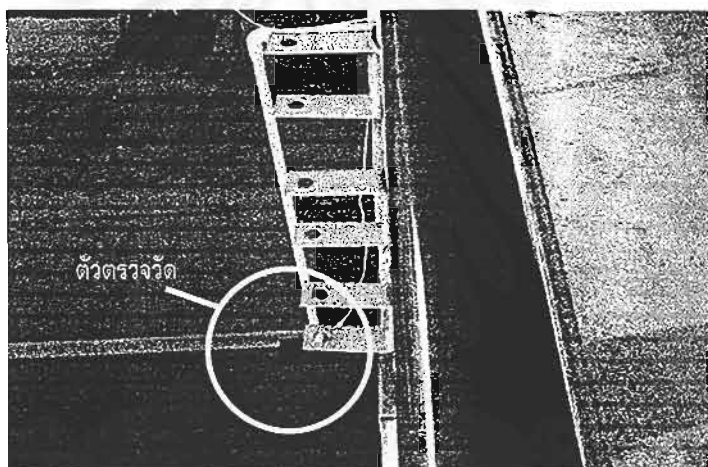


รูปที่ 5.5 ค่าความผิดพลาดจากการตรวจวัดอัตราเร็วของยานพาหนะ

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าแนวโน้มของค่าผิดพลาดสูงขึ้นเมื่อตรวจวัดยานพาหนะที่มีอัตราเร็วมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการตรวจวัดอาศัยการปล่อยเสียงออกไปเป็นจังหวะ โดยช่วงเวลาที่ปล่อยเสียงออกไปแต่ละครั้งมีค่าคงที่ (40 ms) ดังนั้นเมื่อยานพาหนะวิ่งเร็วขึ้นจึงเป็นผลให้ความละเอียดในการตรวจวัดลดลง

5.6 การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดปริมาณยานพาหนะ

ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งตัวตรวจวัดกับสะพานลอยดังรูปที่ 5.6 เพื่อทำการทดสอบในสภาพการจราจรบนถนนจริง โดยได้ติดตั้งในสภาพการจราจรที่ต่างกัน 3 ลักษณะ คือ สภาพการจราจรคลองตัว(เคลื่อนที่เร็ว) สภาพการจราจรคลองตัว(เคลื่อนที่ช้า) และสภาพการจราจรติดขัด



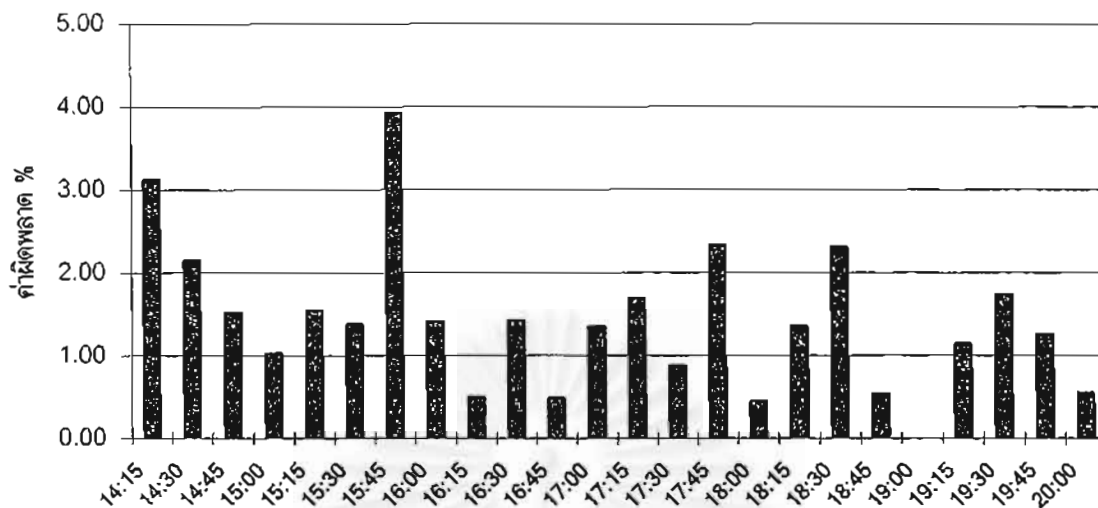
รูปที่ 5.6 การติดตั้งตัวตรวจวัด

5.6.1 การทดสอบในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่เร็ว)

ในการทดสอบได้ติดตั้งตัวตรวจวัดกับสะพานลอยแห่งหนึ่งบนถนนสายบางนา-ตราด ซึ่งสภาพการจราจรมีความคล่องตัวมาก จากการสังเกตพอจะประมาณได้ว่ายานพาหนะแต่ละคันเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่า 100 กม./ชม. ทดสอบต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชม. แล้วนำผลการตรวจวัดปริมาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดซึ่งจะบันทึกค่าไว้ทุกๆ 15 นาทีมาเปรียบเทียบกับปริมาณจริงที่ได้จากการนับเพื่อคำนวณหาค่าผิดพลาด ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่เร็ว)

เวลา	ค่าที่ได้จากเครื่องตรวจวัด			ปริมาณที่นับได้จริง	ค่าผิดพลาด (%)
	การครอบครองถนน (%)	อัตราเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ปริมาณ		
14:00 - 14:15	2.68	125.23	186	192	3.13
14:15 - 14:30	2.63	123.14	182	186	2.15
14:30 - 14:45	2.82	111.86	194	197	1.52
14:45 - 15:00	2.96	127.25	193	195	1.03
15:00 - 15:15	2.54	105.56	191	194	1.55
15:15 - 15:30	2.75	130.36	214	217	1.38
15:30 - 15:45	2.81	125.63	196	204	3.92
15:45 - 16:00	2.88	128.77	210	213	1.41
16:00 - 16:15	2.71	117.44	201	202	0.50
16:15 - 16:30	2.77	126.35	209	212	1.42
16:30 - 16:45	2.69	128.78	207	208	0.48
16:45 - 17:00	2.92	135.53	226	223	1.35
17:00 - 17:15	3.01	138.62	233	237	1.69
17:15 - 17:30	2.90	133.17	227	229	0.87
17:30 - 17:45	2.84	129.84	210	215	2.33
17:45 - 18:00	2.85	131.58	224	225	0.44
18:00 - 18:15	2.79	127.53	219	222	1.35
18:15 - 18:30	2.66	118.66	212	217	2.30
18:30 - 18:45	2.68	113.33	189	190	0.53
18:45 - 19:00	2.70	116.75	202	202	0.00
19:00 - 19:15	2.63	114.37	173	175	1.14
19:15 - 19:30	2.65	115.46	176	173	1.73
19:30 - 19:45	2.74	110.37	158	160	1.25
19:45 - 20:00	2.77	112.63	182	183	0.55



รูปที่ 5.7 ค่าความผิดพลาดจากการตรวจนับยานพาหนะในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่เร็ว)

จากผลการทดสอบพบว่าค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 4871 คัน เท่ากับ 1.17% โดยมีค่าผิดพลาดสูงสุดในช่วงเวลา 15 นาทีเท่ากับ 3.92% ซึ่งเกิดจากเครื่องนับได้น้อยกว่าปริมาณจริง(204 คัน)อยู่ 8 คัน ความผิดพลาดในการตรวจวัดปริมาณที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมดเป็นแบบนับขาด (นับได้น้อยกว่าปริมาณจริง) เกิดขึ้นเนื่องจากพื้นที่ตรวจจับของตัวตรวจวัดไม่ครอบคลุมความกว้างของช่องจราจรทั้งหมดทำให้ในบางครั้งตัวตรวจวัดไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่แล่นหล่อมช่องจราจรได้

5.6.2 การทดสอบในสภาพการจราจรคล่องตัว(เคลื่อนที่ช้า)

ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้เลือกสถานที่ติดตั้งตัวตรวจวัดที่สะพานลอยแห่งหนึ่งบนถนนพระราม 3 ซึ่งสภาพการจราจรมีความคล่องตัว จากการสังเกตยานพาหนะส่วนใหญ่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วประมาณ 60 กม./ชม. โดยไม่มีการติดขัดและยานพาหนะแต่ละคันแล่นเว้นห่างกันเป็นระยะพอสมควร ผู้วิจัยได้ทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงตั้งแต่วันที่ 17.30 น. ถึง 19.30 น. ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 5.3 ซึ่งแสดงค่าต่างๆที่ได้จากเครื่องตรวจวัด และค่าผิดพลาดจากการตรวจวัดปริมาณ

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบในสภาพการจราจรล่องตัวและเคลื่อนที่ช้า

เวลา	ค่าที่ได้จากเครื่องตรวจวัด			ปริมาณที่นับได้จริง	ค่าผิดพลาด (%)
	การครอบครองถนน (%)	อัตราเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ปริมาณ		
17-30-17.45	6.59	77.72	223	226	1.33
17.45-18.00	5.71	78.25	197	193	2.07
18.00-18.15	5.91	76.37	199	195	2.05
18.15-18.30	6.18	79.25	216	210	2.86
18.30-18.45	5.82	75.58	194	189	2.65
18.45-19.00	4.12	92.88	190	194	2.06
19.00-19.15	4.16	81.64	150	145	3.45
19.15-19.30	3.40	82.67	124	121	2.48

จากผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 1473 คันเป็นคิดเป็น 1.35% โดยมีค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.45% และความผิดพลาดในการตรวจวัดปริมาณที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นแบบนับเกิน(นับได้มากกว่าปริมาณจริง) ซึ่งเกิดขึ้นจากการตรวจวัดยานพาหนะบางคันที่ยาวและมีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอขาดตอนเป็นช่วงๆเช่นรถเครนหรือรถบรรทุกของบางอย่าง

5.6.3 การทดสอบในสภาพการจราจรติดขัด

การทดสอบนี้ได้ติดตั้งตัวตรวจวัดเข้ากับสะพานลอยแห่งหนึ่งบนถนนสุขุมวิทซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ทางแยก การจราจรอยู่ในสภาพติดขัด ยานพาหนะส่วนใหญ่เคลื่อนตัวได้ช้า บางขณะจอดนิ่งอยู่กับที่เป็นเวลานาน และระยะห่างระหว่างยานพาหนะแต่ละคันน้อยมาก ได้ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 14.15 น. ถึง 15.15 น. ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 5.4 ซึ่งแสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากเครื่องตรวจวัด และค่าผิดพลาดจากการตรวจวัดปริมาณ

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบในสภาพการจราจรติดขัด

เวลา	ค่าที่ได้จากเครื่องตรวจวัด			ปริมาณที่นับได้จริง	ค่าผิดพลาด (%)
	การครอบครองถนน (%)	อัตราเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ปริมาณ		
14.15-14.30	11.34	26.78	146	140	4.29
14.30-14.45	21.27	15.56	134	124	8.06
14.45-15.00	14.66	18.86	122	114	7.02
15.00-15.15	16.42	19.37	127	121	4.96

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดยานพาหนะทั้งหมดจำนวน 499 คันเป็นคิดเป็น 6.01% โดยมีค่าผิดพลาดสูงสุดในช่วง 15 นาทีเท่ากับ 8.06% และความผิดพลาดในการตรวจวัดปริมาณที่เกิดขึ้นเป็นแบบนับเกิน(นับได้มากกว่าปริมาณจริง) ซึ่งเกิดขึ้นจากการตรวจวัดยานพาหนะบางคันที่แล่นข้ามหลายๆหรือยานพาหนะที่ยาวและมีลักษณะของพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ

5.7 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบต่างๆ สรุปได้ว่า

1. ตัวตรวจวัดสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยตรวจวัดได้ที่ระยะการติดตั้งสูงจากผิวถนนประมาณ 6 เมตร และมีความยาวการตรวจจับได้ที่พื้นถนนประมาณ 1.3 เมตร
2. ตัวตรวจวัดสามารถหาการครอบครองของยานพาหนะทุกๆ 15 นาทีได้ โดยการครอบครองมีค่าเท่ากับ 0 % เมื่อไม่มียานพาหนะใดๆอยู่ในพื้นที่ตรวจวัด และมีค่าเท่ากับ 100% เมื่อมียานพาหนะอยู่ในพื้นที่ตรวจวัดตลอดเวลา
3. ตัวตรวจวัดสามารถหาอัตราเร็วของยานพาหนะได้ จากการทดสอบกับรถพิกอัพที่มีความยาว 4.6 เมตรพบว่า การตรวจวัดอัตราเร็วมีค่าผิดพลาดสูงสุด 13.83 % ที่อัตราเร็ว 60 กม./ชม. และมีแนวโน้มค่าผิดพลาดสูงขึ้นเมื่อตรวจวัดยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงขึ้น
4. การครอบครองถนนในสภาพการจราจรติดขัดจะมีค่ามากกว่าในสภาพคล่องตัว
5. ตัวตรวจวัดสามารถหาปริมาณของยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในพื้นที่ตรวจวัดได้ โดยมีความแม่นยำที่ดีกว่าเมื่อใช้ตรวจวัดยานพาหนะที่เคลื่อนที่เร็ว ทั้งนี้เนื่องจากโอกาสที่คลื่นสะท้อนกลับจากยานพาหนะมีน้อยลง จึงเป็นการลดผลกระทบที่เกิดจากลักษณะพื้นผิวของยานพาหนะอันทำให้เครื่องวัดนับได้มากกว่าปริมาณจริง

จากการทดสอบพบว่า ตัวตรวจวัดไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะที่แล่นคร่อมช่องจราจรในบางลักษณะได้ ซึ่งเป็นเพราะว่าพื้นที่การตรวจจับได้ของตัวตรวจวัดไม่กว้างพอที่จะครอบคลุมความกว้างของช่องจราจรทั้งหมดเอาไว้ และในกรณีของยานพาหนะบางชนิดที่เคลื่อนที่ช้า มีลักษณะยาวและพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ เช่นรถเครน รถบรรทุกของบางชนิด จะทำให้เครื่องวัดนับได้เกินเป็น 2-4 คัน

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดสอบหาปริมาณยานพาหนะ

สภาพการจราจร	จำนวนตัวอย่าง	ค่าผิดพลาด
คลองตัว(เคลื่อนที่เร็ว)	4871	1.17 %
คลองตัว(เคลื่อนที่ช้า)	1473	1.35 %
ติดขัด	499	6.01 %

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเครื่องวัดปริมาณการจราจรแบบใช้ตัวตรวจวัดอัลตราซาวด์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณการจราจรที่เหมาะสมขึ้นใช้ในประเทศ เนื่องจากเครื่องวัดปริมาณการจราจรแบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักจะใช้ตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำ(Inductive Loop) และแบบท่อลมยาง (Pneumatic Tube) ซึ่งเป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาแพง อีกทั้งการติดตั้งตัวตรวจวัดแบบลูปเหนี่ยวนำยังมีขั้นตอนที่ยุ่งยากใช้เวลานาน ต้องมีการเจาะทำร่องบนผิวถนนเพื่อฝังตัวตรวจวัดลงไปทำให้ต้องหยุดการจราจรในบริเวณถนนที่ติดตั้ง ส่วนตัวตรวจวัดแบบท่อลมยางมีข้อเสียในเรื่องของอายุการใช้งานที่ไม่แน่นอน เนื่องจากการใช้งานต้องถูกล้อของยานพาหนะบดทับ ทำให้เกิดการสึกหรอไม่อาจจะบอกอายุการใช้งานที่แน่นอน ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญของตัวตรวจวัดแบบท่อลมยางก็คือ เมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งตัววัสดุที่ใช้จะเกิดความล้าทำให้ความเร็วในการสปริงตัวกลับช้าลง มีผลทำให้การนับจำนวนล้อเกิดความผิดพลาดขึ้น

เครื่องวัดปริมาณการจราจรที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นประเภทติดตั้งเหนือถนน สามารถติดตั้งได้ง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก, ใช้เวลาในการติดตั้งน้อย และไม่ต้องหยุดการจราจรในขณะทำการติดตั้ง เครื่องต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วยตัวตรวจวัด 4 ชุดและเครื่องบันทึกข้อมูล ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดเก็บไว้ในหน่วยความจำชนิดแรมได้พร้อมกัน 4 ช่องจราจร โดยบันทึกได้ติดต่อกันนานประมาณ 1 เดือนและสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาแสดงผลและจัดพิมพ์เป็นรายงานออกมาได้ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้แสดงข้อมูลด้านการจราจรได้ 3 ชนิดคือ ปริมาณอัตราเร็วเฉลี่ย และการครอบครองถนนของยานพาหนะ

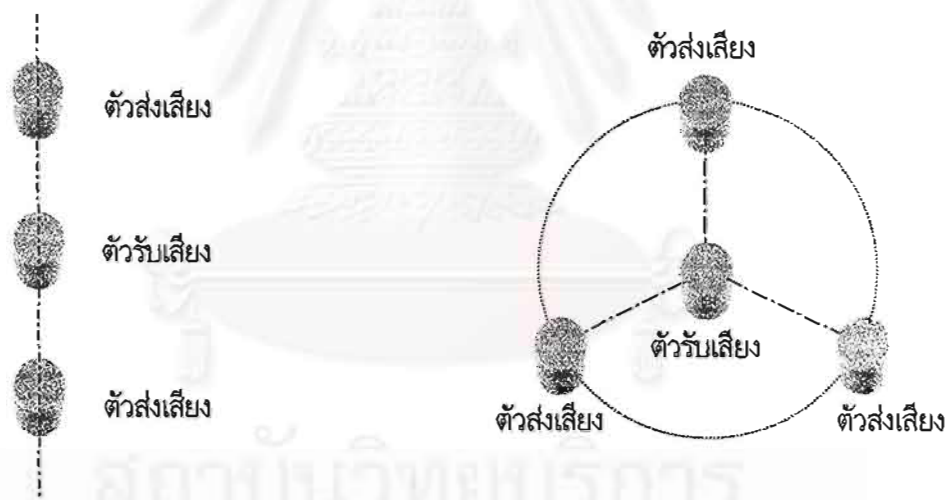
ตัวตรวจวัดที่ใช้เป็นแบบเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันทั่วไปในงานตรวจจับวัตถุ มีความถี่เรโซแนนซ์ 40 kHz จากการทดสอบพบว่าติดตั้งสูงจากผิวถนนได้มากที่สุดประมาณ 6 เมตร ใช้ตรวจวัดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยสามารถตรวจวัดยานพาหนะได้ทุกประเภท ตั้งแต่รถยนต์ขนาดเล็กขึ้นไปและตรวจวัดได้ตั้งแต่ยานพาหนะที่จอดอยู่กับที่ไปจนถึงเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่า 120 กม./ชม. ทั้งนี้จากการคำนวณพบว่าสามารถตรวจวัดยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วได้สูงสุดถึงประมาณ 270 กม./ชม. แต่ไม่สามารถยืนยันได้ด้วยการทดลอง

จากผลการทดสอบความสามารถในการตรวจวัดปริมาณยานพาหนะจากสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะพบว่า เครื่องวัดปริมาณการจราจรที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ความถูกต้องในการตรวจวัดมากกว่า 98 % ในสภาพการจราจรที่คล่องตัว และให้ความถูกต้องประมาณ 94 % ในสภาพการจราจรติดขัด ซึ่งยังมีความผิดพลาดในกรณีที่สูงอยู่ จึงเหมาะสมต่อการใช้ตรวจวัดในสภาพการจราจรแบบคล่องตัวมากกว่า

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องวัดปริมาณการจราจรที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ พบว่ายังมีปัญหาที่ต้องแก้ไขอยู่ 2 เรื่อง คือการตรวจวัดยานพาหนะบางชนิดที่มีความยาวมากและมีลักษณะพื้นผิวด้านบนที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้เครื่องวัดนับปริมาณได้เกินเป็น 2-4 คัน ปัญหาอีกอันหนึ่งคือระยะเวลาการติดตั้งตลอดจนลักษณะการติดตั้งมีผลกระทบต่อ การตรวจวัด จึงขอเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา ดังต่อไปนี้

1. อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ใช้กับเครื่องต้นแบบมีกำลังส่งคลื่นเสียงในระดับต่ำและมีมุมการรับส่งคลื่นที่แคบ ควรใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีกำลังส่งสูงและมีมุมการรับส่งคลื่นที่กว้างขึ้น เพื่อให้สามารถติดตั้งตัวตรวจวัดได้ที่ระดับความสูงเหนือถนนมากกว่า 6 เมตร และลดข้อผิดพลาดจากรูปร่างของยานพาหนะที่ตรวจวัดได้
2. เพื่อปรับปรุงให้มีมุมการรับส่งคลื่นที่กว้างขึ้น ให้ติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพิ่มขึ้นโดยวางห่างกันในลักษณะที่สมมาตร



รูปที่ 6.1 รูปแบบการจัดวางอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เพื่อเพิ่มมุมการรับส่งคลื่น

รูปที่ 6.1 แสดงการจัดวางตัวทรานสดิวเซอร์ที่ต่างกัน 2 รูปแบบ แบบแรกใช้ทรานสดิวเซอร์ 3 ตัวจัดวางเรียงกันในแนวเส้นตรง โดยมีทรานสดิวเซอร์ตำแหน่งกลางทำหน้าที่เป็นตัวรับเสียง ส่วนทรานสดิวเซอร์ที่เหลืออีกสองตัวทำหน้าที่เป็นตัวส่งเสียง แบบที่สองใช้ทรานสดิวเซอร์ 4 ตัว มีทรานสดิวเซอร์ที่อยู่ตรงกลางทำหน้าที่รับเสียงเข้ามา และทรานสดิวเซอร์ที่อยู่รอบนอกอีก 3 ตัวทำหน้าที่ส่งเสียง

การจัดวางทรานสดิวเซอร์ทั้งสองลักษณะนี้จะทำให้มีมุมการรับส่งคลื่นที่กว้างขึ้น สามารถตรวจจับวัตถุที่มีส่วนโค้งงอๆ ได้ ซึ่งลดผลกระทบจากรูปร่างของยานพาหนะที่ตรวจวัดได้

3. การตรวจวัดอัตราเร็วของยานพาหนะยังมีความผิดพลาดอยู่มาก เนื่องจากใช้ค่าเฉลี่ยความยาวของยานพาหนะเพียงค่าเดียวในการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าที่เฉลี่ยจากยานพาหนะในกลุ่มรถเล็ก ถ้ามียานพาหนะขนาดใหญ่จำนวนมากในขณะที่ตรวจวัด อัตราเร็วที่ได้จะผิดพลาดอย่างมาก เพื่อให้ได้ค่าอัตราเร็วที่ถูกต้องมากขึ้นควรมีค่าเฉลี่ยความยาวของยานพาหนะหลายค่า โดยให้ตัวตรวจวัดทำการแยกประเภทของยานพาหนะคร่าวๆ ตามความสูงเพื่อที่จะเลือกใช้ค่าเฉลี่ยความยาวที่เหมาะสมในการคำนวณหาอัตราเร็ว



รายการอ้างอิง

1. กนก ขำทูน และ กฤษดา วิศวธีรานนท์. เครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกส์. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22 (ธันวาคม 2542): 335-338.
2. เทคนิคการใช้งาน อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์. วารสารเทคนิคคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 44 (เมษายน 2524).
3. ภูมิทร์ เพิ่มศิริ. เครื่องวัดปริมาณการจราจรบนท้องถนนโดยใช้อุปกรณ์แม่ไพโรอิเล็กทริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
4. Boylestad, R. , and Nashelsky, L. Electronic devices and circuit theory. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.
5. Bucknor, B., and Boissiere, P. Ultrasonic motion detector. Florida International University, 1997
6. Carlin, B. Ultrasonics. New York: McGraw-Hill, 1960.
7. Cracknell, A. P. Ultrasonics. (n.p.), 1980.
8. Dalgleish, M. J. Vehicle detection for advanced transport telematics. Golden River Traffic, 1994.
9. Douglas V. H. Microprocessors and interfacing: Programming and hardware. 2nd ed. New York: McGraw Hill, 1992.
10. Hughes Aircraft Company and JHK & Associates. Development of IVHS traffic parameter specifications. Federal Highway Administration, 1994.
11. IRD International Road Dynamics Inc. Smartsonic vehicle detection systems. IRD International. Canada: (n.d.).
12. National Academy of Sciences. Measures of the quality of traffic service. National Academy of Sciences, 1972.
13. P&F Products. Ultrasonic sensor explained. P&F Products. (n.p. , n.d.).
14. Stanley, R. C. Light and sound engineer. (n.p.), 1968.
15. Stein, C. G. Basic ultrasonics. (n.p.), 1960.
16. Strickland, W. H. , and King, R. H. Characteristics of ultrasonic ranging sensors in an underground environment. Report of Investigations, 1993.
17. U.S. Department of Transportation. Traffic detector handbook. U.S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, 1990.

18. U.S. Department of Transportation. Traffic detector - Technical appendix. U.S. Dept. of Transportation Federal Highway Administration, 1985.
19. U.S. Department of Commerce. Initial evaluation of the existing technologies for vehicle detection. Texas Transportation Inst., College Station, 1997.
20. Webschall, D. Circuit design for electronic instrumentation. New York: McGraw-Hill, 1987.





ภาคผนวก

Count Data Report

Location : Bangna-Trad

Data Interval : 30 minutes

Direction		In bound	-	-	-
Date	Time	CH1	CH2	CH3	CH4
23/12/99	14:15	186	0	0	0
	14:45	376	0	0	0
	15:15	384	0	0	0
	15:45	410	0	0	0
	16:15	411	0	0	0
	16:45	416	0	0	0
	17:15	459	0	0	0
	17:45	437	0	0	0
	18:15	443	0	0	0
	18:45	401	0	0	0
	19:15	375	0	0	0
	19:45	334	0	0	0
ADT		4632	0	0	0
Peak Data.		459.00	-	-	-
Peak Time		17:15	-	-	-

ตัวอย่างของรายงาน

Occupancy Data Report

Location : Bangna-Trad

Data Interval : 30 minutes

Direction		In bound	-	-	-
Date	Time	CH1	CH2	CH3	CH4
23/12/99	14:15	4.01	0	0	0
	14:45	4.06	0	0	0
	15:15	4.08	0	0	0
	15:45	4.11	0	0	0
	16:15	4.13	0	0	0
	16:45	4.06	0	0	0
	17:15	4.30	0	0	0
	17:45	4.20	0	0	0
	18:15	4.15	0	0	0
	18:45	4.00	0	0	0
	19:15	4.00	0	0	0
	19:45	4.03	0	0	0
AVERAGE		4.10	0	0	0
Peak Data.		4.30	-	-	-
Peak Time		17:15	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
ตัวอย่างของรายงาน
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Speed Data Report

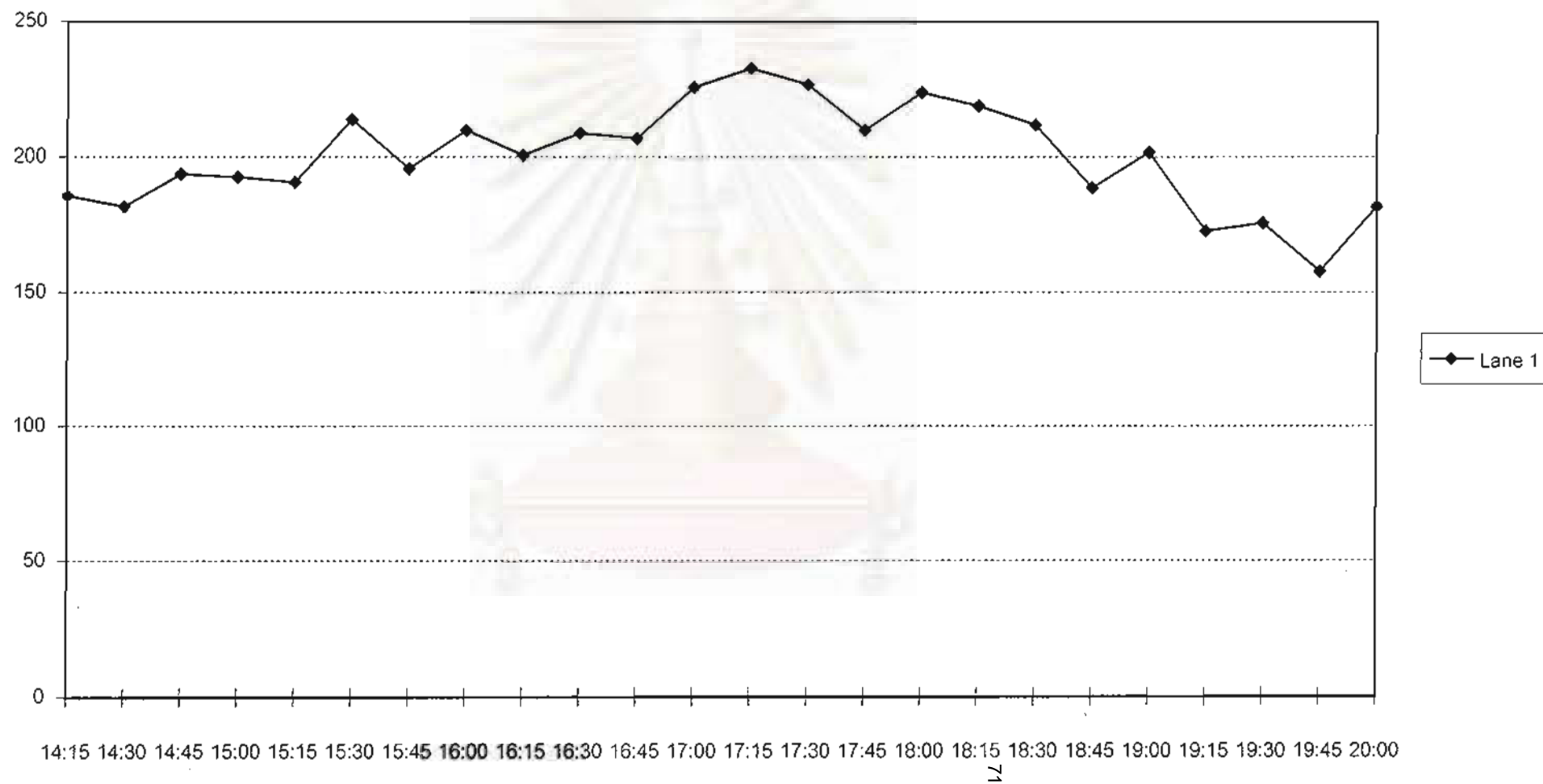
Location : Bangna-Trad

Data Interval : 30 minutes

Direction		In bound	-	-	-
Date	Time	CH1	CH2	CH3	CH4
23/12/99	14:15	105.05	0	0	0
	14:45	105.00	0	0	0
	15:15	106.58	0	0	0
	15:45	112.97	0	0	0
	16:15	112.83	0	0	0
	16:45	116.03	0	0	0
	17:15	121.02	0	0	0
	17:45	117.83	0	0	0
	18:15	120.88	0	0	0
	18:45	113.52	0	0	0
	19:15	106.29	0	0	0
	19:45	93.97	0	0	0
AVERAGE		111.00	0	0	0
Peak Data		121.02	-	-	-
Peak Time		17:15	-	-	-

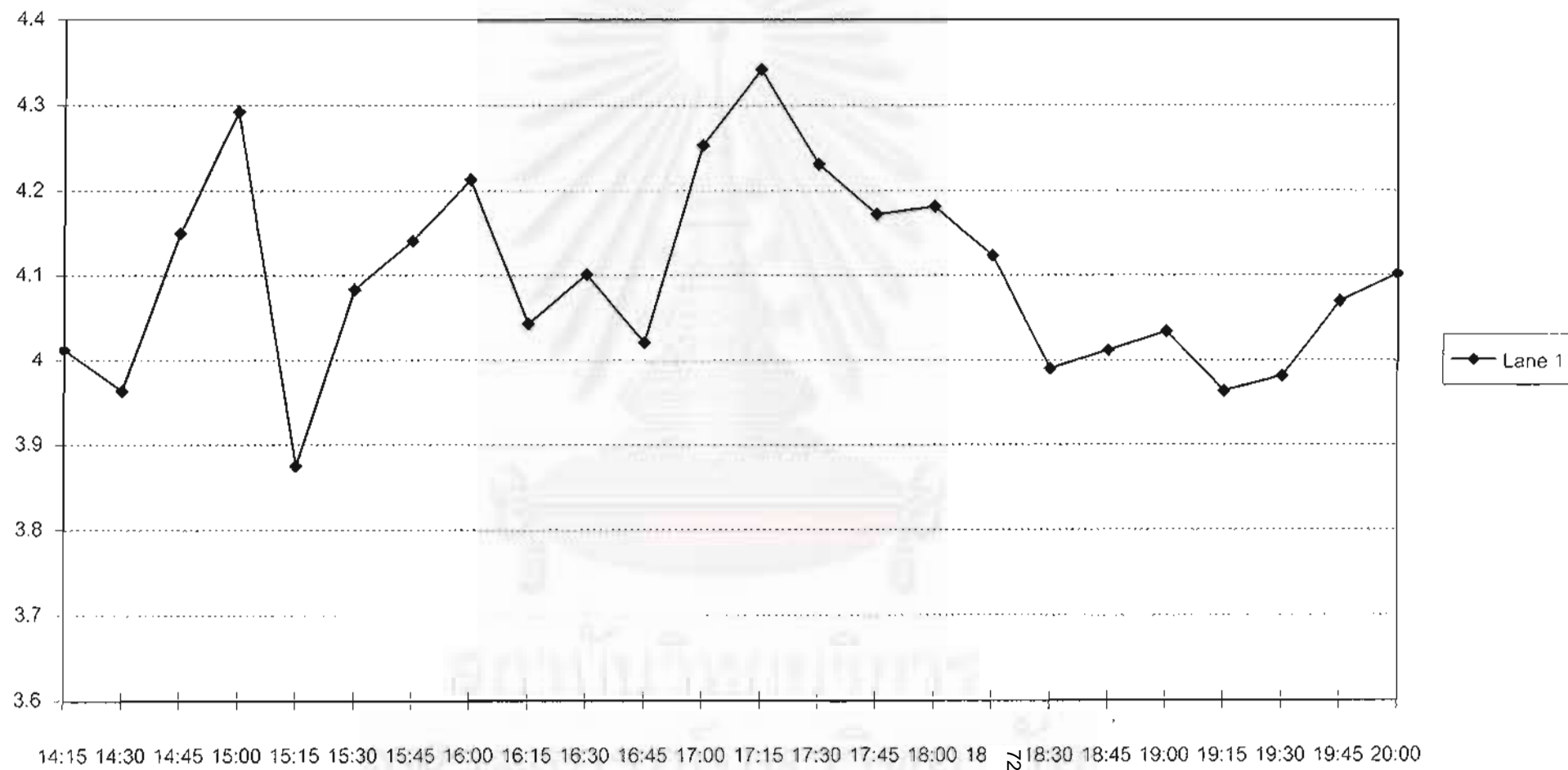
ตัวอย่างของรายงาน

Count data at 23/12/99 in during 14:15 to 20:00



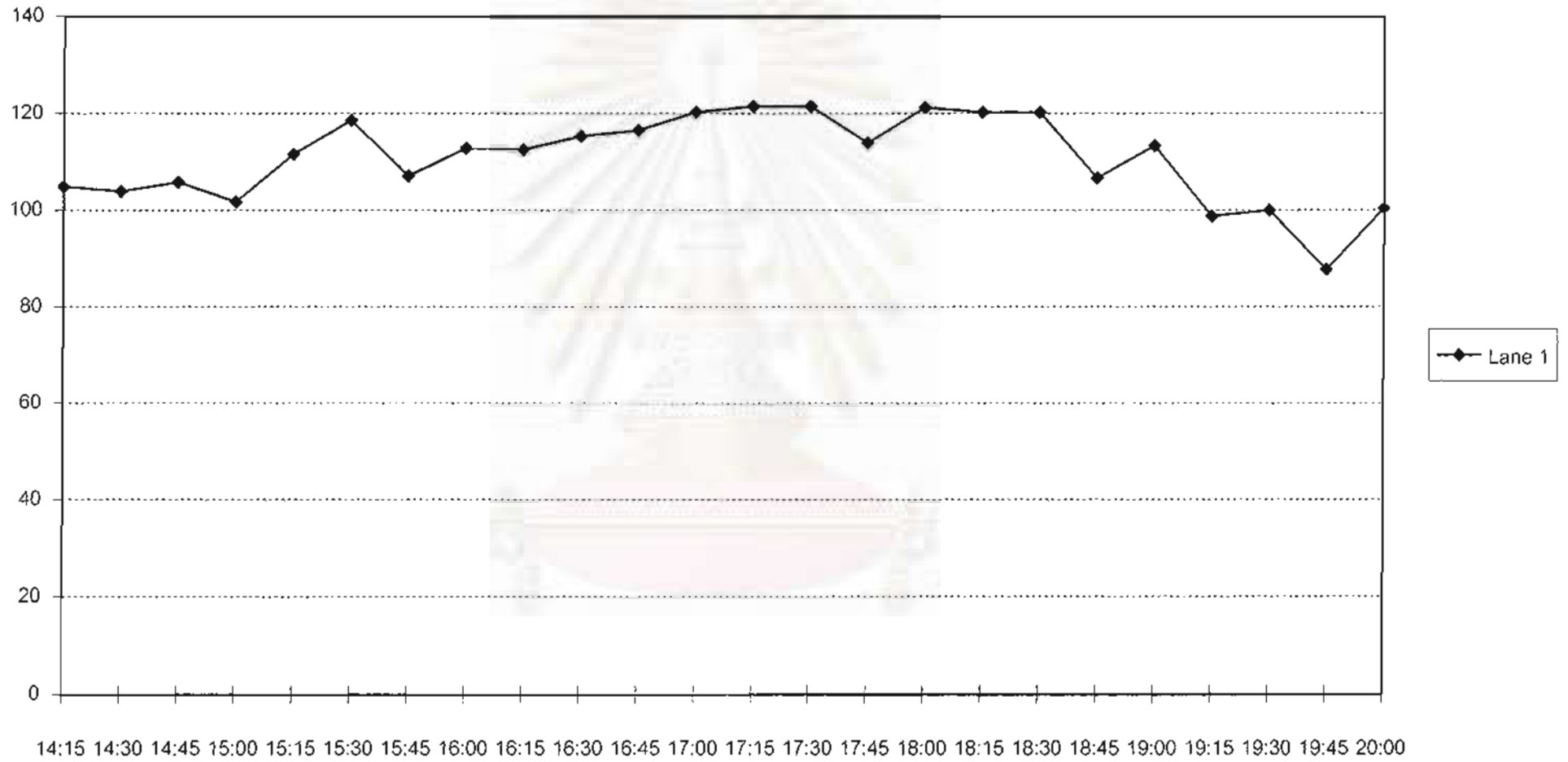
ตัวอย่างของแผนภูมิ

Occupancy data at 23/12/99 in during 14:15 to 20:00



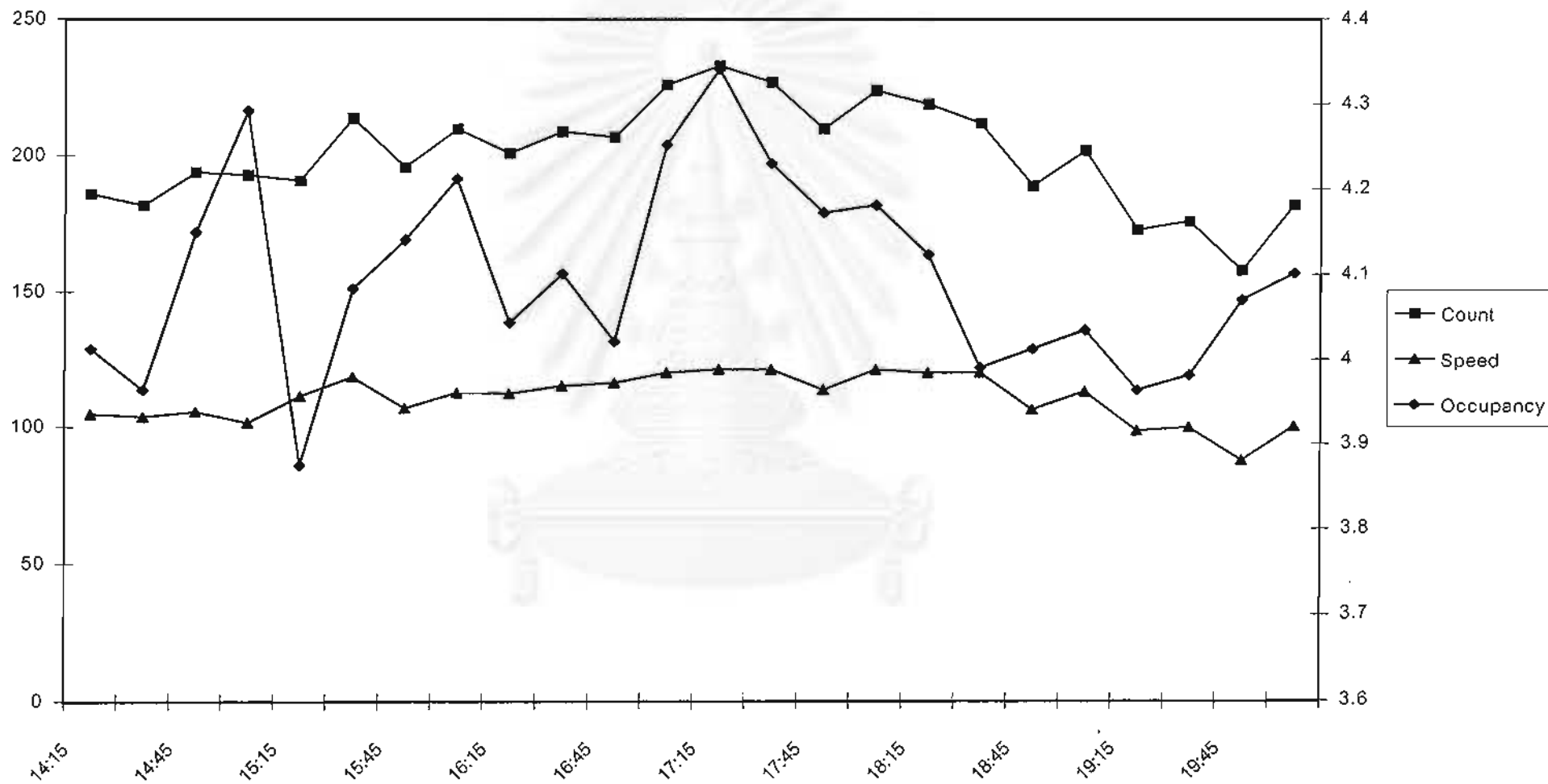
ตัวอย่างของแผนภูมิ

Speed data at 23/12/99 in during 14:15 to 20:00

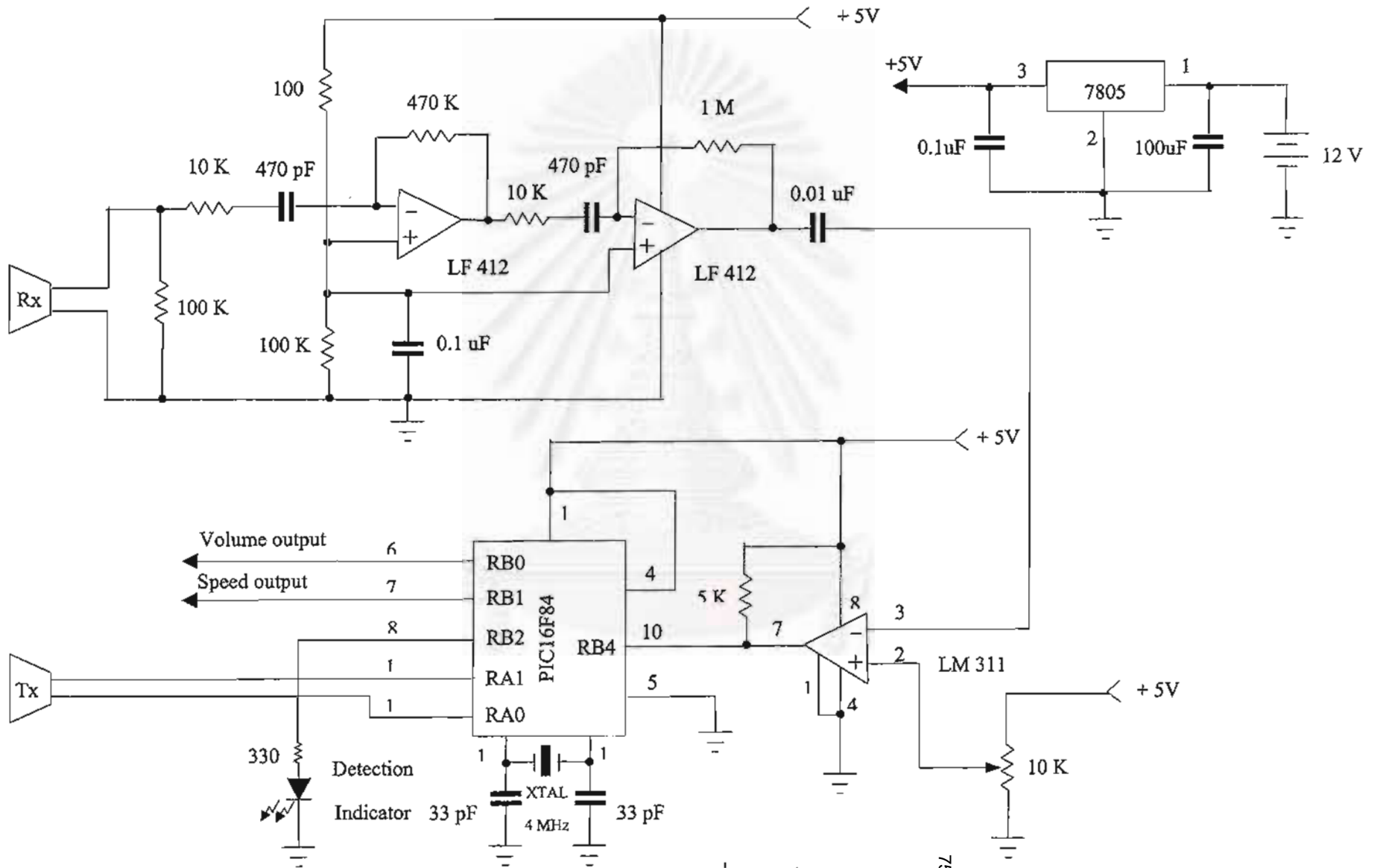


ตัวอย่างของแผนภูมิ

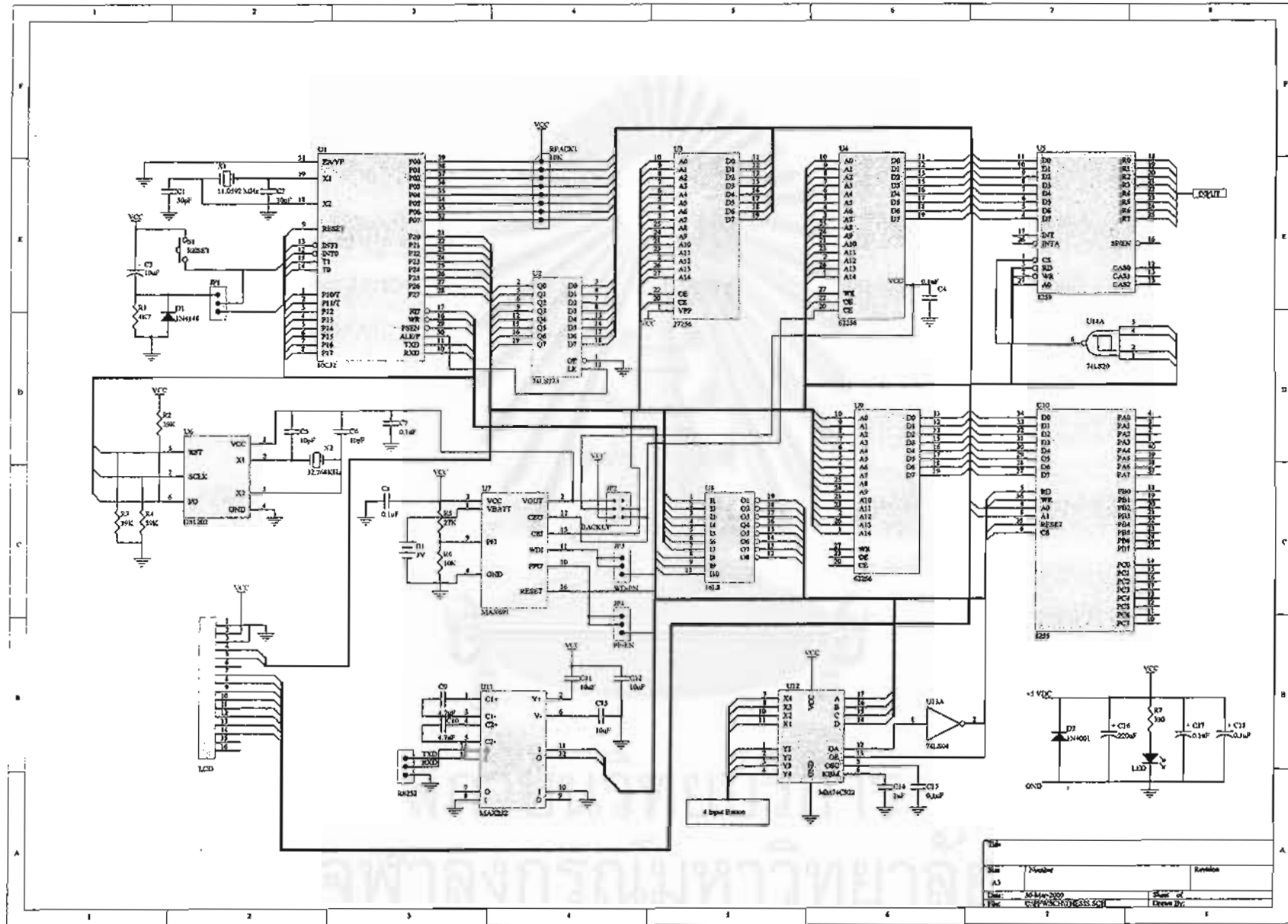
Traffic data at 23/12/99 in during 14:15 to 20:00



ตัวอย่างของแผนภูมิ



วงจรที่สมบูรณ์ของตัวตรวจวัด



วงจรที่สมบูรณ์ของเครื่องบันทึกข้อมูล

ประวัติผู้เขียน

นายกนก ชำหูน เกิดวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540

