ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกและรถประจำทาง บนทางหลวงสองช่องทางจราจรในประเทศไทย

นายวิสูตร แสงอรุณเลิศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-455-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย

PASSENGER CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON TWO-LANE HIGHWAYS IN THAILAND

Mr. Wisoot Sangarunlert

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-346-455-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกและรถประจำทางบนทางหลวงสองช่องทางจราจรในประเทศไทย
โดย	นายวิสูตร แสงอรุณเลิศ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้เนับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อัศรเสนา ณ อยุธยา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ)

.....กรรมการ
(นายสุจิน มั่งนิมิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิสูตร แสงอรุณเลิศ : ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถบรรทุกและรถประจำทางบนทางหลวงสองช่องทางจราจรในประเทศไทย. (PASSENGER CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND BUSES ON TWO-LANE HIGHWAYS IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษา : ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์, 97 หน้า. ISBN 974-346-455-7.

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ในการวางแผน วิเคราะห์และออกแบบถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทยเป็นค่าที่อ้างอิงจากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาจากต่างประเทศ แต่เนื่องด้วยความแตกต่างกันในหลายด้านอาจทำให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้เป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนทางหลวงสองช่องทางจราจรที่เชื่อมระหว่างจังหวัด พัฒนาโดยตรงจากข้อมูลการจราจรในประเทศ โดยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล 3 วิธี ได้แก่ วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานและวิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มยวดยาน เก็บรวบรวมข้อมูลที่ทางหลวงหมายเลข 36 สายชลบุรี-ระยอง

จากผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 วิธี แสดงให้เห็นว่า วิธีที่เหมาะสมกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนถนนสองช่องทางจราจรคือ วิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานเมื่อไม่ได้พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้าม เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ค่าที่มีเสถียรภาพสูงและยังสามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ทั้งรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสาร โดยที่ระดับทางราบ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุกพ่วงและรถยนต์โดยสารมีค่าเป็น 2.49 3.20 3.94 และ 1.67 ตามลำดับ ที่ระดับความชัน 2 เปอร์เซ็นต์ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุกพ่วงและรถยนต์โดยสารมีค่าเป็น 2.63 3.76 4.46 และ 2.06 ตามลำดับ ที่ระดับความชัน 3 เปอร์เซ็นต์ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุกพ่วงและรถยนต์โดยสารมีค่าเป็น 2.86 4.34 6.17 และ 2.43 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่อนิสิต……..……
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…….
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม……..…….

4070426321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: PCE/PASSENGER CAR EQUIVALENTS/TWO-LANE HIGHWAYS/TRUCKS/BUSES

WISOOT SANGARUNLERT: THESIS TITLE. PASSENGER CAR EQUIVALENT FOR TRUCKS AND BUSES ON TWO-LANE HIGHWAYS IN THAILAND. THESIS ADVISOR : SOMPONG SIRISOPONSILP,Ph.D., 97 pp. ISBN 974-346-455-7.

The planning and design of two-lane highways in Thailand has traditionally adopted the Passenger Car Equivalents (PCEs) evaluated in other countries. However, these PCEs may not be the proper values to represent the traffic situation in Thailand. This thesis thereby strives to determine the PCEs for accurately representing the effects of trucks and buses on the traffic on two-lane highways in Thailand. The Median Stream Speed, Platoon Leaders, and Platoon Followers techniques were chosen foe evaluating the PCEs. The collection of required traffic data was carried out on Highway Route Number 36 in the Chonburi province.

The PCEs derived from the Platoon Leaders technique appeared more sensible than those obtained from the other two techniques. The study found that the PCEs of a particular type of heavy vehicles on two-lane highways increase with the vertical gradient of roadway. For flat grade, the estimated PCE values using the Platoon Leaders technique for six wheelers, ten wheelers, truck combinations, and buses were 2.49, 3.20,3.94, and 1.67 respectively. The PCEs derived from the data observed over 200 m. highway sections with about 2 % gradient for six wheelers, ten wheelers, truck combinations, and buses were 2.63, 3.76, 4.46, and 2.06 respectively. At 200 m. sections with about 3 % gradient, the resulting PCEs for six wheelers, ten wheelers, truck combinations, and buses were 2.86, 4.34, 6.17, and 2.43 respectively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Civil Engineering	Student's signature .....
Field of Study Civil Engineering	Advisor's signature .....
Academic year 2000	Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา และรศ. ดร. สรวิศ นฤปิติ ซึ่งได้ให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการศึกษามาด้วยดีตลอด คุณ สุจิน มั่งนิมิต กรมทางหลวง ที่ได้ให้ความร่วมมือในการออกสำรวจพื้นที่ศึกษาก่อนการเก็บข้อมูลจริง

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในช่วงที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาและทุนสนับสนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณห้องวิศวกรรมขนส่งและการจราจรและนิสิตในสังกัดสาขาวิศวกรรมขนส่งและการจราจรทุกท่านที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำในการวิจัยด้วยดีเสมอมาตั้งแต่ต้น

ทั้งนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้ความสนับสนุนทั้งในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1 ความเป็นมา..... 1

1.1 วัตถุประสงค์ในการศึกษา..... 2

1.2 ขอบเขตการศึกษา..... 3

1.3 แนวทางการศึกษา..... 3

1.4 ประโยชน์ของการศึกษา..... 4

2 การทบทวนผลงานในอดีต..... 5

2.1 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความเร็ว..... 6

2.2 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการเกิดกลุ่มของยวดยาน... 9

การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน..... 9

การตามกลุ่มของยวดยาน..... 11

2.3 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากอัตราการแซง..... 14

2.4 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจาก Time Headway..... 16

2.5 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้า..... 17

2.6 การเปรียบเทียบ..... 18

เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล..... 18

เปรียบเทียบการเก็บข้อมูล..... 22

สรุปการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์..... 22

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3	การเก็บรวบรวมข้อมูล	24
	3.1 ข้อมูลที่ต้องการรวบรวม	25
	3.2 ทบทวนวิธีการเก็บข้อมูล	26
	3.3 วิธีที่เลือกใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม	28
	3.4 หลักเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ที่ทำการศึกษา	29
	3.5 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา	30
	3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	31
	3.7 วิธีการเก็บข้อมูล	32
	3.8 อุปสรรคและปัญหาที่พบ	36
4	การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิเคราะห์	37
	4.1 สรุปข้อมูลเบื้องต้น	37
	4.2 วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร	38
	4.3 วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน	46
	4.4 วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน	63
	4.5 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณและผลการคำนวณ	67
	4.6 ตรวจสอบอิทธิพลของปริมาณการจราจรที่มีต่อการคำนวณ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	70
5	สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ	73
	5.1 ศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวคิด วิธีการและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้อง	73
	5.2 พิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมกับประเทศไทยในการคำนวณหา ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	76
	5.3 คำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล	77
	5.4 ข้อเสนอแนะ	80
รายการอ้างอิง		82
ภาคผนวก		84
ประวัติผู้วิจัย		97

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2-1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (วิเคราะห์จากความเร็วกระแสจราจร)..... 19
ตารางที่ 2-2 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (วิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน)..... 19
ตารางที่ 2-3 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (วิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน)..... 19
ตารางที่ 2-4 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกโดย Cunagin & Messer (1983) (วิเคราะห์จากอัตราการแซงและค่าความล่าช้า)..... 20
ตารางที่ 2-5 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกโดย HCM (วิเคราะห์จาก Headway)..... 20
ตารางที่ 2-6 แสดงวิธีการเก็บข้อมูลของแต่ละวิธีวิเคราะห์..... 23
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลรายละเอียดของสถานที่ที่ทำการศึกษา..... 30
ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภท..... 33
ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มและจำนวนยานพาหนะในกลุ่ม..... 34
ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลการจับเวลาและจำนวนยานพาหนะ..... 35
ตารางที่ 4-1 จำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่เก็บรวบรวมแยกตามประเภท..... 37
ตารางที่ 4-2 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยแยกตามประเภท..... 37
ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานแยกตามประเภทยานพาหนะ..... 38
ตารางที่ 4-4 แบบจำลองความสัมพันธ์และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็วของกระแสจราจร..... 40
ตารางที่ 4-5 สรุปความเร็วอิสระและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็วของกระแสจราจร..... 45
ตารางที่ 4-6 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4-7 สรุปค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 53
ตารางที่ 4-8 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 56
ตารางที่ 4-9 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 61
ตารางที่ 4-10 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การตามกลุ่มของยวดยาน..... 65
ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ .. 69
ตารางที่ 4-12 ช่วงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี.. 70
ตารางที่ 4-13 ปริมาณการจราจรรายชั่วโมงในการเก็บข้อมูลวันที่ 1..... 71
ตารางที่ 4-14 ปริมาณการจราจรรายชั่วโมงในการเก็บข้อมูลวันที่ 2 71
ตารางที่ 4-15 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลรายชั่วโมงเมื่อวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน..... 72
ตารางที่ 5-1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การเกิดกลุ่มของยวดยาน..... 76
ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากผลการศึกษาของ Van Aerde and Yagar และผลการศึกษาครั้งนี้..... 76
ตารางที่ ก-1 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 80
ตารางที่ ก-2 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 80
ตารางที่ ก-3 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 81
ตารางที่ ก-4 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ ก-5 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 82
ตารางที่ ก-6 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 82
ตารางที่ ก-7 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 83
ตารางที่ ก-8 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 83
ตารางที่ ก-9 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 84
ตารางที่ ก-10 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 84
ตารางที่ ก-11 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)..... 85
ตารางที่ ก-12 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)..... 85
ตารางที่ ก-13 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)..... 86
ตารางที่ ก-14 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)..... 86
ตารางที่ ก-15 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)..... 87

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจร..... 6
รูปที่ 2-2 ตัวอย่างรูปความสัมพันธ์ระหว่าง % Leads และ % Count ของรถบรรทุก..... 11
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ตามกลุ่มยวดยานยาน
กับปริมาณการจราจรหลัก..... 13
รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล
กับความเร็วสำหรับถนน 2 ช่องทางจราจร..... 15
รูปที่ 3-1 ทางหลวงหมายเลข 36 (สายเก่า) (พัทยา-ระยอง)..... 31
รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
10 ล้อกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากความเร็วกระแสจราจร..... 43
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
พ่วงกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากความเร็วกระแสจราจร..... 44
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
6 ล้อกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
(ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 49
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
10 ล้อกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
(ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 50
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
พ่วงกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
(ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)..... 51
รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์โดยสาร
กับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน..... 52
(ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก
6 ล้อกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
(พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 58
รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก พ่วงกับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 59
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์โดยสาร กับระดับความชันของถนนเมื่อพิจารณาจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)..... 60
รูปที่ ก-1 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง "อัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะ ต่อจำนวนยานพาหนะทั้งหมด" กับ "อัตราส่วนจำนวนครั้งการเป็นผู้นำกลุ่ม ของยวดยาน" (ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ ช่วงเวลา 5 นาที)..... 88
รูปที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรบนทิศทางหลักกับ จำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยาน..... 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ความสามารถของถนนในการรองรับปริมาณการจราจรนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะทางเรขาคณิตของถนน (Geometric Characteristics) การกระจายยานพาหนะตามทิศทาง (Directional Distribution) เป็นต้น แต่หนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการรองรับการจราจรของถนน คือ องค์ประกอบของการจราจร ทั้งนี้เพราะสัดส่วนของยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่หรือยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนต่ำในกระแสจราจร จะทำให้จำนวนยานพาหนะที่ถนนสามารถรองรับได้ลดลง ดังนั้น ในการวางแผนและออกแบบโครงข่ายถนนจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบที่มีต่อความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนนที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะขนาดใหญ่และยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพต่ำ

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Equivalents : PCE) เป็นค่าที่สะท้อนถึงอิทธิพลของยวดยานประเภทต่าง ๆ ในการจราจรโดยประเมินเทียบกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล การวางแผนและออกแบบโครงข่ายถนนจะนำค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลไปใช้เป็นค่าคงที่ในการแปลงกลุ่มกระแสจราจรที่ประกอบไปด้วยยวดยานประเภทต่าง ๆ ให้กลายเป็นกลุ่มกระแสจราจรที่ประกอบด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียงประเภทเดียว การใช้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะทำให้สามารถหาค่าความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนนในรูปของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ซึ่งจะใช้เป็นฐานในการวางแผนและออกแบบต่อไป ด้วยวิธีการดังกล่าวจะสามารถทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถทำการแปลงปริมาณจราจรที่มีอยู่ในสภาพจริงที่ประกอบด้วยยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ไปเป็นค่าปริมาณการจราจรในหน่วยของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้โดยตรง

ปัจจุบัน ในการวางแผน วิเคราะห์และออกแบบถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ในการแทนอิทธิพลของยานพาหนะขนาดใหญ่เป็นค่าที่อ้างอิงจากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาจากสถานการณ์การจราจรของต่างประเทศ เช่น หลายการศึกษาจากค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจาก Highway Capacity Manual (HCM) ซึ่งได้รับการพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดย HCM จะแสดงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วน

บุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจรแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ค่าที่ใช้กับสภาพภูมิประเทศทั่วไปซึ่งแบ่งย่อยลักษณะภูมิประเทศเป็น ภูมิประเทศทางราบ (Level Terrain) ภูมิประเทศที่เป็นเนิน (Rolling Terrain) และภูมิประเทศที่เป็นภูเขา (Mountainous Terrain) และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ในระดับความชันต่าง ๆ ซึ่งแบ่งตามค่าความชัน ค่าความยาวทางลาดชันและค่าความเร็วเฉลี่ยในการขับขึ้นทางชัน แต่เนื่องด้วยความแตกต่างกันในหลาย ๆ ด้าน อาทิเช่น ลักษณะประเภทของยานพาหนะที่ขับอยู่บนถนน ลักษณะทางเรขาคณิตของถนน พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น อาจทำให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการศึกษาในต่างประเทศเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับการออกแบบถนนในประเทศไทยและก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ได้

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา วิจัยและวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เหมาะสำหรับการออกแบบถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย โดยพัฒนาโดยตรงจากข้อมูลการจราจรในประเทศ เพื่อให้ได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เหมาะสมกับการวางแผนและออกแบบโครงข่ายถนน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.เพื่อศึกษา ทบทวนทฤษฎี วิธีการและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจร

2.เพื่อพิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย

3.เพื่อคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนน 2 ช่องทางจราจรในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนทางหลวงสองช่องทางจราจรที่เชื่อมระหว่างจังหวัด โดยทำการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ บนถนนดังนี้

1.รถยนต์บรรทุก 4 ล้อ

2. รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ

3. รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ

4.รถยนต์บรรทุกพ่วง

5.รถยนต์โดยสาร

ทั้งนี้เกณฑ์ในการแบ่งประเภทของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารดังกล่าวได้อิงเกณฑ์การแบ่งของกรมทางหลวง และคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับยวดยานแต่ละประเภทบนถนนที่ระดับความชันต่าง ๆ กันโดยพิจารณาช่วงของระดับความชันของถนนตั้งแต่ 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าความชันที่ใช้ในการออกแบบถนน 2 ช่องทางจราจรของกรมทางหลวง

1.4 แนวทางการศึกษา

การดำเนินการศึกษาแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1.ศึกษาและทบทวนผลงานในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพื่อให้ทราบถึงวิธีการต่าง ๆ ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของถนนสองช่องทางจราจร

2.ประเมินและเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย โดยคัดเลือกมามากกว่า 1 วิธีการเพื่อเปรียบเทียบผลของแต่ละวิธี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.เก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่ศึกษา โดยคัดเลือกถนนที่มีลักษณะอุดมคติ (Ideal Condition) เพื่อขจัดปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนน

4.วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกและรถโดยสารสำหรับถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทยที่ระดับความชันต่าง ๆ

5.สรุปผลการศึกษาที่ได้พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.เพื่อให้ทราบถึงทฤษฎี แนวคิดและวิธีการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของถนนสองช่องทางจราจร

2.เพื่อให้ได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทยซึ่งจะสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์กับกรมทางหลวงในการวางแผนและการพัฒนาโครงข่ายทางหลวง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การทบทวนผลงานในอดีต

ถนนสองช่องทางการจราจร หมายถึง ถนนที่มีช่องทางสำหรับให้ยานพาหนะวิ่งทั้งหมด 2 ช่องทาง แยกเป็น 1 ช่องทางสำหรับแต่ละทิศทาง โดยการขับแซงยานพาหนะที่ขับช้าบนถนนสองช่องทางจราจรจำเป็นที่จะต้องใช้ช่องทางจราจรในทิศทางตรงข้ามและจะต้องมีระยะการมองเห็น (Sight Distance) และช่องว่าง (Gaps) ที่มากพอ เมื่อมีปริมาณการจราจรมากขึ้นหรือข้อจำกัดทางด้านเรขาคณิตของถนนมากขึ้น ความสามารถในการที่จะทำการแซงจะลดลง เป็นผลให้เกิดกลุ่มของยานพาหนะ (Platoon) ขึ้นในกระแสจราจร ผู้ขับขี่ยานพาหนะในกลุ่มของยวดยานจะได้รับความล่าช้าอันเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถที่จะแซงผ่านไปได้

การจราจรบนถนนสองช่องทางจราจรมีลักษณะพิเศษคือ การเปลี่ยนช่องทางจราจรและการแซงจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อข้ามไปยังอีกช่องทางหนึ่งซึ่งเป็นช่องทางที่มีทิศของการจราจรอยู่ในทิศตรงข้าม โดยความต้องการในการแซงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นในขณะที่ความสามารถในการรองรับการแซงในช่องทางจราจรตรงข้ามจะลดลงเมื่อมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น ดังนั้นสำหรับถนนสองช่องทางจราจรแล้ว การเคลื่อนตัวของการจราจรในทิศทางหนึ่งอาจจะมีผลกับการเคลื่อนตัวของการจราจรในอีกทิศทางหนึ่ง ผู้ขับขี่ยานพาหนะจะถูกบังคับให้ต้องทำการปรับความเร็วในการเคลื่อนตัวเมื่อปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นและความสามารถในการแซงลดลง

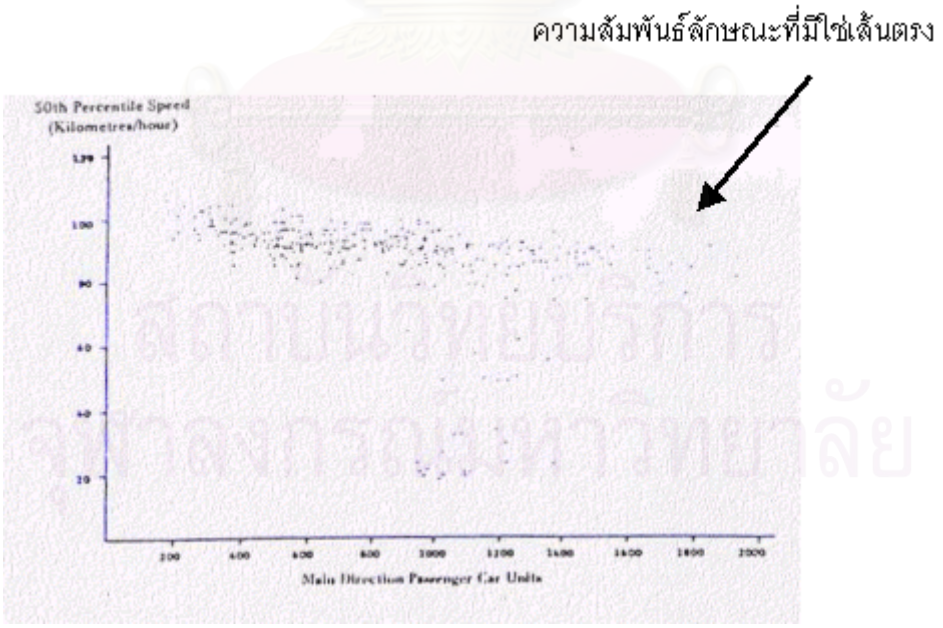
ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปี ค.ศ. 1965 โดยในรายงาน Highway Capacity Manual (HCM) ปีเดียวกันนั้นได้ให้ความหมายค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลว่าหมายถึง จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เทียบได้กับรถยนต์บรรทุกหรือรถยนต์โดยสาร 1 คันในกระแสจราจรภายใต้สภาพการจราจรต่าง ๆ ในปัจจุบันความหมายยังไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยใน HCM ที่พัฒนาในปี ค.ศ. 1994 ให้คำจำกัดความไว้ว่า หมายถึงจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เทียบได้กับยานพาหนะขนาดใหญ่ประเภทต่าง ๆ 1 คันภายใต้สภาพถนน สภาพการจราจรและการควบคุมสภาพต่าง ๆ

มีการศึกษา วิจัยและวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะบนถนน สองช่องทางจราจรสามารถดำเนินการได้โดยหลายวิธีการ ในแต่ละวิธีจะมีทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลแตกต่างกันไปซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความเร็ว

แนวคิดของการนำความเร็วมาวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีพื้นฐานจากหลักการว่า การลดลงของความเร็วมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ยวดยานแต่ละประเภทจะทำให้ความเร็วลดลงในระดับที่ต่างกันไป โดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะได้จากการเปรียบเทียบการลดลงของความเร็วซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้าม

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่มีความสัมพันธ์ลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งเป็นตัวแทนของสภาพการจราจรปกติ และช่วงที่มีความสัมพันธ์ลักษณะมิใช่เส้นตรงซึ่งเป็นช่วงของการจราจรที่แปรเปลี่ยนไปสู่จุดสูงสุดของความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจร ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจร (Aerde and Yagar, 1984)

ในช่วงที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงของเส้นซึ่งสะท้อนถึงสภาพการจราจร ณ ปริมาณการจราจรปกติ (Practical Operating Volume) จะสามารถสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร (Multiple Linear Regression) ระหว่างความเร็วของกระแสจราจรกับจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ที่อยู่ในกระแสจราจร ลักษณะของแบบจำลองเป็นดังนี้

$$\text{Speed} = \text{Free Speed} + C_1(\text{Cars}) + C_2(\text{Trucks}) + C_3(\text{Buses}) + C_4(\text{Opposing Vehicles}) \quad \text{.....(2-1)}$$

โดยที่ Speed คือ ความเร็วของกระแสจราจร (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

Free Speed คือ ความเร็วอิสระ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

C_1 ถึง C_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงการลดลงของความเร็วของกระแสจราจร ที่เกิดจากยานพาหนะแต่ละประเภท

Cars คือ จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในช่วงเวลาที่พิจารณา

Trucks คือ จำนวนรถยนต์บรรทุกในช่วงเวลาที่พิจารณา

Buses คือ จำนวนรถยนต์โดยสารในช่วงเวลาที่พิจารณา

Opposing Vehicles คือ จำนวนยานพาหนะทุกประเภทในทิศทางตรงกันข้ามในช่วงเวลาที่พิจารณา

โดยค่าคงที่จะแสดงถึงความเร็วอิสระและค่าสัมประสิทธิ์จะแสดงถึงอัตราการลดลงของความเร็วอันเนื่องจากยวดยานแต่ละประเภท ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถหาได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ของยวดยานแต่ละประเภท (C_2-C_4) มาพิจารณาเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (C_1)

การประมาณการคำนวณเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้ความเร็วของกระแสจราจรเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ มีอยู่หลายการศึกษาที่สำคัญคือ

Taylor Miller และ Odgey (1972) ได้ศึกษาด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และได้ข้อสรุปว่า อัตราส่วนของจำนวนรถยนต์บรรทุกในกระแสจราจรไม่มีผลกระทบกับความเร็วของกระแสจราจรอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความชันของถนนมีค่าต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และแนะนำค่าเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดของจำนวนรถยนต์บรรทุกในกระแสจราจรที่จะไม่มีผลกระทบกับความเร็ว โดยมีค่า 8 เปอร์เซ็นต์

Duncan (1974) สำรวจความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับปริมาณการจราจรของรถขนาดใหญ่และรถขนาดเล็กในทิศทางหลักและทิศทางตรงกันข้ามสำหรับถนนสองช่องทางจราจรทั้งหมด 17 สาย จากผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของการลดลงของความเร็วเฉลี่ยพบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถขนาดใหญ่มีค่าเท่ากับ 15

Stock และ May (1976) ใช้แบบจำลองสถานการณ์ชื่อ SIMTOL วิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและพบว่า HCM ปี ค.ศ. 1965 ได้ประเมินค่าผลกระทบจากรถยนต์บรรทุกบนทางลาดชันสูงเกินความจริง

St.John และ Kobett (1978) สร้างความสัมพันธ์เชิงซ้อนสำหรับใช้ในการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนถนนสองช่องทางจราจร โดยพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ระดับจุลภาค (Microscopic Simulation) ซึ่งสามารถทำการจำลองได้กับยานพาหนะถึง 13 ประเภทโดยใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นพื้นฐานในการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

Messer (1983) ทำการวิจัยกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนถนนสองช่องทางจราจร โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ชื่อ TWOWAF โดยเปรียบเทียบกระแสจราจรที่ประกอบด้วยยานพาหนะประเภทต่าง ๆ กับกระแสจราจรที่ประกอบด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพียงประเภทเดียว

Van Aerde และ Yagar (1984) พัฒนากระบวนวิธีการในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจรโดยวิเคราะห์จากอัตราการลดลงของความเร็วของกระแสจราจรที่เกิดจากยานพาหนะแต่ละประเภทที่อยู่บนทิศทางหลักและที่อยู่ในทิศทางตรงข้ามมาเป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยได้ลองพิจารณาการลดลงของความเร็วสำหรับความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่าง ๆ กัน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 50 และ 90 ผลปรากฏว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากแต่ละความเร็วมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะมีค่าลดลงเมื่อใช้ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์สูงขึ้น

2.2 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการเกิดกลุ่มของยวดยาน (Platoon)

การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยพิจารณาจากการเกิดกลุ่มของยวดยาน สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีการ ดังนี้

2.2.1 การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (Platoon Creation หรือ Platoon Leader)

แนวคิดของวิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานคือ กลุ่มของยวดยานจะเกิดขึ้นจากยานพาหนะที่ขับเร็วตามมาถึงยานพาหนะที่ขับช้าและไม่สามารถที่จะขับแซงไปได้ รถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารมีความเร็วและความสามารถในการเร่งความเร็วต่ำกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล จึงมีโอกาสที่จะถูกยานพาหนะที่ขับเร็วขับตามได้ทันมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล และเมื่อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลตามทันยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่ จะเกิดความยากลำบากกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในการที่จะขับแซงยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่อันเนื่องมาจากความสูง ความกว้างหรือความยาวของยานพาหนะที่ขัดขวางการมองเห็นของผู้ตามมา รวมทั้งระยะแซงที่ต้องมีความยาวมากขึ้นด้วย ยานพาหนะขนาดใหญ่จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสูงกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การจราจรในทิศตรงข้ามก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีผลกับการเกิดกลุ่มของยวดยานบนถนนสองช่องทางจราจร เนื่องจากยานพาหนะบนทิศทางหลักที่จะทำการแซงต้องการช่องว่างในทิศทางตรงข้าม ช่องว่างดังกล่าวจะลดลงเมื่อมียานพาหนะเพิ่มมากขึ้นในกระแสจราจรในทิศทางตรงข้าม ดังนั้นการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยานจึงได้รับผลกระทบมาจากปริมาณการจราจรทิศตรงข้าม จึงกล่าวได้ว่าการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรทั้ง 2 ทิศทาง

ผลงานการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ที่สำคัญมีดังนี้

Troutbeck (1976) ศึกษาพฤติกรรมการแซงที่ถนนนอกเมืองของออสเตรเลีย พบว่ามีความลำบากที่จะทำการแซงรถขนาดใหญ่มากกว่าการแซงรถขนาดเล็ก ดังนั้นจึงมีโอกาสที่รถขนาดใหญ่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานมากกว่ารถขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการแซงจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของความยาวของยานพาหนะที่ถูกแซง

Morrall และ Werner (1982) ศึกษาผลกระทบของกระแสการจราจรในทิศตรงข้ามที่มีผลกับการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยาน และเสนอแนะว่าไม่เพียงแต่ปริมาณการจราจรในทิศตรงข้ามที่มีผลเท่านั้น ลักษณะการกระจายตัวของยานพาหนะในกระแสการจราจรก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผล โดยที่จำนวนยานพาหนะในทิศทางตรงข้ามเพียง 200 คันจะสามารถปิดกั้นการแซงที่ปลอดภัยทั้งหมด ถ้ายานพาหนะทั้งหมดวิ่งด้วย Uniform Headway เท่ากับ 18 วินาที

Van Aerde และ Yagar (1984) ทดสอบแนวโน้มในการที่ยานพาหนะต่าง ๆ จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานโดยใช้ค่าอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานของยานพาหนะประเภทหนึ่ง ๆ กับค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนยานพาหนะประเภทนั้น ๆ ต่อจำนวนยานพาหนะทั้งหมดบนท้องถนน เมื่อทำการแปลงค่าอัตราส่วนดังกล่าวให้เทียบกับค่าอัตราส่วนสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จะได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานเป็นเกณฑ์ในการคำนวณ

ค่าเทียบเท่าที่ได้จากการวิเคราะห์การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$PCE_v = \frac{a_v}{a_p} \qquad \text{.....(2-2)}$$

โดยที่ a สำหรับยวดยานพาหนะประเภท v หาได้จากการสร้างสมการถดถอยที่มีลักษณะดังนี้

$$(\%\,Lead)_v = a_v(\%\,Count)_v \qquad \text{.....(2-3)}$$

โดยที่ PCE_v คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภท v

$(\%\ Leads)_v$ คือ เปอร์เซ็นต์ของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานของยานพาหนะประเภท v

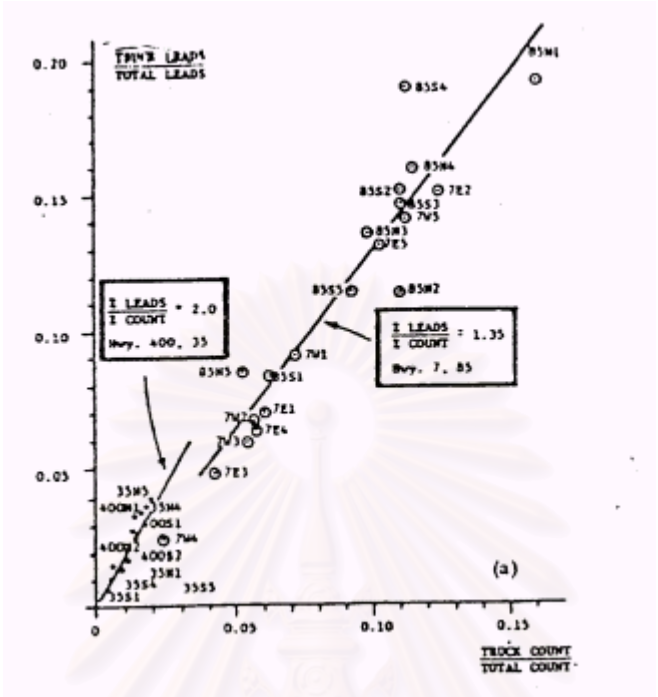
$(\%\ Count)_v$ คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนยานพาหนะประเภท v ในกระแสจราจร

a_v คือ ค่า a ที่ได้จากสมการถดถอยของยานพาหนะประเภท v

a_p คือ ค่า a ที่ได้จากสมการถดถอยของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างของสมการถดถอยของรถยนต์บรรทุกแสดงดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 ตัวอย่างรูปความสัมพันธ์ระหว่าง % Leads และ % Count ของรถบรรทุก (Aerde and Yagar,1984)

2.2.2 **การตามกลุ่มของยวดยาน** (Platoon Follower)

ถึงแม้ว่ากลุ่มของยวดยานจะสามารถนิยามได้จากผู้นำกลุ่มก็ตาม แต่การเคลื่อนตัวของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานจะไม่ถูกกีดขวางจากยานพาหนะอื่น ๆ ยานพาหนะที่เป็นผู้ตามมักจะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการลดลงของการให้บริการของถนนมากที่สุด ได้แก่ การถูกกีดขวาง การก่อให้เกิดความล่าช้าหรือแม้แต่การก่อให้เกิดการแซงที่ไม่ปลอดภัย ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยาน

การวิเคราะห์ตั้งอยู่บนแนวความคิดที่ว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนของผู้ตามมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรในทิศทางหลักดังแสดงในรูปที่ 2-3 เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรง ยกเว้นในบางช่วงจะมีลักษณะหักโค้งเล็กน้อย จำนวนของผู้ตามในกลุ่มของยวดยานสามารถทำการจำลองได้โดยใช้ Piecewise Linear Function ร่วมกับแบบจำลองเชิงเส้น

แยกส่วน (Separate Linear Model) สำหรับช่วงที่มีปริมาณการจราจรสูงและต่ำ โดยแบบจำลองเชิงเส้นจะมีโครงสร้างดังนี้

$$\text{Number of Followers} = A_1+B_1(\text{Cars})+B_2(\text{trucks})+B_3(\text{Buses}) +B_4(\text{Opposing Vehicles})(\text{Main-line Vehicles}) \quad \text{.....(2-4)}$$

โดยที่ A_1 คือ ค่าคงที่สำหรับยานพาหนะที่เป็นผู้ติดตามในกลุ่มของยวดยาน

B_1 ถึง B_3 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนยานพาหนะที่เป็นผู้ตามที่เกิดขึ้นเนื่องจากยานพาหนะประเภทนั้น

B_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนยานพาหนะที่เป็นผู้ตามที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะทิศทางตรงข้ามที่ปริมาณจราจรสายหลัก 1000 คันต่อชั่วโมง

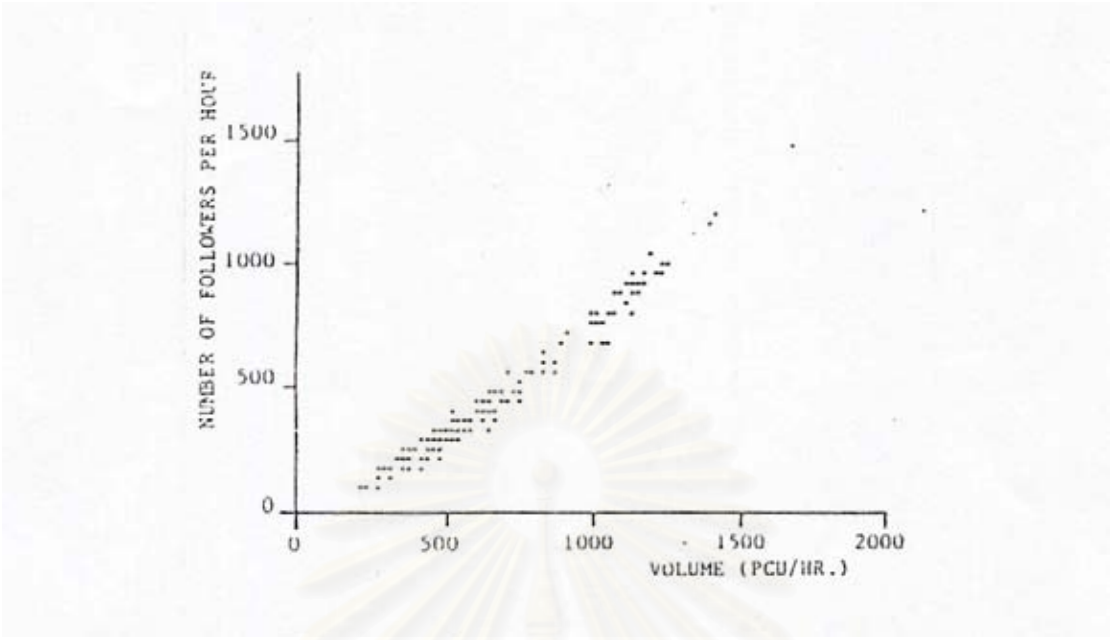
Cars คือ จำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในช่วงเวลาที่พิจารณา

Trucks คือ จำนวนรถยนต์บรรทุกในช่วงเวลาที่พิจารณา

Buses คือ จำนวนรถยนต์โดยสารในช่วงเวลาที่พิจารณา

Opposing Vehicles คือ จำนวนยานพาหนะทุกประเภทในทิศทางตรงกันข้ามในช่วงเวลาที่พิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของผู้ตามกลุ่มยวดยานยานกับปริมาณการจราจรหลัก (Aerde and Yagar,1984)

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถหาได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ของยานพาหนะแต่ละประเภท (B_2-B_4) มาพิจารณาเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (B_1)

Van Aerde และ Yagar (1984) วิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวจำลองจำนวนกลุ่มของยวดยานออกเป็น 2 ส่วน โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นแยกส่วนหลายตัวแปร (Separate Multiple Linear Model) สำหรับปริมาณการจราจรระหว่าง 100 และ 650 คันต่อชั่วโมงซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณการจราจรต่ำและระหว่าง 650 ถึง 2000 คันต่อชั่วโมงซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณการจราจรสูง

2.3 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากอัตราการแซง

ในปี ค.ศ. 1965 HCM ได้จัดทำค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลไว้สำหรับถนนสองช่องทางจราจร ถนนหลายช่องทางจราจรและทางด่วน สำหรับถนนสองช่องทางจราจร ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเมื่อยานพาหนะอยู่ภายใต้สภาพภูมิประเทศทางลาดชันที่มีลักษณะเป็นเนินหรือภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นภูเขา คำนวณได้จากค่าการกระจายของความเร็วของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บรรทุก ณ ปริมาณการจราจรที่กำหนดสำหรับความยาวของถนนช่วงหนึ่ง วิธีการที่ใช้ในการคำนวณเรียกว่า วิธีการของ Walker โดยแยกการกระจายของความเร็วเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมพัทธ์ของจำนวนยานพาหนะที่ทำการแซงต่อระยะทางและยานพาหนะแต่ละคันจะต้องวิ่งด้วยความเร็วปกติภายใต้สภาพการจราจรและลักษณะทางกายภาพที่กำหนด มีสมมติฐานคือ

- ไม่มีการกีดขวางเมื่อมีการแซงเกิดขึ้น
- ระดับการให้บริการและความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนนสองช่องทางการจราจรนอกเมืองสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรรวมทั้ง 2 ทิศทางโดยไม่พิจารณาถึงการกระจายของปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทาง (Directional Split)
- พิจารณาให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของการจราจรในทิศตรงข้ามมีค่าเท่ากับ 1

วิธีของ Walker คำนวณโดยอยู่บนพื้นฐานของจำนวนยานพาหนะที่ทำการแซงที่เกิดขึ้นต่อกิโลเมตรของถนน โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันจะต้องขับด้วยความเร็วปกติภายใต้สภาพสภาวะที่กำลังทำการพิจารณา เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

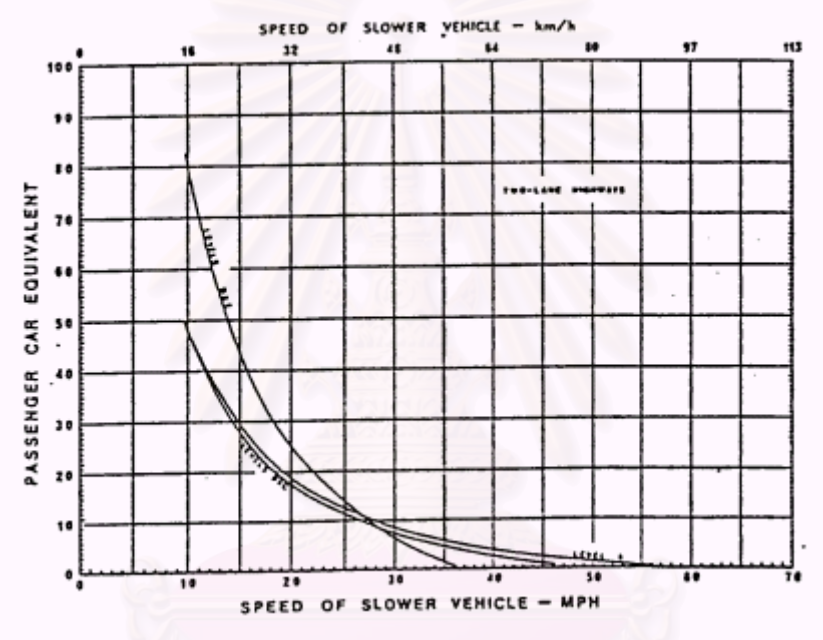
$$N = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} X_i Y_j / 60\left(\frac{60}{S_{2i}} - \frac{60}{S_{1j}}\right) \qquad \text{.....(2-5)}$$

โดยที่ N หมายถึงจำนวนของการแซงในรูปของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว S_1 ซึ่งสามารถแซงยานพาหนะที่ขับด้วยความเร็ว S_2 ได้ X คันต่อชั่วโมงภายในระยะ 1 กิโลเมตรเมื่อจำนวนของยานพาหนะที่ขับด้วยความเร็ว S_1 เท่ากับ Y คันต่อชั่วโมง จำนวนของยานพาหนะที่ขับช้าและขับเร็วได้แก่ n และ m ในช่วงค่าความเร็วที่เลือกไว้ ตามลำดับ

สมการดังกล่าวสามารถใช้ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับแต่ละช่วงของการกระจายของความเร็ว โดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลคำนวณได้ดังนี้

$$PCE = \frac{N/1truck/h}{N/100passengercar/h} \qquad \text{.....(2-6)}$$

กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลกับความเร็วของยานพาหนะที่ขับช้าแสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลกับความเร็วสำหรับถนนสองช่องทางจราจร (Werner & Morrall,1975)

Cunagin และ Messer (1982) หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจรที่เป็นพื้นราบโดยใช้วิธีการร่วมกันระหว่างวิธี Walker Special Headway กับวิธีการความล่าช้าพบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกมีค่าตั้งแต่ 1.5 จนถึง 1.7 สำหรับจำนวนรถยนต์บรรทุก 5 เปอร์เซ็นต์และจาก 1.5 ถึง 2.0 สำหรับการจราจที่มีจำนวนรถยนต์บรรทุก 25 เปอร์เซ็นต์ ช่วงของค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการแปรปรวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับปริมาณการจราจรจากระดับการให้บริการ A จนถึงระดับการให้บริการ E แ ต่เนื่องจากการขาดแคลนข้อมูล ทำให้มีการวิจัยเกี่ยวกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับ

ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรสูงสุดไม่มากนัก โดยเฉพาะในถนนสองช่องทางจราจรนั้นมีความเป็นไปได้ยากที่จะถึงจุดสูงสุดของความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจร

2.4 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจาก Time Headway

วิธีการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจาก Time Headway จะเหมาะสำหรับการจราจรที่เกิดขึ้นในภูมิประเทศราบและระดับการให้บริการของถนนต่ำ วิธีดังกล่าวใช้แนวคิดว่า รถยนต์บรรทุกจะใช้พื้นที่บนถนนมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล ดังนั้นจะทำให้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรลดลง วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการวัดช่วงเวลาระหว่างยานพาหนะและความเร็วของยานพาหนะโดยไม่ได้พิจารณาถึงการแซงหรือความต้องการที่จะแซงดังเช่นวิธีการของ Walker และยังมีสมมติฐานว่ามียานพาหนะเพียง 2 ประเภทอยู่ในกระแสจราจร

ลักษณะของสมการพื้นฐานของวิธีการ Headway เป็นดังนี้

$$PCE = \frac{(h/p - c)}{t} \qquad \text{.....(2-7)}$$

โดยที่ *PCE* คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก

h คือ ค่า Headway เฉลี่ยของรถยนต์และรถยนต์บรรทุก

p คือ ค่า headway ของตัวอย่างที่เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งหมด

c คือ อัตราส่วนของจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในปริมาณการจราจรทั้งหมด

t คือ อัตราส่วนของจำนวนรถบรรทุกในปริมาณจราจรทั้งหมด

ในกรณีที่ไม่ได้พิจารณายานพาหนะที่ตามมา จะใช้ค่าสัมพัทธ์ของระยะห่างของช่องว่างที่ยานพาหนะคันหนึ่งจะต้องใช้มาคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยเขียนให้อยู่ในรูปสมการดังนี้

$$PCE_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_{PC}} \qquad \text{.....(2-8)}$$

โดยที่ PCE_{ij} คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะ ประเภท *i* ภายใต้สภาวะ *j*

H_{ij} และ H_{PCj} คือ ค่า Headway เฉลี่ยของยานพาหนะประเภท *i* และของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลภายใต้สภาวะ *j* ตามลำดับ

อีกวิธีการหนึ่งในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ Headway เป็นพื้นฐานในการคำนวณก็คือ การเลือกยานพาหนะหลาย ๆ ประเภท จากนั้นจึงสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงห่างกับ Headway เพื่อใช้ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล นอกจากนี้แล้วยังสามารถคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ Headway ของยานพาหนะใด ๆ โดยเริ่มต้นจากค่าความเร็วที่คงที่เพื่อทำการหา Headway แล้วนำมาคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

2.5 การวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้า

วิธีการนี้สามารถประมาณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้จากการนำความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอันเนื่องจากยานพาหนะที่ไม่ใช่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันอื่น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PCE_{ij} = \frac{D_{ij} - D_{base}}{D_{base}} \qquad \text{.....(2-9)}$$

โดยที่ PCE_{ij} คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภท *i* ภายใต้สภาวะ *j*

D_{ij} คือ ค่าความล่าช้าของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเนื่องจากยานพาหนะประเภท *i* ภายใต้สภาวะ *j*

D_{base} คือ ค่าความล่าช้าของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันอื่นที่วิ่งช้ากว่า

Craus และคณะ (1980) เสนอวิธีการที่คล้ายกันในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนน 2 ช่องทางจราจร โดยใช้พื้นฐานของวิธีการของ Walker และค่าความล่าช้าของยานพาหนะอันเนื่องมาจากกระแสจราจรในทิศตรงข้าม โดยแนะนำว่าควรจะมีการปรับแก้วิธีการที่

ใช้อัตราส่วนของความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากรถยนต์บรรทุกกับความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นพื้นฐานในการคำนวณ เนื่องจากตรวจสอบพบความแปรปรวนของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและพบแนวโน้มที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลอาจจะขึ้นอยู่กับระดับการให้บริการและความเร็วของรถยนต์บรรทุกคล้ายกับที่ HCM ได้จัดทำไว้ในปี ค.ศ .1965

Cunagin และ Messer (1982) ได้เปรียบเทียบวิธีการของ Walker และวิธีการที่คำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากความล่าช้า โดยสมมติฐานพื้นฐานในวิธีการของ Walker คือ ยานพาหนะที่ขับเร็วจะไม่ถูกกีดขวางถ้าทำการแซงยานพาหนะที่ขับช้ากว่า ดังนั้นแถวคอยของยานพาหนะจึงไม่เกิดขึ้น แต่ในอีกด้านหนึ่ง สมมติฐานหนึ่งของวิธีการค่าความล่าช้าคือ ยานพาหนะที่ขับเร็วมักจะถูกกีดขวางโดยยานพาหนะที่ขับช้าดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์แถวคอยที่เกิดขึ้น ดังนั้นวิธีการของ Walker จึงเหมาะสมกับสภาพที่มีปริมาณการจราจรต่ำและวิธีค่าความล่าช้าจะเหมาะสมกับสภาพที่มีปริมาณการจราจรสูง ส่วนสภาพที่มีปริมาณการจราจรปานกลางจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

2.6 การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์

2.6.1 เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากวิธีการต่าง ๆ

ตารางที่ 2-1 ถึง 2-5 สรุปค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกบนถนนสองช่องทางจราจรที่ได้จากแต่ละวิธี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (ใช้ความเร็วของกระแสจราจรเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์)

ทิศทาง	ประเภทของยานพาหนะ	ความเร็ว ณ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่		
		10	50	90
ทิศทางหลัก	รถยนต์บรรทุก	11.4	6.1	3.8
	อื่น ๆ	1.0	1.0	1.0
ทิศตรงข้าม	ทุกประเภท	0.5	0.5	0.5

ตารางที่ 2-2 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (ใช้การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์)

ประเภทของยานพาหนะ	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล
รถยนต์บรรทุก	1.81
อื่น ๆ	1.08

ตารางที่ 2-3 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดย Van Aerde and Yagar (1984) (ใช้การตามกลุ่มของยวดยานเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์)

ทิศทาง	ประเภทของยานพาหนะ	ปริมาณการจราจรต่ำ	ปริมาณการจราจรสูง
ทิศทางหลัก	รถยนต์บรรทุก	1.23	1.20
	อื่น ๆ	0.98	1.13
ทิศตรงข้าม	ทุกประเภท	0.06	0.07

ตารางที่ 2-4 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกโดย Cunagin and Messer (1983) (ใช้อัตราการแซงและค่าความล่าช้าเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์)

ระดับการให้บริการ	ลักษณะภูมิประเทศ		
	ทางราบ	เนิน	ภูเขา
A	1.5	3.3	6.5
B และ C	1.6	4.2	10.0
D และ E	1.7	5.4	11.0

ตารางที่ 2-5 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกโดย HCM (ใช้ Headway เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์) (Highway Capacity Manual,1965,1985,1994)

HCM	ระดับการให้บริการ	ลักษณะภูมิประเทศ		
		ทางราบ	เนิน	ภูเขา
1965	A	3.0	4.0	7.0
	B และ C	2.5	5.0	10.0
	D และ E	2.0	5.0	12.0
1985	A	2.0	4.0	7.0
	B และ C	2.2	5.0	10.0
	D และ E	2.0	5.0	12.0
1994	A	2.0	4.0	7.0
	B และ C	2.2	5.0	10.0
	D และ E	2.0	5.0	12.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 2-1 ถึง 2-5 สามารถสรุปเกี่ยวกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากแต่ละวิธีดังนี้

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกที่ได้จากการใช้ความเร็วเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์มีค่าแตกต่างกันมากเมื่อใช้ความเร็วของกระแสจราจร ณ เปอร์เซ็นต์ไทล์ต่างกัน นอกจากนี้ยังกำหนดให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทอื่นมีค่าเท่ากับ 1 และของยานพาหนะในทิศตรงข้ามมีค่าเท่ากับ 0.5

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกที่ได้จากการใช้การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์จะมีค่าต่ำกว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีที่วิเคราะห์จากความเร็วและไม่สามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะในทิศตรงข้ามได้

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการใช้การตามกลุ่มยวดยานเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะทิศตรงข้ามมีค่าน้อยมาก

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการใช้อัตราการแซงและความล่าช้าเป็นพื้นฐานในการคุนวณมีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อลักษณะภูมิประเทศเปลี่ยนจากทางราบเป็นเนินและภูเขาตามลำดับ

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จาก HCM ของแต่ละปีที่ทำการปรับปรุงยังคงมีค่าเท่าเดิมยกเว้นในทางราบที่มีค่าลดลงเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละวิธีได้เนื่องจากเป็นผลการวิเคราะห์จากข้อมูลต่างชุดกัน ยกเว้นวิธีวิเคราะห์จากความเร็ว การเกิดกลุ่มของยวดยานและการตามกลุ่มยวดยานที่ใช้ข้อมูลชุดเดียวกันจึงสามารถเปรียบเทียบกันได้ อย่างไรก็ตามสามารถสรุปได้ว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์

2.6.2 การเปรียบเทียบวิธีการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 2-6 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลและวิธีการเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ในแต่ละวิธีการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของการเก็บข้อมูลของแต่ละวิธีการ

2.6.3 สรุปการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์

จากตารางที่ 2-6 จะเห็นว่ามีทั้งวิธีการที่สามารถทำการเก็บข้อมูลในสนามได้ทันที วิธีการที่ต้องมีการเก็บข้อมูลก่อนแล้วนำมาถอดข้อมูลภายหลัง หรือวิธีการที่ต้องใช้เครื่องมือซับซ้อนแตกต่างกันไปตามแต่ข้อมูลที่ต้องการ สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งสิ้น 3 วิธีได้แก่

1.วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร
2.วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
3.วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มยวดยาน

ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 3 ประการคือ

- เป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลที่หน้าสนามทันทีไม่ต้องมีการนำมาถอดข้อมูลภายหลัง ทำให้เกิดการประหยัดเวลาในการวิเคราะห์
- เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนหรือมีราคาสูง
- เป็นวิธีที่สอดคล้องกับปัจจัยที่นำมาใช้ในการอธิบายถึงคุณภาพของการบริการของถนน อันได้แก่ ค่าความเร็วในการเดินทางเฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ของความล่าช้าซึ่งวัดในรูปของจำนวนยานพาหนะในกลุ่มของยวดยานและการใช้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-6 แสดงวิธีการเก็บข้อมูลของแต่ละวิธีวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์	ข้อมูลที่ใช้	วิธีการเก็บข้อมูล
ความเร็ว	- ความเร็วของยานพาหนะ - จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทและจำนวนยานพาหนะในทิศตรงข้าม	- Platoon-Radar Technique หรือจับเวลาที่ยานพาหนะวิ่งผ่านในระยะที่กำหนด - เครื่องกดนับรถหรือใช้เครื่องมือนับ เช่น Pneumatic Tube
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน	- จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในทิศทางหลัก - จำนวนกลุ่มของยวดยานและประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มยวดยาน	- เครื่องกดนับรถหรือใช้เครื่องมือนับ - นับด้วยเครื่องกดนับรถและจดบันทึก
การตามกลุ่มยวดยาน	- จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้าม - จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในกลุ่มยวดยาน	- เครื่องกดนับรถหรือใช้เครื่องมือนับ - เครื่องกดนับรถหรือใช้เครื่องมือนับ
การแซง	- จำนวนของการแซง	- Radar จับความเร็วและเครื่องกดนับรถนับจำนวนยานพาหนะ
Headway	- Headway ของยานพาหนะแต่ละประเภท	- บันทึกภาพแล้วนำมาถอดข้อมูล Headway ภายหลัง
ความล่าช้า	- ค่าความล่าช้าของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เกิดจากยานพาหนะประเภทต่าง ๆ	- นับจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มของยวดยานที่มีค่า Headway ต่ำกว่า 5 วินาที

บทที่ 3

การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาและทบทวนผลงานในอดีตที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงวิธีการต่าง ๆ ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจร แต่ละวิธีมีการคำนวณที่ใช้พื้นฐานในการวิเคราะห์แตกต่างกันไป อาทิเช่น ใช้ความเร็ว ใช้โอกาสในการเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานหรือใช้จำนวนยานพาหนะที่เป็นผู้ตามในกลุ่มของยวดยาน เป็นต้น ทำให้การพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกับการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถบรรทุกและรถโดยสารสำหรับถนนสองช่องทางจราจรของแต่ละวิธีการแตกต่างกัน โดยอาจแบ่งปัจจัยดังกล่าวได้ดังนี้

1. ระดับความชันของถนน
2. ความยาวของช่วงความชันของถนน (Length of Grade)
3. ปริมาณของยานพาหนะแต่ละประเภทบนทิศทางการจราจรหลัก
4. ปริมาณการจราจรบนทิศทางการจราจรตรงข้าม
5. ค่าอัตราส่วนของน้ำหนักยานพาหนะต่อกำลังของเครื่องยนต์
6. ความเร็วของยานพาหนะ

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาเพียงปัจจัยที่สามารถทำการเก็บข้อมูลภาคสนามได้สะดวกและไม่ก่อให้เกิดการวิเคราะห์ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนเกินไป ได้แก่ ระดับความชันของถนน ความยาวของช่วงความชันของถนน ปริมาณของยานพาหนะแต่ละประเภทบนทิศทางการจราจรหลักและปริมาณการจราจรบนทิศทางการจราจรตรงข้ามและความเร็วของยานพาหนะ

เมื่อได้ทำการสำรวจภาคสนามเบื้องต้นแล้วพบว่า ยานพาหนะบางประเภทมีจำนวนน้อยมากจนถึงไม่มีเลย จึงทำการแบ่งประเภทของยานพาหนะเป็นดังนี้

1.รถยนต์นั่งส่วนบุคคลรวมกับรถยนต์บรรทุก 4 ล้อ
2.รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ
3.รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ
4.รถยนต์บรรทุกพ่วง

5.รถยนต์โดยสาร

3.1 ข้อมูลที่ต้องทำการรวบรวม

ข้อมูลในภาคสนามที่จะต้องทำการรวบรวมและเก็บบันทึกอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนนที่ทำการศึกษา เป็นข้อมูลพื้นฐานทั่วไป ได้แก่

-ชื่อถนน
-ความกว้างของถนน
-ความกว้างของไหล่ทาง
-ระดับความชันของถนน
-ความยาวของช่วงความชันของถนน

2.ข้อมูลการจราจรบนถนนที่ทำการศึกษา เป็นข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามความต้องการของแต่ละวิธีการวิเคราะห์ ได้แก่

-ปริมาณการจราจรรวมบนถนน
-ปริมาณของยานพาหนะแต่ละประเภทบนถนน
-ปริมาณการจราจรในทิศตรงข้ามของทิศทางที่ทำการพิจารณา
-Headway
-เวลาที่ยานพาหนะแต่ละคันใช้ในการเดินทางในระยะทางที่กำหนด

ข้อมูลด้านการจราจรที่จะต้องนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลตามวิธีการ 3 วิธีที่ได้คัดเลือกไว้ มีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- วิธีวิเคราะห์ด้วยความเร็วของกระแสจราจร

1. จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในทิศทางหลักในช่วงเวลาที่พิจารณา
2. จำนวนยานพาหนะรวมในทิศตรงข้ามในช่วงเวลาที่พิจารณา
3. เวลาของยานพาหนะแต่ละคันในทิศทางหลักที่ใช้ในระยะทางที่กำหนด

- วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน

1. จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในทิศทางหลักในช่วงเวลาที่พิจารณา
2. จำนวนกลุ่มของยวดยาน
3. ประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยวดยาน

- วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน

1. จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในทิศทางหลักในช่วงเวลาที่พิจารณา
2. จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่อยู่ในกลุ่มยวดยานในช่วงเวลาที่พิจารณา
3. จำนวนยานพาหนะรวมในทิศตรงข้ามในช่วงเวลาที่พิจารณา

ทั้งนี้ใช้หลักเกณฑ์ว่า กลุ่มของยวดยานจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีค่า Headway น้อยกว่า 5 วินาที (Highway Capacity Manual 1994)

3.2 ทบทวนวิธีการเก็บข้อมูล

3.2.1 การเก็บข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ

สามารถดำเนินการได้หลายวิธีดังนี้

- <u>การเก็บข้อมูลโดยใช้นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)</u> ทำได้โดยจับเวลาที่ยานพาหนะขับผ่านจุดสังเกต 2 จุดที่กำหนด วิธีนี้สามารถเก็บข้อมูลได้สะดวกและไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายในการจับเวลา

- การเก็บข้อมูลโดยใช้ท่อความดัน (Pneumatic tube) ประกอบด้วยตัวจับสัญญาณ (Detector) ติดตั้งขวางกระแสจราจรห่างกัน 2 จุดและเคาน์เตอร์ โดยจะส่งสัญญาณออกมาเมื่อมียานพาหนะขับทับ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ต้องวางท่อไว้บนผิวจราจรจึงอาจจะมีผลกับพฤติกรรมการขับขี่

- การเก็บข้อมูลโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Technique) ทำได้โดยการบันทึกสภาพการจราจรในสนามจากบริเวณที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและทั่วถึงทั้งบริเวณ หลังจากนั้นจึงนำมาจับเวลาที่ยานพาหนะขับผ่านจุดที่กำหนดเพื่อนำไปคำนวณหาความเร็ว วิธีนี้สามารถทำการตรวจสอบข้อมูลซ้ำได้เมื่อต้องการ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือใช้เวลามากในการถอดข้อมูล

- การเก็บข้อมูลโดยใช้เรดาร์หรืออุลตราโซนิค (Radar or Ultrasonic Technique) ทำได้โดยใช้เครื่องมือส่งคลื่นไปกระทบยานพาหนะ คลื่นจะสะท้อนกลับไปหาเครื่องมือเพื่อทำการคำนวณหาค่าความเร็วของยานพาหนะ วิธีนี้จะไม่มีผลกระทบกับพฤติกรรมการขับขี่ แต่ไม่สามารถใช้ได้กับการเก็บข้อมูลที่มีจำนวนยานพาหนะมากเนื่องจากไม่สามารถส่งคลื่นไปยังพาหนะแต่ละคันได้ทัน

3.2.2 **การเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะ**

สามารถดำเนินการได้หลายวิธีดังนี้

- การเก็บข้อมูลโดยใช้คนนับ (Manual Counting) ทำได้โดยให้ผู้เก็บข้อมูลนับจำนวนยานพาหนะที่ขับผ่านแล้วทำการบันทึก โดยอาจใช้อุปกรณ์ช่วยในการนับ เช่น เครื่องกดนับรถ ข้อดีของวิธีนี้คือ สะดวกในการเก็บข้อมูล ส่วนข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากต้องใช้ผู้เก็บข้อมูลจำนวนมาก

- การเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical Counting) ปัจจุบันมีการนำเครื่องมือหลายประเภทมาใช้ในการเก็บข้อมูล เช่น ชนิดใช้ลำแสงหรือรังสีอินฟราเรด (Photoelectric or Infrared) ชนิดใช้ความดัน (Pnuematic) เป็นต้น อย่างไรก็ตามจะมีหลักการคล้ายกัน กล่าวคือ ประกอบด้วยตัวจับสัญญาณและเครื่องนับ วิธีการนี้

เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะที่ไม่ต้องใช้ข้อมูลแยกตามประเภทของยานพาหนะ

- การเก็บข้อมูลโดยใช้ภาพถ่าย (Photographic Technique) ทำลักษณะเดียวกับการเก็บความเร็วของยานพาหนะ โดยทำการบันทึกภาพแล้วนำมานับจำนวนยานพาหนะภายหลัง

- การเก็บข้อมูลโดยวิธีการเคลื่อนที่ของรถ (Moving Vehicle Method) ทำได้โดยการขับรถอยู่ในกระแสจราจรที่ต้องการเก็บข้อมูลแล้วทำการบันทึกข้อมูล ระยะเวลาการเดินทาง จำนวนยานพาหนะที่วิ่งสวนทาง จำนวนยานพาหนะที่ถูกรถทดลองแซงและจำนวนรถที่รถทดลองแซง จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาจำนวนยานพาหนะ

3.3 วิธีที่เลือกใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

จากวิธีการเก็บข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่า บางวิธีก็จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีซับซ้อน บางวิธีก็ใช้เพียงเครื่องกดนับรถ บางวิธีก็ต้องนำไปถอดข้อมูลภายหลัง ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีความเหมาะสมต่างกันไป อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาวิธีต่าง ๆ โดยคำนึงถึงความยากลำบากในการเก็บข้อมูลและถอดข้อมูลแล้ว วิธีการเก็บข้อมูลในสนามที่เหมาะสมกับวิธีการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นดังนี้

- วิธีวิเคราะห์จากความเร็ว เลือกใช้การเก็บข้อมูลเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเดินทางในระยะที่กำหนดไว้โดยการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา ส่วนข้อมูลจำนวนยานพาหนะใช้คนนับโดยใช้เครื่องกดนับรถช่วยในการนับ

- วิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยาน เลือกใช้การเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะและจำนวนกลุ่มของยวดยานด้วยการใช้คนนับโดยใช้เครื่องกดนับรถช่วยในการนับพร้อมทั้งจดบันทึกประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยวดยาน

- วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มยวดยาน เลือกใช้การเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะในกลุ่มของยวดยานด้วยการใช้คนนับโดยใช้เครื่องกดนับรถช่วยในการนับ

3.4 หลักเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ที่ทำการศึกษา

ถนนสองช่องทางจราจรที่จะทำการศึกษาจะต้องเป็นถนนที่มีลักษณะอุดมคติ (Ideal Condition) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน Highway Capacity Manual (HCM) ปี ค.ศ. 1994 เพื่อทำการลดปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจจะมีผลกระทบกับการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจรที่เกิดขึ้นจากถนนที่มีสภาพต่างกัน อีกทั้งยังสามารถทำให้ถนนที่ทำการศึกษาสามารถใช้เป็นตัวแทนของถนนอื่น ๆ ในการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ โดยถนนที่อยู่ในสภาพอุดมคติตามที่ HCM ปี ค.ศ. 1994 นิยามไว้จะต้องมีลักษณะดังนี้

1. ความกว้างของช่องทางจราจรมากกว่าหรือเท่ากับ 12 ฟุต
2.ไหล่ทางกว้างกว่าหรือเท่ากับ 6 ฟุต
3.ไม่มีเขตห้ามแซงในบริเวณช่วงความยาวถนนที่ทำการพิจารณา
4.ไม่มีการกีดขวางการจราจรอันเนื่องจากการควบคุมการจราจรหรือการเลี้ยวรถ
5. ค่าความเร็วในการออกแบบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 ไมล์ต่อชั่วโมง
6. ยานพาหนะในกระแสจราจรเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งหมด
7. มีการแจกแจงปริมาณการจราจรในแต่ละทิศทางเท่ากัน
8. เป็นถนนบนทางราบ

ถนนที่มีสภาพไม่เป็นไปตามลักษณะที่กล่าวมาดังข้างต้นจะทำให้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนนลดลง อนึ่ง สภาพของถนนที่จะเลือกใช้ในการเก็บข้อมูลจะพิจารณาตามสภาพอุดมคติในข้อที่ 1 ถึง 4 เท่านั้น ส่วนในข้อที่ 5 ถึง 8 จะเป็นปัจจัยต่าง ๆ ที่จะแปรผันไปเพื่อทำการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับถนนสองช่องทางจราจรในสภาพต่าง ๆ กัน

ถนนสองช่องทางจราจรที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการศึกษาจะเป็นถนนที่มีความชันต่าง ๆ กัน กล่าวคือ ตั้งแต่ถนนในแนวราบไปจนถึงถนนที่มีความชัน 4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กรมทางหลวงใช้ในการออกแบบถนน นอกจากนี้แล้ว ถนนสองช่องทางจราจรที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะต้องเป็นถนนที่มีปริมาณของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารมากพอที่จะสามารถทำการศึกษาถึงผลกระทบที่จะส่งผลถึงการวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้

การศึกษาครั้งนี้ได้รับความช่วยเหลือจากกรมทางหลวงในการพิจารณาหาถนนสองช่องทางจราจรที่มีระดับความชันต่าง ๆ กันและมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยพิจารณาระดับความชันของถนนจากแบบก่อสร้างถนนของกรมทางหลวง และได้เลือกสถานที่สำรวจไว้ทั้งสิ้น 5 จุด แต่ละสถานที่จะมีระดับความชันของถนน ปริมาณยานพาหนะแต่ละประเภท รวมทั้งปริมาณการจราจรในทิศทางตรงข้ามที่แตกต่างกันไปเพื่อให้ได้ข้อมูลในสภาพต่าง ๆ กันไป

3.5 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

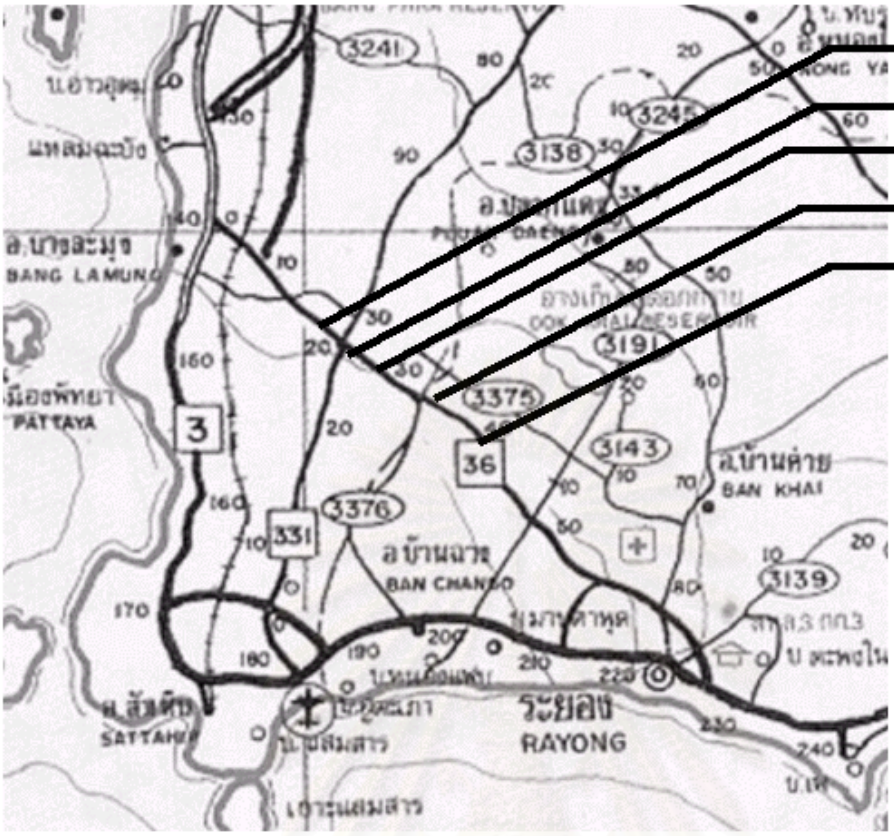
เมื่อพิจารณาถึงหลักเกณฑ์ในการพิจารณาสถานที่ในการเก็บข้อมูลดังกล่าวแล้ว จึงได้ทำการคัดเลือกพื้นที่โดยพิจารณาจากแบบก่อสร้างของกรมทางหลวงในขั้นต้น จากนั้นจึงทำการสำรวจสถานที่จริงเพื่อดูในรายละเอียดของสภาพหน้าพื้นที่จริงที่ไม่มีอยู่ในแบบก่อสร้างว่ามีสภาพที่เหมาะสมกับการเก็บข้อมูลหรือไม่ รวมทั้งทำการสังเกตปริมาณการจราจรและจำนวนของยานพาหนะแต่ละประเภท

ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกทางหลวงหมายเลข 36 พัทยา-ระยอง (สายเก่า) เป็นถนนที่ใช้ในการศึกษา เนื่องจากอยู่ใกล้กับกรุงเทพ ฯ ทำให้สะดวกในการเก็บข้อมูล ถนนดังกล่าวมีลักษณะเป็นทางหลวง 2 ช่องทางจราจรเชื่อมต่อระหว่างจังหวัดชลบุรีกับจังหวัดระยอง มีความกว้างของช่องทางจราจร 3.5 เมตรไหล่ทางกว้าง 2.5 เมตรไม่มีเกาะกลางแบ่งการจราจร 2 ทิศทาง ที่ตั้งของถนนแสดงดังรูปที่ 3-1

สำหรับจุดบนถนนที่คัดเลือกเพื่อใช้ในการทำการศึกษามีรายละเอียดดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลรายละเอียดของสถานที่ที่ทำการศึกษา

จุดที่	หลักกิโลเมตรที่	ความชัน (เปอร์เซ็นต์)	ความยาวทางลาด(เมตร)
1	35+000 ถึง 35+210 (EB)	0.00	-
2	17+700 ถึง 17+885 (EB)	1.95	185
3	43+200 ถึง 43+400 (WB)	1.96	200
4	21+700 ถึง 21+950 (WB)	2.78	250
5	26+300 ถึง 26+470 (WB)	2.98	170



รูปที่ 3-1 ทางหลวงหมายเลข 36 (สายเก่า) (พัทยา-ระยอง)

3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

1.เครื่องกดนับรถจำนวน 7 เครื่องต่อ 1 จุดพื้นที่ศึกษา

2.นาฬิกาจับเวลาจำนวน 1 เครื่องต่อ 1 จุดพื้นที่ศึกษา

3.กระดาษบันทึกข้อมูล

4.ปากกา

5.เทปวัดระยะ

6.สีสเปรย์สำหรับทำเครื่องหมายกำหนดระยะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 วิธีการเก็บข้อมูล

ในการทำการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะและเวลาในการเดินทางโดยใช้คนนับจำนวนและจับเวลา ใช้จำนวนคนในการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 คนต่อ 1 จุดพื้นที่ศึกษา ดังนี้

คนที่ 1 นับจำนวนยานพาหนะแยกตามประเภทที่กำหนดไว้รวมทั้งปริมาณการจราจรรวมของยานพาหนะทิศตรงข้ามโดยใช้เคาน์เตอร์ช่วยในการนับแล้วทำการจดบันทึกลงในตาราง ตัวอย่างของตารางที่ใช้ในการบันทึกแสดงดังตารางที่ 3-2

คนที่ 2 นับจำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่อยู่ในกลุ่มของยวดยาน พร้อมทั้งจดบันทึกประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยานพาหนะที่เกิดขึ้น ตัวอย่างตารางที่ใช้ในการบันทึกแสดงดังตารางที่ 3-3

คนที่ 3 จับเวลาที่ยานพาหนะใช้ในการเดินทางระหว่างจุดที่กำหนดไว้ โดยใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งแต่ยานพาหนะเริ่มทับเส้นที่กำหนดไว้จนถึงเส้นระยะที่กำหนดไว้ (50 เมตร) แล้วจดบันทึกเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ ทั้งนี้ถ้าเป็นกลุ่มของยวดยานจะพิจารณาเฉพาะเวลาของยานพาหนะคันแรกและคันสุดท้ายในกลุ่มของยวดยานเท่านั้น เนื่องจากถือว่ายานพาหนะในกลุ่มเดียวกันมีค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกลุ่มของยวดยานที่มีความยาวมากก็ต้องทำการจับเวลายานพาหนะที่อยู่ในช่วงกลางกลุ่มด้วย ตัวอย่างของตารางที่ใช้บันทึกแสดงดังตารางที่ 3-4

อนึ่ง การเริ่มต้นเก็บข้อมูลของทั้ง 3 คนจะต้องเริ่มและสิ้นสุดลงพร้อมกันเพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่เวลาเดียวกัน โดยจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมีลักษณะเป็นตัวแทนของช่วงเวลา (Time Slice) ต่าง ๆ จึงกำหนดให้ช่วงเวลา 5 นาทีเป็นช่วงเวลาที่มีความละเอียดมากที่สุด เมื่อต้องการข้อมูลที่มีช่วงเวลามากขึ้นจึงค่อยทำการรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน

การเก็บข้อมูลใช้เวลาทั้งสิ้น 2 วัน วันละ 7 ชั่วโมง โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น.โดยเก็บพร้อมกันทั้ง 5 จุดพื้นที่ศึกษา ใช้จำนวนคนทั้งสิ้น 15 คน ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 164 ชุดข้อมูล (ช่วงเวลา 5 นาที) ต่อ 1 จุดพื้นที่ศึกษาจึงมีจำนวนมากพอที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลได้

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในช่วงเวลา 5 นาที

ช่วงเวลาที่	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	ยานพาหนะทิศตรงข้าม
1	14	0	2	4	1	21
2	31	2	3	4	1	52
3	25	0	7	4	0	34
4	15	1	3	1	0	21
5	42	0	2	4	1	38
6	12	0	3	4	0	20
7	43	2	5	3	1	44
8	31	4	9	6	0	49
9	34	2	9	0	0	43
10	17	4	1	2	0	23
11	38	1	4	2	1	36
12	33	5	6	4	0	40
13	29	1	11	3	0	29
14	16	2	1	0	1	44
15	31	3	2	2	0	35
16	38	2	6	4	1	41
17	42	4	9	4	0	29
18	26	1	4	2	1	30
19	22	2	3	6	0	29
20	40	0	10	3	0	37
21	18	2	4	5	1	39
22	32	2	5	3	1	32
23	23	2	6	2	1	28
24	35	1	5	6	0	51

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลประเภทของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มและจำนวนยานพาหนะในกลุ่ม

ช่วงเวลาที่	ประเภทยานพาหนะ	จำนวนรถในกลุ่ม	ประเภทยานพาหนะ	จำนวนรถในกลุ่ม	ประเภทยานพาหนะ	จำนวนรถในกลุ่ม
1	Pax	6	Tr	6	T10	4
	B	7	Tr	3		
2	T10	10	Pax	11	Tr	17
	Pax	11				
3	Pax	8	T10	12	Tr	3
4	T10	10	Tr	7	T10	5
	Tr	5				
5	Tr	7	Pax	9	Pax	4
	Tr	9				
6	Tr	4	Pax	4	Tr	10
	Tr	7	Tr	11		
7	Pax	14	Tr	6	Pax	4
	Tr	5	Tr	12		
8	T10	3	Tr	12	T10	8
9	Tr	4	Tr	14	T10	8
	Tr	7				
10	T10	6	Tr	17	Tr	9
	Pax	5				
11	Pax	7	Tr	6	Tr	7
12	Tr	8	T10	8	Tr	11
	Pax	4	Tr	9		

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างตารางกรอกข้อมูลการจับเวลาและจำนวนยานพาหนะในกลุ่มของยวดยาน

ช่วงเวลา	เวลารถคันแรก	เวลารถคันสุดท้าย	จำนวนยานพาหนะ	เวลารถคันแรก	เวลารถคันสุดท้าย	จำนวนยานพาหนะ
1	2.41	2.57	3	2.84	2.99	5
	3.25	3.55	8	3.12	3.74	4
	1.60	1.88	4			
2	1.88	2.01	5	1.78	2.44	2
	3.41	3.55	7	1.66	1.99	2
	2.14	2.68	7			
3	2.06	2.70	4	3.21	3.54	8
	2.14	2.56	6	1.93	2.01	11
4	1.72	2.04	7	1.88	1.92	14
	2.47	2.88	4	1.47	2.57	15
	1.72	2.66	13			
5	2.75	3.24	17	3.47	3.55	6
	1.25	2.11	11	1.94	2.54	7
6	3.22	3.88	6	1.82	2.67	8
	1.90	2.44	7	1.19	2.45	8
	2.44	2.68	11			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.8 อุปสรรคและปัญหาที่พบ

อุปสรรคและปัญหาที่พบในการเก็บข้อมูลมีดังนี้

- บริเวณไหล่ทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลมีต้นไม้ปกคลุมมาก ทำให้ไม่สะดวกในการนั่งเก็บข้อมูล
- จุดเก็บข้อมูลแต่ละจุดอยู่ห่างกันมากทำให้เวลาเริ่มต้นในการเก็บข้อมูลของแต่ละจุดต่างกันมาก ยังผลให้การเก็บข้อมูลทั้งหมดใช้เวลามากกว่า 7 ชั่วโมง
- อากาศแปรปรวน มักจะมีฝนตกลงมาในช่วงกลางวันจึงอาจทำให้ยวดยานวิ่งไม่สะดวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิเคราะห์

4.1 สรุปข้อมูลเบื้องต้น

จากการเก็บข้อมูลภาคสนามทั้ง 5 พื้นที่ศึกษา มีรายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูลเป็นดังนี้

ตารางที่ 4-1 จำนวนยานพาหนะทั้งหมดที่เก็บรวบรวมแยกตามประเภท (14ชั่วโมง)

ระดับความชัน(%)	จำนวนยานพาหนะ (คัน / 14 ชั่วโมง)						
	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	รวมทุกประเภทในทิศทางหลัก	รวมทุกประเภทในทิศตรงข้าม
0	5,009	340	1,001	744	77	7,171	6,622
1.95	6,637	467	1,400	1,079	129	9,712	8,061
1.96	5,089	237	386	178	162	6,052	6,221
2.78	4,590	409	864	860	106	6,829	6,995
2.98	4,046	368	809	811	89	6,123	6,444

ตารางที่ 4-2 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยแยกตามประเภทยานพาหนะ

ระดับความชัน(%)	ปริมาณการจราจรเฉลี่ย (คัน/ชั่วโมง)						
	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	รวมทุกประเภทในทิศทางหลัก	รวมทุกประเภทในทิศตรงข้าม
0	385	26	77	57	6	551	509
1.95	402	28	84	65	8	587	489
1.96	350	16	27	12	11	416	429
2.78	340	30	64	64	8	506	518
2.98	289	26	58	58	6	437	460

ตารางที่ 4-3 เปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานแยกตามประเภทยานพาหนะ

ระดับความชัน(%)	เปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยาน				
	รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร
0	40	8	22	25	5
1.95	38	8	23	23	8
1.96	51	9	20	16	4
2.78	31	8	28	30	3
2.98	28	8	26	35	3

จากตารางที่ 4-1 และ 4-2 พบว่า จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทของแต่ละจุดพื้นที่ศึกษามีจำนวนใกล้เคียงกัน จำนวนยานพาหนะทั้ง 2 ทิศทางมีปริมาณเท่า ๆ กัน มีจำนวนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมากที่สุดและมีจำนวนรถยนต์โดยสารน้อยที่สุด ปริมาณการจราจรเฉลี่ยเท่ากับ 500 คันต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 4-3 พบว่า ยานพาหนะที่มีเปอร์เซ็นต์การเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานเรียงตามลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถยนต์บรรทุกพ่วง รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสาร

4.2 วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร

การวิเคราะห์วิธีนี้นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาสร้างแบบจำลองเชิงเส้นหลายตัวแปร ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

$$Speed = Free\ Speed + C_1(Pax) + C_2(T6) + C_3(T10) + C_4(Tr) + C_5(Bus) + C_6(Op) \quad ....(4\text{-}1)$$

โดยที่ C_1 ถึง C_6 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของความเร็ว

Speed คือ ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

Free Speed คือ ความเร็วอิสระของยานพาหนะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

Pax คือ จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคล (คัน/ช่วงเวลา)

T6 คือ จำนวนรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ (คัน/ช่วงเวลา)

T10 คือ จำนวนรถยนต์บรรทุก 10 ล้อ (คัน/ช่วงเวลา)

Tr คือ จำนวนรถยนต์บรรทุกพ่วง (คัน/ช่วงเวลา)

Bus คือ จำนวนรถยนต์โดยสาร (คัน/ช่วงเวลา)

Op คือ จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้าม (1000 คัน/ช่วงเวลา)

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลหาได้จากการเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของความเร็วอันเนื่องมาจากยานพาหนะแต่ละประเภท (C_n) กับค่าสัมประสิทธิ์ของการลดลงของความเร็วอันเนื่องมาจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (C_1) อนึ่งในการศึกษานี้ ตัวแปร Speed จะแทนค่า Speed Mean Speed ซึ่งเป็นที่นิยมใช้แทนค่าเฉลี่ยของความเร็วในการศึกษาระดับมหภาค

ในการศึกษาได้ทดลองแบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 5 นาทีซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ละเอียดที่สุดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม จากนั้นจึงขยายช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลให้กว้างขึ้น ได้แก่ 10 นาที 20 นาทีและ 30 นาที ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากข้อมูลที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ต่างกัน

ตารางที่ 4-4 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจรที่ระดับความชันต่าง ๆ โดยแบบจำลองดังกล่าวได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS ตัวอย่างของตารางผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนยานพาหนะและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็ว

ระดับความชัน (%)	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล (นาที)	แบบจำลองความสัมพันธ์	R^2	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล				
				รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	ทิศตรงข้าม
0	5	Speed = 86.980-0.194(PAX)-0.319(T10)-0.400(Tr)-0.090(OPP)	0.155	-	1.64	2.01	-	0.46
	10	Speed = 86.040-0.175(PAX)-0.306(T10)-0.398(Tr)	0.181	-	1.75	2.27	-	-
	20	Speed = 94.280-0.180(PAX)-0.295(T10)-0.387(Tr)-0.04(OPP)	0.191	-	1.64	2.15	-	0.22
	30	Speed = 82.942-0.183(PAX)-0.301(T10)-0.388(Tr)	0.167	-	1.64	2.12	-	-
1.95	5	Speed = 72.562-0.356(PAX)-0.794(T10)-1.029(Tr)-0.220(OPP)	0.218	-	2.23	2.89	-	0.62
	10	Speed = 78.254-0.348(PAX)-0.824(T10)-1.024(Tr)-0.240(OPP)	0.181	-	2.37	2.94	-	0.69
	20	Speed = 72.983-0.329(PAX)-0.801(T10)-0.997(Tr)-0.172(OPP)	0.503	-	2.43	3.03	-	0.52
	30	Speed = 74.142-0.299(PAX)-0.785(T10)-0.952(Tr)	0.401	-	2.63	3.18	-	-
1.96	5	Speed = 73.241-0.359(PAX)-0.912(T10)-1.088(Tr)	0.211	-	2.54	3.03	-	-
	10	Speed = 75.485-0.396(PAX)-1.101(T10)-1.287(Tr)-0.070(OPP)	0.224	-	2.78	3.25	-	0.18
	20	Speed = 64.045-0.249(PAX)-0.707(T10)-0.782(Tr)-0.020(OPP)	0.163	-	2.84	3.14	-	0.08
	30	Speed = 75.483-0.384(PAX)-1.020(T10)-1.280(Tr)-0.064(OPP)	0.232	-	2.66	3.33	-	0.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 (ต่อ) แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยกับจำนวนยานพาหนะและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์ความเร็ว

ระดับความชัน (%)	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล (นาที)	แบบจำลองความสัมพันธ์	R^2	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล				
				รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	ทิศตรงข้าม
2.78	5	Speed = 65.249-0.325(PAX)-1.052(T10)-1.189(Tr)	0.090	-	3.24	3.66	-	-
	10	Speed = 66.670-0.357(PAX)-1.050(T10)-1.239(Tr)	0.019	-	2.94	3.47	-	-
	20	Speed = 68.486-0.337(PAX)-1.120(T10)-1.228(Tr)-0.12(OPP)	0.135	-	3.32	3.64	-	0.36
	30	Speed = 73.882-0.362(PAX)-1.124(T10)-1.246(Tr)-0.12(OPP)	0.284	-	3.10	3.44	-	0.33
2.98	5	Speed = 62.143-0.284(PAX)-0.875(T10)-1.091(Tr)-0.136(OPP)	0.074	-	3.08	3.84	-	0.48
	10	Speed = 64.257-0.298(PAX)-0.888(T10)-1.174(Tr)0.098(OPP)	0.020	-	2.98	3.94	-	0.33
	20	Speed = 67.598-0.314(PAX)-0.989(T10)-1.209(Tr)-0.163(OPP)	0.122	-	3.15	3.85	-	0.52
	30	Speed = 65.234-0.284(PAX)-0.920(T10)-1.056(Tr)	0.283	-	3.24	3.72	-	-

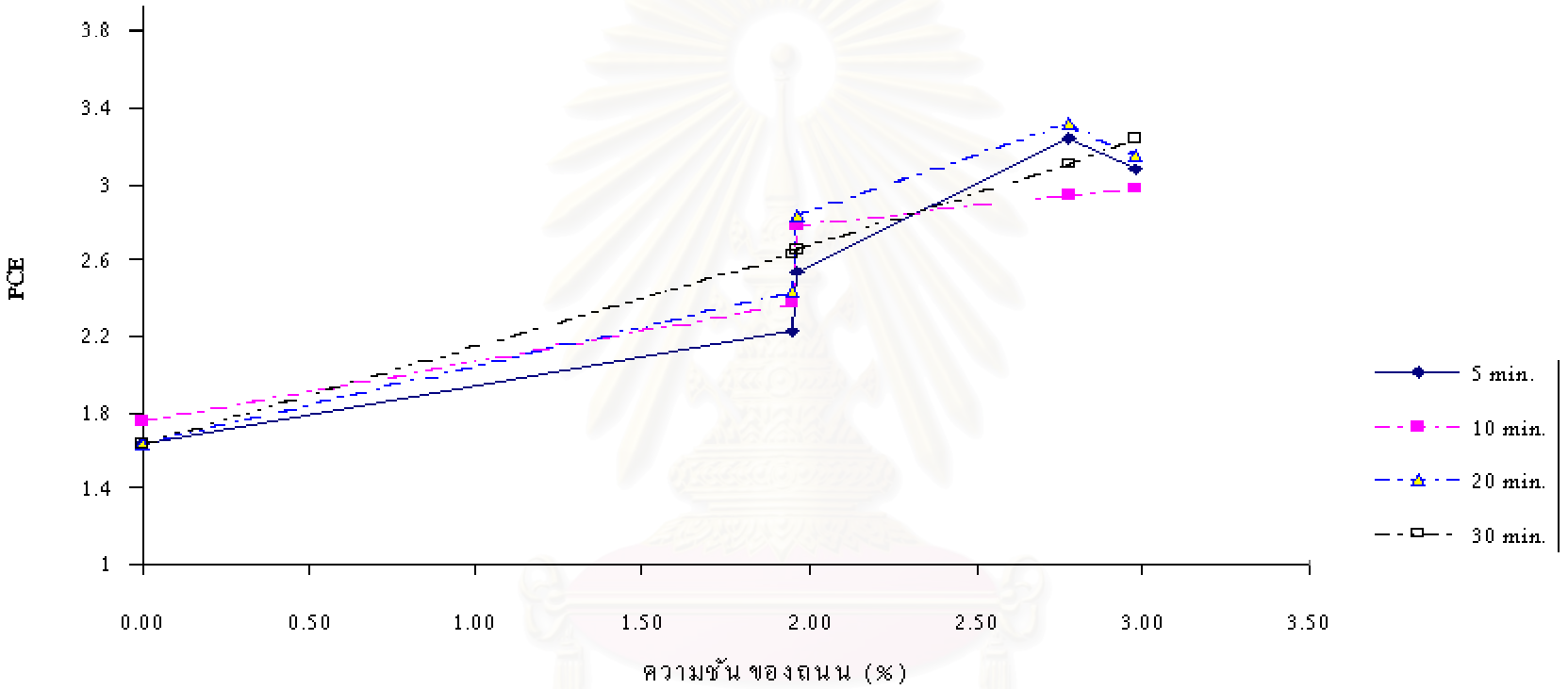
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4-4 แบบจำลองแสดงถึงอิทธิพลของจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทและจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามที่มีผลกระทบต่อความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจร เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรแต่ละตัวแปรมีค่าเป็นลบแสดงถึงการลดลงของความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรเมื่อจำนวนยานพาหนะประเภทนั้น ๆ เพิ่มขึ้น พจน์ค่าคงที่ในแบบจำลองแสดงถึงความเร็วที่ยานพาหนะสามารถขับเคลื่อนได้โดยอิสระ จากตารางดังกล่าวพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์หน้าพจน์จำนวนรถยนต์บรรทุกพ่วงมีค่าติดลบมากที่สุด รองลงมาได้แก่ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและยานพาหนะทิศทางตรงข้าม ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงระดับของอิทธิพลที่มากน้อยลดหลั่นกันไป โดยจำนวนของรถยนต์บรรทุกพ่วงที่เพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดการลดลงของความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรมากที่สุด รองลงมาได้แก่ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและยานพาหนะทิศทางตรงข้าม ตามลำดับ ค่าความเร็วอิสระของยานพาหนะที่ระดับความชันน้อยมีค่าสูงกว่าค่าความเร็วอิสระที่ระดับความชันมากซึ่งหมายถึง ที่ระดับความชันน้อยยานพาหนะมีแนวโน้มที่จะขับเคลื่อนด้วยความเร็วอิสระที่สูงกว่าที่ระดับความชันมาก อย่างไรก็ตามค่าคงที่ที่แทนอิทธิพลตัวแปรของจำนวนรถยนต์บรรทุก 6 ล้อและจำนวนรถยนต์โดยสารในแบบจำลองไม่นัยสำคัญทางสถิติ จึงถูกตัดออกจากสมการ ทำให้ไม่สามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสารได้ สาเหตุอาจเกิดขึ้นจากข้อมูลจำนวนรถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสารที่มีน้อยจึงอาจจะไม่เพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้มีค่าน้อย หมายความว่า แบบจำลองดังกล่าวไม่สามารถอธิบายข้อมูลจากการสำรวจได้ดีนัก

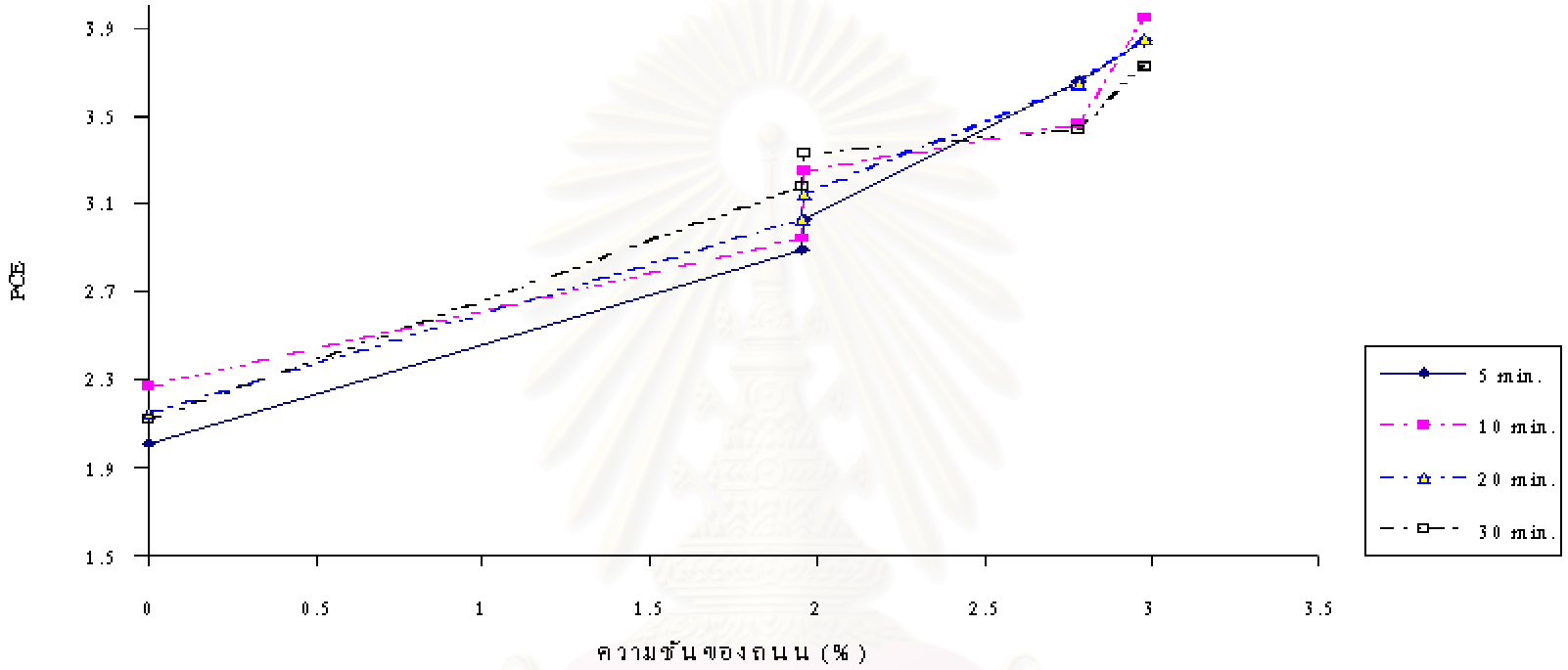
เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลกับระดับความชันรวมทั้งเสถียรภาพของข้อมูลเมื่อเปลี่ยนช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงนำค่าที่ได้จากตารางที่ 4-4 มาแสดงดังรูปที่ 4-1 ถึง 4-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อกับระดับความชันของถนน (เมื่อวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-1 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อกับระดับความชันของถนน (เมื่อวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-1 ถึง 4-2 เมื่อสังเกตค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้พบว่า เพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้นและมีค่าค่อนข้างเสถียรถึงแม้จะเปลี่ยนความกว้างของเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลก็ตาม สังเกตได้จากเส้นกราฟของเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกันมีความใกล้เคียงกัน อนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะทิศตรงข้ามไม่สามารถสร้างกราฟได้เนื่องจากมีค่าไม่ครบทุกช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าความเร็วอิสระและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการเฉลี่ยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ในแบบจำลองในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-5 ความเร็วอิสระเฉลี่ยและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยความเร็วของกระแสจราจร

ระดับความชัน (%)	ความเร็วอิสระ(กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล		
		รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	ยานพาหนะทิศตรงข้าม
0	88	1.67	2.14	0.34
1.95	74	2.42	3.01	0.61
1.96	72	2.71	3.19	0.14
2.78	69	3.15	3.55	0.35
2.98	65	3.11	3.84	0.44

จากตารางที่ 4-5 แสดงให้เห็นว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะทุกประเภทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความชันเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามกับความเร็วอิสระที่จะลดลงเมื่อระดับความชันเพิ่มขึ้น ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันเดียวกันมีค่าต่างกันเล็กน้อยยกเว้นค่าของยานพาหนะทิศตรงข้ามที่แตกต่างกันมาก

4.3 วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน

การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ในส่วนแรกจะไม่พิจารณาถึงอิทธิพลของการจราจรที่อยู่ในทิศตรงข้าม และการวิเคราะห์ในส่วนหลังได้ทดสอบนำอิทธิพลของการจราจรที่อยู่ในทิศตรงข้ามมาพิจารณา

4.3.1 หากไม่ได้พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้าม

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในสนามถูกนำมาสร้างสมการเส้นตรงดังนี้

$$Y_i = a_i X_i \qquad (4\text{-}2)$$

โดยที่ Y คือ อัตราส่วนของจำนวนครั้งของการเป็นผู้นำกลุ่มยวดยานของยานพาหนะประเภทที่พิจารณากับจำนวนกลุ่มยวดยานทั้งหมดของข้อมูลชุดที่ i

X_i คือ อัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะประเภทที่พิจารณากับจำนวนยานพาหนะทั้งหมดของข้อมูลชุดที่ i

a_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ

อนึ่ง โครงสร้างสมการ 4-2 ได้กำหนดให้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิด เพราะเมื่อไม่มียานพาหนะประเภทที่พิจารณาในกระแสจราจร ยานพาหนะประเภทนั้นย่อมไม่สามารถเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานได้

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ คำนวณได้จากการนำค่า a_i ของยานพาหนะประเภทนั้นมาเปรียบเทียบกับค่า a_i ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การพัฒนาสมการ 4-2 ได้แบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 5 นาที จากนั้นจึงใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลที่กว้างขึ้นได้แก่ 10 นาที 20 นาทีและ 30 นาที ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบเสถียรภาพของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากข้อมูลที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ต่างกัน

สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ที่ระดับความชันของถนนและช่วงเวลาในการพิจารณา รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สรุปดังตารางที่ ก-1 ถึง ก-5 ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ ก-1 ถึง ก-5 พบว่า สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุดได้แก่ สมการของรถยนต์บรรทุกพ่วง รองลงมาได้แก่ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์โดยสารและรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ตามลำดับ เมื่อขยายช่วงเวลาในการวิเคราะห์แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ (a_i) มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการเปรียบเทียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของเส้นตรงความสัมพันธ์จากตารางที่ ก-1 ถึง ก-5 แสดงดังตารางที่ 4-6

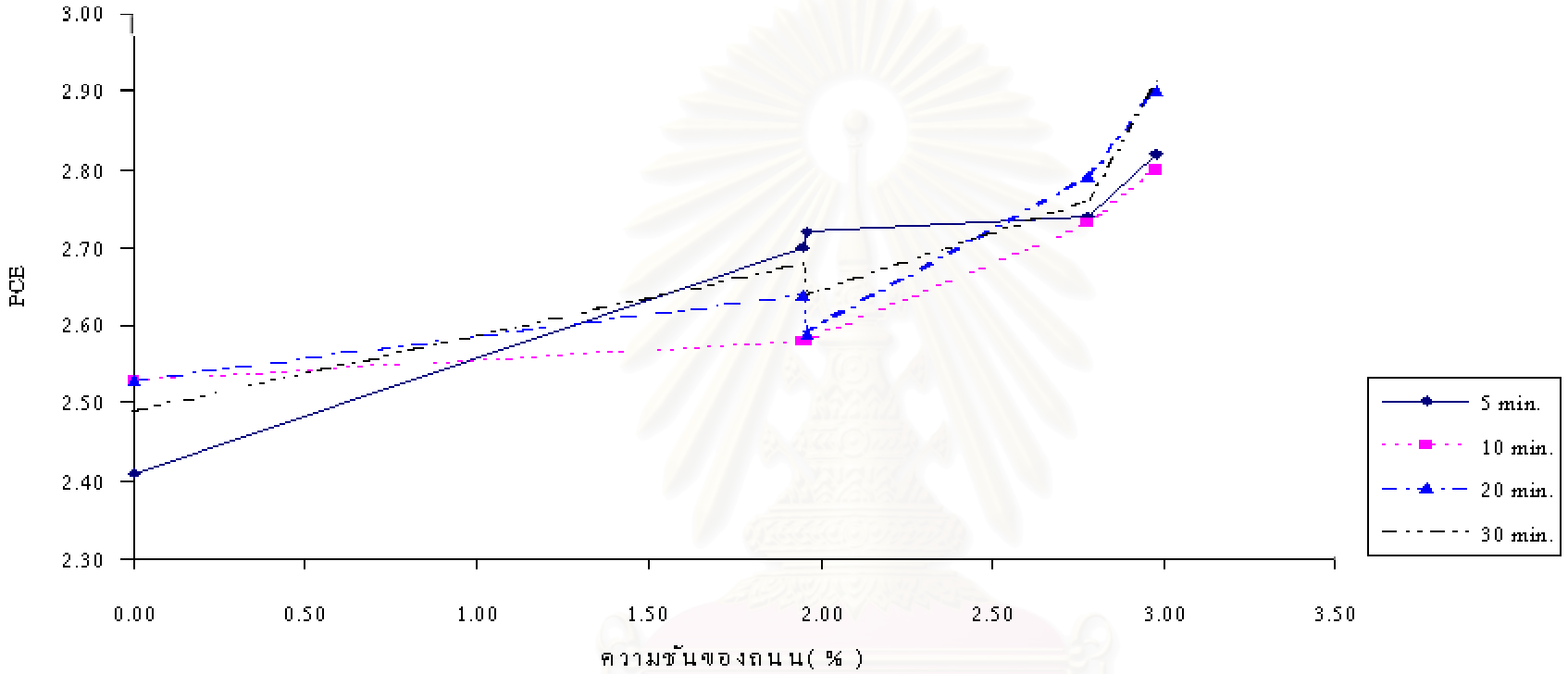
จากตารางที่ 4-6 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะทุกประเภทมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระดับความชันของถนนที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกพ่วงมีค่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสาร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่รถยนต์บรรทุกพ่วงเป็นยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่และบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ทำให้การขับขี่บนช่วงถนนที่มีระดับความชันสูงมีอัตราเร็วลดลง ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับยานพาหนะประเภทอื่น ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละประเภทกับระดับความชันของถนนแสดงดังรูปที่ 4-3 ถึง 4-6 แสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเมื่อระดับความชันของถนนเปลี่ยนไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

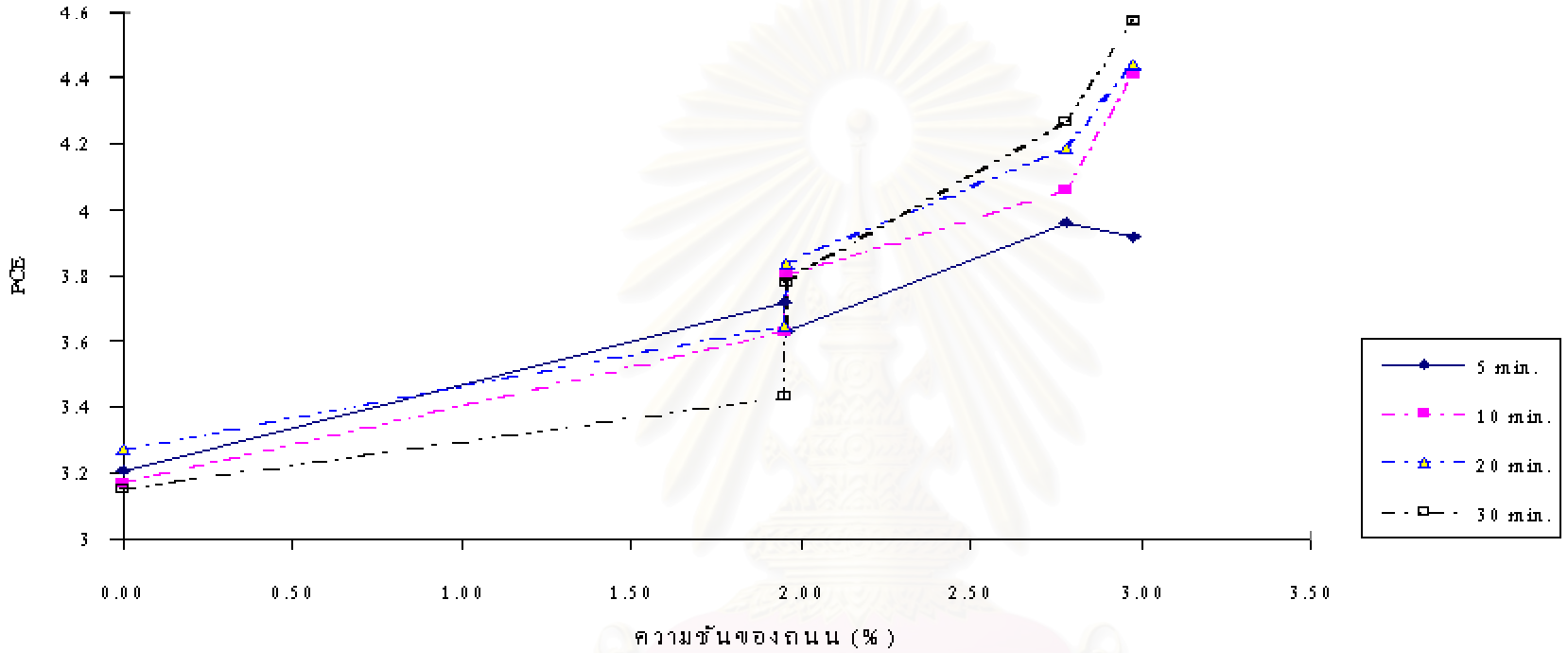
ตารางที่ 4-6 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเมื่อวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.39	2.54	2.53	2.49
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.20	3.17	3.27	3.15
รถบรรทุกพ่วง	3.97	3.95	3.94	3.90
รถโดยสาร	1.90	2.33	2.24	2.50
ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.70	2.58	2.64	2.68
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.72	3.63	3.65	3.43
รถบรรทุกพ่วง	4.09	4.31	4.36	4.37
รถโดยสาร	2.00	1.97	2.28	2.22
ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.72	2.58	2.59	2.64
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.63	3.80	3.84	3.78
รถบรรทุกพ่วง	4.22	4.51	4.57	4.48
รถโดยสาร	2.00	2.03	2.09	2.13
ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.74	2.73	2.79	2.76
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.96	4.06	4.19	4.27
รถบรรทุกพ่วง	5.07	5.14	5.54	5.48
รถโดยสาร	1.82	2.35	2.73	2.91
ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.82	2.80	2.90	2.91
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.92	4.41	4.44	4.57
รถบรรทุกพ่วง	6.14	5.35	6.56	6.62
รถโดยสาร	2.32	2.28	2.36	2.74



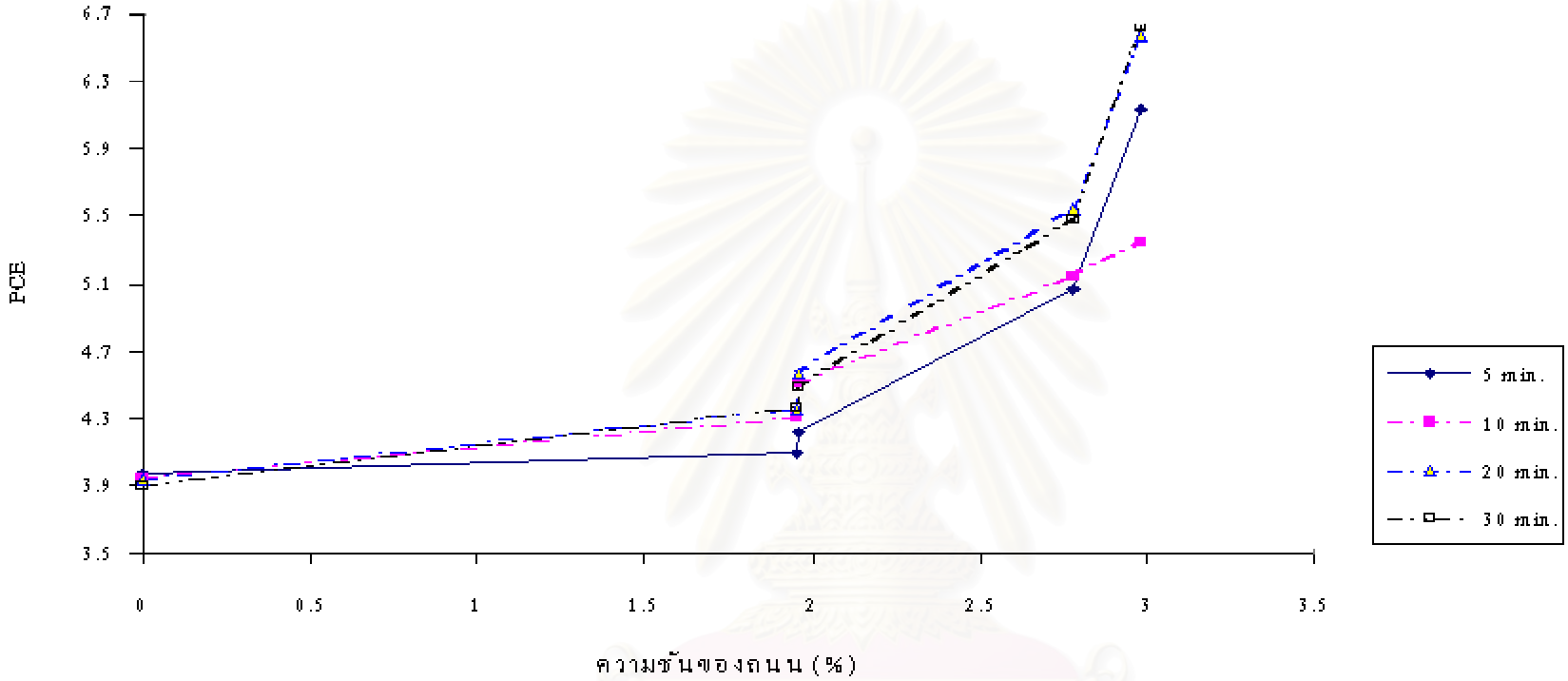
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อกับระดับความชันของถนน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



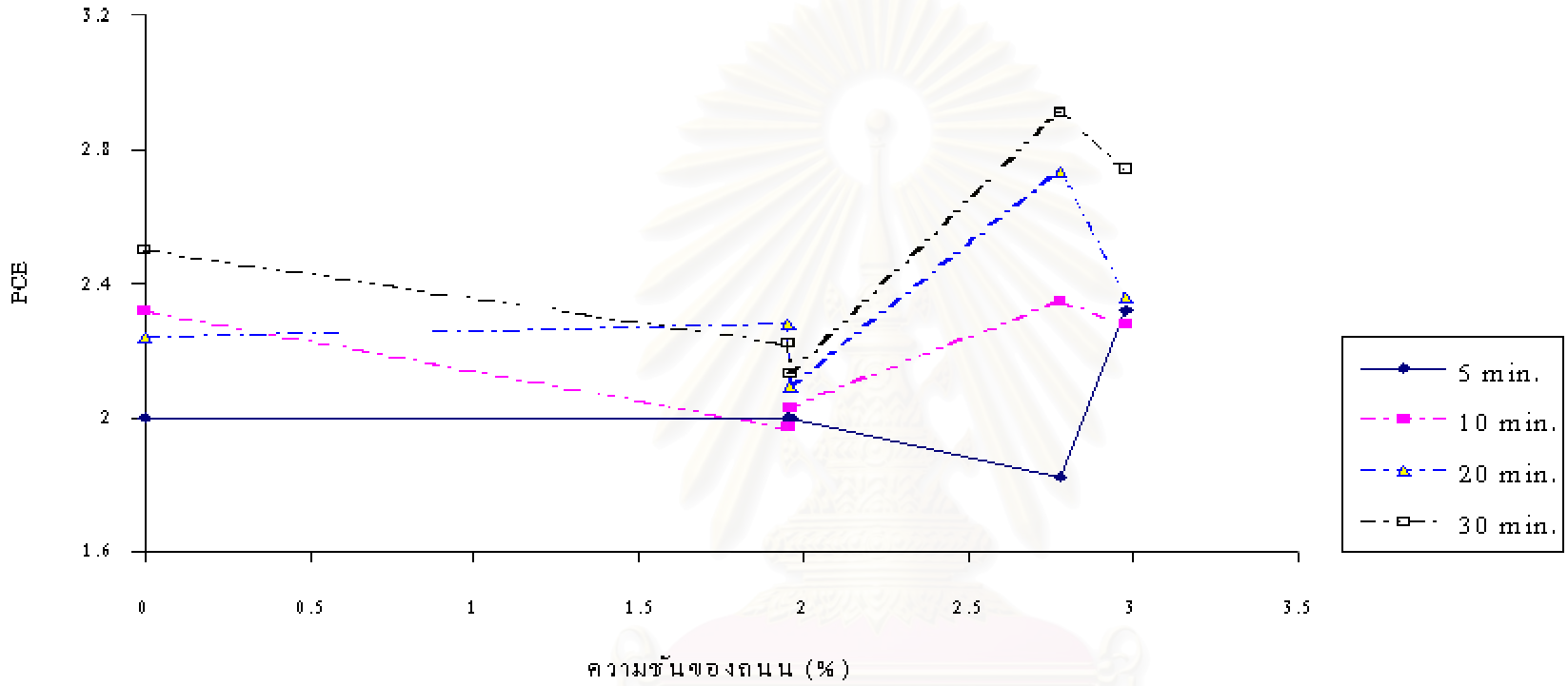
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อกับระดับความชันของถนน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกพ่วงกับระดับความชันของถนน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์โดยสารกับระดับความชันของถนน
(เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-3 ถึง 4-6 พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลกับระดับความชันของถนนมีความสัมพันธ์ในลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเส้นกราฟข้อมูลที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ต่างกันมีลักษณะใกล้เคียงกัน ยกเว้นในรูปที่ 4-6 ที่กราฟมีลักษณะแตกต่างกันมาก ซึ่งหมายถึงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันเดียวกันมีค่าต่างกันเมื่อใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ต่างกัน แสดงถึงความไม่เสถียรภาพของข้อมูล

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการเฉลี่ยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกันในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-7 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (ไม่พิจารณาอิทธิพลจากการจราจรทิศตรงข้าม)

ระดับความชัน(%)	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล			
	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร
0	2.49	3.20	3.94	1.67
1.95	2.65	3.61	4.28	2.18
1.96	2.63	3.76	4.46	2.06
2.78	2.76	4.12	5.31	2.45
2.98	2.86	4.34	6.17	2.43

จากตารางที่ 4-7 พบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความชันของถนนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเห็นได้ชัดว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันใกล้เคียงกันมีค่าใกล้เคียงกันแสดงถึงความเชื่อถือได้ของผลที่ได้จากการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 หากพิจารณาถึงอิทธิพลของการจราจรที่อยู่ในทิศตรงข้าม

การวิเคราะห์ได้ทดสอบอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่อิทธิพลของจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามอยู่ในรูปเชิงเส้นและรูปแบบที่อยู่ในรูปเชิงซ้อน

4.3.2.1 รูปแบบที่อิทธิพลของจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามอยู่ในรูปเชิงเส้น

จากรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในกรณีที่ไม่ได้พิจารณาถึงยานพาหนะทิศทางตรงข้าม ($Y_i = a_i X_i$) ในหัวข้อ 4.2.1 สามารถเพิ่มการพิจารณาอิทธิพลของจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามได้โดยใช้รูปสมการเชิงเส้น ดังนี้

$$Y_i = (a_i + b_i f) X_i \qquad \text{.....(4-3)}$$

โดยที่ X_i คือ ค่าอัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะประเภทที่พิจารณาต่อจำนวนยานพาหนะทั้งหมดของข้อมูลที่ i

Y_i คือ ค่าอัตราส่วนของจำนวนครั้งของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานต่อจำนวนกลุ่มของยวดยานทั้งหมดของข้อมูลที่ i

f คือ จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามต่อชั่วโมง (1,000คัน/ชั่วโมง)

$a_i b_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ

ซึ่งสามารถตรวจสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของการจราจรในทิศตรงข้ามได้จากค่า b_i การจราจรทิศตรงข้ามมีแนวโน้มที่จะมีอิทธิพลหากค่า b_i นี้แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละประเภทคำนวณได้จากการนำค่า$(a_i+b_i f)$ ของยานพาหนะประเภทนั้น ณ ระดับต่าง ๆ ของค่า f มาเปรียบเทียบกับค่า $(a_i+b_i f)$ ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ค่า f เดียวกัน การวิเคราะห์ได้แบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 5 นาที 10 นาที 20 นาทีและ 30 นาที ตามลำดับ ดังเช่นที่ได้นำเสนอไปแล้ว

สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ที่ระดับความชันของถนนและช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สรุปดังตารางที่ ก-6 ถึง ก-10 ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ ก-6 ถึง ก-10 พบว่า เมื่อใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกัน ค่าสัมประสิทธิ์ a_i และ b_i ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับยานพาหนะอื่น ๆ ค่า b_i มีค่าไม่มากนักกล่าวคือ มีค่าไม่ถึง 1 ทำให้แปรความหมายได้ว่า จำนวนยานพาหนะทิศทางตรงข้ามมีอิทธิพลกับอัตราการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานเพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ $(a_i+b_i f)$ เมื่อแทนค่า f ด้วย 0.5 ซึ่งเป็นจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามเฉลี่ย 500 คันต่อชั่วโมง (หน่วย:1000คัน/ชั่วโมง) จะได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-8

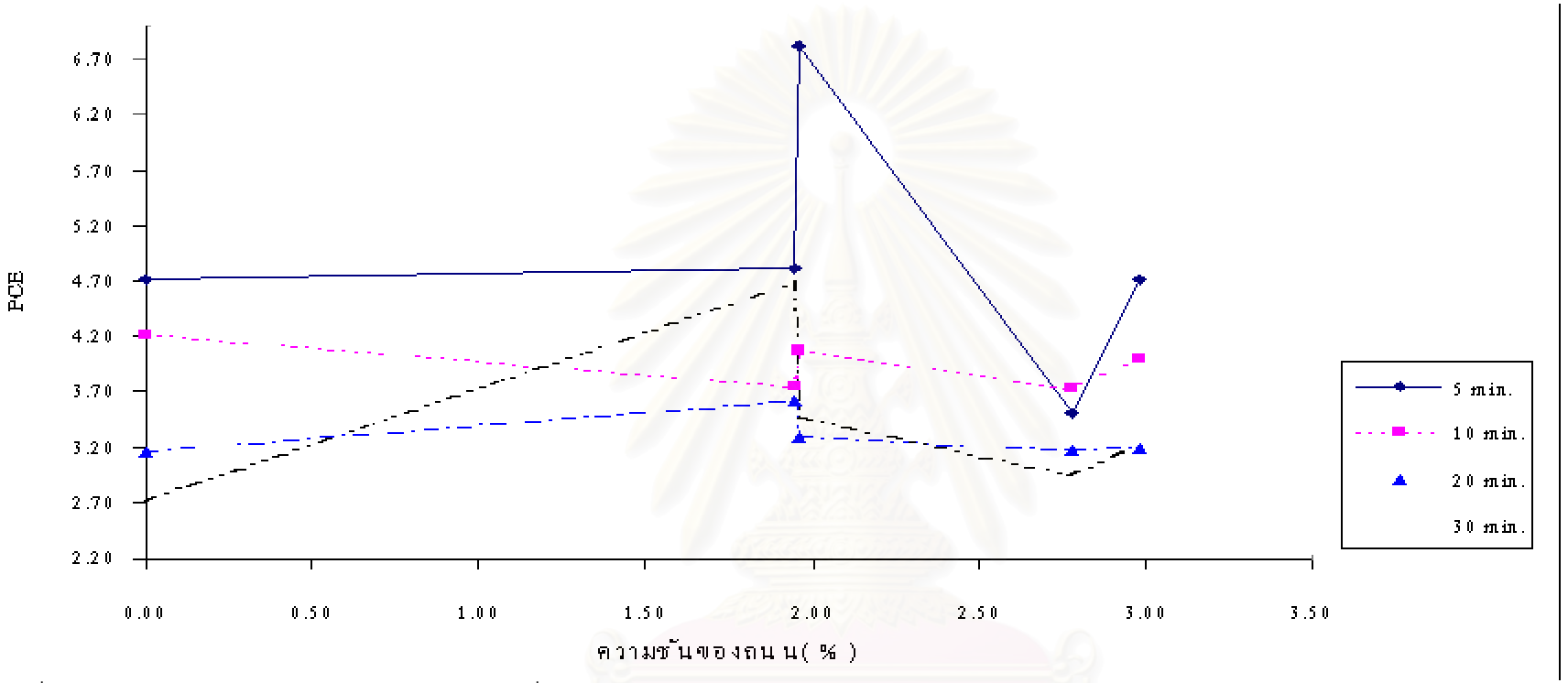
จากตารางที่ 4-8 พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีแนวโน้มที่จะมีค่าลดลง ในช่วงเวลาในการวิเคราะห์ 5 นาที รถยนต์บรรทุก 6 ล้อมีค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมากกว่ารถยนต์บรรทุก 10 ล้อและรถยนต์บรรทุกพ่วง แต่เมื่อใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้นค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อจะน้อยกว่า นอกจากนี้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบางค่ายังเปลี่ยนแปลงไม่สอดคล้องกับระดับความชันที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีค่าลดลงเมื่อระดับความชันเพิ่มขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละประเภทกับระดับความชันของถนนแสดงดังรูปที่ 4-7 ถึง 4-10 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเมื่อระดับความชันของถนนเปลี่ยนไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

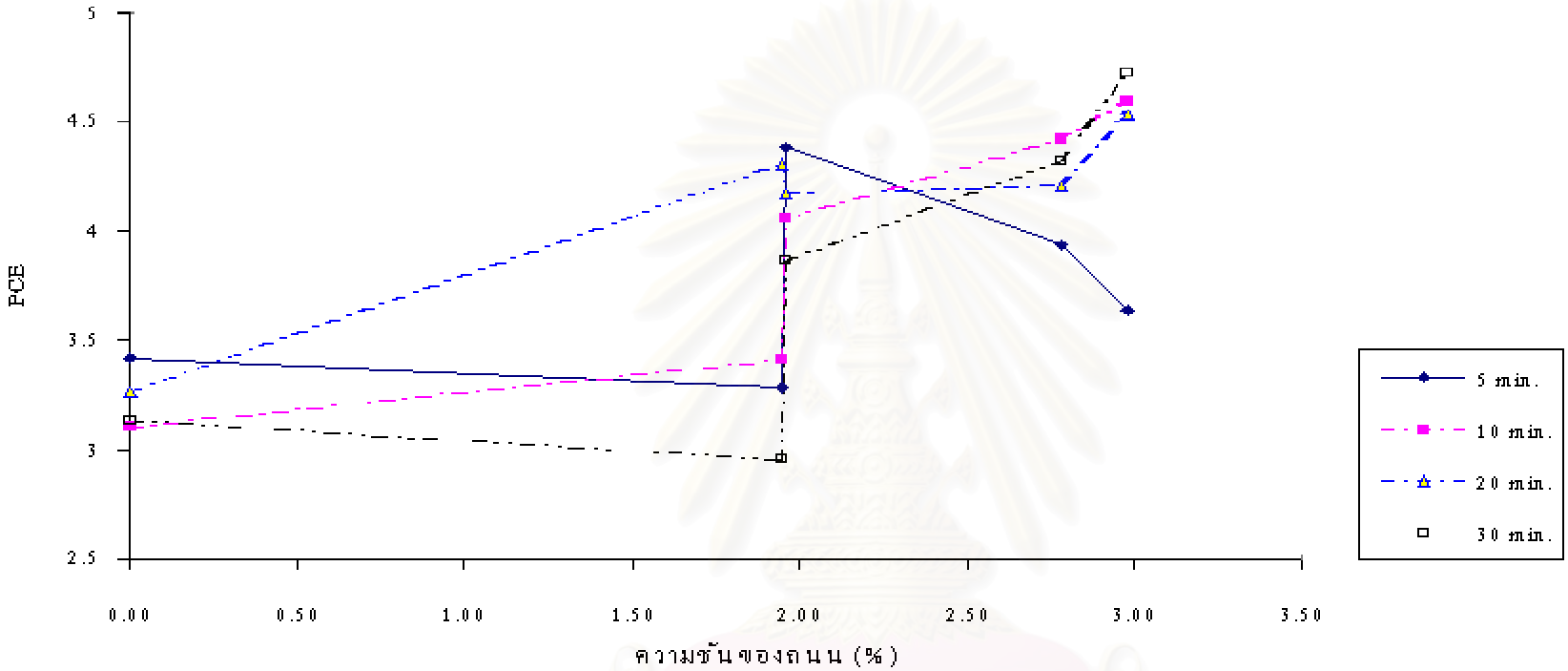
ตารางที่ 4-8 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลเมื่อวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาต่อ 1 จุดข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	4.72	4.21	3.17	2.72
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.42	3.10	3.26	3.13
รถบรรทุกพ่วง	4.06	3.89	3.93	3.93
รถโดยสาร	2.83	2.65	2.43	2.49
ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาต่อ 1 จุดข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	4.81	3.75	3.62	4.69
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.28	3.41	4.31	2.95
รถบรรทุกพ่วง	3.81	4.18	4.65	3.41
รถโดยสาร	2.78	2.87	2.66	2.70
ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาต่อ 1 จุดข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	6.82	4.08	3.30	3.48
รถบรรทุก 10 ล้อ	4.38	4.06	4.17	3.86
รถบรรทุกพ่วง	5.81	5.65	5.11	4.45
รถโดยสาร	3.21	3.40	3.08	3.24
ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาต่อ 1 จุดข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	3.50	3.73	3.18	2.95
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.94	4.42	4.21	4.32
รถบรรทุกพ่วง	4.86	5.70	4.64	5.49
รถโดยสาร	3.42	3.24	3.50	3.21
ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์				
ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาต่อ 1 จุดข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถบรรทุก 6 ล้อ	4.72	4.00	3.20	3.22
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.64	4.59	4.53	4.72
รถบรรทุกพ่วง	5.33	6.78	6.64	6.75
รถโดยสาร	3.33	3.12	3.42	3.51



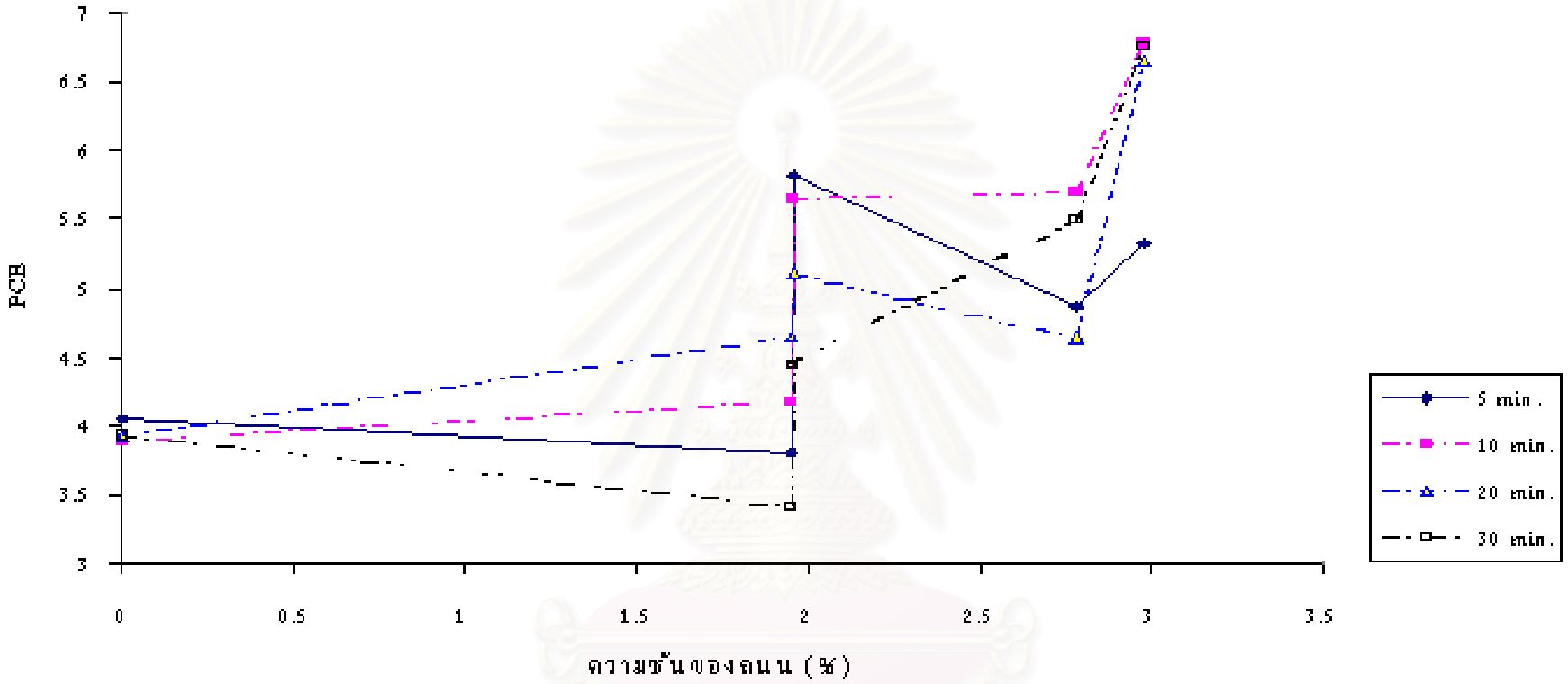
รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อกับระดับความชัน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและพิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



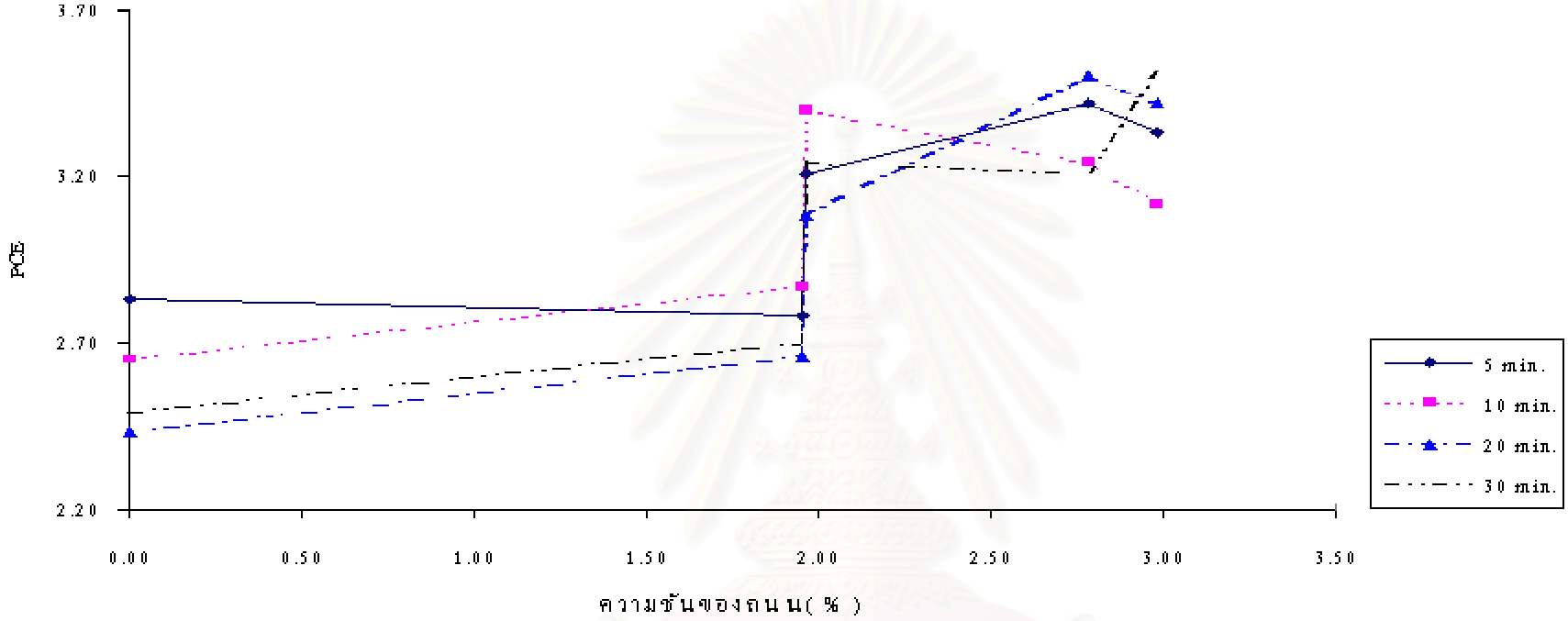
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อกับระดับความชัน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและพิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกพ่วงกับระดับความชัน
(เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและพิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์โดยสารกับระดับความชัน (เมื่อวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานและพิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4-7 ถึง 4-10 เห็นได้ชัดว่าเส้นกราฟแตกต่างกันมาก ซึ่งแสดงถึงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันเดียวกันแต่เวลาในการวิเคราะห์ต่างกันมีค่าต่างกันมาก นอกจากนี้ที่ระดับความชันใกล้กัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลก็มีค่าแตกต่างกัน ทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในผลที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ 4-9 แสดงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการเฉลี่ยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกันในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-9 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน (พิจารณาอิทธิพลจากการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ระดับความชัน(%)	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล			
	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร
0	3.17	3.26	3.93	2.43
1.95	3.62	4.31	4.65	2.66
1.96	3.30	4.17	5.11	3.08
2.78	3.18	4.21	4.64	3.50
2.98	3.20	4.53	6.64	3.42

จากตารางที่ 4-9 พบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อระดับความชันของถนนเพิ่มขึ้น ที่ระดับความชันเดียวกัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยรถยนต์บรรทุกพ่วงจะมีค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสาร และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4-7 พบว่าค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของตารางที่ 4-9 มีค่ามากกว่าตารางที่ 4-7 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการนำการอิทธิพลของจราจรทิศตรงข้ามซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานมาพิจารณาในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

4.3.2.2 รูปแบบที่อิทธิพลของจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามอยู่ในรูปเชิงซ้อน

จากสมการเชิงเส้น 4-2 อิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามอาจนำมาพิจารณาเพิ่มเติมได้ด้วยสมการเชิงซ้อนดังนี้

$$y = a_i (b_i^{cf}) X_i \qquad \text{.....(4-4)}$$

โดยที่ X_i คือ ค่าอัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะประเภทที่พิจารณาต่อจำนวนยานพาหนะทั้งหมดของข้อมูลที่ i

Y_i คือ ค่าอัตราส่วนของจำนวนครั้งของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานต่อจำนวนกลุ่มของยวดยานทั้งหมดของข้อมูลที่ i

f คือ จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามรวมทุกประเภทหารด้วย 1000

a_i b_i และ c_i คือ สัมประสิทธิ์ในสมการ

ภายใต้สมการ 4-4 สามารถตรวจสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของการจราจรในทิศตรงข้ามได้จากค่า b_i และ c_i การจราจรทิศตรงข้ามมีแนวโน้มที่จะมีอิทธิพลหากค่า b_i แตกต่างจาก 1 อย่างมีนัยสำคัญและ c_i แตกต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญ

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละประเภท คำนวณได้โดยนำค่า $a_i(b_i^{cf})$ ของยานพาหนะประเภทนั้นเมื่อแทนค่า f มาเปรียบเทียบกับค่า $a_i(b_i^{cf})$ ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ค่า f เดียวกัน

สมการความสัมพันธ์ที่ระดับความชันของถนนและช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สำหรับช่วงเวลา 5 นาที 10 นาที 20 นาทีและ 30 นาที สรุปดังตารางที่ ก-11 ถึง ก-15 ในภาคผนวก ก

จากตารางที่ ก-11 ถึง ก-15 พบว่าสัมประสิทธิ์ c_i ไม่ต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถสรุปผลได้ว่า ยานพาหนะทิศตรงข้ามไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญเพียงพอต่อการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานตามหลัง นอกจากนี้แล้วสัมประสิทธิ์ a_i มีค่าแปรปรวนเมื่อเปลี่ยนช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลถึงแม้จะเป็นที่ระดับความชันเดียวกันก็ตาม

ผลการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลในหัวข้อ 4.3.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามมาร่วมในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยาน ผลการคำนวณที่ได้มีค่าไม่เสถียรเมื่อขยายช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล ที่ระดับความชันเดียวกันค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีค่าแตกต่างกันมากไม่ว่าจะวิเคราะห์ด้วยวิธีใดก็ตาม

4.4 วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน (Platoon Follower)

การวิเคราะห์ได้นำข้อมูลจากการสำรวจมาสร้างแบบจำลองเชิงเส้นหลายตัวแปรที่มีรูปแบบ ดังนี้

$$\text{No.of Followers} = B_1(\text{Pax})+B_2(\text{T6})+B_3(\text{T10})+B_4(\text{Tr})+B_5(\text{Bus})+B_6(\text{Ttl})(\text{Op}) \quad .....(4\text{-}5)$$

โดยที่ B_1 ถึง B_6 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง

No. of Followers คือ จำนวนยานพาหนะที่อยู่ในกลุ่มของยวดยาน (คัน/ช่วงเวลา)

Pax คือ จำนวนรถยนต์ส่วนบุคคล (คัน/ช่วงเวลา)

T6 คือ จำนวนรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ (คัน/ช่วงเวลา)

T10 คือ จำนวนรถยนต์บรรทุก 10 ล้อ (คัน/ช่วงเวลา)

Tr คือ จำนวนรถยนต์บรรทุกพ่วง (คัน/ช่วงเวลา)

Bus คือ จำนวนรถยนต์โดยสาร (คัน/ช่วงเวลา)

Op คือ จำนวนยานพาหนะทิศตรงข้าม (คัน/ช่วงเวลา)

Ttl คือ จำนวนยานพาหนะรวมในทิศทางหลัก (คัน/ช่วงเวลา)

ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลหาได้จากการเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของยานพาหนะแต่ละประเภท (B_n) กับค่าสัมประสิทธิ์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (B_1)

อนึ่ง แบบจำลองเชิงเส้นหลายตัวแปรดังกล่าว เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทุกตัวแปรจะต้องเป็นบวก เนื่องจากยานพาหนะแต่ละประเภทมีส่วนทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยานแตกต่างกัน ดังนั้นกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรมีค่าติดลบจะต้องถูกถอดออกจากสมการ ซึ่งรวมถึงตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

แบบจำลองความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4-5 และค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะแต่ละประเภทแยกตามระดับความชันต่าง ๆ ที่ใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ 5 นาที 10 นาที 20 นาทีและ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4-10

จากตารางที่ 4-10 พบว่าบางช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไม่สามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากตัวแปรทุกตัวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงพอ และสามารถหาได้เพียงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อและรถยนต์บรรทุกพ่วงเท่านั้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวเนื่องกับรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์โดยสารและการจราจรทิศตรงข้ามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ต้องถอดตัวแปรเหล่านี้ออกจากสมการ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันเดียวกันแต่ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกันของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อและรถยนต์บรรทุกพ่วงที่ได้มีค่าไม่คงที่และไม่เพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยานกับจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ระดับความชัน(%)	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ (นาที)	แบบจำลองความสัมพันธ์	R^2	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล				
				รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	ยานพาหนะทิศตรงข้าม
0	5	No. of Follower = 0.455(PAX)+0.833(T10)+1.752(Tr)	0.931	-	1.83	3.85	-	-
	10	No. of Follower = 0.418(PAX)+0.867(T10)+1.936(Tr)	0.944	-	2.07	4.63	-	-
	20	No. of Follower = 0.288(PAX)+0.941(T10)+2.699(Tr)	0.957	-	3.27	9.37	-	-
	30	-	-	-	-	-	-	-
1.95	5	No. of Follower = 0.205(PAX)+2.125(T6)+1.445(T10)+1.883(Tr)	0.855	10.37	7.05	9.19	-	-
	10	No. of Follower = 0.186(PAX)+1.908(T6)+1.605(T10)+1.973(Tr)	0.895	10.25	8.23	10.61	-	-
	20	No. of Follower = 0.302(PAX)+1.831(T10)+1.884(Tr)	0.913	-	6.06	6.24	-	-
	30	No. of Follower = 0.323(PAX)+1.694(T10)+1.946(Tr)	0.922	-	5.24	6.02	-	-
1.96	5	No. of Follower = 0.438(PAX)+1.085(Tr)	0.902	-	-	2.25	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-	-
	30	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 (ต่อ) แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยานกับจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทและค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ระดับความชัน(%)	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ (นาที)	แบบจำลองความสัมพันธ์	R^2	ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล				
				รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร	ยานพาหนะทิศตรงข้าม
2.78	5	No. of Follower = 0.553(PAX)+0.788(T6)+0.872(T10)+0.851(Tr)	0.940	1.42	1.58	1.54	-	-
	10	No. of Follower = 0.540(PAX)+0.898(T10)+1.230(Tr)	0.957	-	1.66	2.28	-	-
	20	No. of Follower = 0.529(PAX)+1.049(T10)+1.153(Tr)	0.965	-	1.98	2.18	-	-
	30	-	-	-	-		-	-
2.98	5	No. of Follower = 0.531(PAX)+0.870(T10)+0.722(Tr)	0.902	-	1.64	1.36	-	-
	10	No. of Follower = 0.564(PAX)+0.712(T10)+0.686(Tr)	0.927	-	1.26	1.22	-	-
	20	No. of Follower = 0.611(PAX)+0.793(T10)+0.385(Tr)	0.937	-	1.30	0.63	-	-
	30	-	-	-	-	-	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลและผลการคำนวณ

เมื่อคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีการวิเคราะห์ต่าง ๆ กันทั้ง 3 วิธีแล้ว ทำให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีรวมทั้งสามารถเปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากแต่ละวิธีด้วย ดังนี้

- วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร

ข้อดีของการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจรคือ เป็นวิธีที่นำความเร็วของยานพาหนะซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้วัดประสิทธิภาพการเคลื่อนตัวของยานพาหนะมาพิจารณา แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลภาคสนามอันเนื่องมาจากการจับเวลาที่ยานพาหนะขับผ่านจุดที่กำหนด ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ครบทุกประเภทของยานพาหนะและพบว่าค่าที่วิเคราะห์ได้ไม่มีเสถียรภาพ นอกจากนี้ในการสร้างแบบจำลองยังต้องใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก

- วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน

ข้อดีของวิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานเมื่อไม่ได้พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามคือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีค่าค่อนข้างเสถียร มีความสะดวกในการคำนวณ ไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมชั้นสูงและยังแสดงถึงปัจจัยที่มีผลมาจากยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ได้ชัดเจน ได้แก่ จำนวนกลุ่มของยวดยานที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะประเภทนั้น ๆ รวมทั้งเป็นดัชนีที่ใช้วัดระดับการให้บริการของถนนสองช่องทางจราจร แต่ทั้งนี้มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบกับการเกิดขึ้นของกลุ่มของยวดยาน นอกจากนี้ยังไม่ได้บ่งชี้ถึงระดับนัยสำคัญของปัจจัยที่นำมาพิจารณาเนื่องจากปัจจัยบางตัวมีจำนวนข้อมูลน้อย เช่น จำนวนรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ จำนวนรถยนต์รถโดยสาร เป็นต้น

การคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยพิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามมีข้อดีคือ นำจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามมาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์นอกเหนือจากจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ที่อยู่ในกระแสจราจรทิศทางหลัก อย่างไรก็ตามการนำจำนวนยานพาหนะทิศตรงข้ามมาพิจารณาทำให้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่มีเสถียรภาพ

- วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน

ข้อดีคือ ได้ลักษณะสำคัญทางสถิติและเห็นถึงระดับนัยสำคัญและยังนำอิทธิพลของการจราจรทิศทางตรงข้ามมาพิจารณาเป็นปัจจัยหนึ่งในแบบจำลองความสัมพันธ์ด้วย ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์มีค่าไม่เสถียร ไม่สามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้เป็นจำนวนมาก การสร้างแบบจำลองลักษณะนี้จึงต้องอาศัยข้อมูลที่มีความแปรปรวนน้อยและใช้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก

เพื่อให้เห็นผลการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากแต่ละวิธีให้ชัดเจนมากขึ้นจึงแสดงเปรียบเทียบดังตารางที่ 4-11 โดยเลือกค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ช่วงเวลาในการพิจารณา 20 นาทีเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่สามารถลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้พอสมควรรวมทั้งยังมีจำนวนข้อมูลที่เพียงพอในทางสถิติอีกด้วย

จากตารางที่ 4-11 พบว่า

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานในแต่ละวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน และถ้านำอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามมาพิจารณาร่วมในการวิเคราะห์ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จะมีค่ามากกว่าวิธีวิเคราะห์ที่มิได้พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้าม

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยานพาหนะ

- ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยานพาหนะมีค่าไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง กล่าวคือ ไม่เพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในบางระดับความชันยังไม่สามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้

ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ

วิธีวิเคราะห์	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร
ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์				
ความเร็วของกระแสจราจร	-	1.67	2.14	-
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน				
● ไม่พิจารณายานพาหนะทิศตรงข้าม	2.49	3.20	3.94	1.67
● พิจารณาในรูปเชิงเส้น	3.17	3.26	3.93	2.43
การตามกลุ่มของยวดยาน	-	3.27	9.37	-
ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์				
ความเร็วของกระแสจราจร	-	2.42	3.01	-
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน				
● ไม่พิจารณายานพาหนะทิศตรงข้าม	2.65	3.61	4.28	2.18
● พิจารณาในรูปเชิงเส้น	3.62	4.31	4.65	2.66
การตามกลุ่มของยวดยาน	-	6.06	6.24	-
ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์				
ความเร็วของกระแสจราจร	-	2.71	3.19	-
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน				
● ไม่พิจารณายานพาหนะทิศตรงข้าม	2.63	3.76	4.46	2.06
● พิจารณาในรูปเชิงเส้น	3.30	4.17	5.11	3.08
การตามกลุ่มของยวดยาน	-	-	-	-
ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์				
ความเร็วของกระแสจราจร	-	3.15	3.55	-
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน				
● ไม่พิจารณายานพาหนะทิศตรงข้าม	2.76	4.12	5.31	2.45
● พิจารณาในรูปเชิงเส้น	3.18	4.21	4.64	3.50
การตามกลุ่มของยวดยาน	-	1.98	2.18	-
ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์				
ความเร็วของกระแสจราจร	-	3.11	3.84	-
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน				
● ไม่พิจารณายานพาหนะทิศตรงข้าม	2.86	4.34	6.17	2.43
● พิจารณาในรูปเชิงเส้น	3.20	4.53	6.64	3.42
การตามกลุ่มของยวดยาน	-	1.30	0.63	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาจากข้อดีและข้อเสียของวิธีคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากการวิเคราะห์ด้วยปัจจัยต่าง ๆ รวมทั้งผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า วิธีที่เหมาะสมที่สุดในการหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรคือ วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยานพาหนะ เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความเสถียร เชื่อมั่นได้ รวมทั้งยังสามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะได้ครบทุกประเภท นอกจากนี้ยังมีความสะดวกในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

ช่วงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ทั้งหมดที่คัดเลือกในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ช่วงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ระดับความชัน(%)	ช่วงของค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล			
	รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	รถยนต์บรรทุกพ่วง	รถยนต์โดยสาร
0	2.49-3.17	1.67-3.26	2.24-3.94	1.67-2.43
1.95	2.65-3.62	2.42-4.31	3.01-4.65	2.18-2.66
1.96	2.63-3.30	2.71-4.17	3.19-5.11	2.06-3.08
2.78	2.76-3.18	3.15-4.21	3.55-5.31	2.45-3.50
2.98	2.86-3.20	3.11-4.53	3.84-6.64	2.43-3.42

4.6 ตรวจสอบอิทธิพลของปริมาณการจราจรที่มีต่อการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

เมื่อคัดเลือกวิธีการที่ใช้ในการคำนวณพร้อมทั้งได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลแล้ว จะทำการทดสอบถึงอิทธิพลของปริมาณการจราจรที่มีต่อการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทุก ๆ ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17-.00 น.โดยแต่ละชั่วโมงจะมีปริมาณการจราจรแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 4-13 และ 4-14

ตารางที่ 4-13 ปริมาณการจราจรรายชั่วโมงในการเก็บข้อมูลวันที่ 1

ระดับความชัน (%)	ปริมาณการจราจร (คัน/ชั่วโมง)						
	9.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00
0	269	270	263	345	303	279	283
1.95	385	385	318	332	249	262	316
1.96	222	232	256	249	215	259	266
2.78	281	223	250	261	318	324	360
2.98	184	208	219	205	250	261	289

ตารางที่ 4-14 ปริมาณการจราจรรายชั่วโมงในการเก็บข้อมูลวันที่ 2

ระดับความชัน (%)	ปริมาณการจราจร (คัน/ชั่วโมง)						
	9.00 - 10.00	10.00 - 11.00	11.00 - 12.00	13.00 - 14.00	14.00 - 15.00	15.00 - 16.00	16.00 - 17.00
0	257	238	290	293	268	230	247
1.95	271	265	274	305	370	288	278
1.96	217	237	221	213	242	248	254
2.78	281	223	250	261	318	324	360
2.98	198	226	190	223	229	250	257

จากตารางที่ 4-13 ถึง 4-14 พบว่าปริมาณการจราจรในแต่ละชั่วโมงของการเก็บข้อมูลทั้ง 2 วันไม่แตกต่างกันมาก โดยมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงบ่าย

เมื่อคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทุก ๆ ชั่วโมงด้วยวิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน เมื่อใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ 5 นาทีจะได้ผลดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลรายชั่วโมงเมื่อวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน

ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์							
ประเภทยานพาหนะ	เวลา						
	9.00-	10.00-	11.00-	13.00-	14.00-	15.00-	16.00-
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.42	2.38	2.39	2.45	2.37	2.24	2.39
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.19	3.20	3.33	3.41	3.14	3.32	3.20
รถบรรทุกพ่วง	3.95	3.97	3.90	3.81	3.78	3.98	3.97
รถโดยสาร	2.24	2.34	2.14	2.28	2.50	2.44	2.49
ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์							
ประเภทยานพาหนะ	เวลา						
	9.00-	10.00-	11.00-	13.00-	14.00-	15.00-	16.00-
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.71	2.64	2.68	2.58	2.75	2.55	2.77
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.75	3.65	3.43	3.67	3.58	3.74	3.69
รถบรรทุกพ่วง	4.22	4.21	4.35	4.16	4.08	4.29	4.31
รถโดยสาร	2.24	2.31	2.14	2.11	1.98	2.14	2.35
ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์							
ประเภทยานพาหนะ	เวลา						
	9.00-	10.00-	11.00-	13.00-	14.00-	15.00-	16.00-
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.74	2.59	2.64	2.58	2.49	2.66	2.79
รถบรรทุก 10 ล้อ	3.67	3.84	3.91	3.85	3.84	3.76	3.77
รถบรรทุกพ่วง	4.52	4.44	4.49	4.50	4.60	4.32	4.39
รถโดยสาร	2.04	2.13	2.18	2.22	2.10	2.19	2.01
ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์							
ประเภทยานพาหนะ	เวลา						
	9.00-	10.00-	11.00-	13.00-	14.00-	15.00-	16.00-
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.79	2.72	2.88	2.79	2.80	2.66	2.89
รถบรรทุก 10 ล้อ	4.01	3.98	4.19	4.21	4.11	4.10	3.96
รถบรรทุกพ่วง	5.12	5.13	5.24	5.09	5.14	5.21	5.11
รถโดยสาร	2.11	2.14	1.99	2.10	2.14	2.35	2.44
ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์							
ประเภทยานพาหนะ	เวลา						
	9.00-	10.00-	11.00-	13.00-	14.00-	15.00-	16.00-
รถบรรทุก 6 ล้อ	2.90	2.91	2.81	2.84	2.78	2.96	2.84
รถบรรทุก 10 ล้อ	4.21	4.13	4.15	4.29	3.98	4.15	4.20
รถบรรทุกพ่วง	6.15	5.98	5.88	6.15	5.98	6.24	6.30
รถโดยสาร	2.34	2.29	2.34	2.47	2.44	2.30	2.19

จากตารางที่ 4-15 พบว่า เมื่อคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทุกชั่งโมงตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะเป็นในช่วงเช้าหรือช่วงบ่ายที่มีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากข้อมูลที่ใช้ในวิธีการวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานนั้นเป็นค่าอัตราส่วนทั้งสิ้น ได้แก่ ค่าอัตราส่วนของการเป็นผู้นำกลุ่มและค่าอัตราส่วนของยวดยานพาหนะแต่ละประเภท ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากทั้งในช่วงเช้าและช่วงบ่าย จึงทำให้ปริมาณการจราจรที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลด้วยวิธีการนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลสำหรับรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทยโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้

- เพื่อศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวคิด วิธีการและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจร

- เพื่อพิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมกับประเทศไทยในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย

- เพื่อคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารบนถนนสองช่องทางจราจรในประเทศไทย

การนำเสนอสรุปผลการศึกษาครั้งนี้จะจัดแบ่งหัวข้อตามวัตถุประสงค์ข้างต้นดังนี้

5.1 ศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวคิด วิธีการและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้อง

การศึกษา วิจัยและวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะบนถนนสองช่องทางจราจรสามารถดำเนินการได้โดยหลายวิธีการ ในแต่ละวิธีจะมีทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลแตกต่างกันไป แบ่งออกได้ดังนี้

- การใช้ความเร็ว

มีพื้นฐานในการวิเคราะห์จากหลักการว่า การลดลงของความเร็วมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่เพิ่มขึ้น ยวดยานแต่ละประเภทจะทำให้ความเร็วลดลงในระดับที่ต่างกันไป โดยที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะได้จากการเปรียบเทียบการลดลงของความเร็วซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้าม

- การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน

แนวคิดของวิธีวิเคราะห์คือ กลุ่มของยวดยานจะเกิดขึ้นจากยานพาหนะที่ขับเร็วตามมาถึงยานพาหนะที่ขับช้าและไม่สามารถที่จะขับแซงไปได้ รถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารมีความเร็วและความสามารถในการเร่งความเร็วต่ำกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล จึงมีโอกาสที่จะถูกยานพาหนะที่ขับเร็วขับตามได้ทันมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล เมื่อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลตามทันยานพาหนะขนาดใหญ่ จะเกิดความยากลำบากในการที่จะขับแซง ดังนั้นยานพาหนะขนาดใหญ่จึงมีแนวโน้มที่จะเป็นผู้ที่ก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานสูงกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

- การตามกลุ่มของยวดยาน

การเคลื่อนตัวของยานพาหนะที่เป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานจะไม่ถูกกีดขวางจากยานพาหนะอื่น ๆ ยานพาหนะที่เป็นผู้ตามมักจะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบจากการลดลงของการให้บริการของถนนมากที่สุด ได้แก่ การถูกกีดขวาง การก่อให้เกิดความล่าช้าหรือแม้แต่การก่อให้เกิดการแซงที่ไม่ปลอดภัย ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยาน โดยการวิเคราะห์ตั้งอยู่บนแนวความคิดที่ว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนของผู้ตามมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรในทิศทางหลัก

- อัตราการแซง

เมื่อยานพาหนะอยู่ภายใต้สภาพภูมิประเทศทางลาดชันที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นหรือภูมิประเทศที่เป็นภูเขา สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้จากค่าการกระจายของความเร็วของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถยนต์บรรทุก ณ ปริมาณการจราจรที่กำหนดสำหรับความยาวของถนนช่วงหนึ่ง โดยแยกการกระจายของความเร็วเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมพัทธ์ของจำนวนยานพาหนะที่ทำการแซงต่อระยะทางและยานพาหนะแต่ละคันจะต้องวิ่งด้วยความเร็วปกติภายใต้สภาพการจราจรและลักษณะทางกายภาพที่กำหนด

- Time Headway

เหมาะสำหรับการจราจรที่เกิดขึ้นในภูมิประเทศราบและระดับการให้บริการของถนนต่ำ ใช้แนวคิดว่า รถยนต์บรรทุกจะใช้พื้นที่บนถนนมากกว่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล ดังนั้นจะทำให้ความ

สามารถในการรองรับปริมาณการจราจรลดลง วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการวัดช่วงเวลาระหว่างยานพาหนะและความเร็วของยานพาหนะโดยไม่ได้พิจารณาถึงการแซงหรือความต้องการที่จะแซงและมีสมมติฐานว่ามียานพาหนะเพียง 2 ประเภทอยู่ในกระแสจราจรเท่านั้น

- ความล่าช้า

ประมาณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้จากการนำความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอันเนื่องจากยานพาหนะที่ไม่ใช่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลคันอื่น

5.2 พิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมกับประเทศไทยในการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

จากการศึกษา ทบทวนทฤษฎี แนวคิด วิธีการและการศึกษาที่ผ่านมา เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งสิ้น 3 วิธี ได้แก่

- วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร
- วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน
- วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มยวดยาน

ทั้งนี้ด้วยเหตุผล 3 ประการคือ

1 เป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลที่หน้าสนามทันทีไม่ต้องมีการนำมาถอดข้อมูลภายหลัง ทำให้เกิดการประหยัดเวลาในการวิเคราะห์

2 เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนหรือมีราคาสูง

3 เป็นวิธีที่สอดคล้องกับปัจจัยที่นำมาใช้ในการอธิบายถึงคุณภาพของการบริการของถนน อันได้แก่ ค่าความเร็วในการเดินทางเฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ของความล่าช้าซึ่งวัดในรูปของจำนวนยานพาหนะในกลุ่มของยวดยานและการใช้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรของถนน

5.3 คำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

ในการศึกษาครั้งนี้ เลือกจุดพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 5 จุดที่มีระดับความชันต่าง ๆ กันบนทางหลวงหมายเลข 36 พัทยา-ระยอง (สายเก่า) ถนนดังกล่าวมีลักษณะเป็นทางหลวงสองช่องทางจราจรเชื่อมต่อระหว่างจังหวัดชลบุรีกับจังหวัดระยอง เมื่อรวบรวมข้อมูลจากภาคสนามแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่เลือกไว้ ดังนี้

- **วิธีวิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร**

เมื่อนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองเชิงเส้นหลายตัวแปรที่แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรกับจำนวนยานพาหนะประเภทต่าง ๆ แล้ว พบว่า ค่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรมีค่าลดลงเมื่อระดับความชันเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความชันของถนนที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ระดับความชันใกล้เคียงกัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันใกล้เคียงกันมีค่าแตกต่างกันโดยเฉพาะค่าของยานพาหนะทิศตรงข้าม แสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของแบบจำลอง นอกจากนี้ยังไม่สามารถคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 6 ล้อกับรถยนต์โดยสารได้เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงพอ และแบบจำลองความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ต่ำจึงมีความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติต่ำ

- **วิธีวิเคราะห์จากการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน**

แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

-กรณีที่ 1 ไม่พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้าม

เมื่อสร้างสมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยานกับเปอร์เซ็นต์ของจำนวนยานพาหนะแล้ว พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เรียงตามลำดับจากค่าสูงที่สุดไปยังค่าที่ต่ำที่สุด คือ รถยนต์บรรทุกพ่วง รถยนต์บรรทุก 10 รถยนต์บรรทุก 6 ล้อและรถยนต์โดยสาร โดยที่ระดับความชันใกล้เคียงกัน ค่าเทียบเท่า

รถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าใกล้กันมาก นอกจากนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวยังมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่อนข้างสูง วิธีวิเคราะห์นี้จึงมีความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติสูง

-กรณีที่ 2 พิจารณาถึงอิทธิพลของการจราจรที่อยู่ในทิศตรงข้าม

ทดสอบอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามใน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่อิทธิพลของยานพาหนะทิศตรงข้ามอยู่ในรูปเชิงเส้นและรูปแบบที่อิทธิพลของยานพาหนะทิศตรงข้ามอยู่ในรูปเชิงซ้อน โดยสามารถตรวจสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของการจราจรในทิศตรงข้ามได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของจราจรทิศตรงข้ามซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีอิทธิพลหากค่านี้แตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญ

ผลจากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า อิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามมีนัยสำคัญถ้าใช้รูปแบบที่อยู่ในรูปเชิงเส้น แต่จะไม่มีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาให้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงซ้อน เมื่อคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้มีค่าปรวนแปรมาก กล่าวคือ ที่ระดับความใกล้เคียงกัน ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าแตกต่างกันมาก จึงทำให้วิธีวิเคราะห์นี้ไม่มีความน่าเชื่อถือ ผลการคำนวณดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้ามมาพิจารณาร่วมในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยาน ผลการคำนวณที่ได้มีค่าไม่เสถียรเมื่อขยายช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล ที่ระดับความชันเดียวกันค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้มีค่าแตกต่างกันมากไม่ว่าจะวิเคราะห์ด้วยวิธีใดก็ตาม

5.3.2.3 **วิธีวิเคราะห์จากการตามกลุ่มของยวดยาน** (Platoon Follower)

เมื่อสร้างแบบจำลองเชิงเส้นหลายตัวแปรมีรูปแบบที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนยานพาหนะในกลุ่มของยวดยานกับจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทแล้ว พบว่าบางช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไม่สามารถหาสมการความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากตัวแปรทุกตัวไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงพอ และสามารถหาได้เพียงค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อและรถยนต์บรรทุกพ่วงเท่านั้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวเนื่องกับรถยนต์บรรทุก 6 ล้อ รถยนต์โดยสารและการจราจรทิศตรงข้ามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ต้องถอดตัวแปรเหล่านี้ออกจากสมการ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับ

ความชันเดียวกันแต่ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างกันของรถยนต์บรรทุก 10 ล้อและรถยนต์บรรทุกพ่วงที่ได้มีค่าไม่คงที่และไม่เพิ่มขึ้นตามระดับความชันที่เพิ่มขึ้น ทำให้วิธีวิเคราะห์นี้ไม่มีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 วิธี แสดงให้เห็นว่า วิธีที่เหมาะสมกับการคำนวณหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนถนนสองช่องทางจราจรคือ วิธีวิเคราะห์จากการเกิดกลุ่มของยวดยานเมื่อไม่ได้พิจารณาอิทธิพลของการจราจรทิศตรงข้าม เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ค่าที่มีเสถียรภาพสูงและยังสามารถหาค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้ครบทุกประเภทของยานพาหนะ ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การเกิดกลุ่มของยวดยานแสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากการวิเคราะห์การเกิดกลุ่มของยวดยาน

ประเภทของยานพาหนะ	ระดับความชันของถนน (%)		
	0	1.95-1.96	2.78-2.98
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	2.49	2.63	2.86
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	3.20	3.76	4.34
รถยนต์บรรทุกพ่วง	3.94	4.46	6.17
รถยนต์โดยสาร	1.67	2.06	2.43

เมื่อนำผลการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับภูมิประเทศทางราบของ Van Aerde and Yagar ที่ใช้พื้นฐานในการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน จะได้ผลแสดงดังตารางที่ 5-2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกที่ได้จากผลการศึกษาของ Van Aerde and Yagar และผลการศึกษาครั้งนี้

วิธีวิเคราะห์	Van Aerde and Yagar	ผลการศึกษาครั้งนี้
ความเร็วของกระแสจราจร	6.1	1.67
การก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยาน	1.81	3.20
การตามกลุ่มของยวดยาน	1.23	3.27

จากตารางที่ 5-2 พบว่า ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากความเร็วของกระแส

จราจรที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่าผลการคำนวณของ Van Aerde and Yagar แต่ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์จากอีก 2 วิธีที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะมีค่ามากกว่าผลการคำนวณของ Van Aerde and Yagar ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากประเภทของรถบรรทุกและระดับความชันของถนนที่ต่างกัน จึงทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันถึงแม้ว่าจะใช้พื้นฐานในการวิเคราะห์เดียวกันก็ตาม

5.4 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการศึกษานี้จะได้ค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลของรถยนต์บรรทุกและรถยนต์โดยสารก็ตาม แต่ข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ก็อาจมีความบกพร่องอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมในการศึกษาต่อ ๆ ไป ดังนี้

- ควรจัดทำค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันหลาย ๆ ระดับมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถทราบค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ระดับความชันใด ๆ

- ควรจัดทำค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่จุดพื้นที่ศึกษาที่มีจำนวนยานพาหนะทุกประเภทมากพอที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์

- ควรจัดทำค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากความเร็วโดยใช้เครื่องมือที่สามารถวัดความเร็วของยานพาหนะได้แม่นยำเพื่อความถูกต้องของข้อมูล

- ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกที่มีผลกับค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล

- ควรศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ที่มีสัดส่วนของรถยนต์โดยสารมากกว่าการศึกษาครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

Craus, J.; Polus, A.;and Grinberg, I. 1980. A Revised Method for the Determination of Passenger Car Equivalencies. Transportation Research. Vol 14 A : 241-246.

Cunagin, W.D., and Messer , C. J. 1982. Passenger Car Equivalents for Rural Highways. Transportation Research Record. 905 : 61-68.

Elefteriadou, L.; Torbic, D. ;and Webster, N. 1997. Development of Passenger Car Equivalents for Freeways,Two-lane Highways,and Arterials. Transportation Research Record. 1572 : 51-58

Mcshane, W.R., and R. P. Roess. 1990.Traffic Engineering. Englewood Cliffs, N.J. : PrenticeHall Inc.

Pignataro, L.J. 1973. Traffic Engineering Theory and Practice. Englewood Cliffs, N.J. : PrenticeHall Inc.

Roess,R.P., and Mcshane, W.R.1987.Capacity and Level-of-Service Concepts in The Highway Capacity Manual. ITE Journal. Vol 54 No. 4 : 27-30.

St. John, A.D. 1976. Nonlinear Truck Factor for Two-lane Highway. Transportation Research Record. 615 : 49-53.

Transportation Research Board .1965. Special Report 87 Highway Capacity Manual. Washington D.C. : National Research Council.

Transportation Research Board. 1994. Special Report 209 Highway Capacity Manual.3rd ed. Washington D.C. : National Research Council.

Van Arede, M., and Yagar , S. 1984. Capacity, Speed, and Platooning Vehicles Equivalents for Two-Lane Rural Highways. Transportation Research Record. 971 : 58-67.

Werner, A., Morral, J.F., and Halls, G. 1975. Effect of Recreational Vehicle on Highway Capacity. Traffic Engineering. Vol 45 No. 5 : 20-25.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก-1 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = 0.527X R^2 = 0.787	Y = 0.525X R^2 = 0.877	Y = 0.531X R^2 = 0.787	Y = 0.539X R^2 = 0.971
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = 1.258X R^2 = 0.327	Y = 1.331X R^2 = 0.523	Y = 1.346X R^2 = 0.618	Y = 1.406X R^2 = 0.754
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = 1.685X R^2 = 0.777	Y = 1.664X R^2 = 0.873	Y = 1.729X R^2 = 0.952	Y = 1.693X R^2 = 0.543
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = 2.081X R^2 = 0.725	Y = 2.083X R^2 = 0.802	Y = 2.104X R^2 = 0.897	Y = 2.11X R^2 = 0.913
รถยนต์โดยสาร	Y = 1.000X R^2 = 0.099	Y = 1.221X R^2 = 0.215	Y = 1.072X R^2 = 0.227	Y = 1.361X R^2 = 0.521

ตารางที่ ก-2 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = 0.440X R^2 = 0.696	Y = 0.439X R^2 = 0.776	Y = 0.455X R^2 = 0.824	Y = 0.442X R^2 = 0.858
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = 1.186X R^2 = 0.372	Y = 1.129X R^2 = 0.493	Y = 1.170X R^2 = 0.664	Y = 1.118X R^2 = 0.809
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = 1.636X R^2 = 0.777	Y = 1.596X R^2 = 0.863	Y = 1.618X R^2 = 0.951	Y = 1.513X R^2 = 0.956
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = 1.798X R^2 = 0.725	Y = 1.892X R^2 = 0.773	Y = 1.936X R^2 = 0.909	Y = 1.924X R^2 = 0.933
รถยนต์โดยสาร	Y = 0.886X R^2 = 0.174	Y = 0.896X R^2 = 0.230	Y = 0.947X R^2 = 0.262	Y = 0.898X R^2 = 0.390

ตารางที่ ก-3 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.746X$ $R^2 = 0.881$	$Y = 0.750X$ $R^2 = 0.956$	$Y = 0.747X$ $R^2 = 0.979$	$Y = 0.747X$ $R^2 = 0.982$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 2.026X$ $R^2 = 0.281$	$Y = 1.942X$ $R^2 = 0.556$	$Y = 1.894X$ $R^2 = 0.633$	$Y = 1.998X$ $R^2 = 0.719$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 2.679X$ $R^2 = 0.662$	$Y = 2.835X$ $R^2 = 0.848$	$Y = 2.854X$ $R^2 = 0.935$	$Y = 2.811X$ $R^2 = 0.971$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 3.146X$ $R^2 = 0.516$	$Y = 3.494X$ $R^2 = 0.689$	$Y = 3.454X$ $R^2 = 0.859$	$Y = 3.300X$ $R^2 = 0.790$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 1.481X$ $R^2 = 0.453$	$Y = 1.500X$ $R^2 = 0.488$	$Y = 1.548X$ $R^2 = 0.638$	$Y = 1.566X$ $R^2 = 0.766$

ตารางที่ ก-4 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.487X$ $R^2 = 0.778$	$Y = 0.483X$ $R^2 = 0.867$	$Y = 0.470X$ $R^2 = 0.935$	$Y = 0.472X$ $R^2 = 0.944$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 1.312X$ $R^2 = 0.559$	$Y = 1.320X$ $R^2 = 0.642$	$Y = 1.297X$ $R^2 = 0.728$	$Y = 1.286X$ $R^2 = 0.808$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 1.928X$ $R^2 = 0.782$	$Y = 1.954X$ $R^2 = 0.874$	$Y = 1.972X$ $R^2 = 0.938$	$Y = 2.016X$ $R^2 = 0.963$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 2.459X$ $R^2 = 0.799$	$Y = 2.482X$ $R^2 = 0.855$	$Y = 2.606X$ $R^2 = 0.931$	$Y = 2.574X$ $R^2 = 0.936$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 0.862X$ $R^2 = 0.151$	$Y = 1.321X$ $R^2 = 0.527$	$Y = 1.321X$ $R^2 = 0.527$	$Y = 1.342X$ $R^2 = 0.518$

ตารางที่ ก-5 สมการเส้นตรงความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (ไม่พิจารณาการจราจรทิศตรงข้าม)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.430X$ $R^2 = 0.698$	$Y = 0.425X$ $R^2 = 0.819$	$Y = 0.421X$ $R^2 = 0.901$	$Y = 0.419X$ $R^2 = 0.911$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 1.207X$ $R^2 = 0.368$	$Y = 1.175X$ $R^2 = 0.568$	$Y = 1.235X$ $R^2 = 0.764$	$Y = 1.197X$ $R^2 = 0.770$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 1.686X$ $R^2 = 0.697$	$Y = 1.804X$ $R^2 = 0.834$	$Y = 1.865X$ $R^2 = 0.922$	$Y = 1.908X$ $R^2 = 0.958$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 2.636X$ $R^2 = 0.800$	$Y = 2.716X$ $R^2 = 0.896$	$Y = 2.744X$ $R^2 = 0.932$	$Y = 2.753X$ $R^2 = 0.955$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 0.989X$ $R^2 = 0.161$	$Y = 1.028X$ $R^2 = 0.217$	$Y = 0.967X$ $R^2 = 0.373$	$Y = 1.181X$ $R^2 = 0.554$

ตารางที่ ก-6 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = (0.62-0.09f)X$ $R^2 = 0.865$	$Y = (0.55-0.01f)X$ $R^2 = 0.900$	$Y = (0.62-0.17f)X$ $R^2 = 0.967$	$Y = (0.59-0.10f)X$ $R^2 = 0.971$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = (3.40-1.35)X$ $R^2 = 0.762$	$Y = (2.85-1.15f)X$ $R^2 = 0.794$	$Y = (1.88-0.38f)X$ $R^2 = 0.773$	$Y = (3.10-3.26f)X$ $R^2 = 0.787$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = (2.06-0.17f)X$ $R^2 = 0.885$	$Y = (1.94-0.53f)X$ $R^2 = 0.874$	$Y = (1.93-0.39f)X$ $R^2 = 0.954$	$Y = (1.13-1.11f)X$ $R^2 = 0.958$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = (1.48-1.72f)X$ $R^2 = 0.816$	$Y = (1.46+1.30f)X$ $R^2 = 0.814$	$Y = (1.35-1.50f)X$ $R^2 = 0.901$	$Y = (0.23+3.79f)X$ $R^2 = 0.930$
รถยนต์โดยสาร	$Y = (1.48+0.30f)X$ $R^2 = 0.821$	$Y = (1.24+0.38f)X$ $R^2 = .856$	$Y = (0.98+0.64f)X$ $R^2 = 0.942$	$Y = (1.14+0.40f)X$ $R^2 = 0.821$

ตารางที่ ก-7 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = (0.57-0.09f)X R^2 = 0.827	Y = (0.54-0.13f)X R^2 = 0.837	Y = (0.55-0.18f)X R^2 = 0.862	Y = (0.47+3.20f)X R^2 = 0.862
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = (2.13+0.76f)X R^2 = 0.781	Y = (0.79+1.96f)X R^2 = 0.769	Y = (1.40+0.34f)X R^2 = 0.895	Y = (0.69-0.50f)X R^2 = 0.902
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = (1.81-0.20f)X R^2 = 0.843	Y = (1.23+0.77f)X R^2 = 0.868	Y = (1.40+0.47f)X R^2 = 0.954	Y = (1.38-0.16f)X R^2 = 0.956
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = (1.87+0.23f)X R^2 = 0.716	Y = (2.07-0.20f)X R^2 = 0.809	Y = (1.16+1.72f)X R^2 = 0.914	Y = (1.62-0.23f)X R^2 = 0.951
รถยนต์โดยสาร	Y = (1.84-0.78f)X R^2 = 0.855	Y = (1.42-0.12f)X R^2 = 0.843	Y = (1.40-0.5f)X R^2 = 0.901	Y = (0.84+0.7f)X R^2 = 0.796

ตารางที่ ก-8 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = (0.88-0.24f)X R^2 = 0.908	Y = (0.92-0.38f)X R^2 = 0.957	Y = (0.96-0.47f)X R^2 = 0.980	Y = (0.62+0.28f)X R^2 = 0.982
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = (1.87+6.56f)X R^2 = 0.675	Y = (0.96+4.06f)X R^2 = 0.782	Y = (0.25+4.31f)X R^2 = 0.712	Y = (-1.62+8.54f)X R^2 = 0.781
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = (3.71-0.80f)X R^2 = 0.839	Y = (3.43-0.92f)X R^2 = 0.904	Y = (1.98+2.10f)X R^2 = 0.939	Y = (2.17+1.54f)X R^2 = 0.971
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = (3.66+1.45f)X R^2 = 0.709	Y = (3.21+1.86f)X R^2 = 0.872	Y = (2.43+2.56f)X R^2 = 0.896	Y = (6.23-5.67f)X R^2 = 0.884
รถยนต์โดยสาร	Y = (1.48+1.90f)X R^2 = 0.778	Y = (1.68+1.62f)X R^2 = 0.847	Y = (2.01+0.46f)X R^2 = 0.896	Y = (1.88+1.18f)X R^2 = 0.842

ตารางที่ ก-9 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = (0.53-0.02f)X R^2 = 0.834	Y = (0.49-0.10f)X R^2 = 0.867	Y = (0.35+0.22f)X R^2 = 0.935	Y = 0.41+0.11f)X R^2 = 0.943
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = (2.06-0.46f)X R^2 = 0.804	Y = (1.89-0.50f)X R^2 = 0.788	Y = (1.86-0.74f)X R^2 = 0.814	Y = (2.04-1.32f)X R^2 = 0.871
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = (2.10-0.07f)X R^2 = 0.843	Y = (1.24+1.41f)X R^2 = 0.884	Y = (1.48+0.97f)X R^2 = 0.939	Y = (2.46-0.87f)X R^2 = 0.963
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = (2.84-0.60f)X R^2 = 0.822	Y = (2.86-0.70f)X R^2 = 0.860	Y = (2.78-0.33f)X R^2 = 0.931	Y = (2.42+0.32f)X R^2 = 0.935
รถยนต์โดยสาร	Y = (2.34-1.10f)X R^2 = 0.843	Y = (2.77-2.68f)X R^2 = 0.814	Y = (2.54-1.82f)X R^2 = 0.834	Y = (2.66-2.30f)X R^2 = 0.886

ตารางที่ ก-10 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงเส้น)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = (0.57-0.12f)X R^2 = 0.831	Y = (0.44-0.09f)X R^2 = 0.849	Y = (0.35+0.14f)X R^2 = 0.899	Y = (0.65-0.48f)X R^2 = 0.913
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = (2.85-0.85f)X R^2 = 0.735	Y = (1.21-0.80f0X R^2 = 0.783	Y = (1.51-0.36f)X R^2 = 0.822	Y = (0.81+0.99f)X R^2 = 0.825
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = (1.38+0.98f)X R^2 = 0.783	Y = (1.84+0.01f)X R^2 = 0.851	Y = (2.13-0.49f)X R^2 = 0.925	Y = (1.77+0.29f)X R^2 = 0.955
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = (2.65+0.20f)X R^2 = 0.833	Y = (2.14+1.18f)X R^2 = 0.906	Y = (2.83-0.15f)X R^2 = 0.934	Y = (3.74-2.01f)X R^2 = 0.956
รถยนต์โดยสาร	Y = (2.56-1.70f)X R^2 = 0.852	Y = (2.87-3.24f)X R^2 = 0.951	Y = (2.83-2.82f)X R^2 = 0.753	Y = (2.66-2.48f)X R^2 = 0.841

ตารางที่ ก-11 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = 0.627X R^2 = 116	Y = 0.546X R^2 = 0.119	Y = 0.632X R^2 = 0.191	Y = 0.592X R^2 = 0.208
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = 3.513X R^2 = 0.350	Y = 2.689X R^2 = 0.365	Y = 1.890X R^2 = 0.135	Y = 1.754X R^2 = 0.213
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = 2.067X R^2 = 0.265	Y = 1.964X R^2 = 0.438	Y = 1.941X R^2 = 0.526	Y = 1.236X R^2 = 0.569
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = 1.546X R^2 = 0.180	Y = 1.571X R^2 = 0.438	Y = 1.518X R^2 = 0.084	Y = 0.883X R^2 = 0.231
รถยนต์โดยสาร	Y = 1.265X R^2 = 0.214	Y = 1.357X R^2 = 0.354	Y = 1.569X R^2 = 0.223	Y = 1.114X R^2 = 0.024

ตารางที่ ก-12 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.95 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	Y = 0.593X R^2 = 0.032	Y = 0.577X R^2 = 0.426	Y = 0.584X R^2 = 0.117	Y = 0.730X R^2 = 0.044
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	Y = 2.093X R^2 = 0.616	Y = 0.957X R^2 = 0.521	Y = 1.388X R^2 = 0.333	Y = 1.394X R^2 = 0.245
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	Y = 1.797X R^2 = 0.281	Y = 1.359X R^2 = 0.140	Y = 1.423X R^2 = 0.483	Y = 1.617X R^2 = 0.540
รถยนต์บรรทุกพ่วง	Y = 1.900X R^2 = 0.483	Y = 2.061X R^2 = 0.229	Y = 1.289X R^2 = 0.111	Y = 0.894X R^2 = 0.460
รถยนต์โดยสาร	Y = 1.447X R^2 = 0.221	Y = 1.997X R^2 = 0.334	Y = 1.425X R^2 = 0.014	Y = 1.011X R^2 = 0.224

ตารางที่ ก-13 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 1.96 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.582X$ $R^2 = 0.055$	$Y = 0.547X$ $R^2 = 0.256$	$Y = 0.542X$ $R^2 = 0.114$	$Y = 0.745X$ $R^2 = 0.056$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 2.114X$ $R^2 = 0.521$	$Y = 0.966X$ $R^2 = 0.456$	$Y = 1.455X$ $R^2 = 0.332$	$Y = 1.489X$ $R^2 = 0.226$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 1.885X$ $R^2 = 0.221$	$Y = 1.425X$ $R^2 = 0.255$	$Y = 1.533X$ $R^2 = 0.441$	$Y = 1.716X$ $R^2 = 0.521$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 1.902X$ $R^2 = 0.324$	$Y = 2.134X$ $R^2 = 0.222$	$Y = 1.324X$ $R^2 = 0.462$	$Y = 0.994X$ $R^2 = 0.255$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 1.667X$ $R^2 = 0.224$	$Y = 1.447X$ $R^2 = 0.189$	$Y = 1.756X$ $R^2 = 0.111$	$Y = 1.998X$ $R^2 = 0.113$

ตารางที่ ก-14 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.78 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.530X$ $R^2 = 0.100$	$Y = 0.488X$ $R^2 = 0.054$	$Y = 0.368X$ $R^2 = 0.025$	$Y = 0.417X$ $R^2 = 0.089$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 2.064X$ $R^2 = 0.443$	$Y = 1.894X$ $R^2 = 0.080$	$Y = 1.884X$ $R^2 = 0.196$	$Y = 1.470X$ $R^2 = 0.123$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 2.104X$ $R^2 = 0.191$	$Y = 1.403X$ $R^2 = 0.274$	$Y = 1.551X$ $R^2 = 0.287$	$Y = 1.901X$ $R^2 = 0.182$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 2.866X$ $R^2 = 0.043$	$Y = 2.893X$ $R^2 = 0.067$	$Y = 2.803X$ $R^2 = 0.061$	$Y = 2.407X$ $R^2 = 0.105$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 1.887X$ $R^2 = 0.178$	$Y = 1.498X$ $R^2 = 0.069$	$Y = 1.588X$ $R^2 = 0.244$	$Y = 1.856X$ $R^2 = 0.347$

ตารางที่ ก-15 สมการความสัมพันธ์ของวิธีการก่อให้เกิดกลุ่มของยวดยานที่ระดับความชัน 2.98 เปอร์เซ็นต์ (พิจารณาการจราจรทิศตรงข้ามในรูปเชิงซ้อน)

ประเภทยานพาหนะ	ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล			
	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	$Y = 0.542X$ $R^2 = 0.214$	$Y = 0.511X$ $R^2 = 0.038$	$Y = 0.447X$ $R^2 = 0.055$	$Y = 0.458X$ $R^2 = 0.087$
รถยนต์บรรทุก 6 ล้อ	$Y = 2.421X$ $R^2 = 0.234$	$Y = 1.998X$ $R^2 = 0.075$	$Y = 1.885X$ $R^2 = 0.222$	$Y = 1.664X$ $R^2 = 0.324$
รถยนต์บรรทุก 10 ล้อ	$Y = 2.448X$ $R^2 = 0.426$	$Y = 1.887X$ $R^2 = 0.357$	$Y = 1.668X$ $R^2 = 0.324$	$Y = 2.010X$ $R^2 = 0.158$
รถยนต์บรรทุกพ่วง	$Y = 2.947X$ $R^2 = 0.123$	$Y = 2.998X$ $R^2 = 0.047$	$Y = 2.852X$ $R^2 = 0.023$	$Y = 2.501X$ $R^2 = 0.104$
รถยนต์โดยสาร	$Y = 1.667X$ $R^2 = 0.223$	$Y = 1.884X$ $R^2 = 0.132$	$Y = 1.779X$ $R^2 = 0.058$	$Y = 2.010X$ $R^2 = 0.041$

ตัวอย่าง ตารางค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงเส้นหลายตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS (ใช้ในการคำนวณค่าเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่วิเคราะห์จากความเร็วของกระแสจราจร)

Model	R	R Square	Adjusted R square	Std. Error of theEstimate
1	.408	.167	.167	9.1451

a. Predictors: (constant),PAX,T6,T10Tr,BUS,OPP

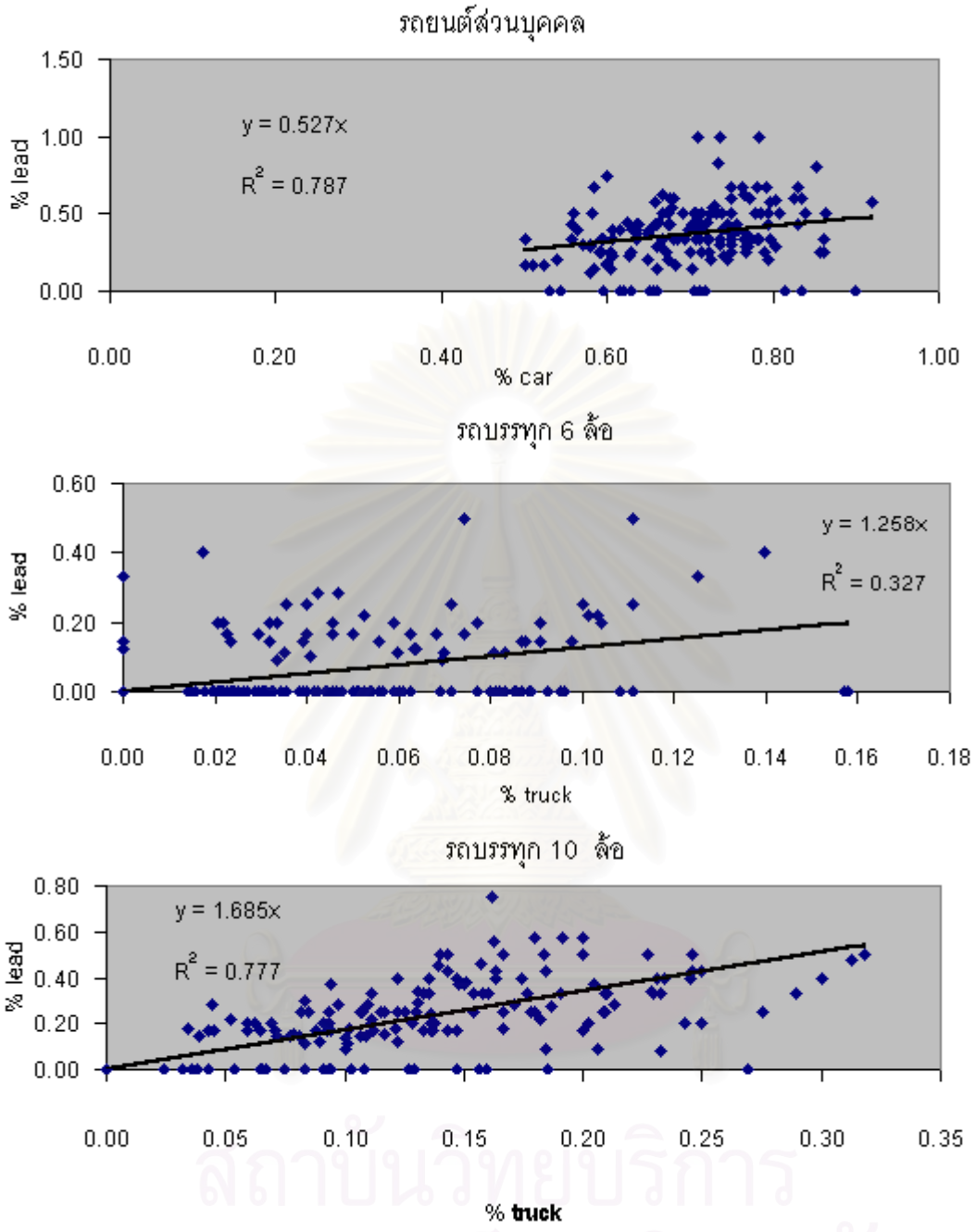
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Coefficients [a]

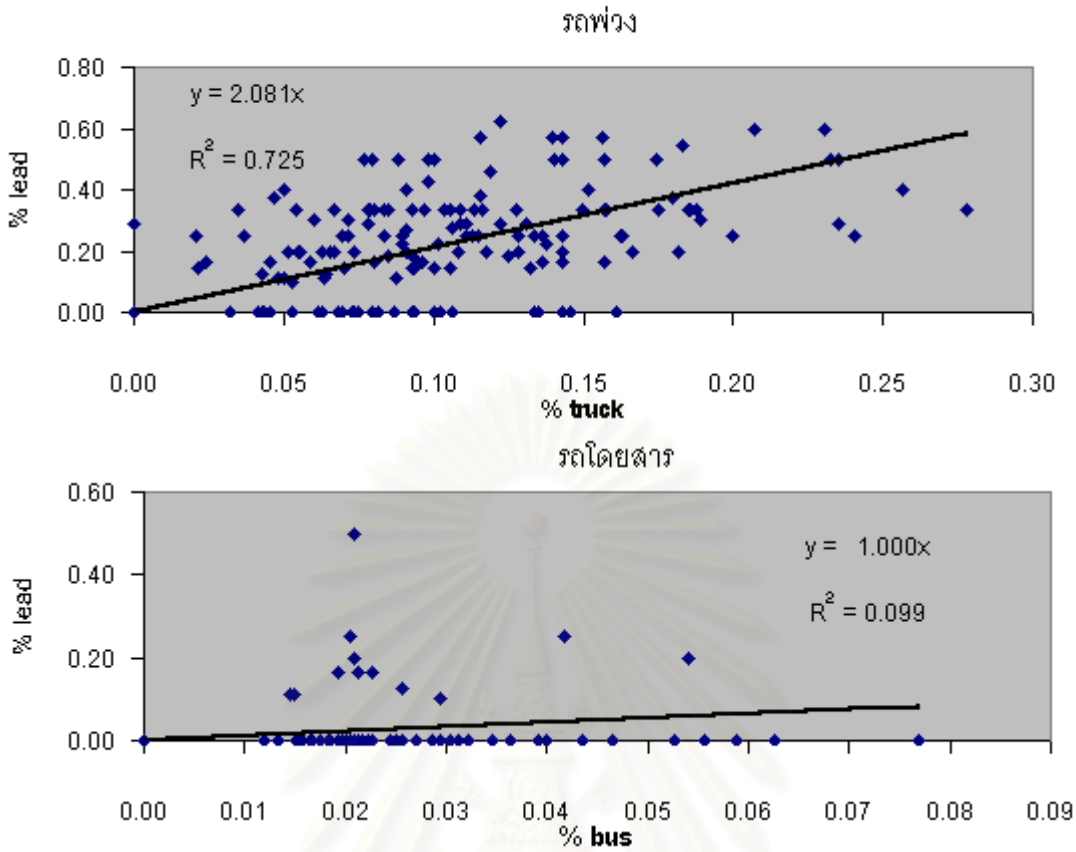
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	Beta		
1 (Constant)	82.942	19.968		-4.154	.001
PAX	-.183	.285	-.182	-2.691	.011
T6	-.421	.546	-.071	-.986	.330
T10	-.301	.346	-.278	-3.722	.001
Tr	-.388	.338	-.273	-3.752	.001
BUS	-.231	.075	-.031	-.460	.648
OPP	-8.48E-02	.490	-.042	-.639	.526

a. Dependent Variable: Speed

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

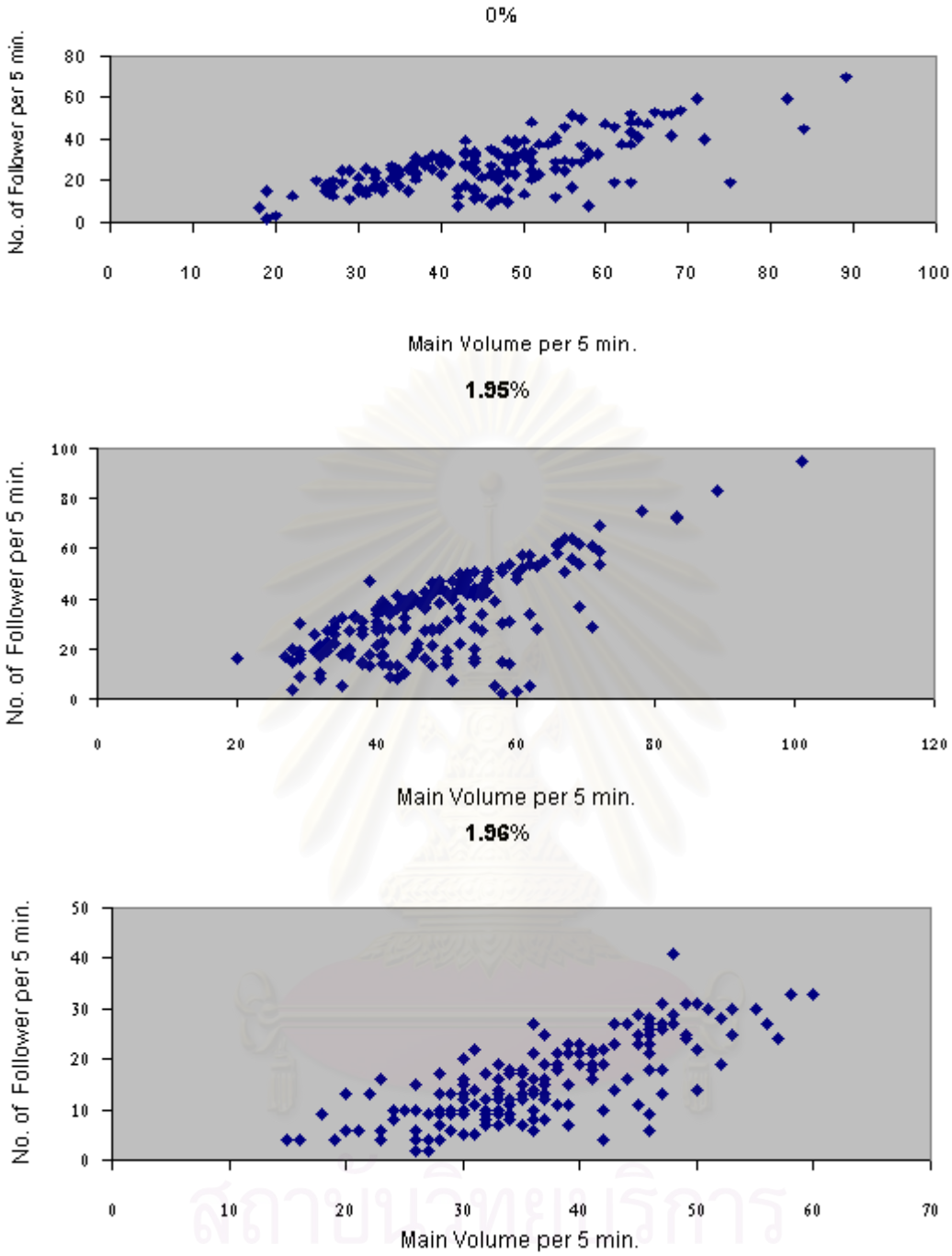


รูปที่ ก-1 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง " อัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในกระแสจราจร" กับ " อัตราส่วนของจำนวนครั้งการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยาน" (ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล 5 นาที)



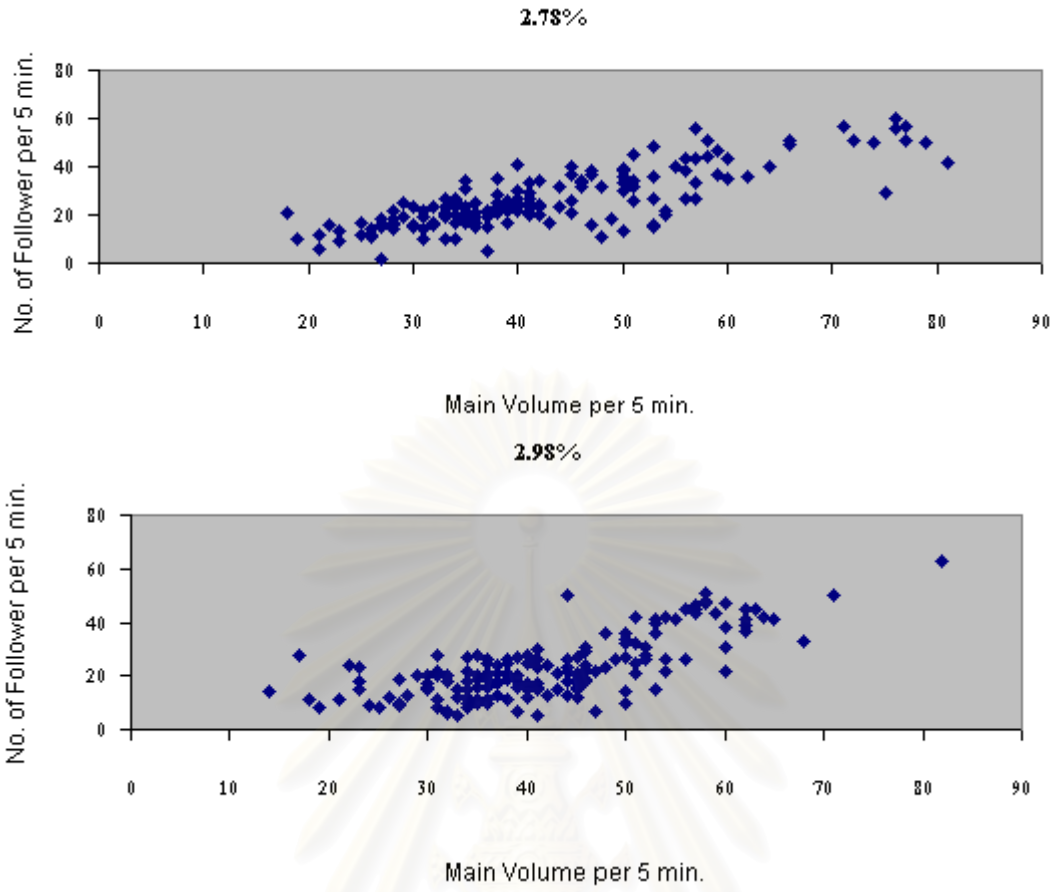
รูปที่ ก-1 (ต่อ) ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง " อัตราส่วนของจำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทในกระแสจราจร" กับ " อัตราส่วนของจำนวนครั้งการเป็นผู้นำกลุ่มของยวดยาน" (ระดับความชัน 0 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล 5 นาที)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรบนทิศทางหลักกับจำนวนผู้ตามกลุ่มของ ยวดยาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรบนทิศทางหลักกับจำนวนผู้ตามกลุ่มของยวดยาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย วิสูตร แสงอรุณเลิศ เกิดวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ที่อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เป็นบุตรคนแรกของนาย พิษณุ และนาง วีรวรรณ แสงอรุณเลิศ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย