



การประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถบริเวณเกาะกลาง
กรณีศึกษา : จุดกลับรถรูปแบบเพิ่มพื้นที่กลับรถบรรทุกและ
รูปแบบไม่เพิ่มพื้นที่กลับรถบรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร

โดย

นายธนกร ไชयरุ่งยศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประเมินประสิทธิภาพของจุดกัณฑ์บริเวณเกาะกลาง
กรณีศึกษา : จุดกัณฑ์แบบมีพื้นที่ที่กัณฑ์บรรทุกและ
แบบไม่มีพื้นที่ที่กัณฑ์บรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร

โดย

นายธนกร ไชयरุ่งยศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Performance Evaluation of U-Turn at Median Opening
Case Study: Conventional Median Opening with Loon
and without Loon on 4 Lanes Highways.

BY

Mr. TANAKORN CHAIYARUNGYOS

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2022
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายธนกร ไชयरุ่งยศ

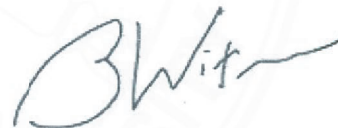
เรื่อง

การประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถบริเวณเกาะกลาง กรณีศึกษา :
จุดกลับรถแบบมีพื้นที่กลับรถบรรทุกและแบบไม่มีพื้นที่กลับรถบรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

เมื่อ วันที่ 22 กันยายน 2565

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญทรัพย์ วิชญาณกูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.ทรงฤทธิ์ ชยานันท์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.อีร์ เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถบริเวณเกาะกลางกรณีศึกษา : จุดกลับรถแบบมีพื้นที่ที่กลับรถบรรทุกและแบบไม่มีพื้นที่ที่กลับรถบรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร
ชื่อผู้เขียน	นายธนกร ไชयरุ่งยศ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วินัย รักสุนทร
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

จุดกลับรถบริเวณเกาะกลางนั้นเมื่อพิจารณาถึงปัญหาเพื่อปรับปรุงให้จุดกลับรถมีประสิทธิภาพและความปลอดภัย พบว่าสาเหตุหลัก 3 ประการ ประกอบไปด้วย (1) ปริมาณรถที่สามารถกลับรถได้, (2) ความยาวของช่องรอเลี้ยว, และ (3) การบดบังระยะมองเห็น โดยจากปัญหาดังกล่าวมักพบกับจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก และรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร สำหรับการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพจุดกลับรถ พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางแนวทางการบริหารจัดการด้วยแบบจำลองการจราจร จากผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยในการเปิดจุดกลับรถขึ้นอยู่ 2 ส่วนได้แก่ (1) ลักษณะกายภาพของจุดกลับรถ จำพวก ความยาวของช่องรอเลี้ยว, ขนาดของเกาะกลาง และความกว้างของเขตทาง และ (2) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรทางตรงฝั่งตรงกันข้ามและปริมาณรถกลับรถ โดยที่ความจุของการกลับรถสูงสุดอยู่ในช่วง 1,100-1,200 คันต่อชั่วโมง และจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณจราจรของรถทางหลักฝั่งตรงข้ามสูงขึ้น ในส่วนของผลของความยาวแถวคอยจะแปรผันตรงกับความจุของจุดกลับรถด้วย

คำสำคัญ: จุดกลับรถบริเวณเกาะกลาง, ความจุ, แบบจำลองการจราจร

Thesis Title	Performance Evaluation of U-Turn at Median Opening Case Study: Conventional Median Opening with Loon and without Loon on 4 Lanes Highways.
Author	Mr. Tanakorn Chaiyarungyos
Degree	Master of Civil Engineering
Major Field/Faculty/University	Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Winai Raksuntorn
Academic Year	2022

ABSTRACT

The U-Turn at-grade was considered the problems to improve efficiency and safety. There were 3 reasons. Consist of (1) Turning Volume, (2) Storage length, and (3) Limited Sight Distance. According to the main problems, Type of U-turn found the presence of a turn lane and the presence of loon on 4 lanes. The objective of this research was to analyze the efficiency of the U-Turn. and present alternatives for management with traffic simulation models. These research studies found. Factors in median opening depend on 2 parts. (1) U-Turn geometry, such as storage length, median width and right of way. and (2) The volume opposing through and U-Turn relationship has a capacity of about 1,100-1,200 vehicles per hour. and will decrease as the volume of opposition increases. As for the effect of queue length varying with the capacity of U-Turn.

Keywords: U-Turn at-grade, Capacity, Traffic Simulation Model

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย รักสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์และการเขียนบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์นวารสารทางวิชาการและช่วยเหลือแก้ไขให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งรองศาสตราจารย์ ดร.บุญทรัพย์ วิชญากร ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ และ ดร.ทรงฤทธิ์ ชยานันท์ กรรมการวิทยานิพนธ์ที่คอยติดตามแนะนำการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ผู้ที่มีส่วนร่วมในการให้เกี่ยวกับข้อมูลปริมาณจราจรและความเร็วบริเวณจุดกลับรถ จึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูที่ดี ให้กำลังใจทุกครั้งทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านปัญหาอุปสรรคมาได้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม

นายธนกร ไชยารุ่งยศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
ABSTRACT	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2.1 จุดกลับรถ (U-Turn)	6
2.2.2 คุณลักษณะของยานพาหนะ (Characteristics of Vehicles)	7
2.2.3 ปริมาณจราจร (Volume)	14
2.2.4 อัตราการไหล (Flow Rate)	14
2.2.5 ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด	14
2.2.6 ความเร็ว (Speed)	15
2.2.7 ความหนาแน่น (Density)	15
2.2.8 ระยะห่างยานพาหนะ (Headway and Spacing)	16
2.2.9 ความจุ (Capacity)	17
2.2.10 ความยาวของช่องรอเลี้ยว (Storage Length)	17
2.2.11 ลักษณะการมาของกระแสจราจร (Time Headway Distribution)	18
2.2.12 การกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)	22

2.2.13 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง (Gap acceptance)	22
2.2.14 การประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติในการสร้างแบบจำลองการจราจร	23
บทที่ 3	31
3.1 ข้อมูลลักษณะกายภาพ	32
3.2 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์	33
3.2.1 ข้อมูลการมาของยานพาหนะ (Vehicle Arrival Patterns)	33
3.2.2 ข้อมูลการกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)	34
3.2.3 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ใช้ในการกลับรถ	35
3.3 การสร้างแบบจำลอง	37
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง	37
3.5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	38
บทที่ 4	39
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลบริเวณจุดกลับรถ	39
4.1.1 ข้อมูลการมาของยานพาหนะ (Vehicle Arrival Patterns)	39
4.1.2 ข้อมูลการกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)	43
4.1.3 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ใช้ในการกลับรถ	51
4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	59
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง	60
4.3.1 การวิเคราะห์ความจุของจุดกลับรถเมื่อไม่มีข้อจำกัดของความยาวช่องรอเลี้ยว	60
4.3.2 การวิเคราะห์ความจุของจุดกลับรถสำหรับช่องรอเลี้ยวแต่ละขนาด	62
4.4 การประยุกต์ใช้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	66
บทที่ 5	69
5.1 สรุปผลการศึกษา	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
รายการอ้างอิง	70
ภาคผนวก	72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความกว้างที่เหมาะสม (เมตร) สำหรับจุดกลับรถ	6
2.2 รูปแบบสมการ Pearson Type III Distribution	20
2.3 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง	29
4.1 รูปแบบการกระจายตัวตามกระแสจราจรทางหลัก	43
4.2 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง รูปแบบไม่มีพื้นที่รถบรรทุก	52
4.3 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	53
4.4 ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ รูปแบบไม่มีพื้นที่เพิ่มสำหรับรถบรรทุก	56
4.5 ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	57
4.6 ระยะห่างในการกลับรถตามกัน รูปแบบไม่มีพื้นที่เพิ่มสำหรับรถบรรทุก	58
4.7 ระยะห่างในการกลับรถตามกัน รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	59
4.8 ผลการปรับเทียบแบบจำลองระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์	59

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล	7
2.2 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถบรรทุก 6 ล้อ	8
2.3 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถบรรทุก 10 ล้อ	9
2.4 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถโดยสาร	10
2.5 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถเทลเลอร์	11
2.6 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถเทลเลอร์	12
2.7 ขนาดและรัศมีเฉลี่ยต่ำสุดของรถบรรทุกชนิดพ่วง	13
2.8 องค์ประกอบของช่องรอเฉลี่ย	17
2.9 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Random Headway State	18
2.10 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Constant Headway State	19
2.11 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Intermediate Headway State	21
2.12 ตัวอย่างการวัดการกระจายตัวของความเร็ว	22
2.13 แสดงโชนการเปลี่ยนช่องจราจรในโปรแกรมจำลองสภาพจราจร	25
2.14 โครงข่ายถนนจริงและโครงข่ายถนนในแบบจำลอง	27
2.15 ตำแหน่งของถนนแต่ละประเภทในแบบจำลอง	27
2.16 แสดงประเภทของยานพาหนะในแบบจำลอง	28
2.17 ตัวอย่างโครงข่ายจำลองการ input section	29
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	31
3.2 ทางหลวงหมายเลข 346 กม. 23+990	32
3.3 ทางหลวงหมายเลข 226 กม. 6+546	32
3.4 ทางหลวงหมายเลข 340 กม. 4+141	33
3.5 ทางหลวงหมายเลข 304 กม. 38+500	33
3.6 ทฤษฎีการเปรียบเทียบทดสอบ Chi-Square	34
3.7 ระยะเวลาช่องว่างที่ปฏิเสธ (Rejected Gap)	36
3.8 ระยะเวลาที่ยอมรับช่องว่าง (Accept Gap)	36
3.9 ข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง	37
4.1 Time Headway Distribution ช่วงกระแสน้อยกว่า 600 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร	40

4.2 Time Headway Distribution ช่วงกระแส ตั้งแต่ 601 ถึง 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องทางจราจร	41
4.3 Time Headway Distribution กระแสจราจรมากกว่า 1,201 คันต่อชั่วโมงต่อช่องทางจราจร	42
4.4 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 1	44
4.5 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 1	45
4.6 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 2	46
4.7 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 2	47
4.8 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 3	48
4.9 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 3	49
4.10 การกระจายของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 4	50
4.11 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 4	51
4.12 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถยนต์ส่วนบุคคล รูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	52
4.13 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถยนต์ส่วนบุคคล รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	54
4.14 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถบรรทุก 6 ล้อ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	54
4.15 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถบรรทุก 10 ล้อ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	55
4.16 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างรถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	55
4.17 แบบจำลองจุดกลับรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก	60
4.18 แบบจำลองจุดกลับรถแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon)	60
4.19 ความจุของจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	61
4.20 ความจุของจุดกลับรถแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon)	62
4.21 ผลการคำนวณระยะในการลดความเร็วจนกระทั่งหยุด	63
4.22 ผลของความยาวแถวคอยรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	64
4.23 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 120 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	65
4.24 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 150 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	65
4.25 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 180 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก	66
4.26 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจุดกลับรถ	67
4.27 ลำดับการใช้งานในการบริหารจัดการประสิทธิภาพจุดกลับรถ	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันความต้องการในการใช้รถใช้ถนนมากขึ้น ทำให้ปริมาณจราจรบนถนนเพิ่มขึ้นและถนนบางส่วนในประเทศไทยยังขาดการจัดการที่ดีจึงเป็นผลให้พบปัญหาสำคัญคือ “อุบัติเหตุทางถนน” ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้สูญเสียทรัพย์สินและทรัพยากรบุคคล จากข้อมูลสถิติอุบัติเหตุย้อนหลังของกรมทางหลวงระหว่างปี พ.ศ. 2557 – 2563 พบว่า มีจำนวนมากกว่า 800 ครั้งต่อปี และสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งพบว่าในปี พ.ศ. 2563 มีจำนวนมากกว่า 1,000 ครั้งต่อปี โดยทั้งหมดเกิดขึ้น ณ จุดกัลบรถบริเวณเกาะกลาง (ข้อมูลปี พ.ศ. 2563; สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง) ซึ่งเป็นจำนวนสถิติการเกิดอุบัติเหตุที่สูงรองจากบริเวณทางตรงและทางโค้ง จุดกัลบรถบริเวณเกาะกลางนี้ถูกพิจารณาว่าเป็นหนึ่งในจุดที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย โดยรูปแบบของการชน จะเป็นการชนท้ายยานพาหนะที่รอกัลบรถ หรือการชนยานพาหนะที่กำลังกัลบรถที่มีความเร็วต่ำกับยานพาหนะวิ่งทางตรงที่มีความเร็วสูง ส่งผลให้เมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้น มักจะมีความเสียหายและความรุนแรงค่อนข้างสูง

ในความเป็นจริงแล้วปัญหาจุดกัลบรถที่พบเห็นโดยทั่วไป จะเป็นรูปแบบจุดกัลบรถบริเวณเกาะกลางธรรมดา (Conventional Midblock Median Opening) ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเปิดจุดกัลบรถที่ไม่เหมาะสมเช่น มีการเปิดจุดกัลบรถในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น ทำให้กระแสจราจรของรถทางตรงถูกรบกวนและเกิดการชะลอความเร็วหรือหยุดชะงักจนทำให้เกิดอุบัติเหตุ หรือกระแสจราจรทางตรงมีปริมาณสูงจนทำให้ผู้ขับขี่ที่ต้องการกัลบรถใช้เวลาในการกัลบรถที่มากและผู้ขับขี่ตัดสินใจกลับรถด้วยช่องว่างยอมน้อยลง อีกทั้งส่งผลให้เกิดแถวคอยขึ้นจนเป็นสาเหตุที่ทำให้มีโอกาสการเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ นอกจากการเปิดจุดกัลบรถไม่เหมาะสมยังมีปัจจัยอื่นเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของถนนที่แตกต่างกันอาจจะเป็นการเพิ่มโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุและส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนน อาทิเช่น จำนวนช่องจราจรขนาดเกาะกลาง ระยะมองเห็น ขนาดของช่องรอกัลบรถ รัศมีวงเลี้ยวของยานพาหนะ ตำแหน่งติดตั้งป้ายจราจร และเครื่องหมายบนผิวทาง

1.2 วัตถุประสงค์

วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปิดจุดกลับรถ และประยุกต์ใช้แบบจำลองเสมือนจริง พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางในการเปิดจุดกลับรถให้มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการสูงสุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ความสามารถในการระบายรถ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยนั้น จะดำเนินการศึกษาบนจุดกลับรถรูปแบบเพิ่มพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก และรูปแบบปกติ ที่ไม่มีการเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก จำนวนรูปแบบละ 2 จุดสำรวจ รวมทั้งหมด 4 จุดสำรวจ ซึ่งแต่ละจุดสำรวจจะมีข้อจำกัดด้านขนาดของเกาะกลางไม่เกิน 2 เมตร ดังมีรายละเอียดจุดสำรวจต่อไปนี้

- ทางหลวงหมายเลข 346 กม. 23+990
- ทางหลวงหมายเลข 226 กม. 6+546
- ทางหลวงหมายเลข 340 กม. 4+141
- ทางหลวงหมายเลข 304 กม. 38+500

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถกำหนดแนวทางการบริหารจุดกลับรถให้ปลอดภัยและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu, P., Wang, X., Lu, J., Sokokow, G. (2007) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance) ของการกลับรถบริเวณจุดเปิดจุดกลับรถ โดยปกติความเร็วของกระแสจราจรที่เกิดการขัดแย้งกัน (กับปริมาณรถถนนสายหลัก) จะค่อนข้างสูง จึงทำให้การกลับรถต้องรอแล้วเลี้ยวด้วยความระมัดระวัง จึงได้พิจารณา พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างวิกฤต (Critical Gap) ของ U-Turn โดยวิธี Raff's Method ทั้งหมด 10 ตำแหน่ง พบว่า Critical Gap อยู่ในช่วง 5.8 ถึง 7.4 วินาที ตามลักษณะกายภาพและสภาพการจราจรของจุดสำรวจ ทั้งรูปแบบ 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง และ 4 ช่องจราจรต่อทิศทาง เพื่อประเมินหาความจุบริเวณจุดกลับรถ

Distefano, N and Leonardi, S (2016) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ สำหรับการกลับรถในช่องจราจรที่แคบและความกว้างของเกาะกลาง เพื่อที่จะเสนอแนวทางการออกแบบช่องกลับรถ ที่เหมาะสมและมีความปลอดภัย โดยได้พัฒนาเกณฑ์ในการออกแบบ ดังต่อไปนี้ ช่องทางเข้าและออก, ส่วนถนนที่จะเข้าสู่ช่องรอเลี้ยว, ส่วนถนนสำหรับการเปลี่ยนช่องจราจร, ส่วนถนนสำหรับเปลี่ยนทิศทางที่ได้จากการเปิดจุดกลับรถ ซึ่งผลที่ได้จะแบ่งออกเป็น 5 เกณฑ์ ได้แก่ (1) ระยะในการเร่งความเร็วเพื่อเชื่อมเข้าถนนหลักจะต้องมีความยาวอย่างน้อย 20 เมตร (2) ระยะลดความเร็วจะแปรผันตามความเร็วของรถทางหลัก เมื่อรถทางหลักมีความเร็วสูง ระยะลดความเร็วก็จะสูงตามไปด้วย (3) รัศมีวงเลี้ยวบริเวณเกาะกลางจะแตกต่างกันตาม Design Vehicle (4) ผลของความยาวแฉกคอคยที่เกิดจากปริมาณรถทางตรงและความเร็วของรถทางตรง โดยใช้ความเร็วในการอ้างอิงออกเป็น 3 ระดับคือ 70 km/hr, 60km/hr และ 50km/hr ซึ่งจะพบว่าเมื่อความเร็วของรถทางหลักกับรถที่กลับรถต่างกันมากแฉกคอคยก็จะสูงตาม โดยจะแปรผันกับปริมาณรถทางหลักด้วย และ (5) ระยะในการเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อให้ผู้ขับขี่ตัดสินใจได้ทันก่อนถึงจุดที่จะเปลี่ยนทิศทางจราจร

Mohapatra, S and Dey, P (2018) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความจุของจุดเปิดจุดกลับรถในประเทศ อินเดีย ซึ่งพบว่าปัจจัยที่จะส่งผลต่อความจุบริเวณจุดกลับรถแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ ปริมาณรถทางหลัก ช่องว่างวิกฤต (Critical Gap) และการเคลื่อนตัวตามกัน (Follow-Up Time) โดยศึกษาจุดกลับรถประเภทที่ไม่มีการควบคุม

วุฒิไกร ไชยปัญหา, ลัดดา ตันวานิชกุล, และ จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร (2561) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถ บนทางหลวงหลักหลายช่องจราจร ในประเทศไทย โดยใช้การแบบจำลองการจราจร ซึ่งทำการศึกษาบนถนนหลัก 6 ช่องจราจร และ 4 ช่องจราจร โดยจะแสดงผลออกเป็น 2 รูปแบบคือ (1) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็ว โดยมี FFS เท่ากับ 90.1 km/hr และความจุของถนนอยู่ที่ 2130 pc/hr/lane สำหรับถนน 6 ช่องจราจร และ FFS เท่ากับ 90.9 km/hr, มีความจุของถนน 2194 pc/hr/lane สำหรับถนน 4 ช่องจราจร และ (2) ความสัมพันธ์ระหว่างความจุและจำนวนจุดกลับรถต่อกิโลเมตร พบว่าเมื่อมีจำนวนจุดกลับรถต่อกิโลเมตรเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความจุของถนนลดลง และเมื่อมีสัดส่วนของรถบรรทุกหนักเข้ามาเกี่ยวข้องก็จะส่งผลให้ความจุที่ได้ลดลงไปตามสัดส่วนรถบรรทุก

วิริยะ เกิดสุข (2540) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับจุดกลับรถแบบยกระดับถนนพหลโยธินช่วงกม.33+000 ถึง กม.52+000 ซึ่งถนนเส้นนี้จะเป็นทางหลวงสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงสุดและมี ยานพาหนะที่ต้องการเลี้ยวกลับในจุดกลับรถเป็นจำนวนมาก บริเวณที่ศึกษานั้นเป็นจุดกลับรถแบบ เปิดเกาะกลาง ส่งผลให้การจราจรช่วงนี้ติดขัดจากการตัดกันของกระแสของยานพาหนะที่ต้องการจะ เลี้ยวกลับตรงจุดกลับรถ กับยานพาหนะที่วิ่งมาทางตรง จึงได้พิจารณาแก้ไขปัญหาการจราจรในช่วง บริเวณนี้ ต้องดำเนินการปรับปรุงจุดกลับรถให้เป็นแบบยกระดับ

ทิพย์สุดา กุมพันธ์ (2555) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการขับซึ่รถบริเวณจุดกลับรถที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ สามารถจำแนกพฤติกรรมการกลับรถของผู้ขับซึ่ได้และเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการกลับรถ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อศึกษาถึงระยะเวลารอคอยมีผลต่อพฤติกรรมการ กลับรถ ใช้กล้องวิดีโอในการเก็บข้อมูล จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าขนาดของช่องว่างระหว่างรถ ในทางสายหลัก ตำแหน่งของช่องจราจรของรถบนทางสายหลักที่กำลังจะมาถึงตำแหน่งของช่องจราจรของรถบนทางสายหลักที่ผ่านจุดกลับรถออกไป และปริมาณจราจรกลับรถ ส่งผลต่อพฤติกรรมการกลับรถในรูปแบบอื่น

Jenjiwattanukul, T and Sano, K (2011) ได้ทำการศึกษาบริเวณจุดกลับรถในเรื่อง ระยะเวลารอคอยในการกลับรถที่จะมีผลต่อการยอมรับช่องว่างของจราจรสายหลัก และหาค่าช่องว่าง วิกฤติของการยอมรับช่องว่างในการกลับรถ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้กล้องวิดีโอพบว่าระยะเวลารอคอยในการกลับรถมากกว่า 30 วินาที มีการยอมรับช่องว่างของกระแสจราจร

สายหลักที่สั้น ช่องว่างวิกฤติที่ได้จากการวิเคราะห์เท่ากับ 4.3 วินาที นอกจากนี้ ยังทำการหาความจุบริเวณจุดกลับรถอีกด้วย

ณรงค์ยศ ดีสีปาน (2557) การแก้ปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงหมายเลข 1 บริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองการจราจร (AIMSUN 6.1) จากการศึกษาพบสาเหตุของปัญหา ได้แก่ (1) ปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพของถนน, (2) ปัญหาด้านการจัดการจราจร, (3) ปัญหาจากการฝ่าฝืนกฎจราจร การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดในระยะสั้น โดยให้จัดเจ้าหน้าที่คอยอำนวยความสะดวกในช่วงเวลาเร่งด่วน พร้อมทั้งบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง และให้มีขยายความยาวของป้ายรถประจำทางให้มีความยาวเพียงพอ สำหรับการแก้ไขปัญหาในระยะยาวนั้นมีแนวทางดังนี้ (1) ปรับปรุงรัศมีเลี้ยว เนื่องจากมีปริมาณรถบรรทุกจำนวนมากเพื่อความคล่องตัว, (2) การจัดการจราจรบริเวณจุดรับ-ส่งผู้โดยสาร โดยทำช่องจราจรสำหรับจอดรถโดยสารเพิ่ม, (3) จัดการจราจรบริเวณทางเข้า-ออกถนนนวนคร 5 โดยการปิดทางออกทางคู่ขนาน เพื่อลดการตัดกระแสรถจราจร และอุบัติเหตุ, (4) ปรับปรุงจุดขึ้นและจุดลงสะพานเชื่อมทางออกนวนคร 5 โดยทำการขยายถนนนวนคร 5 บริเวณทางออก และปรับปรุงจุดลงสะพานที่เชื่อมถนนพหลโยธินที่ลงเข้าสู่ทางหลัก ให้ลงทางขนานก่อนแล้วจึงเข้าสู่ทางหลัก, (5) สร้างสะพานเชื่อมถนนพหลโยธินทิศทางขาเข้ามุ่งเข้าสู่นวนครเพิ่มเติม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 จุดกลับรถ (U-Turn)

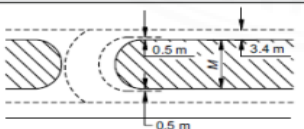
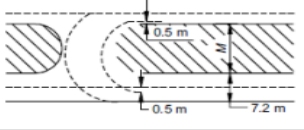
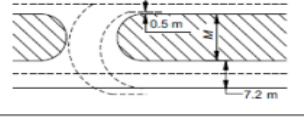
จุดกลับรถ คือบริเวณที่จัดไว้สำหรับให้ผู้ขับขี่ที่มีความต้องการที่จะเปลี่ยนทิศทางการจราจร เพื่อให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยในการเลี้ยวกลับรถ จาก AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011) ได้แนะนำเกี่ยวกับการเลือกสถานที่และการออกแบบจุดกลับรถบริเวณเกาะกลาง โดยใช้พื้นที่จากเกาะกลาง และต้องมีระยะมองเห็น ที่เพียงพอและต้องหลีกเลี่ยงการเปิดเกาะกลางบริเวณที่ลักษณะทางกายภาพ ในจุดหลังโค้งทางราบที่รัศมีโค้งต่ำและโค้งทางตั้งที่มีความยาวโค้งสั้น มีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1) รูปแบบการเปิดเกาะกลางสำหรับใช้กลับรถจะต้องพิจารณาขนาดความกว้างของเกาะกลางและรัศมีเลี้ยวตามชนิดของรถที่ต้องการกลับรถ

2) ทำเลที่ตั้งอยู่ใกล้ทางแยกที่มีปริมาณจราจรต่ำไม่ต้องเปิดเกาะกลาง โดยให้รถที่ต้องการกลับรถไปกลับรถที่ทางแยกรวมกับรถที่ต้องการเลี้ยวขวา ส่วนทำเลที่อยู่ใกล้ทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูงจะต้องมีการเปิดเกาะกลางและจะต้องจัดช่องจราจรให้รถที่ต้องการกลับรถแยกออกจากช่องจราจรหลักโดยใช้พื้นที่ตรงกลาง

ซึ่งการเปิดเกาะกลางจะต้องพิจารณาเรื่องความกว้างของช่องจราจรและเกาะกลางเพื่อให้รถที่ใช้ในการออกแบบ (Design Vehicle) สามารถเลี้ยวได้ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

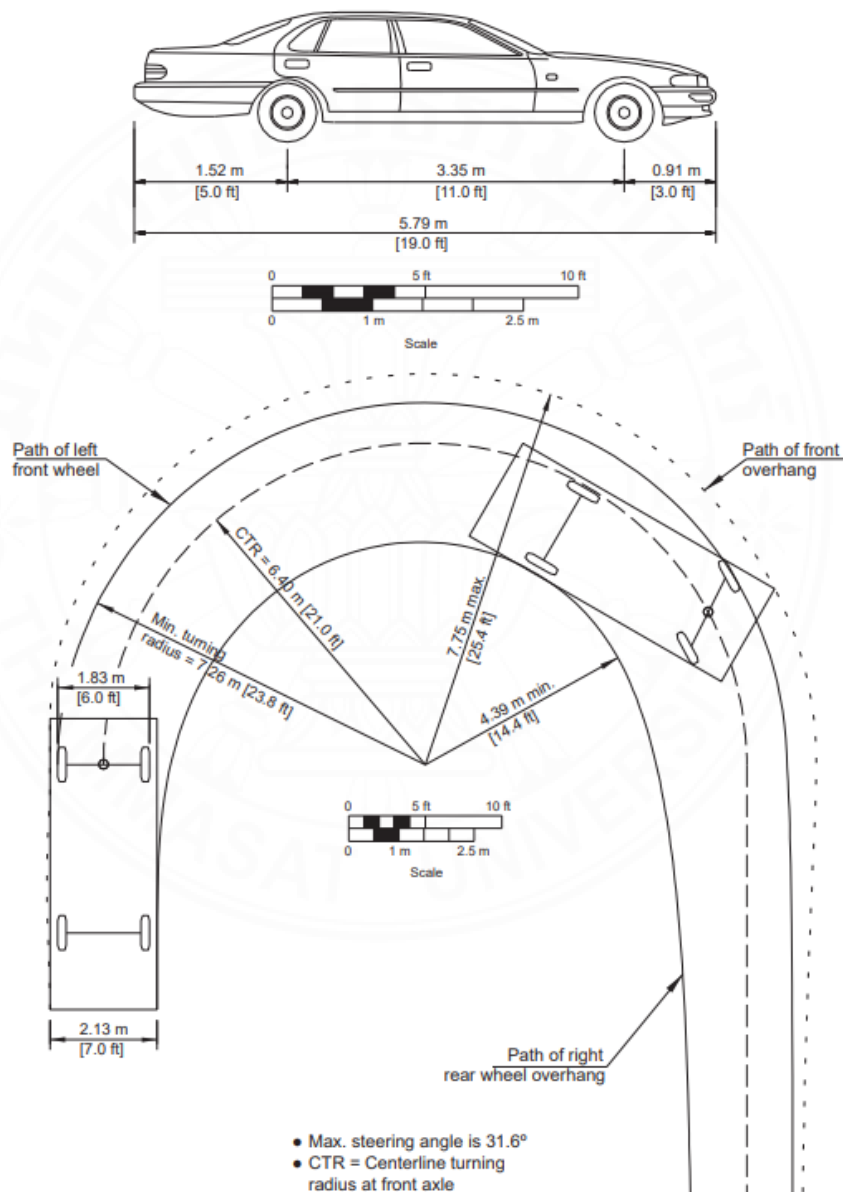
ตารางที่ 2.1 ความกว้างที่เหมาะสม (เมตร) สำหรับจุดกลับรถ

Type of Maneuver		Metric						
		M—Minimum Width of Median (m) for Design Vehicle						
		P	WB-12	SU-9	BUS	SU-12	WB-19	WB-20
		Length of Design Vehicle (m)						
		5.7	15.0	9.0	12.0	12.0	21.0	22.4
Inner Lane to Inner Lane		9	18	19	19	23	21	21
Inner Lane to Outer Lane		5	15	15	16	19	17	17
Inner Lane to Shoulder		2	12	12	12	16	14	14

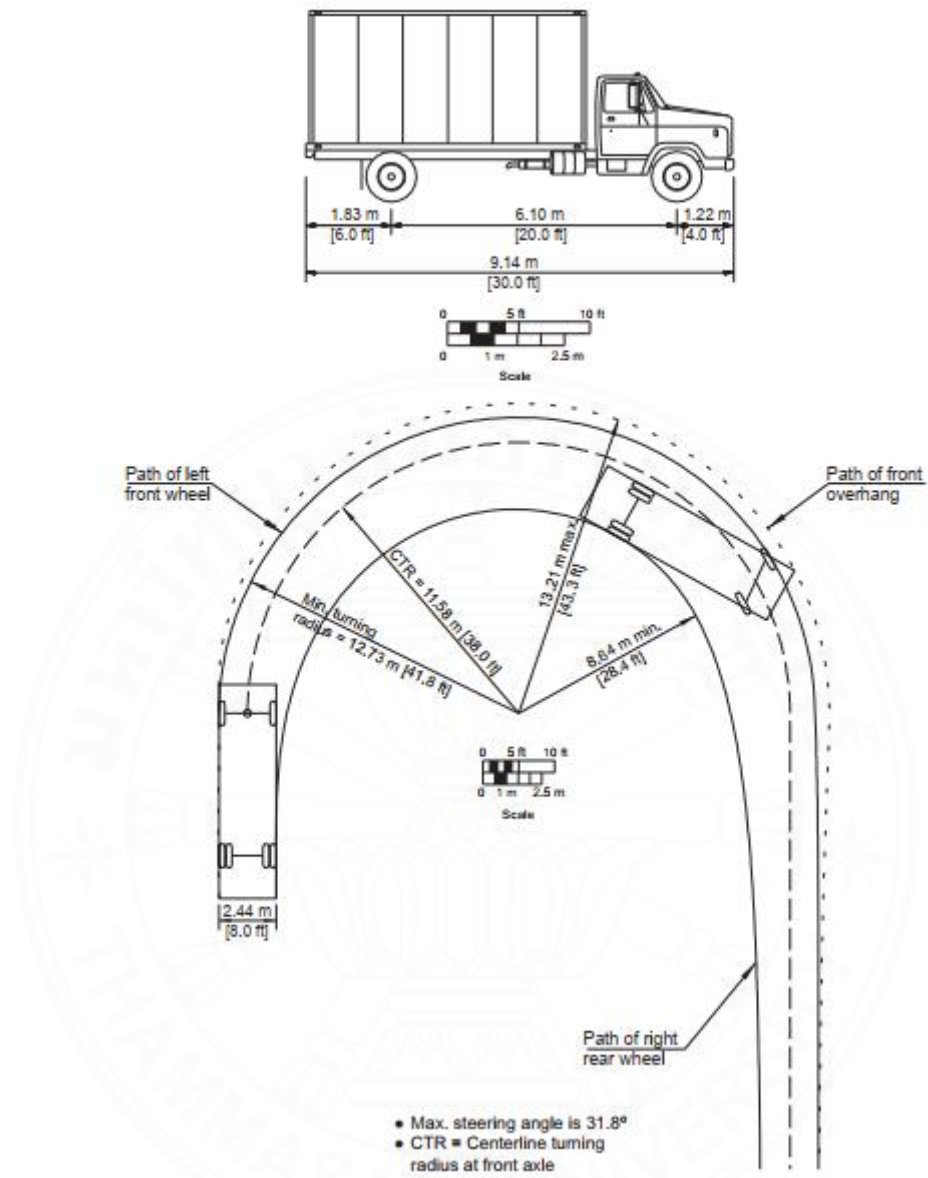
ที่มา : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011

2.2.2 คุณสมบัติของยานพาหนะ (Characteristics of Vehicles)

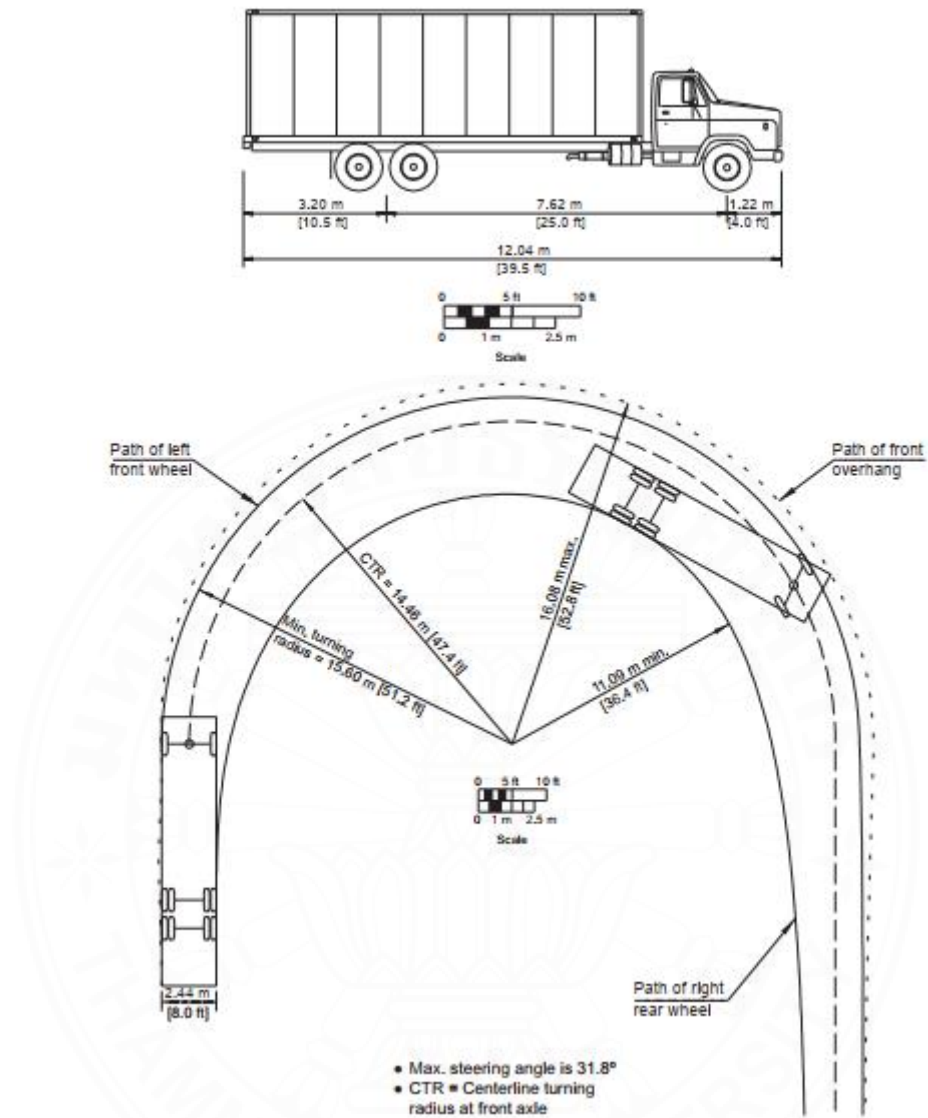
ลักษณะของยานพาหนะ ความกว้าง ความยาว ความสูง และรัศมีวงเลี้ยว คุณสมบัติของยานพาหนะดังกล่าวมีผลต่อพื้นที่ที่กลับรถ ความกว้างของผิวทางโค้ง ความสูงของสะพาน เป็นต้น AASHTO จึงได้กำหนดให้มีมาตรฐานของยานพาหนะแต่ละประเภท ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ถึงภาพที่ 2.7



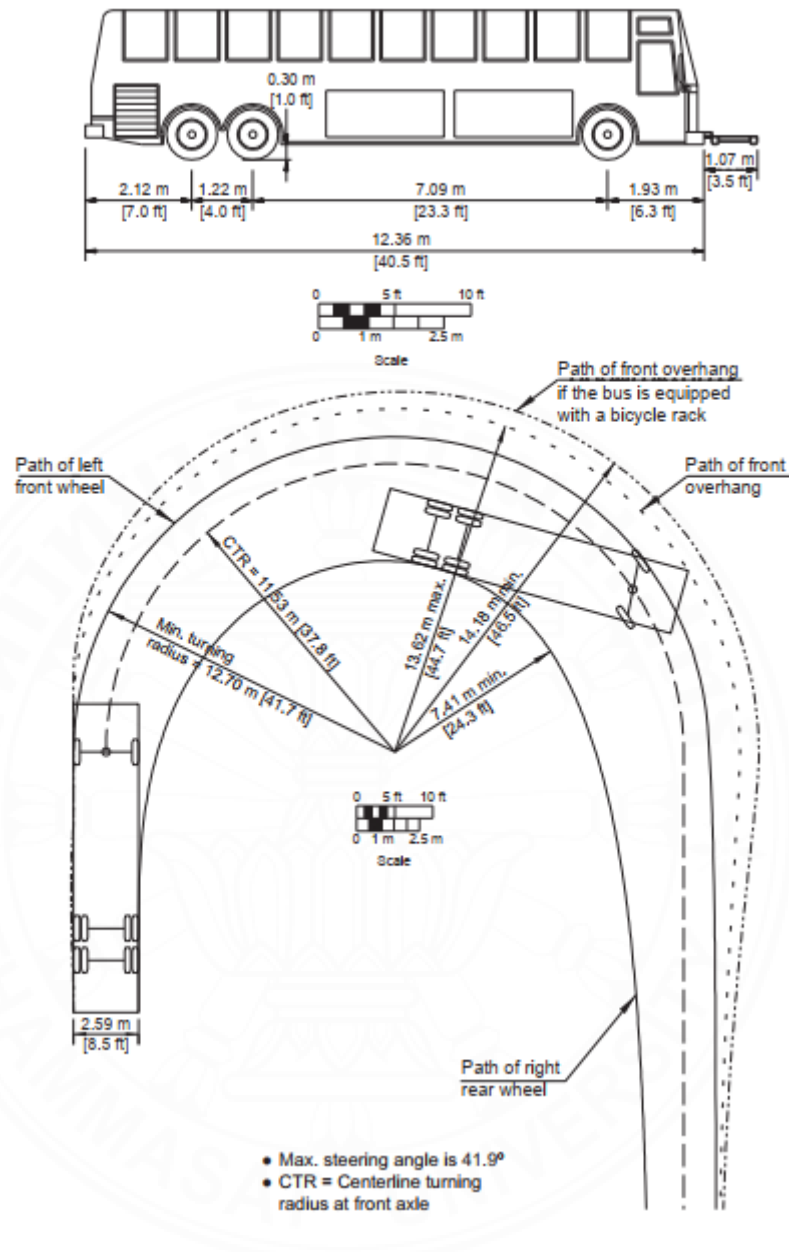
ภาพที่ 2.1 ขนาดและรัศมีวงเลี้ยวต่ำสุดของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car, P)



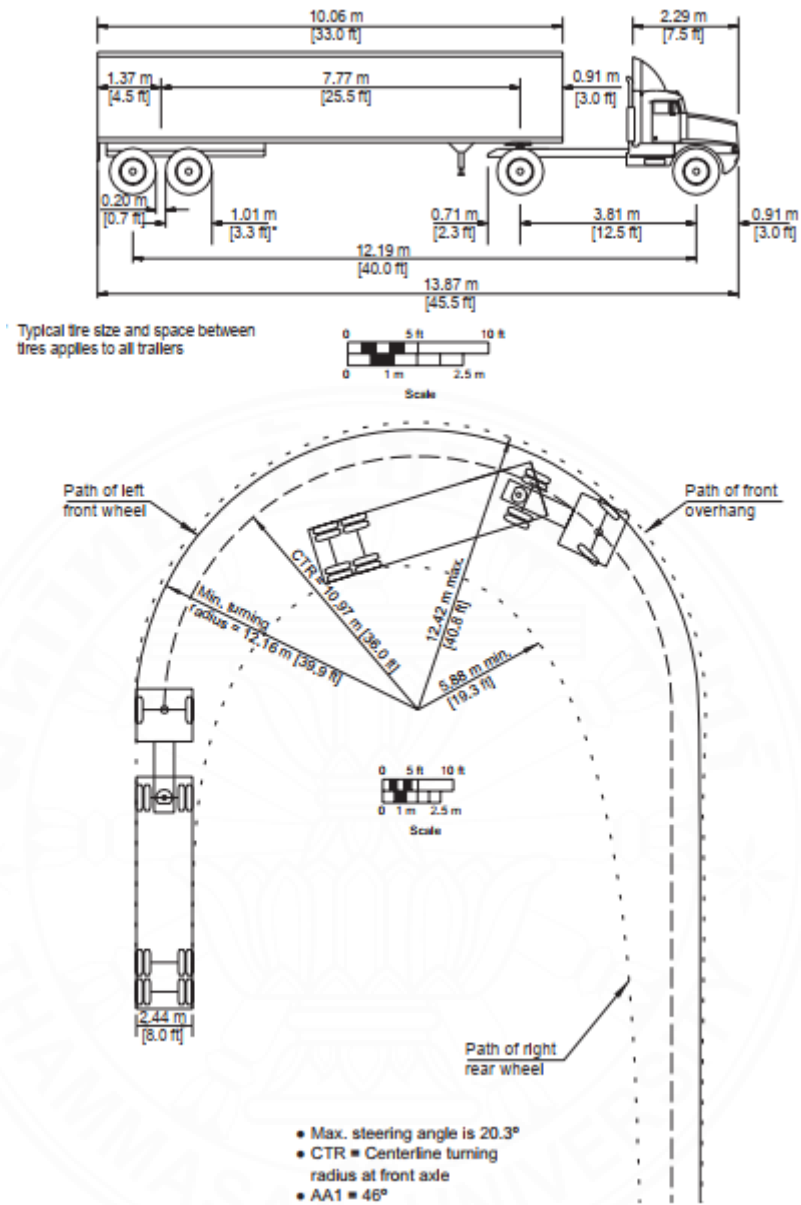
ภาพที่ 2.2 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถบรรทุก 6 ล้อ (Single-Unit Truck, SU-9 (SU-30))



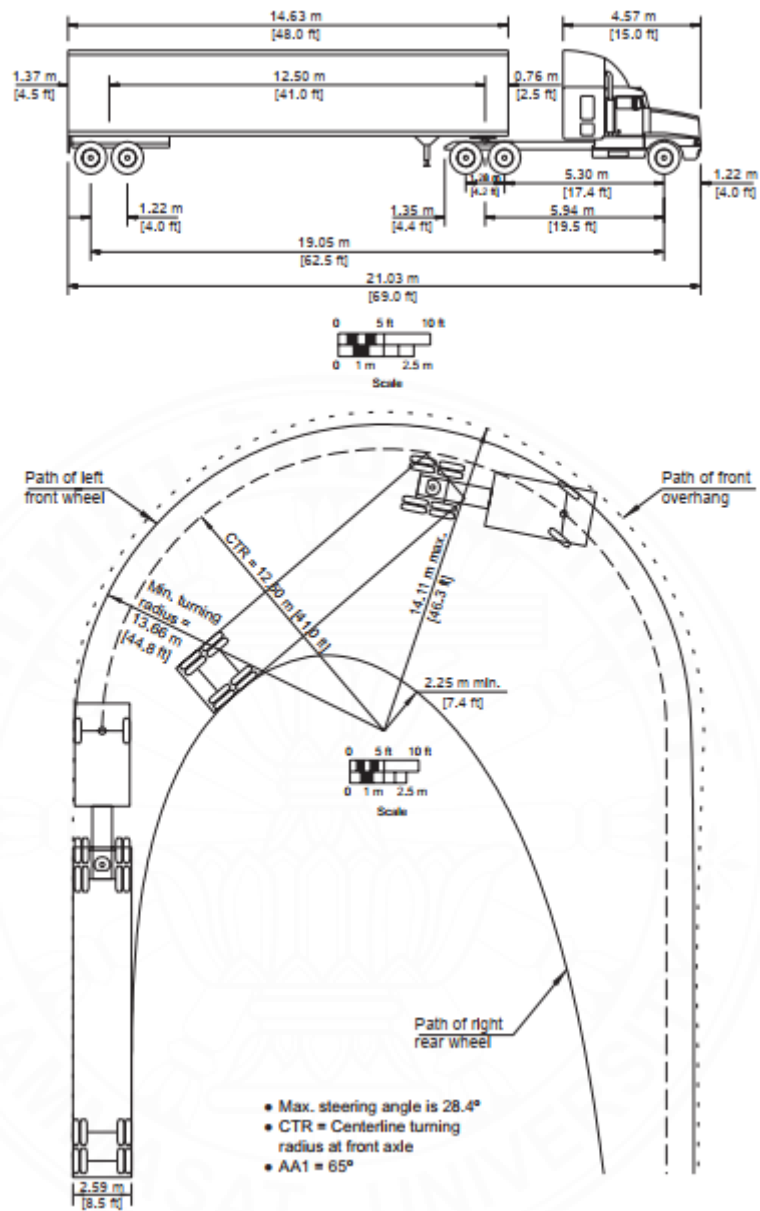
ภาพที่ 2.3 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถบรรทุก 10 ล้อ (Single-Unit Truck, SU-12 (SU-40))



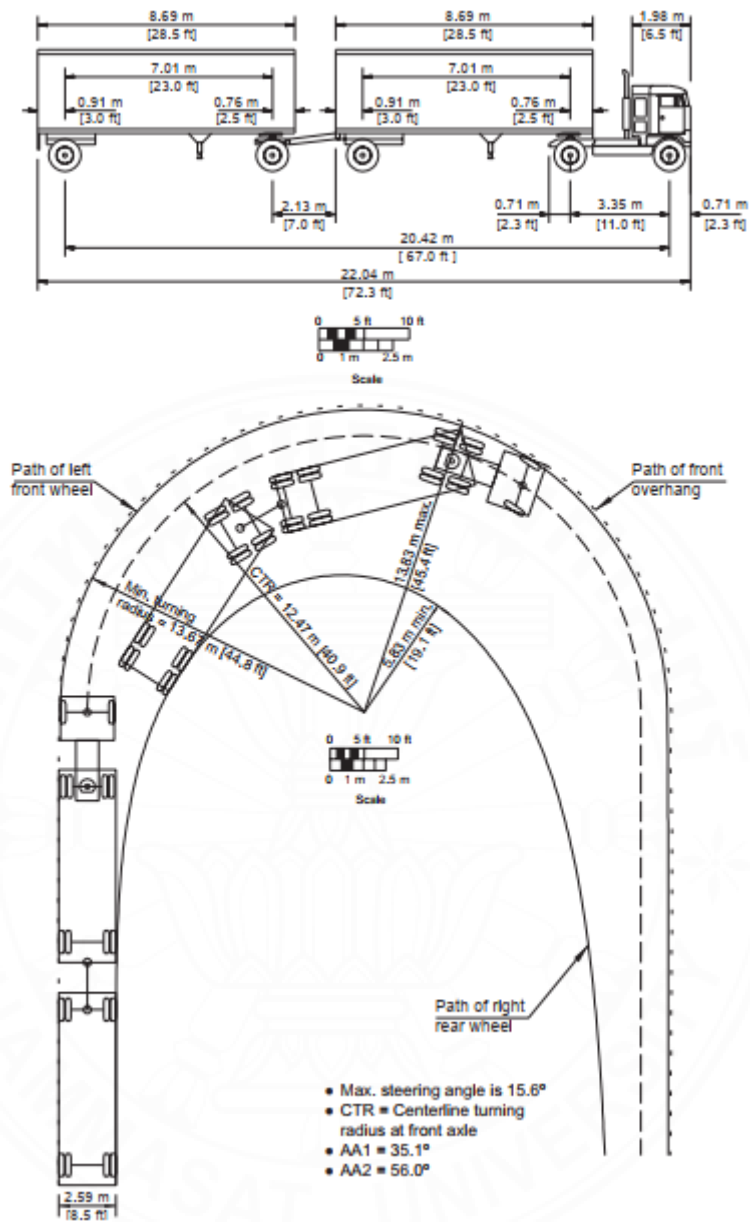
ภาพที่ 2.4 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถโดยสาร (BUS, BUS-14 (BUS-45))



ภาพที่ 2.5 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถเทลเลอร์ (Intermediate Semitrailer, WB-12 (WB-40))



ภาพที่ 2.6 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถเทลเลอร์ (Interstate Semitrailer, WB-19 (WB-62))



ภาพที่ 2.7 ขนาดและรัศมีเลี้ยวต่ำสุดของรถบรรทุกชนิดพ่วง (Turnpike-Double Combination, WD-33)

2.2.3 ปริมาณจราจร (Volume)

ปริมาณจราจร หมายถึง จำนวนยานพาหนะที่ต้องการเดินทาง (Demand) ผ่านตำแหน่งสำรวจ บนช่องจราจรหรือผ่านหน้าตัดของถนนที่พิจารณาในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งเวลาที่กำหนดอาจจะเป็นชั่วโมง วัน สัปดาห์ เดือนหรือปี

2.2.4 อัตราการไหล (Flow Rate)

อัตราการไหล หมายถึง อัตราเทียบเท่าในชั่วโมงที่ยานพาหนะสามารถผ่านตำแหน่งสำรวจ บนช่องจราจรหรือผ่านหน้าตัดของถนนที่พิจารณาในหน่วยเวลา สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V = \frac{N}{T} \quad (2.1)$$

โดยที่	V	หมายถึง	อัตราการไหล (veh/h)
	N	หมายถึง	จำนวนยานพาหนะที่ผ่านจุดอ้างอิง (veh)
	T	หมายถึง	ช่วงเวลา (h)

2.2.5 ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด

ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด หมายถึง ค่าที่แสดงถึงการกระจายของปริมาณจราจรในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน โดยทั่วไปช่วงเวลามาตรฐาน สำหรับการวิเคราะห์จะใช้เวลา 15 นาที การหาค่าตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด แสดงดังสมการได้ดังนี้

$$PHF = \frac{V}{4xV_{15}} \quad (2.2)$$

โดยที่	PHF	หมายถึง	ตัวประกอบชั่วโมงสูงสุด
	V	หมายถึง	จำนวนยานพาหนะทั้งหมดในหนึ่งชั่วโมง (veh)
	V_{15}	หมายถึง	จำนวนยานพาหนะสูงสุดในช่วงเวลา 15 นาที

2.2.6 ความเร็ว (Speed)

ความเร็ว หมายถึง อัตราการเคลื่อนที่ของพาหนะ อยู่ในหน่วยของระยะทางต่อหน่วยเวลา โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง และเป็นที่ทราบกันดีว่าในกระแสจราจรนั้น ความเร็วของยานพาหนะในแต่ละคันมีการกระจายตัวเป็นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องใช้ค่าที่เป็นตัวแทนเพียงค่าเดียวนั้น คือ ความเร็วเฉลี่ยด้านเวลา (Time Mean Speed) เป็นการวัดความเร็วเฉลี่ยโดยการเฉลี่ยความเร็วของยานพาหนะทุกคันที่ผ่านจุดสำรวจ เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$U_t = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{N} \quad (2.3)$$

โดยที่	U_t	หมายถึง	ความเร็วเฉลี่ย (km/h)
	U_i	หมายถึง	ความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของยานพาหนะคันที่ i (km/h)
	N	หมายถึง	จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

2.2.7 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น หมายถึง การวัดปริมาณของยานพาหนะในช่วงความยาวถนน มีหน่วยเป็นจำนวนคันต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D = \frac{V}{S} \quad (2.4)$$

โดยที่	D	หมายถึง	ความหนาแน่น (veh/km)
	V	หมายถึง	อัตราการไหลของปริมาณจราจร (veh/h)
	S	หมายถึง	ความเร็ว (km/h)

2.2.8 ระยะห่างยานพาหนะ (Headway and Spacing)

ระยะห่าง Spacing หมายถึง ระยะห่างของยานพาหนะที่วิ่งตามกันมาในกระแสจราจร โดยมีตำแหน่งอ้างอิงที่แน่นอนในการวัดรถคันหนึ่งและรถที่วิ่งตามกันมา

ระยะห่าง Headway หมายถึง ระยะห่างของช่วงเวลาระหว่างยานพาหนะที่วิ่งติดกันมา โดยผ่านตำแหน่งหรือแนวอ้างอิงที่กำหนดไว้บนถนน โดยสังเกตจากกันชนหน้าของรถคันแรกถึงกันชนหน้าถึงรถคันถัดมา

นอกจากนี้ระยะห่างของยานพาหนะในกระแสจราจร ยังมีความสัมพันธ์ อัตราการไหล, ความเร็ว และความหนาแน่น ดังสมการต่อไปนี้

$$Density = \frac{1000}{Spacing} \quad (2.5)$$

โดยที่	Density	หมายถึง	ความหนาแน่น (veh/km)
	Spacing	หมายถึง	ระยะห่างยานพาหนะ (m/veh)

$$Headway = \frac{Spacing}{Speed} \quad (2.6)$$

โดยที่	Headway	หมายถึง	ระยะห่างระหว่างรถ 2 คันที่ต่อกัน (s/veh)
	Spacing	หมายถึง	ระยะห่างยานพาหนะ (m/veh)
	Speed	หมายถึง	ความเร็ว (m/s)

$$Flowrate = \frac{3600}{Headway} \quad (2.7)$$

โดยที่	Flow Rate	หมายถึง	อัตราการไหล (veh/h)
	Headway	หมายถึง	ระยะห่างระหว่างรถ 2 คันที่ต่อกัน (s/veh)

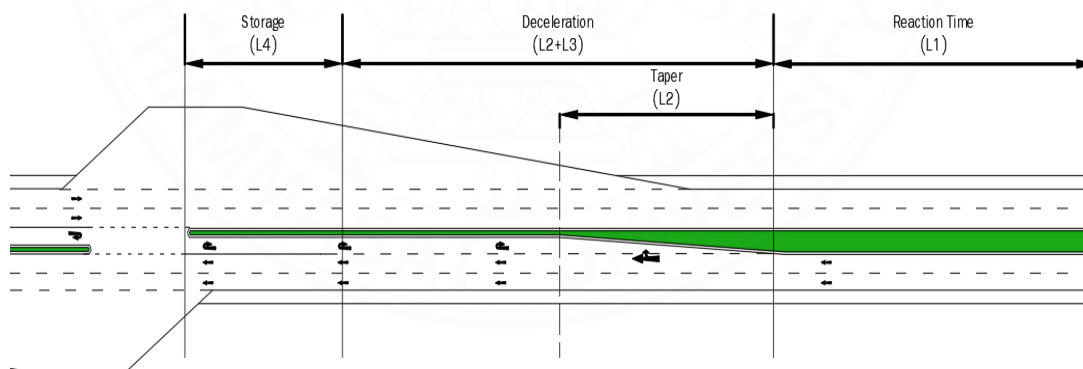
2.2.9 ความจุ (Capacity)

ความจุ หมายถึง ความสามารถสูงสุดที่ถนนจะสามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ ในระยะเวลาที่กำหนดภายใต้สภาพทั่วไปของถนนและการควบคุมการจราจร (Transportation Research Board, 2010)

2.2.10 ความยาวของช่องรอเลี้ยว (Storage Length)

ความยาวของช่องรอเลี้ยว หมายถึง ความยาวสำหรับผู้ขับขี่ที่ต้องการจะเปลี่ยนทิศทางการจราจรใช้ในการรอ เพื่อทำการกลับรถ

สำหรับการวิเคราะห์ของระยะช่องรอเลี้ยว จำเป็นต้องรู้จัก โดยระยะที่เกี่ยวข้องจะประกอบไปด้วย 3 ระยะ ได้แก่ ระยะทางที่พาหนะเคลื่อนที่ระหว่างเวลาในการรับรู้และตัดสินใจของผู้ขับขี่ (Decision or Perception Reaction Distance, L_1) ระยะทางที่พาหนะเคลื่อนที่ขณะที่ผู้ขับขี่ได้ทำการเปลี่ยนช่องทางจราจรไปทางด้านข้างและทำการลดความเร็วที่จะหยุด (Deceleration Length, $L_2 + L_3$) และระยะทางที่ต้องใช้ในการรองรับรถรอเลี้ยว (Queue Storage Length, L_4) ระยะของช่องรอเลี้ยว จะเป็นการรวมระยะผายหรือ Taper (L_2) ระยะชะลอความเร็ว (L_3) และระยะแถวคอย (L_4) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของช่องรอเลี้ยว



ภาพที่ 2.8 องค์ประกอบของช่องรอเลี้ยว

2.2.11 ลักษณะการมาของกระแสรถจร (Time Headway Distribution)

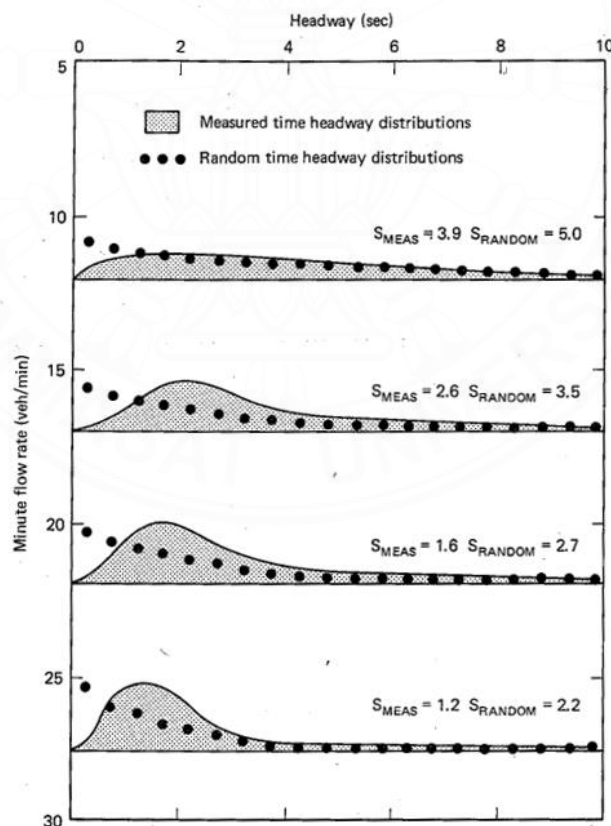
ลักษณะการมาของยานพาหนะมีรูปร่างการกระจายตัวที่แตกต่างและเปลี่ยนไปตามกระแสรถจรที่เพิ่มสูงขึ้นโดยจะสามารถแบ่งรูปแบบการพิจารณาออกไปเป็น 3 ระดับ ตั้งแต่ช่วงกระแสรถจรต่ำจนถึงช่วงที่กระแสรถจรหนาแน่น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) Random Headway State

เป็นช่วงสถานะที่กระแสรถจรต่ำ โดยที่รถทุกคันบนถนนจะมีลักษณะการเดินทางที่เป็นอิสระ โดยลักษณะการมาในรูปแบบนี้สามารถใช้ Negative Exponential Distribution ซึ่งกลายจาก Poisson Count Distribution ดังสมการต่อไปนี้

$$P(h \geq t) = e^{-t/\bar{t}} \quad (2.8)$$

โดยที่ $P(h \geq t)$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของ Headway ที่มากกว่าเท่ากับ t
 \bar{t} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของ Time Headway



ที่มา : Traffic Flow Fundamentals (May, Adolf D. , 1990)

ภาพที่ 2.9 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Random Headway State

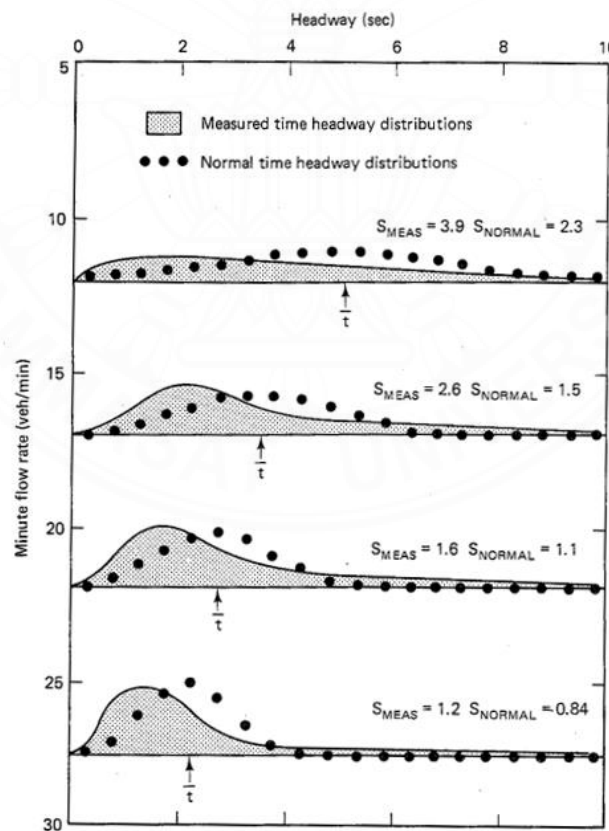
2) Constant Headway State

เป็นช่วงสถานะที่กระแสจราจรหนาแน่นมาก เกือบจะเต็มความจุของถนน โดยที่รถทุกคันบนถนนจะเคลื่อนที่ค่อนข้างคงที่ ผู้ขับขี่จะทำการแซงหรือเปลี่ยนช่องจราจรได้ยาก โดยลักษณะการมารูปแบบนี้สามารถใช้ Normal Distribution

$$\bar{t} = \frac{3600}{V} \tag{2.9}$$

$$\alpha = \bar{t} - 2S \tag{2.10}$$

- โดยที่ α หมายถึง ค่าต่ำสุดของ Expected Time Headway
 \bar{t} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของ Time Headway
 S หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Time Headway
 V หมายถึง ปริมาณจราจร (veh/h)



ที่มา : Traffic Flow Fundamentals (May, Adolf D. , 1990)

ภาพที่ 2.10 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Constant Headway State

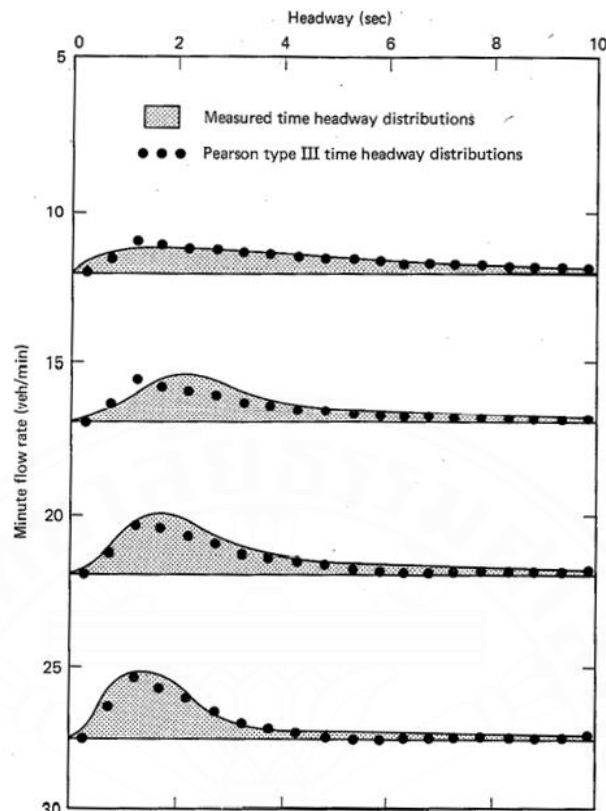
3) Intermediate Headway State

เป็นช่วงสถานะที่อยู่ระหว่างกระแสจราจร 2 ช่วง Random และ Constant Headway โดยลักษณะการมารูปแบบนี้สามารถใช้หลายวิธีการในการอธิบาย Generalized Mathematical Model และ Composite Model

ตารางที่ 2.2 รูปแบบสมการ Pearson Type III Distribution

Distribution Family	Estimating \bar{K}	Calculating λ	Probability Density Function, $f(t)$	Probability Distribution, $P(h \geq t)$
Pearson type III (K, α)	$\frac{\bar{t} - \alpha}{s}$	$\frac{K}{\bar{t} - \alpha}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda(t - \alpha)]^{K-1} e^{-\lambda(t-\alpha)}$	$\int_t^{\infty} f(t) dt$
Gamma ($K, \alpha = 0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda t]^{K-1} e^{-\lambda t}$	$\int_t^{\infty} f(t) dt$
Erlang ($K = 1, 2, 3, \dots, \alpha = 0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{K}{\bar{t}}$	$\frac{\lambda}{(K-1)!} [\lambda t]^{K-1} e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t} \sum_{h=0}^{n=K-1} \frac{(\lambda t)^h}{h!}$
Negative exponential ($K = 1, \alpha = 0$)	$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{1}{\bar{t}}$	$\lambda e^{-\lambda t}$ or $\lambda e^{-\frac{t}{\bar{t}}}$	$e^{-\lambda t}$ or $e^{-t/\bar{t}}$
Shifted negative exponential ($K = 1, \alpha > 0$)	$\frac{\bar{t} - \alpha}{s}$	$\frac{1}{\bar{t} - \alpha}$	$\lambda e^{-\lambda(t-\alpha)}$ or $\lambda e^{-(t-\alpha)/(\bar{t}-\alpha)}$	$\lambda e^{-\lambda(t-\alpha)}$ or $e^{-(t-\alpha)/(\bar{t}-\alpha)}$

ที่มา : Traffic Flow Fundamentals (May, Adolf D. , 1990)



ที่มา : Traffic Flow Fundamentals (May, Adolf D. , 1990)

ภาพที่ 2.11 การกระจายตัวของ Time Headway รูปแบบ Intermediate Headway State

การประเมินเพื่อที่จะเลือกรูปร่างของ Mathematical Distribution ที่เรียกว่า “goodness of fit” สามารถใช้วิธีการทดสอบได้ 2 วิธีดังต่อไปนี้

- 1) Chi-Square test
- 2) Kolomogorov-Smirov (K-S) test

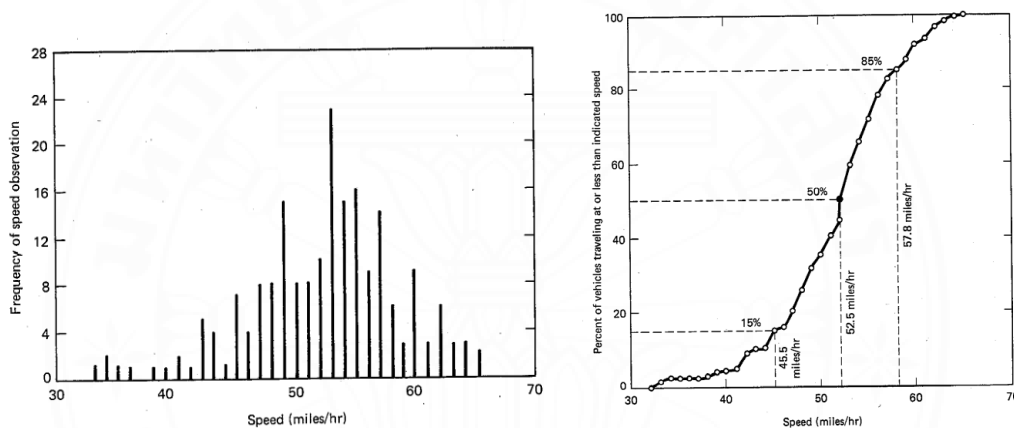
โดยในการศึกษานี้จะเลือกใช้วิธี Chi-Square test ในการทดสอบรูปร่างของ Mathematical Distribution

$$x_{CALC}^2 = \sum_{i=1}^I \frac{(f_0 - f_i)^2}{f_i} \quad (2.11)$$

โดยที่	x_{CALC}^2	หมายถึง	ค่า chi-square
	f_0	หมายถึง	จำนวนความถี่ของ Time Headway ที่สังเกต ในช่วง i
	f_i	หมายถึง	จำนวนความถี่ของ Time Headway จากทฤษฎี ในช่วง i
	i	หมายถึง	ช่วง Time Headway ในช่วง i
	I	หมายถึง	จำนวนช่วง Time Headway

2.2.12 การกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)

ความเร็วเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงความสามารถพื้นฐานของการจราจรในโครงข่ายถนน และในการคาดการณ์ความเร็วของกระแสจราจรสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และการทำแบบจำลองการจราจร ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นการวัดประสิทธิภาพของการออกแบบ ความต้องการในการเดินทาง การควบคุมโครงข่ายถนน ระดับการให้บริการ ฯลฯ ดังนั้นในการวิเคราะห์การจราจรจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของลักษณะของความเร็วที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยสำหรับการวิเคราะห์การกระจายนั้นรูปแบบ Normal Distribution ในการวัดรูปแบบการกระจายตัวของความเร็ว ดังภาพที่ 2.12 ตัวอย่างการวัดการกระจายตัวของความเร็ว



ที่มา : Traffic Flow Fundamentals (May, Adolf D. , 1990)

ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างการวัดการกระจายตัวของความเร็ว

2.2.13 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance)

ระยะห่างวิกฤติ เป็นค่าระยะห่างที่ต่ำสุดที่ยอมให้ยานพาหนะจากถนนสายรองเข้าสู่กระแสจราจรบนถนนสายหลัก โดยหลักการนี้ ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า คนขับจะปฏิเสธระยะห่างที่มีขนาดที่สั้นกว่าระยะห่างวิกฤติ และยอมรับระยะห่างที่มีค่าน้อยเท่ากับค่าระยะห่างวิกฤติ จากวิธีการหาค่าระยะห่างวิกฤติโดย Raff และ Hart (1950) ได้อธิบายการหาค่าระยะห่างวิกฤติว่า ระยะห่างวิกฤติสามารถหาได้จากจุดตัดระหว่างกราฟของความถี่สะสมของระยะห่างที่ยอมรับได้ (Gap Acceptance) กับกราฟความถี่สะสมของระยะห่างที่ถูกปฏิเสธ (Gap Rejection)

การจำลองการจราจรระดับ Microscopic เป็นการจำลองพฤติกรรมของยานพาหนะหรือรถทุกคันที่วิ่งในโครงข่าย เช่น แบบจำลองการขับรถตามกันของรถ (Car Following Models) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Changing Models) เป็นต้น โดยรายละเอียดแบบจำลองอื่นได้แก่ รถแต่ละประเภท รูปแบบหรือชนิดถนน รวมถึงการจำลองอุบัติเหตุ พฤติกรรมบริเวณจุดตัดกันของกระแสจราจร การตอบสนองต่ออุปกรณ์ควบคุมการจราจรบนโครงข่ายซึ่งสามารถบันทึกและแสดงผลได้ตลอดช่วงเวลาของการวิเคราะห์

(2) การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ (Modeling Vehicle Movement) ระหว่างที่ยานพาหนะเคลื่อนที่บนโครงข่ายแบบจำลอง ยานพาหนะทุกคันจะมีการประมวลผลตามแบบจำลองของ Car Following และ “Lane-Changing” โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันบนช่วงถนนจะพยายามทำความเร็วให้ใกล้เคียงกับความเร็วที่ต้องการ (Desired Speed) แต่ด้วยข้อจำกัดตามสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ยานพาหนะคันที่นำหน้า ยานพาหนะที่วิ่งในช่องจราจรข้างเคียง สัญญาณไฟจราจร ป้ายควบคุม การกีดขวางต่าง ๆ เป็นต้น จะส่งผลต่อความเร็วที่สามารถทำได้

เวลาในแบบจำลองนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ที่เรียกว่า Simulation Step (Δt) โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดค่านี้ได้ โดยมีช่วงระหว่าง 0.1–1 วินาที การกำหนดค่า Simulation Step นี้มีความสำคัญมาก คือ เป็นค่าที่ไม่เพียงแค่งำหนดถึงประสิทธิภาพการประมวลผลเท่านั้น แต่ยังรวมถึง ความจุต่าง ๆ บนช่วงถนนอีกด้วย ยิ่งกำหนดให้มีค่าน้อยลง ค่าความจุที่ได้รับก็จะมีค่าสูงขึ้น เหตุผลที่เป็นอย่างนี้ก็คือ เสมือนว่าคนขับยานพาหนะนั้นมีความชำนาญสูงขึ้น เพราะว่าเขาใช้เวลาในการตอบสนองที่สั้นลง เป็นต้นว่า เขาสามารถขับยานพาหนะให้ใกล้คันที่อยู่หน้ามากขึ้น เขาสามารถหาช่องว่าง (Gaps) ง่ายขึ้น เขาสามารถเร่งความเร็วได้เร็วขึ้น เขามีโอกาสมากขึ้นในการเข้าสู่โครงข่ายถนน เป็นต้น

ในแต่ละ Simulation Step นั้น ตำแหน่งและความเร็วของรถทุกคันที่อยู่ภายในระบบจะถูกประมวลผลตามเงื่อนไข หรือ อัลกอริทึม ดังต่อไปนี้

ถ้า (มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนช่องจราจร) จากนั้น

ใช้แบบจำลอง “การเปลี่ยนช่องจราจร” จบ

ถ้า (ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนช่องจราจร) จากนั้น

ใช้แบบจำลอง “การขับรถตามกัน” จบ

เมื่อยานพาหนะทุกคันได้ถูกประมวลผลในจังหวะปัจจุบันแล้ว ยานพาหนะที่มีหมายกำหนดเข้าสู่ระบบ จะถูกผลักดันให้เข้าสู่ระบบในจังหวะนี้ และจากนั้นจะมีการกำหนดเวลาของการมาถึงของยานพาหนะในรอบถัดไป

(2.1) แบบจำลองการขับรถตามกัน (Car Following Model)

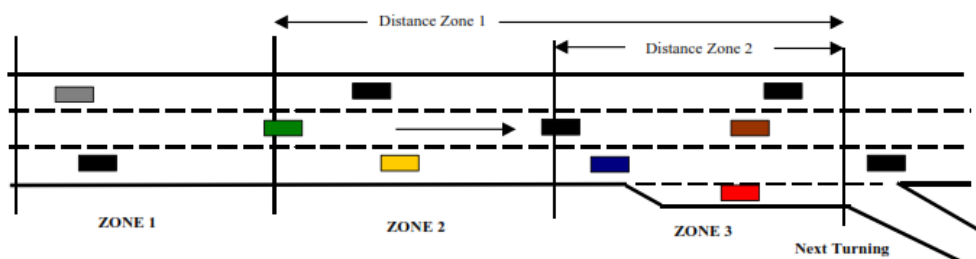
ในโปรแกรม AIMSUN ใช้หลักการแบบจำลองการขับรถตามกัน ที่ถูกพัฒนาจากแบบจำลองของ (Gipps, 1981) ซึ่งโปรแกรมได้อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถนำแบบจำลองการขับรถตามกันอื่นมาใช้แทนได้ถ้าผู้ใช้ต้องการ ซึ่งตัวแปรในแบบจำลองนี้ จะถูกผลกระทบจากค่าตัวแปรเฉพาะแห่ง (Local Parameters) ซึ่งขึ้นกับประเภทของยานพาหนะ (การยอมรับความเร็วจำกัดของยานพาหนะ) ลักษณะเรขาคณิตของถนน (ความเร็วจำกัดของช่วงถนน ความเร็วจำกัดขณะเลี้ยว) ผลกระทบของรถที่อยู่ช่องจราจรที่ติดกัน (Vehicles on Adjacent Lanes) เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วย 2 ตัวแปรหลัก คือ ความเร่ง และ ความหน่วง โดยที่ความเร่งจะเป็นตัวแทนความตั้งใจของยานพาหนะที่จะไปสู่ความเร็วที่ปรารถนา และความหน่วงถูกใช้ในข้อจำกัดที่ถูกกำหนดโดยยานพาหนะที่นำหน้า ในขณะที่เคลื่อนสู่ความเร็วที่ปรารถนา

(2.2) แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจร (Lane-Changing Model)

เช่นเดียวกับแบบจำลองการขับรถตามกัน แบบจำลองการเปลี่ยนช่องทางจราจรของ (Gipps, 1986) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม แบบจำลองนี้เป็นกระบวนการตัดสินใจ เป็นต้นว่าการวิเคราะห์ความจำเป็นในการเปลี่ยนช่องทางจราจร ความพึงพอใจ (Desirability) ของการเปลี่ยนช่องทาง (เช่น เปลี่ยนช่องทางเพื่อทำความเร็วที่ต้องการเมื่อยานพาหนะที่นำหน้ามีความเร็วช้า)

เพื่อความเที่ยงตรงในการจำลองกระบวนการของพฤติกรรมตัดสินใจเปลี่ยนช่องทาง AIMSUN ได้มีการแบ่งออกเป็น 3 โซน ภายในช่วงถนน โดยในแต่ละโซนนั้น จะมีระดับการโน้มน้าวให้เปลี่ยนช่องทางจราจรที่แตกต่างกัน รายละเอียดของแต่ละโซนแสดงในภาพที่ 2.14



ที่มา : Lane-Changing Model (AIMSUN Manual V6.1 , 2010)

ภาพที่ 2.14 แสดงโซนการเปลี่ยนช่องทางจราจรในโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

โซนที่ 1 เป็นระยะที่ไกลที่สุดจากจุดที่จะมีการเปลี่ยนทิศทาง การเปลี่ยนช่องทางนั้นหลัก ๆ จะพิจารณาจากสภาพการจราจรของช่องทางที่เกี่ยวข้อง การเลี้ยวยังไม่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนช่องทางในโซนนี้ ในโซนนี้การเปลี่ยนช่องทางจะพิจารณาตัวแปรหลายตัว เช่น ความเร็วที่ปรารถนาของยานพาหนะ ความเร็วและระยะของยานพาหนะที่นำหน้าอยู่ ความเร็วและระยะทางของยานพาหนะในช่องทางที่จะทำการเปลี่ยนช่องทางไป เป็นต้น

โซนที่ 2 เป็นโซนที่อยู่กึ่งกลาง เฉพาะยานพาหนะที่ต้องการเลี้ยวจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนช่องทางจราจร ยานพาหนะที่ต้องการเลี้ยวและยังไม่อยู่ในช่องทางที่เหมาะสมนั้น จะเริ่มทำการเปลี่ยนช่องทางให้เข้าใกล้ช่องทางที่สามารถเลี้ยวได้ ยานพาหนะจะพยายามมองหาช่องว่าง (Gap) ในการเปลี่ยนช่องทาง แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของยานพาหนะในช่องทางที่ใกล้เคียง

โซนที่ 3 นี้เป็นระยะที่สั้นที่สุดในไปสู่จุดที่จะมีการเลี้ยว ดังนั้นยานพาหนะที่ต้องการจะเลี้ยวเมื่อเข้าสู่โซน 3 แล้วจะถูกบังคับให้เปลี่ยนช่องทางจราจรไปสู่ช่องทางที่สามารถเลี้ยวได้ โดยการลดความเร็วลง (ถ้าจำเป็น) หรืออาจจำลองความเร็วลงถึงหยุดนิ่งเพื่อให้การเปลี่ยนช่องทางเกิดขึ้นได้ และพฤติกรรมของยานพาหนะที่วิ่งบนช่องทางนั้น จะยอมที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตนเพื่อให้เกิดช่องว่างที่มากพอสำหรับ ยานพาหนะที่ต้องการทำการเลี้ยว

(3) กระบวนการสร้างและพัฒนาแบบจำลอง เป็นการพยายามจำลองสภาพความเป็นจริง เพื่อให้ได้แบบจำลอง ที่สามารถนำมาใช้อธิบายและพยากรณ์ปรากฏการณ์ได้ โดยขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

(3.1) การกำหนดรูปแบบของแบบจำลอง (Model Specification) เป็นการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง สมการของแบบจำลอง และตัวแปรในแบบจำลอง ซึ่งมีผลต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง

(3.2) การประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (Model Calibration) เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองโดยวิธีทางสถิติ เพื่อให้แบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด และผลการพยากรณ์มีความน่าเชื่อถือตามหลักทางสถิติ แต่หากไม่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนใหม่

(3.3) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Validation) เป็นการตรวจสอบความสามารถในการพยากรณ์การเดินทางในแบบจำลองที่สร้างขึ้น ว่ามีระดับความถูกต้องมากน้อยเพียงใด และแบบจำลองสามารถใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ ซึ่งหากแบบจำลองที่ได้ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ อาจจะต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนการกำหนดรูปแบบ

(3.4) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง (Model Application) เป็นการใช้งานแบบจำลอง เช่น การพยากรณ์การเลือกยานพาหนะในการเดินทางและการพยากรณ์

ปริมาณจราจรบนถนน เป็นต้น ซึ่งหากแบบจำลองไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ตามที่ต้องการจะต้องกำหนดรูปแบบของแบบจำลองตามขั้นตอนการกำหนดรูปแบบของแบบจำลองใหม่

(4) การนำเข้าข้อมูลแบบจำลอง (Data Input in Simulation) ในการสร้างแบบจำลองระดับ Microscopic นั้นยิ่งรายละเอียดมีความถูกต้องมากเท่าใด ก็จะส่งผลให้การจำลองการจราจรมีความใกล้เคียงสภาพจริงมากเท่านั้น การนำเข้าข้อมูลตัวแปรผู้ใช้งานควรต้องทำความเข้าใจและมีความระมัดระวังในการปรับเปลี่ยน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือ

(4.1) ข้อมูลโครงข่ายถนน (Road Network Data) ในโปรแกรมจำลองสภาพจราจรนั้นประกอบขึ้นจากช่วงถนนหรือที่เรียกว่า Section หลายๆช่วงประกอบกัน Sections นั้นเป็นการเดินทางในทิศทางเดียว (One Way Link) จุดที่เชื่อมต่อระหว่าง Section คือ Node หรือเป็นทางแยก (Intersections) โดยรายละเอียดของจุดที่เชื่อมต่อที่เป็นทางแยกจะมีข้อมูลเพิ่มเติมมากกว่าจุดที่เชื่อมต่อปกติ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโครงข่ายถนน



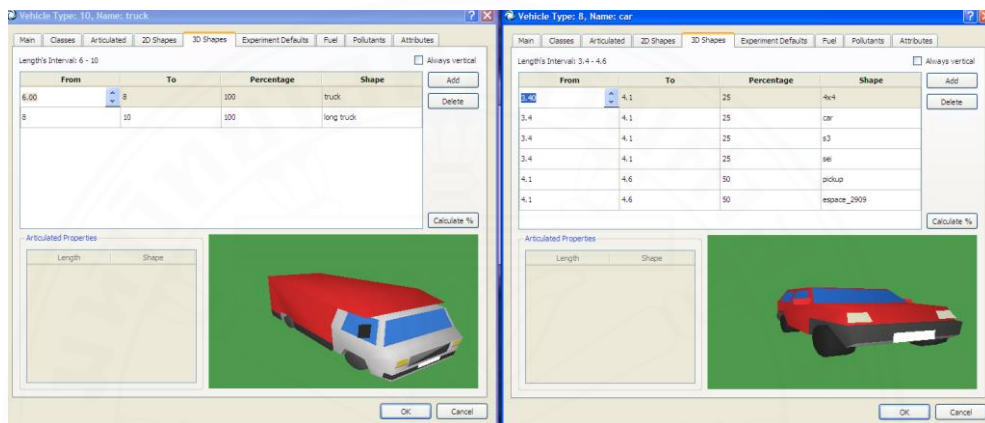
ภาพที่ 2.15 โครงข่ายถนนจริงและโครงข่ายถนนในแบบจำลอง

(4.2) ประเภทของถนนในแบบจำลอง สามารถกำหนดความเร็วของถนนในบริเวณทางแยกให้ใช้ความเร็วที่ต่างกันได้ โครงข่ายถนนในแบบจำลองสามารถเลือกเปลี่ยนประเภทของถนน เพื่อสะท้อนทั้งความเร็วและความจุ ที่แตกต่างกันออกไป แสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ตำแหน่งของถนนแต่ละประเภทในแบบจำลอง

(4.3) ประเภทของยานพาหนะในแบบจำลอง ยานพาหนะแต่ละประเภท ที่มีบนถนนโครงข่ายในการกำหนด Traffic Demand มี 2 ประเภท คือ Traffic State และ O/D Matrix สามารถระบุ Vehicle Type ตัวอย่างของการกำหนด Vehicle Type เช่น Car, Truck ฯลฯ เพื่อบอกลักษณะและคุณสมบัติของยานพาหนะแต่ละประเภท เช่น มิติของยานพาหนะ ความกว้าง ความยาว ความเร็ว ความเร่ง ความหน่วง ฯลฯ ของแต่ละ ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle Type) ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 2.17

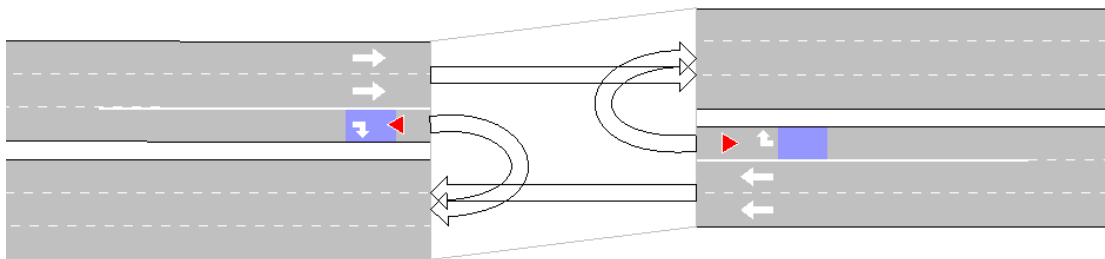


ภาพที่ 2.17 แสดงประเภทของยานพาหนะในแบบจำลอง

(4.4) ข้อมูลความต้องการเดินทาง (Traffic Demand Data) สำหรับการป้อนข้อมูลความต้องการเดินทาง บนโครงข่ายถนนใช้อัตราการไหล (Traffic Flow) บนช่วงถนนมีดังนี้

- ประเภทยานพาหนะและคุณสมบัติของยานพาหนะประเภท
- อัตราการไหล (Flow) ของรถแต่ละประเภท ณ ถนนทางเข้าโครงข่าย
- สัดส่วนการเลี้ยวของทางแยกหรือจุดตัดสี่ทาง ของยานพาหนะทุกประเภท

โดยปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าสู่โครงข่ายจำลอง จะต้องถูกกำหนดในถนน (Input Sections) และจะต้องกำหนดสัดส่วนการเลี้ยวทุก จุดตัดสี่ทาง หรือบริเวณทางแยกสามารถแยกตามประเภทรถได้ ตัวอย่างโครงข่ายจำลองในรูปแบบ Input Section คือ Section หมายเลขดังนี้แสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างโครงข่ายจำลองการ input section

(4.5) การควบคุมจราจร (Traffic Control) เป็นการควบคุมบริเวณทางแยกหรือจุดที่ต้องเปลี่ยนทิศทางการจราจร ในการศึกษาเลือกใช้รูปแบบ Give Way

(5) การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) เป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลองเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลแบบจำลองมีค่าที่เสมือนกับค่าที่ได้จากการสำรวจ โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้น จะถูกนำมาประมวลผลและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรที่สำรวจ ซึ่งผลเปรียบเทียบต้องผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การวางแผนการจราจรต่อไป เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibrate Target and Criteria) สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองโดยอาศัยเกณฑ์ของ Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) (Highways Agency et al, 2012) เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง

ตัวชี้วัดการปรับเทียบ	เกณฑ์การปรับเทียบ	เป้าหมายการปรับเทียบ
ปริมาณจราจร	GEH < 5	> 85% ของกรณีทั้งหมดที่ทำการปรับเทียบ

ค่า GEH เป็นค่าที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์เพื่อเปรียบเทียบ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมจราจร การคาดการณ์จราจร รวมทั้งการพัฒนาแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดย Geoffrey E. Havers ค่า GEH เป็นดัชนีชี้วัดที่ใช้ในการปรับเทียบปริมาณจราจร โดยค่า GEH Statistics พัฒนามาจากหลักการทางสถิติที่เรียกว่า ไคสแควร์ (Chi-Squared) เป็นค่าความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรและความแตกต่างสัมบูรณ์ ซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบค่าปริมาณจากการประมวลผลในแบบจำลองและค่าที่ได้จากการสำรวจจริงการจราจรใน 1 ชั่วโมง เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคสามารถหาได้จากสมการ

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (2.12)$$

โดยที่ M = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง
 C = ค่าที่ได้จากการสำรวจ

สำหรับการสร้างแบบจำลองการจราจรขั้นพื้นฐาน หากค่า GEH มีค่าน้อยกว่า 5.0 จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่อไป โดยค่าของ GEH ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดความสอดคล้องและคุณภาพของข้อมูล สามารถพิจารณาดังนี้

(5.1) ค่า $GEH < 5.0$ หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลอง มีความสอดคล้องกับข้อมูลในภาคสนาม

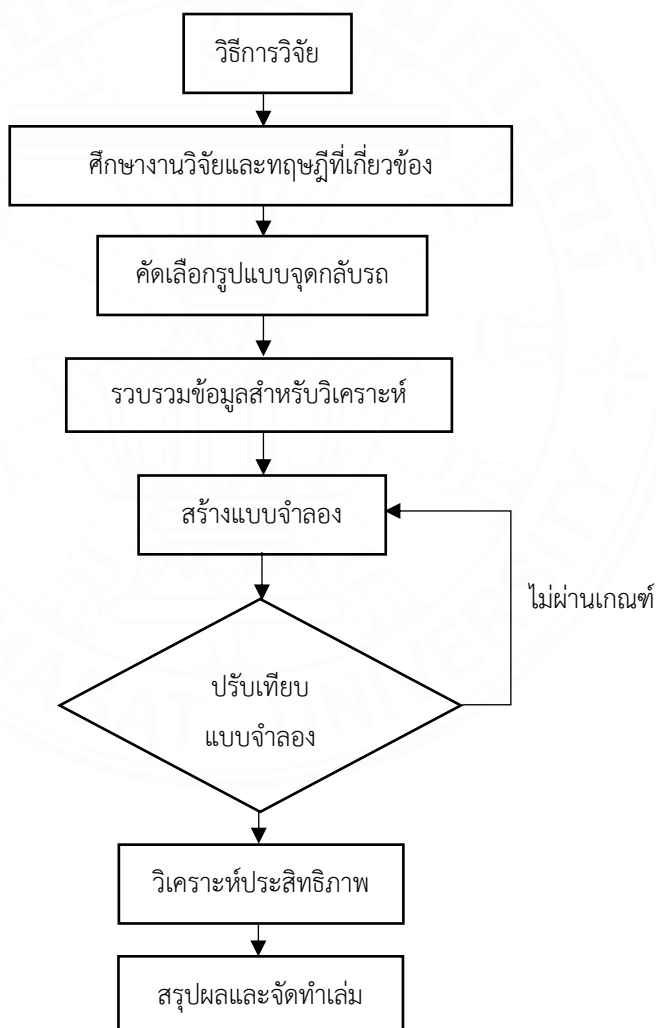
(5.2) ค่า $5 < GEH < 10$ หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลอง ต้องปรับเทียบกับข้อมูลในภาคสนามใหม่อีกครั้ง

(5.3) ค่า $10 < GEH$ หมายถึง ปริมาณจราจรที่ได้จากการประมวลผลในแบบจำลอง ไม่มีความสอดคล้องกับผลการสำรวจจริงในภาคสนาม

(6) ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Simulation Output) การศึกษาและวิเคราะห์กระแสจราจรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานของสภาพการจราจร โดยการกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสม เพื่อใช้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของกลุ่มยานพาหนะเหล่านั้นและข้อมูลจากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาและเก็บข้อมูลทางกายภาพของจุดกลับรถ, (2) การสำรวจข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถ, (3) วิเคราะห์ข้อมูลจุดกลับรถแต่ละประเภท จากข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองการจราจร และ (4) สรุปผลการศึกษา รายละเอียดการดำเนินการสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาดังภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ข้อมูลลักษณะกายภาพ

การรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพและข้อมูลปริมาณจราจรบริเวณจุดกลับรถนั้นผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมรูปแบบจุดกลับรถระดับพื้น 2 รูปแบบ ได้แก่ กรณีมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุกและกรณีไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุกบนถนน 4 ช่องจราจร สำหรับการคัดเลือกจุดกลับรถทั้ง 2 รูปแบบมาพิจารณานั้นอ้างอิงมาจากข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดเปิดเกาะกลาง 5 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2559 ถึง ปี พ.ศ. 2563 จากข้อมูลระบบสารสนเทศอุบัติเหตุบนทางหลวงของสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง ที่มีอัตราการเกิดอุบัติเหตุรวมกันสูงถึงร้อยละ 49.50 โดยมีตัวอย่างจุดสำรวจที่นำมาใช้ในการพิจารณาดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 ทางหลวงหมายเลข 346 กม. 23+990



ภาพที่ 3.3 ทางหลวงหมายเลข 226 กม. 6+546



ภาพที่ 3.4 ทางหลวงหมายเลข 340 กม. 4+141



ภาพที่ 3.5 ทางหลวงหมายเลข 304 กม. 38+500

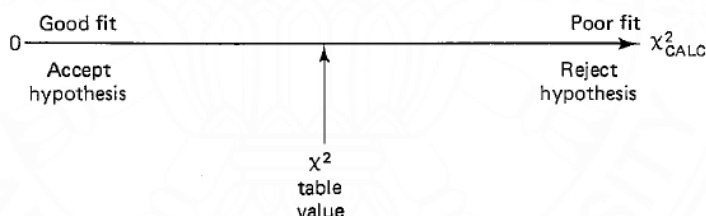
3.2 ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

3.2.1 ข้อมูลการมาของยานพาหนะ (Vehicle Arrival Patterns)

Time Headway มีความสำคัญอย่างมากกับอัตราการไหลของกระแสจราจร ซึ่งจะส่งผลต่อความปลอดภัย, ระดับการให้บริการ, พฤติกรรมของผู้ขับขี่ และความจุของถนนโดยระยะห่างของรถต่ำที่สุดหรือเรียกว่า Minimum time headway จะช่วยให้เกิดความปลอดภัยในการขับขี่ยานพาหนะ กรณีเมื่อรถคันหน้าลดความเร็วอย่างกะทันหัน ส่วนเปอร์เซ็นต์ของเวลาในการตามกันของยานพาหนะจะแสดงให้เห็นถึงระดับการให้บริการของถนน (Level or Quality of Service) และการกระจายตัวของ Time Headway ยังเป็นตัวที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของผู้ขับขี่เกี่ยวกับการหาโอกาสในการแซง (Passing), การรวมกระแส (Merging) อีกทั้งระบบความจุของถนนยังถูกหามาจาก ระยะห่างต่ำสุดของรถ (Minimum Time Headway) และ การกระจายตัวของรถ

ภายใต้ข้อกำหนด Capacity-Flow ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะมีความสำคัญ สำหรับการออกแบบ, การบำรุงรักษา และการพัฒนาระบบขนส่งและจราจรเป็นอย่างมาก

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบการมาของรถบนถนน (Time Headway Distribution) ไว้สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ศึกษาจึงทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ด้วยวิธีทดสอบ Chi-Square Test เพื่อช่วยสำหรับการประเมินและเลือกรูปแบบ Mathematical distribution โดยมีการตั้งสมมติฐาน (Null Hypothesis , H_0) ไว้ว่า Headway สามารถใช้รูปแบบที่สมมตินั้นได้ เมื่อ Measure Time Headway Distribution และ Specific Mathematic Distribution ไม่มีความแตกต่างกัน และยอมรับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญได้ (ค่า P-Value > 0.05) ในทางกลับกัน ถ้าไม่ยอมรับสมมติฐาน จะหมายความว่า Measure Time Headway Distribution มีความแตกต่างกับ Mathematical Distribution ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบรูปแบบการกระจายตัวทั้ง 2 รูปแบบจะใช้ค่า Chi-square Value ตามสมการที่ 2.12 ดังภาพที่ 3.6 Calculated and Table Value ซึ่งวิธีการทดสอบ Chi-Square Test นี้จะมีข้อจำกัดที่ว่าในแต่ละช่วงที่พิจารณาการกระจายจะต้องมีความถี่ไม่น้อยกว่า 5 โดยศึกษานี้จะเลือกใช้โปรแกรม Minitab 18 ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ



ภาพที่ 3.6 ทฤษฎีการเปรียบเทียบทดสอบ Chi-Square

3.2.2 ข้อมูลการกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)

การสำรวจข้อมูลความเร็ว เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความจำเป็นในการจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่เสมือนจริงมากที่สุดก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลลักษณะการใช้ความเร็วของรถทางหลักบริเวณจุดกลับรถในช่วง Free Flow Speed (FFS) ของแต่ละช่องจราจร ซึ่งข้อมูล que ผู้ศึกษาได้รวบรวมมาจะเป็นข้อมูลในรูปแบบความเร็วที่จุด (Spot Speed) ของยานพาหนะรายคันในกระแสจราจรที่ผ่านตำแหน่งสำรวจ สำหรับนำไปวิเคราะห์การกระจายตัวเพื่ออนุมานข้อมูลเพื่อไปเป็นตัวแทนของความเร็วในแบบจำลองการจราจรในการวิเคราะห์ต่อไป

ในการศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Check) ในการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวในรูปแบบของ Normal Distribution โดยวิธีหาค่า Coefficient of Skewness ที่ใกล้เคียง 0 ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Coefficient of Skewness} = \frac{\text{mean} - \text{mode}}{s} \text{ or } 3 \left(\frac{\text{mean} - \text{median}}{s} \right) \quad (3.1)$$

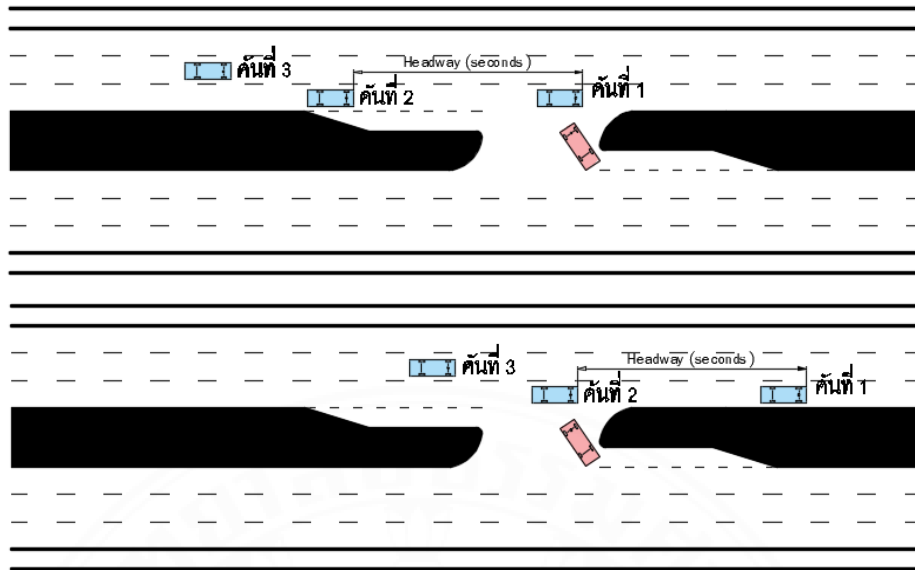
โดยผลลัพธ์ของข้อมูลจะแสดงในรูปแบบข้อมูลการกระจายตัว จะทำการรวบรวมเกี่ยวกับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ เพอร์เซ็นต์ไทล์สะสมที่ 85 (Cumulative Percentile Distribution)

3.2.3 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ใช้ในการกลับรถ

การศึกษาพฤติกรรมของการของผู้ขับขี่ที่ต้องการกลับรถจะมีการรวบรวมข้อมูล 3 ส่วนได้แก่ ข้อมูลพฤติกรรมยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance), ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ และข้อมูลการตามกันของยานพาหนะ โดยที่ลักษณะการกลับรถบริเวณจุดกลับรถเป็นการที่ผู้ขับขี่พยายามหาช่องว่างที่ปลอดภัยแล้วทำการกลับรถ โดยในการศึกษานี้ถ้าเป็นจุดกลับรถรูปแบบธรรมดา (Conventional Median Opening) พฤติกรรมการหาช่องว่างจะเป็นแบบการตัดกระแสรถจราจร สำหรับวิธีการหาระยะห่างการยอมรับช่องว่างวิกฤตนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการแบ่งประเภทของยานพาหนะที่จะใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้ ประเภทที่ 1 รถยนต์ส่วนบุคคล 4 ล้อ ประเภทที่ 2 คือรถบรรทุก 6 ล้อ ,ประเภทที่ 3 คือรถบรรทุก 10 ล้อ และประเภทที่ 4 คือ รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ ในการนี้จะรวมทั้งรถแทรกเตอร์และรถพ่วงไว้ในประเภทนี้ สำหรับการรวบรวมข้อมูลพฤติกรรมของการกลับรถจะได้รับการถอดวิดีโอของรูปแบบจุดกลับรถแต่ละรูปแบบที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการพิจารณา

(1) ระยะเวลาช่องว่างที่ปฏิเสธ (Rejected Gap)

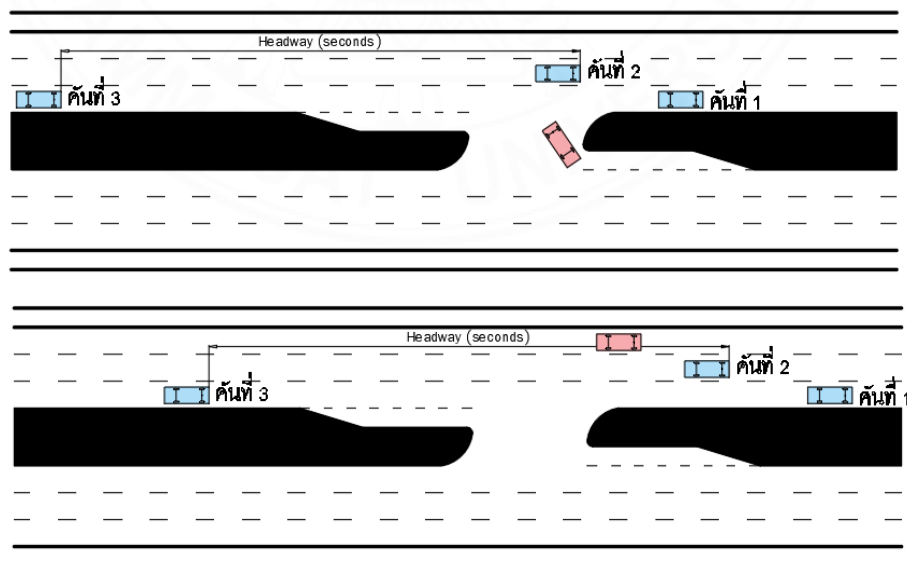
ระยะเวลาช่องว่างที่ปฏิเสธช่องว่าง คือการที่ผู้ขับขี่ปล่อยให้ปล่อยให้รถทางตรงผ่านไปเนื่องจากช่องว่างระหว่างรถทางตรงไม่เพียงพอสำหรับการกลับรถ โดยจะบันทึกระยะเวลาที่ปฏิเสธทุกช่องว่าง จนกระทั่งมีช่องว่างที่เพียงพอสำหรับผู้ขับขี่เพื่อเริ่มทำการกลับรถ จึงจะหยุดการบันทึกผล



ภาพที่ 3.7 ระยะเวลาช่องว่างที่ปฏิเสธ (Rejected Gap)

(2) ระยะเวลาที่ยอมรับช่องว่าง (Accept Gap)

ระยะเวลาที่ยอมรับช่องว่าง คือระยะเวลาที่ผู้ขับขี่เริ่มทำการกลับรถหลังจากที่หยุดรอช่องว่าง จนกระทั่งผู้ขับขี่ทำการกลับรถเสร็จสมบูรณ์ แล้วมีรถทางตรงมาปิดท้าย จึงทำการหยุดบันทึกผล



ภาพที่ 3.8 ระยะเวลาที่ยอมรับช่องว่าง (Accept Gap)

3.3 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองการจราจรสำหรับไว้วิเคราะห์ข้อมูลนั้น ผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปประกอบการสร้างแบบจำลองให้เสมือนจริงมากที่สุด ซึ่งข้อมูลทั้งในส่วนกายภาพของจุดกลับรถ, ลักษณะการมาของปริมาณจราจร, ลักษณะการใช้ความเร็วของรถทางตรงบริเวณจุดกลับรถ และข้อมูลด้านพฤติกรรมของผู้ขับขี่ จำพวกระยะเวลาในการยอมรับช่องว่างวิกฤต, ความเร็วในการกลับรถของผู้ขับขี่ เป็นต้น ดังภาพที่ 3.5 ข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยทั่วไปแบบจำลองมักจะเริ่มต้นจากไม่มีปริมาณจราจรในโครงข่าย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพจริง โดยในแบบจำลองการจราจรของจุดกลับรถแต่ละรูปแบบผู้ศึกษาจะมีการตั้งค่าระยะเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลไว้ที่ 1 ชั่วโมง อีกทั้งการสร้างแบบจำลองมีความจำเป็นต้องให้มีปริมาณจราจรเข้าสู่ระบบก่อนทำการวิเคราะห์ จึงเพิ่มช่วงเวลาประมวลผลเพิ่มขึ้นอีก 15 นาที (Warm-up Period)

ด้านกายภาพของจุดกลับรถ	ความสามารถของถนน	ด้านกายพฤติกรรมของผู้ขับขี่
<ul style="list-style-type: none"> จำนวนช่องจราจร ขนาดช่องจราจร ลักษณะเกาะกลาง ขนาดเกาะกลาง ระยะช่องรอเลี้ยว ระยะลดความเร็ว ระยะเร่งความเร็ว ช่องจราจรขยายสำหรับรถบรรทุก 	<ul style="list-style-type: none"> ความเร็วจำกัดรถทางหลัก ความเร็วที่ใช้ในการกลับรถ ความจุของถนน ประเภทของถนน ปริมาณจราจร 	<ul style="list-style-type: none"> ระยะเวลาตอบสนองของผู้ขับขี่ ระยะเวลาดัดสติใจของผู้ขับขี่ ระยะเวลาในการยอมรับช่องว่าง รูปแบบการมาของปริมาณจราจร รูปแบบควบคุมบริเวณจุดตัด ประเภทของยวดยาน

ภาพที่ 3.9 ข้อมูลสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการจุดกลับรถให้สอดคล้องกับความต้องการในการกลับรถ เพื่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยสูงสุด

3.5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่ได้จะแสดงการสรุปในรูปแบบของปัจจัยที่มีผลต่อการเปิดจุดกลับรถ อันได้แก่ความสามารถในการระบายรถบริเวณจุดกลับรถ และผลของความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้น รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงพิจารณาจุดกลับรถ



บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา

สำหรับบทนี้จะเป็นกล่าวถึงผลการศึกษาซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ (1) ผลวิเคราะห์ข้อมูลบริเวณจุดกลับรถ, (2) การเปรียบเทียบแบบจำลอง และ (3) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง ตามขอบเขตการศึกษาที่จะพิจารณาเกี่ยวกับจุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก และรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลบริเวณจุดกลับรถ

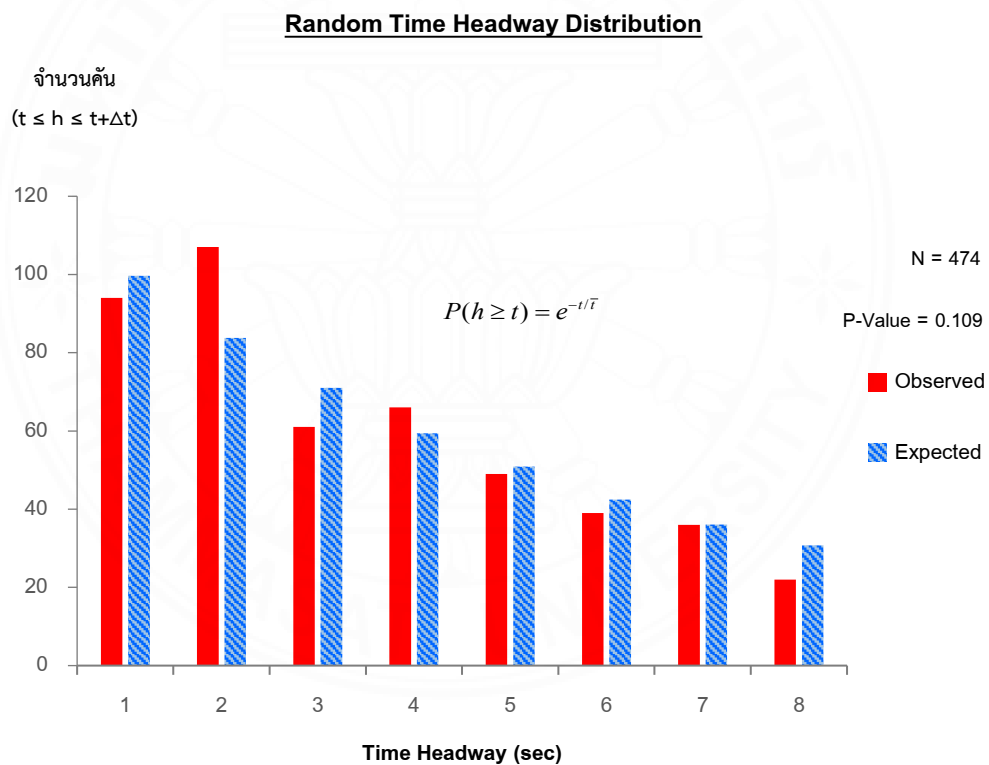
4.1.1 ข้อมูลการมาของยานพาหนะ (Vehicle Arrival Patterns)

สำหรับรูปแบบการมาของรถทางหลัก (Main Road) นี้ได้ใช้วิธีการ Time Headway Distribution มาใช้ในการหารูปแบบการมาของยานพาหนะทางหลักเทียบกับรูปแบบ Mathematic โดยได้ดำเนินการพิจารณาจุดกลับรถทั้ง 2 รูปแบบ (4 จุดสำรวจ) รวมกันเนื่องจากลักษณะของปริมาณจราจรทางหลักตามช่วงเวลามีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงได้ทำการแบ่งช่วงการจราจรที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทีละ 200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ดังนี้

- ปริมาณจราจร 200-400 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร
- ปริมาณจราจร 401-600 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร
- ปริมาณจราจร 601-800 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร
- ปริมาณจราจร 801-1,000 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร
- ปริมาณจราจร 1,001-1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร
- ปริมาณจราจร 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจรขึ้นไป

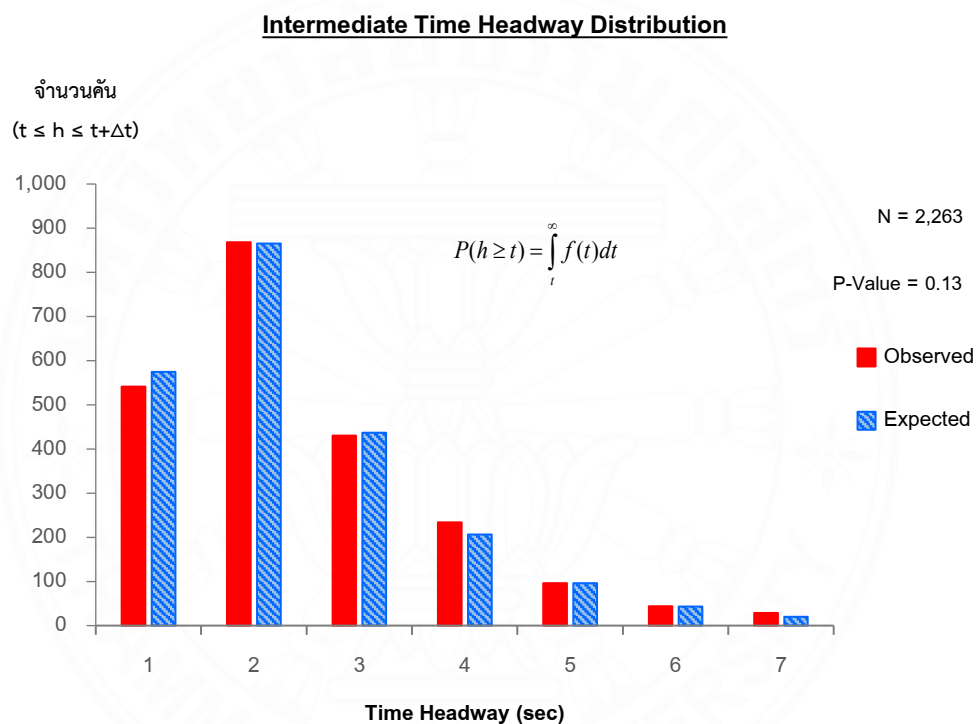
จากผลการศึกษาพบว่าสามารถสรุปช่วงการมาของกระแสจราจรออกได้เป็น 3 รูปแบบได้แก่ช่วง การมาของกระแสจราจรแบบสุ่ม, การมาของกระแสจราจรระหว่างแบบสุ่มและใกล้เคียงความจุ และการมาของกระแสจราจรใกล้เคียงความจุ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) การมาของกระแสจราจรแบบสุ่มพบว่าเมื่อช่วงปริมาณจราจรระหว่าง 200-400 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ลักษณะการมาของกระแสจราจรมีรูปแบบสุ่มการมา (Random State) พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวแบบ Negative Exponential Distribution ได้ค่า P-Value จากการทดสอบอยู่ที่ 0.109 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงทำให้สามารถยอมรับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญได้ โดยที่ค่าเฉลี่ยของ Time Headway จะเท่ากับ 5.9 วินาที จนกระทั่งช่วงปริมาณจราจรอยู่ในระดับ 401-600 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร รูปแบบการมาของกระแสจราจรยังคงเป็น Negative Exponential Distribution แต่การมาของกระแสจราจรเริ่มที่จะมีกลุ่มของกระแสจราจรที่มาเป็นกลุ่มก้อน (Platoon) มีค่า Time Headway ในช่วง 0-2 วินาทีมากขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ยจะสั้นลงเท่ากับ 3.63 วินาที ข้อมูลดังภาพที่ 4.1



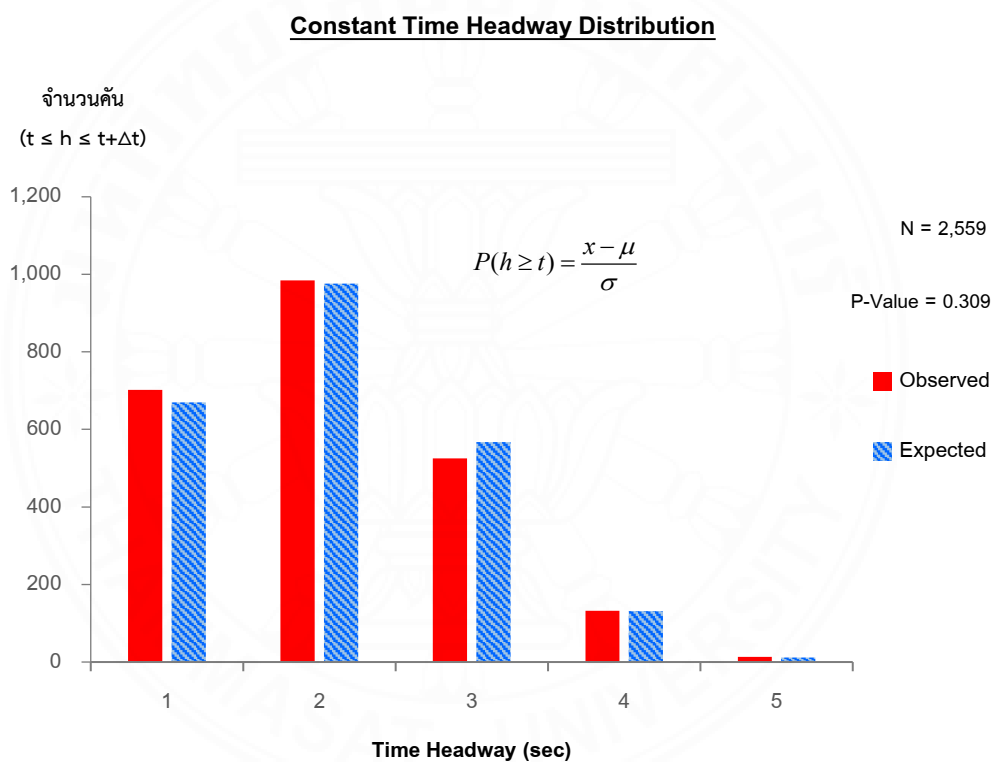
ภาพที่ 4.1 Time Headway Distribution ช่วงการมาของกระแสที่น้อยกว่า 600 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร

(2) การมาของกระแสจราจรระหว่างแบบสุ่มและใกล้เต็มความจุพบว่าเมื่อช่วงปริมาณจราจรตั้งแต่ 601-1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร รูปแบบการมาของกระแสจราจรจะถูกปรับเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ Gamma Distribution ได้ค่า P-Value จากการทดสอบอยู่ที่ 0.13 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงทำให้สามารถยอมรับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญได้ และจะเข้าสู่สภาวะระหว่างปริมาณจราจรแบบสุ่มและใกล้เต็มความจุ (Intermediate State) โดยที่ค่าเฉลี่ยของ Time Headway เท่ากับ 1.59 วินาที ข้อมูลดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 Time Headway Distribution ช่วงการมาของกระแสตั้งแต่ 601 ถึง 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร

(3) การมาของกระแสจราจรแบบโกลีโต้มีความจุพบว่ามีช่วงปริมาณจราจรตั้งแต่ช่วง 1,201 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจรขึ้นไป ลักษณะการกระจายตัวจะเป็นแบบ Normal Distribution ได้ค่า P-Value จากการทดสอบอยู่ที่ 0.309 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงทำให้สามารถยอมรับสมมติฐานอย่างมีนัยสำคัญได้ ซึ่งในการกระจายตัวรูปแบบนี้จะเป็นการกระจายตัวในลักษณะที่ยานพาหนะเกาะกลุ่มกันมากขึ้น หรือที่เรียกว่า Constant State ทำให้ช่วงของ time headway อยู่ในช่วง 0-1 วินาที และ 1-2 วินาทีและจะลดลงอย่างมากในช่วงที่มีค่าสูงขึ้น โดยที่ค่าเฉลี่ยของ Time Headway เท่ากับ 1.41 วินาที ข้อมูลดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 Time Headway Distribution ช่วงการมาของกระแสจราจรมากกว่า 1,201 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร

จากข้อมูลการมาของกระแสจราจรข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าช่วงปริมาณน้อยกว่า 600 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร รูปแบบการกระจายสามารถแทนได้ด้วย Negative Exponential จนกระทั่งช่วงปริมาณจราจรตั้งแต่ 601 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจรไปจนถึง 1,200 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร รูปแบบการกระจายตัวสามารถแทนได้ด้วย Gamma Distribution และเมื่อปริมาณจราจรสูงกว่า 1,201 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร รูปแบบการกระจายตัวสามารถแทนได้เป็น Normal Distribution ข้อมูลดังตารางที่ 4.1 อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงช่วงเวลาการมาของกระแสจราจรพบว่า ในช่วงที่ปริมาณจราจรนอกช่วงเวลาเร่งด่วน 10.00 – 16.00 น. นั้นพบว่ากระแสจราจรมีรูปแบบ Random State และในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นกระแสจราจรจะอยู่ในรูปแบบ Intermediate State และในช่วงเวลาเร่งด่วนสูงสุดจะแสดงในรูปแบบของ Constant State

ตารางที่ 4.1 รูปแบบการกระจายตัวตามกระแสจราจรทางหลัก

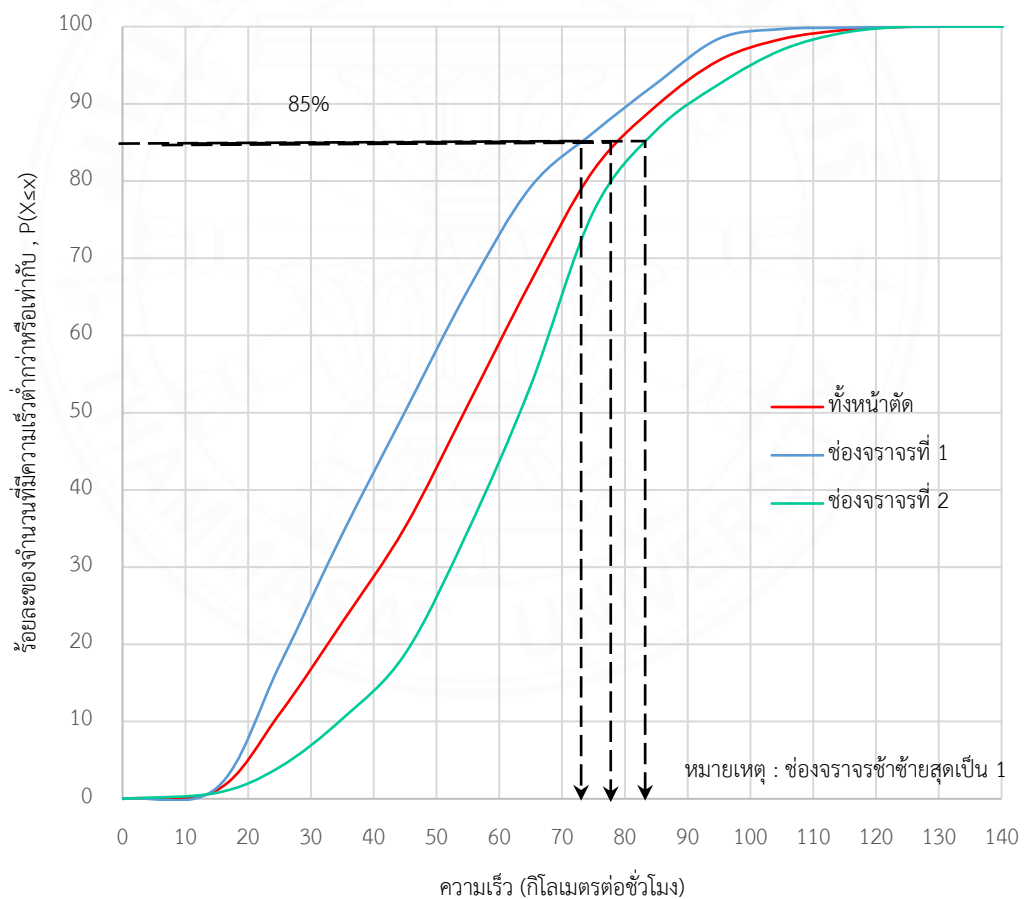
ช่วงกระแสจราจร	อัตราการไหล (คัน/ชั่วโมง/ช่องจราจร)	รูปแบบสมการการกระจายตัว
ต่ำ	น้อยกว่า 600	Negative Exponential Distribution
ปานกลาง	601 ถึง 1,200	Gamma Distribution
สูง	สูงกว่า 1,201	Normal Distribution

4.1.2 ข้อมูลการกระจายตัวของความเร็ว (Speed Distribution)

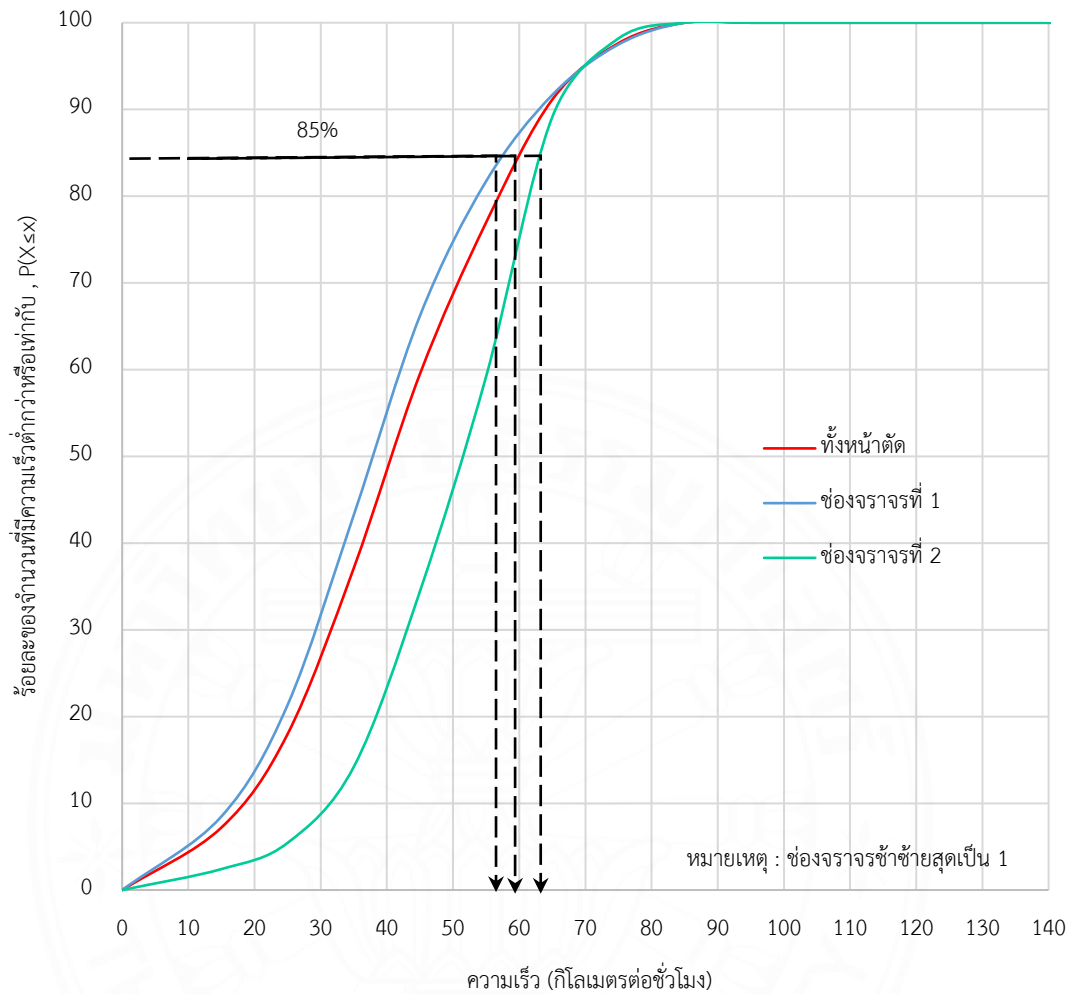
การวิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วนั้น ผู้ศึกษาได้วิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วแต่ละช่องจราจร โดยกำหนดความเร็วของผู้ขับขี่ในช่วง Free Flow Speed (FFS) ไว้ที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะเท่ากับ 4 วินาทีขึ้นไปพบว่าลักษณะการกระจายตัวของความเร็วทั้ง 4 จุดสำรวจนั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของช่องจราจรที่ 1 (นับจากซ้าย) อยู่ในช่วง 75-85 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และช่องจราจรที่ 2 อยู่ในช่วง 85-95 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของยานพาหนะประเภทรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไปนั้นมีค่าเฉลี่ยการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของช่องจราจรที่ 1 (นับจากช่องจราจรซ้ายสุด) ในช่วง 65-70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และช่องจราจรที่ 2 ในช่วง 70-80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) จุดสำรวจที่ 1 ทางหลวง 4 ช่องจราจรหมายเลข 346 กม.23+900

ในจุดสำรวจนี้มีค่าการใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดอยู่ที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของรถบรรทุกมีค่าการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดเท่ากับ 62 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 14 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่า Coefficient of Skewness เท่ากับ 0.31 ของรถยนต์ส่วนบุคคล และ 0.2 ของรถบรรทุกหนัก โดยที่การกระจายตัวของความเร็วของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภทใกล้เคียงรูปแบบ Normal Distribution เพราะค่า Coefficient of skewness ใกล้เคียงศูนย์ ข้อมูลดังภาพที่ 4.4 ถึง ภาพที่ 4.5



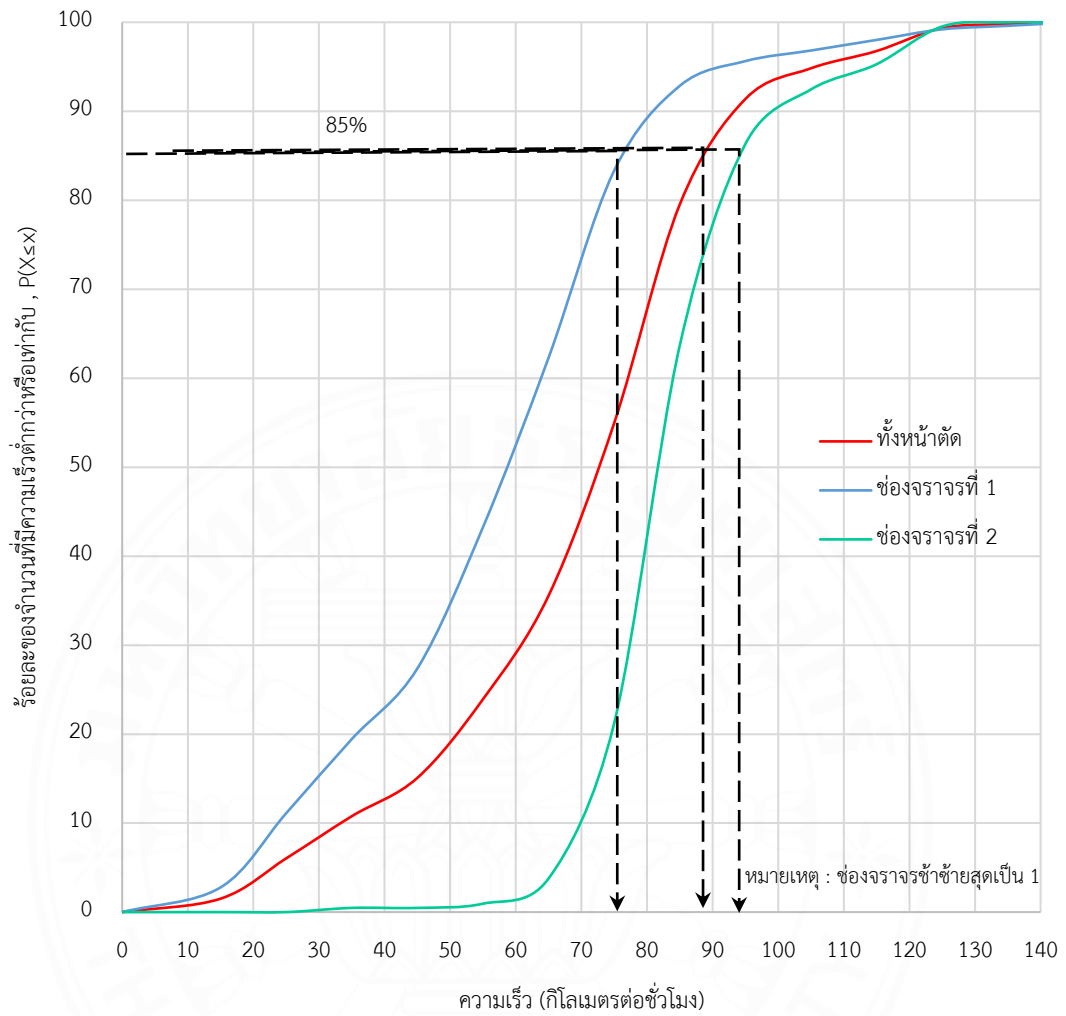
ภาพที่ 4.4 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 1



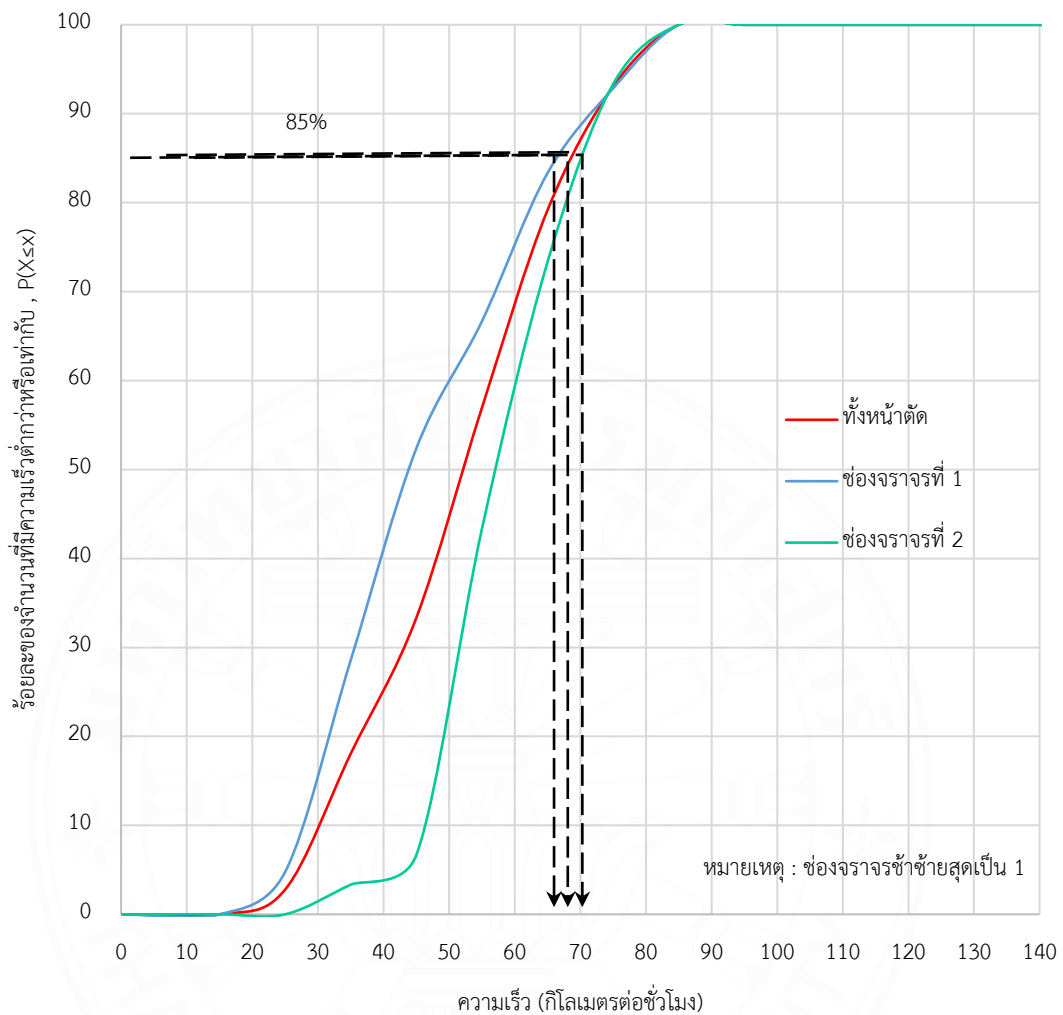
ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 1

2) จุดสำรวจที่ 2 ทางหลวง 4 ช่องจราจรหมายเลข 226 กม.6+546

ในจุดสำรวจนี้มีค่าการใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดอยู่ที่ 89 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของรถบรรทุกมีค่าการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดเท่ากับ 69 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่า Coefficient of Skewness เท่ากับ 0.41 ของรถยนต์ส่วนบุคคล และ 0.44 ของรถบรรทุกหนัก โดยที่การกระจายตัวของความเร็วของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภทใกล้เคียงรูปแบบ Normal Distribution เพราะค่า Coefficient of skewness ใกล้เคียงศูนย์ ข้อมูลดังภาพที่ 4.6 ถึง ภาพที่ 4.7



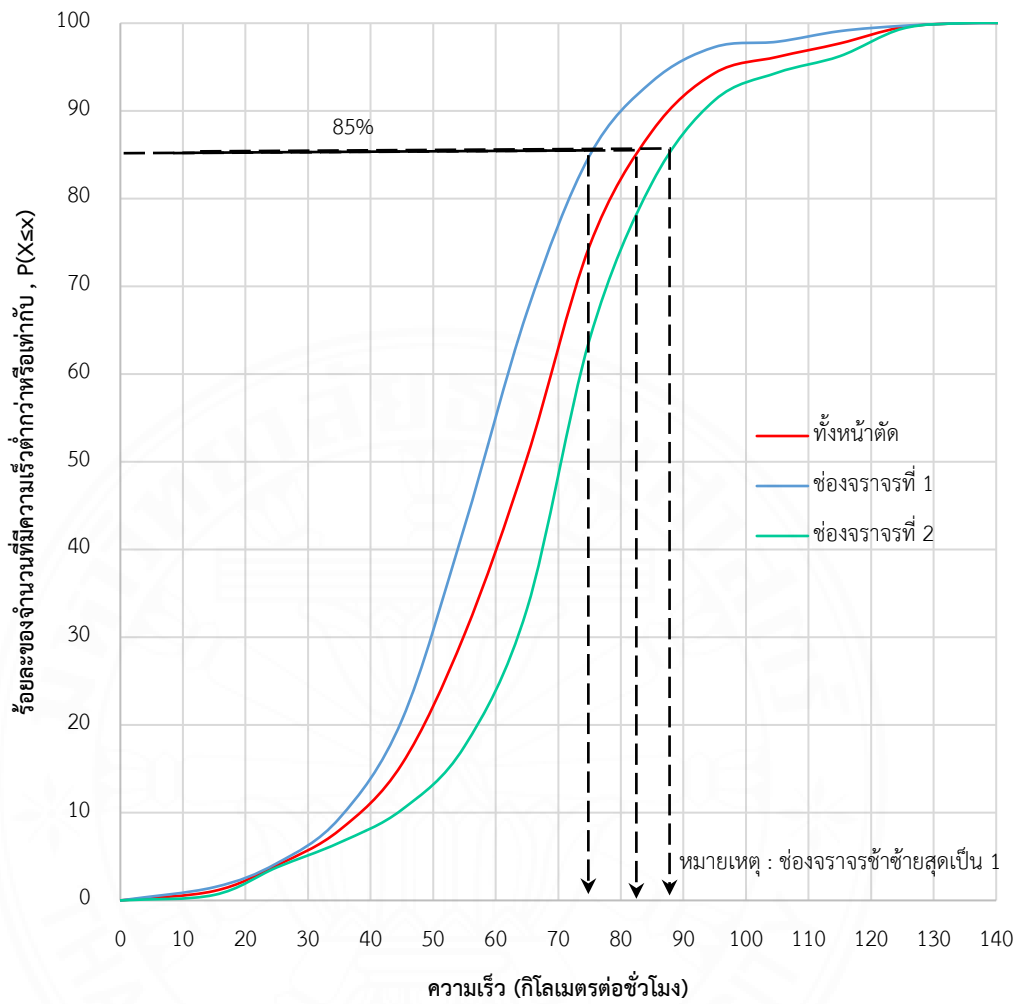
ภาพที่ 4.6 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 2



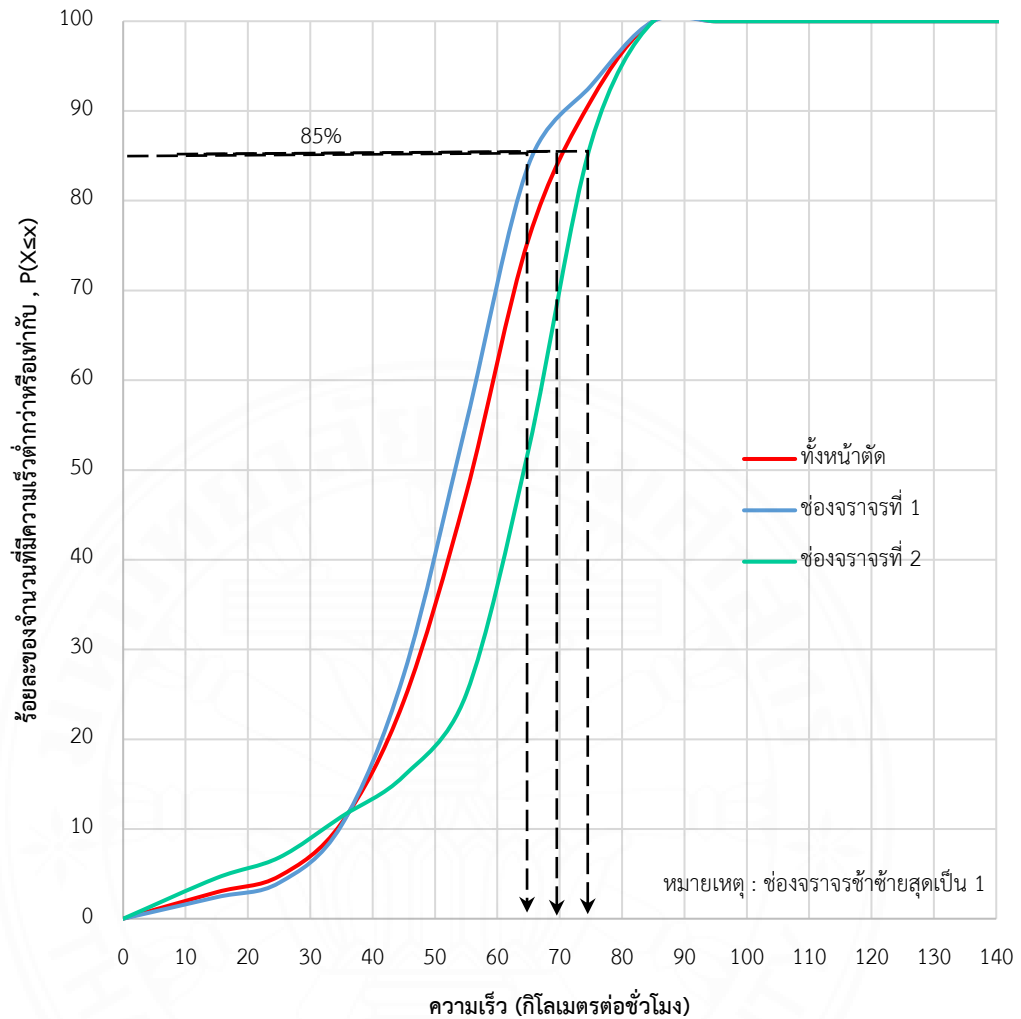
ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 2

3) จุดสำรวจที่ 3 ทางหลวง 4 ช่องจราจรหมายเลข 340 กม.4+141

ในจุดสำรวจนี้มีค่าการใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดอยู่ที่ 84 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของรถบรรทุกมีค่าการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดเท่ากับ 71 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่า Coefficient of Skewness เท่ากับ 0.43 ของรถยนต์ส่วนบุคคล และ 0.35 ของรถบรรทุกหนัก โดยที่การกระจายตัวของความเร็วของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภทใกล้เคียงรูปแบบ Normal Distribution เพราะค่า Coefficient of skewness ใกล้เคียงศูนย์ ข้อมูลดังภาพที่ 4.8 ถึง ภาพที่ 4.9



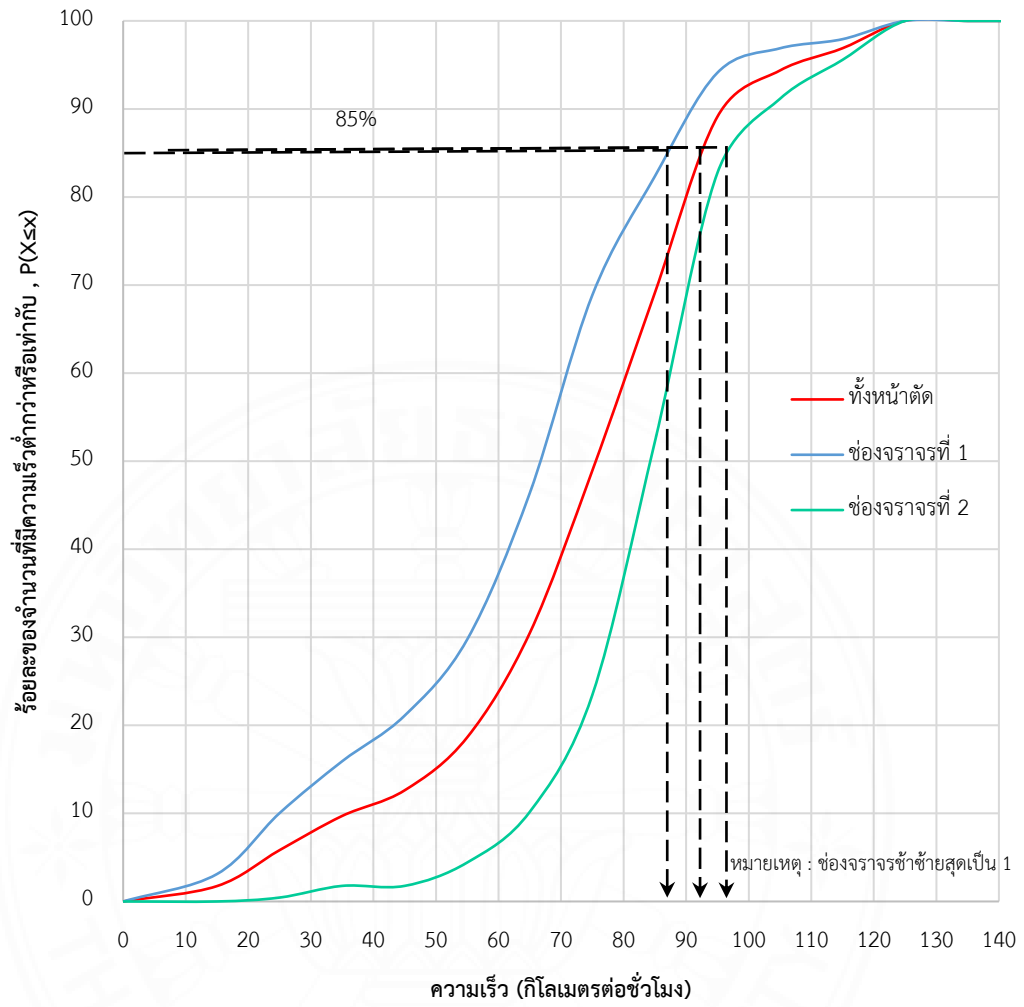
ภาพที่ 4.8 การกระจายตัวของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 3



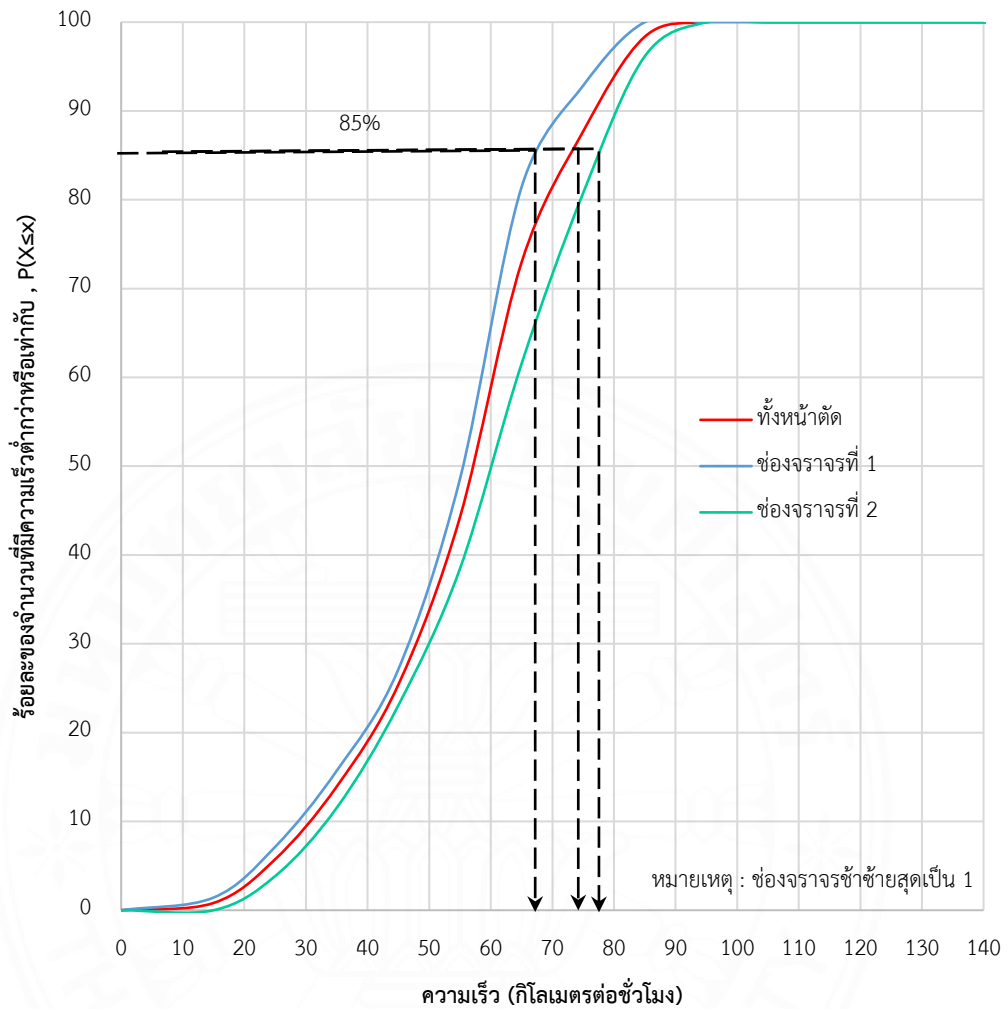
ภาพที่ 4.9 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 3

4) จุดสำรวจที่ 4 ทางหลวง 4 ช่องจราจรหมายเลข 304 กม.38+500

ในจุดสำรวจนี้มีค่าการใช้ความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดอยู่ที่ 93 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 11 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของรถบรรทุกมีค่าการใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ทั้งหมดตัดเท่ากับ 74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีผลต่างของความเร็วในช่องจราจรที่ 1 และ 2 อยู่ที่ 11 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่า Coefficient of Skewness เท่ากับ 0.33 ของรถยนต์ส่วนบุคคล และ 0.3 ของรถบรรทุกหนัก โดยที่การกระจายตัวของความเร็วของยานพาหนะทั้ง 2 ประเภทใกล้เคียงรูปแบบ Normal Distribution เพราะค่า Coefficient of skewness ใกล้เคียงศูนย์ ข้อมูลดังภาพที่ 4.10 ถึง ภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 การกระจายของความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล จุดสำรวจที่ 4



ภาพที่ 4.11 การกระจายตัวของความเร็ว รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป จุดสำรวจที่ 4

4.1.3 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ใช้ในการกลับรถ

สำหรับข้อมูลพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่ใช้ในการกลับรถ ผู้ศึกษาได้ทำการแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง, ระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ และระยะเวลาในการขับรถตามกัน รายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลพฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง (Gap Acceptance)

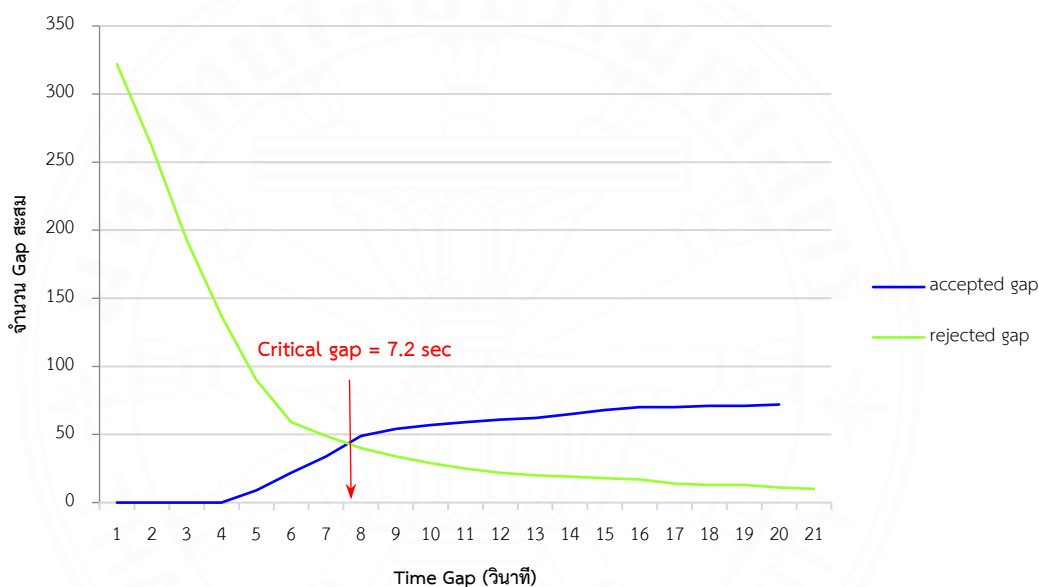
- รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่กลับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

สำหรับรูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่สามารถทำการกลับรถได้มีเพียงรถ 4 ล้อ สำหรับยานพาหนะประเภทรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไปนั้นไม่สามารถทำการกลับรถ ณ รูปแบบจุดกลับรถนี้ได้เนื่องจากเขตทางและรัศมีวงเลี้ยวของยานพาหนะ โดยมีค่าของการยอมรับช่องว่างประเภทรถยนต์ส่วนบุคคลเท่ากับ 7.20 วินาที ข้อมูลตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่รถบรรทุก

จุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่ กลับรถบรรทุก	ยานพาหนะประเภทรถยนต์ส่วนบุคคล 4 ล้อ				
	N	min	max	Average	Critical gap
Rejected Gap	319	1.00	10.88	4.69	7.20
Accepted Gap	79	4.33	30.51	8.39	

หน่วย : วินาที



ภาพที่ 4.12 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถยนต์ส่วนบุคคล รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่รถบรรทุก

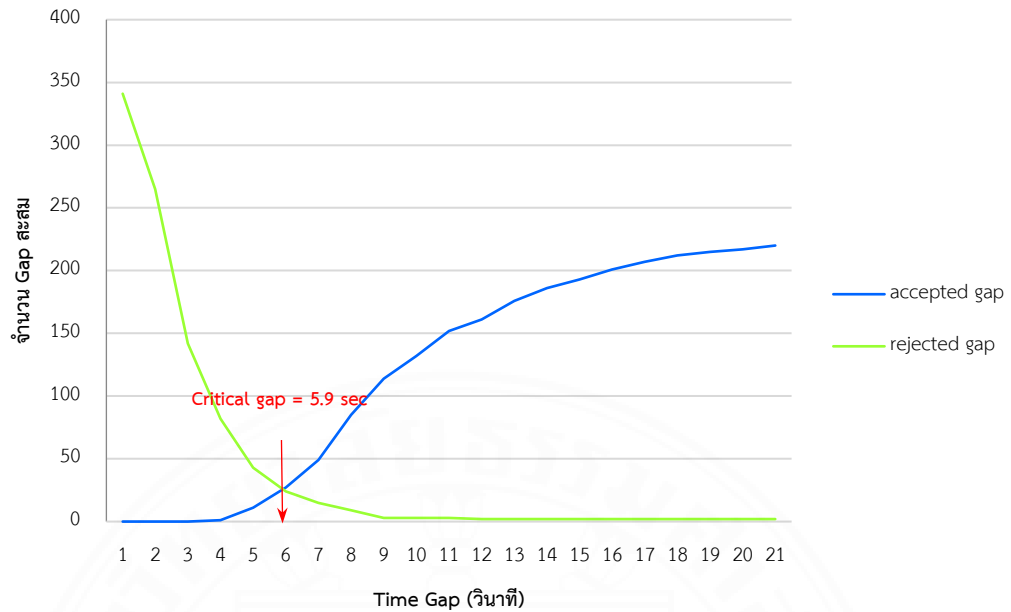
- รูปแบบมีเพิ่มพื้นที่กลับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

สำหรับรูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่สามารถทำการกลับรถได้นั้นมีทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล 4 ล้อและรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป เนื่องจากมีช่องจราจรเพิ่มสำหรับกลับรถของรถที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะเพื่อให้สอดคล้องกับรัศมีวงเลี้ยว โดยมีค่าของการยอมรับช่องว่างประเภทรถยนต์ส่วนบุคคลเท่ากับ 5.90 วินาที ในส่วนของรถบรรทุกขนาดตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไปนั้นจะใช้เวลาในการรอเพื่อทำการกลับรถนานกว่าส่งผลให้การยอมรับช่องว่างของรถบรรทุกนั้นสูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคล 4 ล้อ ข้อมูลตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.13 - 4.16

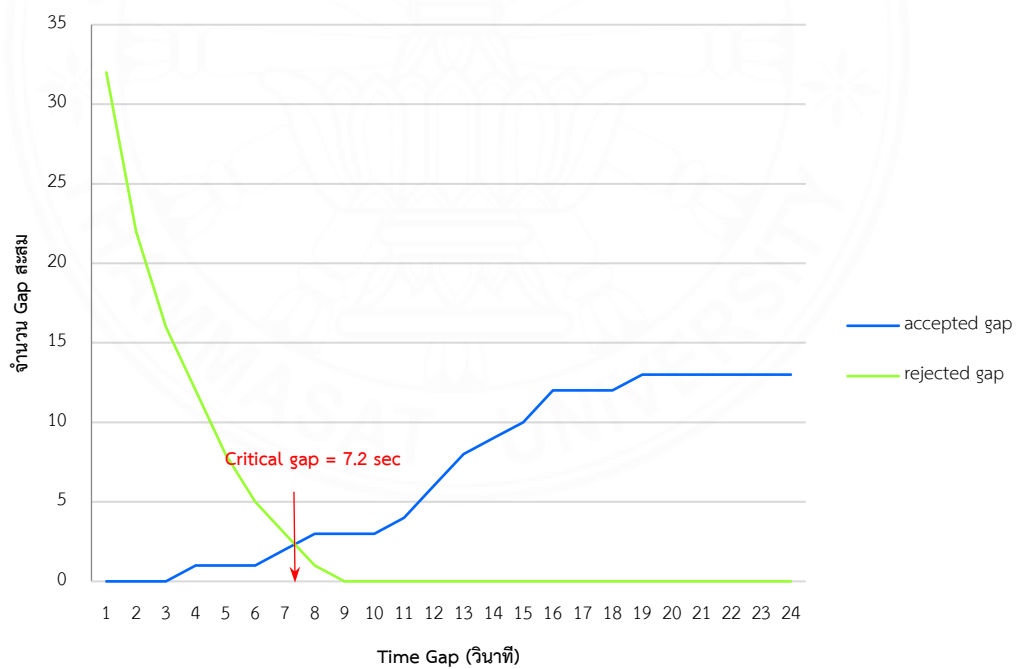
ตารางที่ 4.3 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

จุดกลับรถ รูปแบบมี พื้นที่กลับ รถบรรทุก	ประเภทยานพาหนะที่กลับรถ																			
	4 ล้อ					6 ล้อ					10 ล้อ					มากกว่า 10 ล้อ				
	N	min	max	Average	Critical gap	N	min	max	Average	Critical gap	N	min	max	Average	Critical gap	N	min	max	Average	Critical gap
Rejected Gap	341	0.9	10.13	11.76	5.90	32	0.90	12.68	13.94	7.20	52	1.00	15.68	3.15	9.20	59	0.90	17.71	1.50	11.10
Accepted Gap	235	3.91	59.42	10.98		13	3.54	13.34	12.62		10	9.22	14.30	11.80		12	11.21	17.92	13.85	

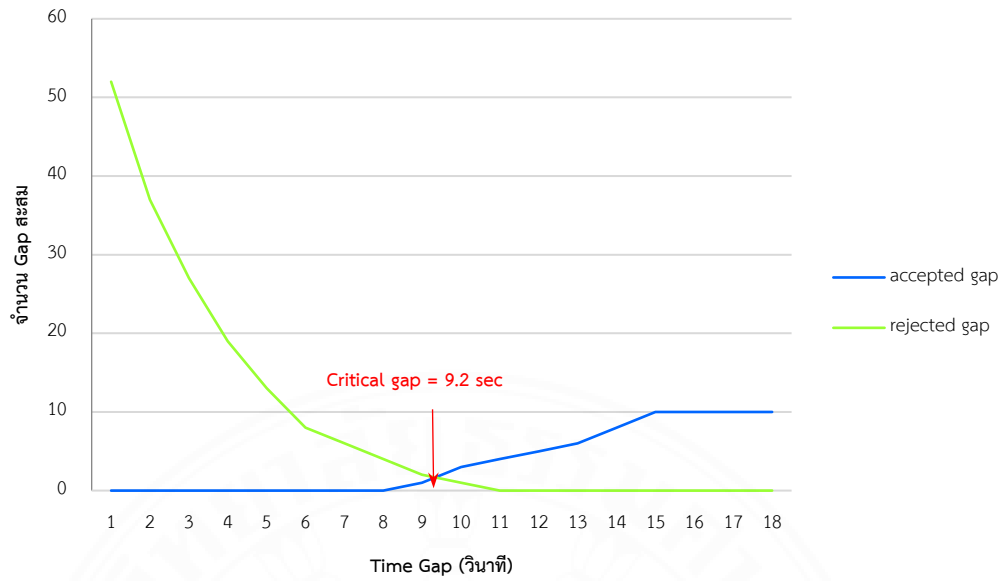
หน่วย : วินาที



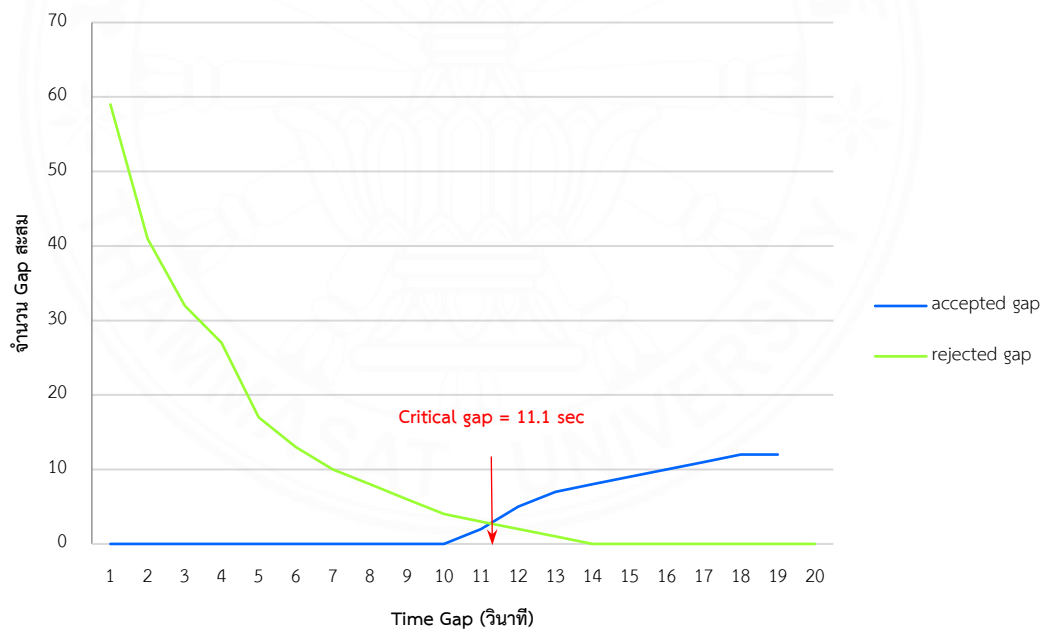
ภาพที่ 4.13 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถยนต์ส่วนบุคคล รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก



ภาพที่ 4.14 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถบรรทุกทุก 6 ล้อ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก



ภาพที่ 4.15 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถบรรทุก 10 ล้อ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก



ภาพที่ 4.16 พฤติกรรมการยอมรับช่องว่างของรถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ
รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

2) ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์

สำหรับข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์นั้นจะขึ้นกับลักษณะการกลับรถไปยังช่องจราจรทางหลักฝั่งตรงข้าม โดยที่การกลับรถของผู้ขับขึ้นจุดกลับรถทั้งรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก และไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก ผู้ขับขึ้นส่วนมากจะทำการกลับรถไปยังช่องจราจรไกลสุด หรือช่องจราจรที่ 1 (นับจากซ้าย) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

รูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่สามารถทำการกลับรถได้มีเพียงรถยนต์ส่วนบุคคล 4 ล้อ เท่านั้น โดยที่มีระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 4.78 วินาที มีร้อยละการเข้าช่องจราจรอยู่ที่ช่องจราจรที่ 1 (นับจากช่องจราจรซ้ายสุด) เป็นร้อยละ 98.9 ข้อมูลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ รูปแบบไม่มีพื้นที่เพิ่มสำหรับรถบรรทุก

จุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่กลับรถบรรทุก	ยานพาหนะประเภท 4 ล้อ			
	N	min	max	Average
ระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์	319	1.90	9.40	4.78

หน่วย : วินาที

- รูปแบบมีเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

โดยรูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่สามารถทำการกลับรถได้ได้ทุกประเภทจากการศึกษาพบว่า สำหรับรถยนต์ส่วนบุคคลที่มีระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ที่ 5.32 วินาที, รถบรรทุก 6 ล้อ มีระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ 7.54 วินาที, รถบรรทุก 10 ล้อ มีระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ 8.38 วินาที และรถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ มีระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ 10.54 วินาที, ซึ่งยานพาหนะทั้ง 4 ประเภทนั้นมีร้อยละการเข้าช่องจราจรอยู่ที่ช่องจราจรสำหรับกลับรถบรรทุกถึง เป็นร้อยละ 99 ข้อมูลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

จุดกลับรถ รูปแบบไม่มี พื้นที่กลับ รถบรรทุก	ประเภทยานพาหนะที่กลับรถ															
	4 ล้อ				6 ล้อ				10 ล้อ				มากกว่า 10 ล้อ			
	N	min	max	Average	N	min	max	Average	N	min	max	Average	N	min	max	Average
ระยะเวลา ในการกลับ รถสมบูรณ์	341	2.40	9.80	5.32	32	3.50	16.00	7.54	52	5.50	20.30	8.38	59	7.60	26.00	10.54

หน่วย : วินาที

3) ข้อมูลระยะห่างในการกลับรถตามกันที่ปลอดภัย

สำหรับข้อมูลระยะเวลาในการขับรถตามกันของรถที่ทำการกลับรถ จะมีผลต่อการจำลองแบบจำลองเพื่อหาความจุสูงสุดของจุดกลับรถ เนื่องจากการที่ยานพาหนะที่กลับรถต่อจากยานพาหนะคันแรกที่ได้ทำการกลับรถไปแล้ว จะมีค่าของระยะห่างของเวลาในการออกตัวหลังจากคันแรกออกตัวที่แตกต่างกันไปตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้การจำลองได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องผู้ศึกษาจึงได้ทำการคัดเลือกช่วงเวลาที่มีการกลับรถต่อกันอย่างน้อย 2 คันขึ้นไปเพื่อนำมาพิจารณาระยะเวลาในการขับรถตามกัน จากข้อมูลพบว่าทั้งจุดกลับรถ 2 รูปแบบกรณีมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุกกลับรถและไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุกมีค่าระยะเวลาในการขับรถตามกันที่ใกล้เคียงกัน อาทิเช่น เฉลี่ยรถกลับรถตามกัน 4 คันใช้ระยะเวลารวม 14 วินาทีในการกลับรถสมบูรณ์ หรือคิดเป็นเวลาในการกลับรถเฉลี่ยคันละ 3.5 วินาที โดยมีรายละเอียดของจุดกลับรถแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

- รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

รูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่ทำการกลับรถต่อกันตั้งแต่ 2 คันขึ้นไป มีระยะเวลาเฉลี่ยเวลาในการกลับรถคันเท่ากับ 3.1 วินาที โดยมีค่าต่ำสุดของการออกตัวระหว่างคันแรกและคันถัดไปเท่ากับ 2 วินาที โดยสำหรับจุดกลับรถประเภทนี้ไม่มีผลของรถบรรทุกมาเกี่ยวข้องเนื่องจากรถบรรทุกไม่สามารถทำการกลับรถได้ จึงทำให้ผลของการออกตัวตามกันมีเฉพาะรถยนต์ส่วนบุคคล ข้อมูลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระยะห่างในการกลับรถตามกัน รูปแบบไม่มีเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

จุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่กลับรถบรรทุก	ระยะห่างในการกลับรถตามกัน			
	N	min	max	Average
ยานพาหนะประเภท 4 ล้อ	20	2.00	6.00	3.3

หน่วย : วินาที

- รูปแบบมีเพิ่มพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

รูปจุดกลับรถนี้ยานพาหนะที่ทำการกลับรถต่อตั้งแต่ 2 คันขึ้นไป มีระยะเวลาเฉลี่ยเวลาในการกลับรถคันเท่ากับ 3.1 วินาที โดยมีค่าต่ำสุดของการออกตัวระหว่างคันแรกและคันถัดไปเท่ากับ 2 วินาที และในกรณีที่มียานรถบรรทุกทำการกลับรถตามกันด้วยก็จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยในการกลับรถของยานพาหนะแต่ละคันเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 วินาที ข้อมูลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ระยะห่างในการกลับรถตามกัน รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

จุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่กลับรถบรรทุก	ระยะห่างในการกลับรถตามกัน			
	N	min	max	Average
ยานพาหนะประเภทรถยนต์ส่วนบุคคล	20	2.00	5.00	3.10
ยานพาหนะประเภทรถบรรทุก	10	2.20	9.00	3.60

หน่วย : วินาที

4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง

สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองนั้นจะนำข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบในแบบจำลอง ให้มีความถูกต้องก่อนนำไปวิเคราะห์ผลลัพธ์ โดยจะมีการเปรียบเทียบทั้งหมด 1 ตัวแปร ได้แก่ระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์ อันเนื่องมาจากข้อมูลในด้านอื่น ได้แก่รูปแบบการมาของกระแสดจราจร, การกระจายตัวของความเร็ว , พฤติกรรมการยอมรับช่องว่าง ระยะเวลาในการขับรถตามกัน จะเป็นการป้อนเข้าไปในแบบจำลองโดยตรง จึงไม่จำเป็นต้องเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้ โดยที่ผลเปรียบเทียบข้อมูลในสนามและแบบจำลอง ต้องอยู่ในเกณฑ์ยอมรับผลต่างไม่เกินร้อยละ 20 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองระยะเวลาในการกลับรถสมบูรณ์

รูปแบบจุดกลับรถ	ข้อมูลภาคสนาม	ข้อมูลแบบจำลอง	ผลต่าง (%)
จุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก : รถยนต์ส่วนบุคคล	4.78	4.08	14.64
จุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก : รถยนต์ส่วนบุคคล	5.32	4.87	8.46
จุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก : รถบรรทุก 6 ล้อ	7.54	6.76	10.34
จุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก : รถบรรทุก 10 ล้อ	8.38	7.07	15.63
จุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก : รถบรรทุกมากกว่า 10 ล้อ	10.54	9.94	5.69

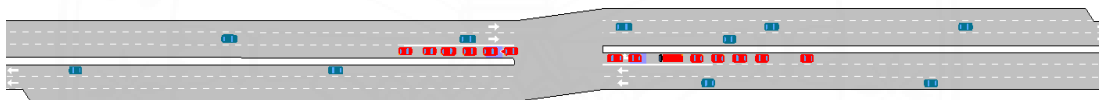
หน่วย : วินาที

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองผู้ศึกษาจะแสดงในรูปแบบของความสามารถในการระบายรถของจุดกลับรถ (Capacity) กรณีไม่มีข้อจำกัดด้านความยาวของช่องรอเลี้ยว และแบบมีข้อจำกัดด้านช่องรอเลี้ยว โดยผู้ศึกษาทำการจำลองจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก และรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก (Loon) ดังภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18 โดยการศึกษาครั้งนี้จะมีข้อจำกัดภายใต้ข้อมูลจำพวกลักษณะกายภาพของจุดสำรวจที่ผู้ศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูล ซึ่งมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.17 แบบจำลองจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก

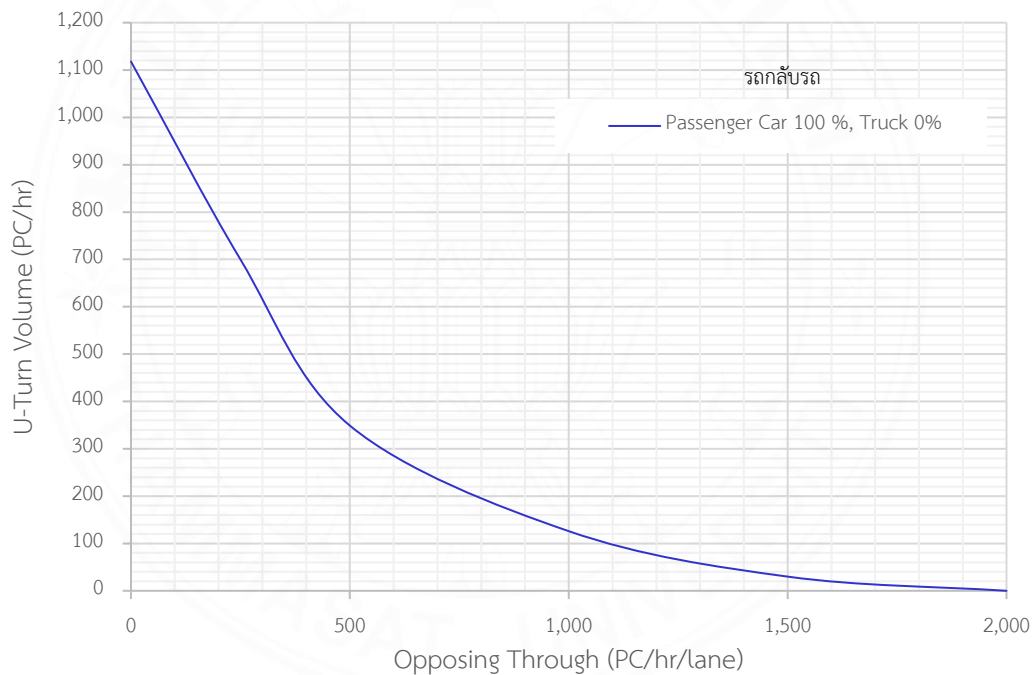


ภาพที่ 4.18 แบบจำลองจุดกลับรถแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon)

4.3.1 การวิเคราะห์ความจุของจุดกลับรถเมื่อไม่มีข้อจำกัดของความยาวช่องรอเลี้ยว สำหรับการวิเคราะห์ความจุของจุดกลับรถในกรณีไม่มีข้อจำกัดของความยาวช่องรอเลี้ยว นั้นจะเพื่อที่จะได้ความจุสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับจุดกลับรถแต่ละประเภท โดยได้ดำเนินการกับจุดกลับรถ 2 รูปแบบบนถนน 4 ช่องจราจรได้แก่ รูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก และรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก (Loon) อีกทั้งได้มีการพิจารณาสัดส่วนของยานพาหนะประเภทรถบรรทุก เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ผลกระทบของรถบรรทุกไว้ที่ร้อยละ 0, 2, 5, 10 และ 20 จากข้อมูลพบว่าความจุของ 2 รูปแบบที่นำมาทำการวิเคราะห์มีความจุสูงสุดอยู่ในช่วง 1,100-1,200 คันต่อชั่วโมงและจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณของรถทางหลักฝั่งตรงข้ามเพิ่มสูงมากขึ้น อีกทั้งเมื่อมีปริมาณของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความจุลดลง และจะลดลงอย่างมากเมื่อร้อยละของรถบรรทุกหนักมากกว่าร้อยละ 10 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) รูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

จากที่ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองนั้นพบว่าในรูปแบบนี้มีความจุในการรองรับปริมาณจราจรของผู้ขับขี่ที่ต้องการกลับรถอยู่ที่ 1,120 คันต่อชั่วโมงและจะลดลงเมื่อปริมาณของจราจรทางหลักฝั่งตรงข้ามเพิ่มขึ้น โดยพบว่าเมื่อปริมาณจราจรของรถทางหลักอยู่ในช่วง 1,500 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ขึ้นไปนั้นจุดกลับรถรูปแบบนี้เริ่มถูกจำกัดความสามารถในการกลับรถ อีกทั้งเกิดความล่าช้าในการกลับรถมากขึ้นในกรณีที่รถทางตรงฝั่งตรงข้ามสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ และในรูปแบบนี้รถบรรทุกขนาดใหญ่ตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไปไม่สามารถทำการกลับรถได้เนื่องจากต้องรื้อมิวลงเสียมาก จึงส่งผลให้การแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรถที่กลับรถกับปริมาณรถทางตรงฝั่งตรงข้ามไม่มีการจำลองการเพิ่มขึ้นของรถบรรทุกที่ต้องการกลับรถดังภาพที่ 4.19

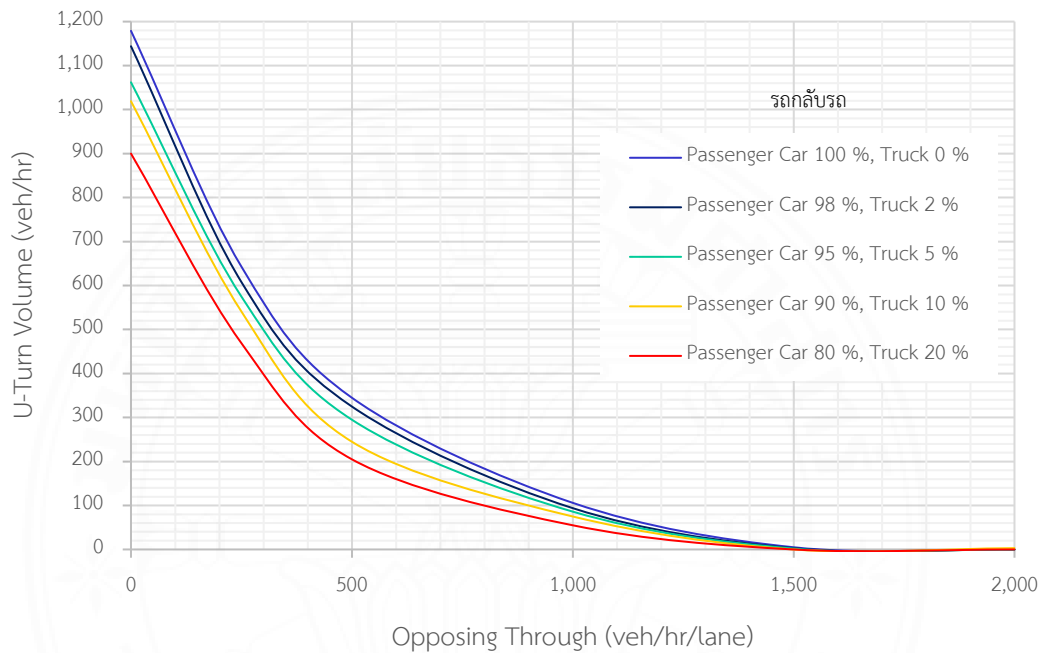


ภาพที่ 4.19 ความจุของจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

2) รูปแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon) บนถนน 4 ช่องจราจร

จากที่ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลองนั้นพบว่าในรูปแบบนี้มีความจุในการรองรับปริมาณจราจรของผู้ขับขี่ที่ต้องการกลับรถอยู่ที่ 1,180 คันต่อชั่วโมงและจะลดลงเมื่อปริมาณของจราจรทางหลักฝั่งตรงข้ามเพิ่มขึ้น โดยพบว่าเมื่อปริมาณจราจรของรถทางหลักอยู่ในช่วง 1,500 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ขึ้นไปนั้น จุดกลับรถรูปแบบนี้เริ่มถูกจำกัดความสามารถในการกลับรถ (กรณีไม่มีร้อยละของรถบรรทุก) อีกทั้งเกิดความล่าช้าในการกลับรถมากขึ้นในกรณีที่

รถทางตรงฝั่งตรงข้ามสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ อีกทั้งเมื่อปริมาณของรถบรรทุกสูงถึงร้อยละ 20 ความจุของจุดกลับรถในช่วงปริมาณจราจรรถทางตรงฝั่งตรงข้ามสูงตั้งแต่ 1,000 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร จุดกลับรถจะเริ่มไม่สามารถรองรับปริมาณรถที่ต้องการกลับรถได้ ดังภาพที่ 4.20

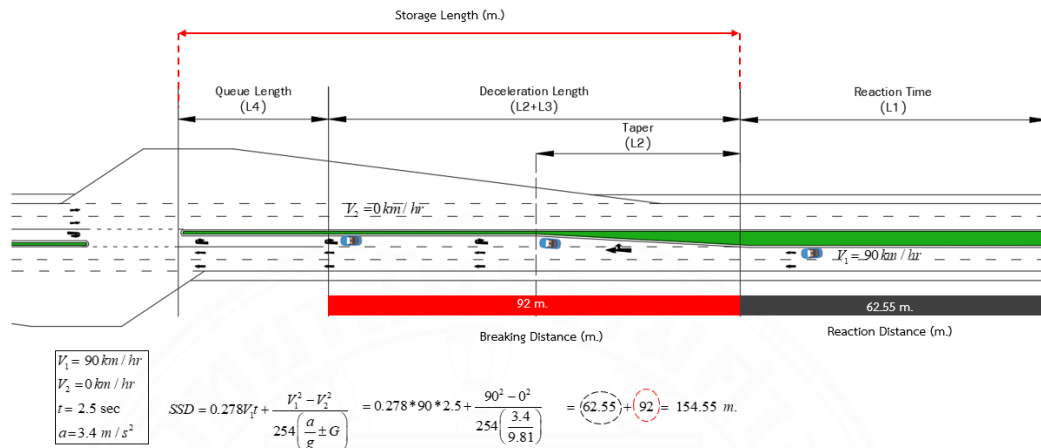


ภาพที่ 4.20 ความจุของจุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon)

4.3.2 การวิเคราะห์ความจุของจุดกลับรถสำหรับช่องรอเลี้ยวแต่ละขนาด

ในความเป็นจริงแล้วสำหรับการเปิดใช้งานจุดกลับรถแต่ละรูปแบบนั้น จำเป็นต้องมี ช่องรอเลี้ยวใช้สำหรับรถที่ต้องการกลับรถจอดรอคอยช่องว่างที่ปลอดภัย ดังนั้นผู้ศึกษา จึงได้ทำการรวบรวมความยาวของช่องรอเลี้ยวที่ใช้กันในปัจจุบันพบว่า มีความยาวของช่องรอเลี้ยวมาตรฐานอยู่ที่ 120, 150 และ 180 เมตร โดยที่สามารถคำนวณได้เป็นระยะโดยประมาณของผู้ขับขี่ในการเปลี่ยนช่องจราจรจากทางตรงไปสู่ช่องรอเลี้ยวและทำการชะลอจนกระทั่งหยุด หรือที่เรียกว่าระยะชะลอความเร็ว (Deceleration Length) เท่ากับ 90 เมตร ซึ่งคิดจากสมมติฐานที่ว่ายานพาหนะที่เข้าสู่ช่องรอเลี้ยวมีความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, ความหน่วงสูงสุดที่ 3.4 เมตรต่อวินาที² ดังนั้นสามารถนำความยาวของช่องรอเลี้ยวมาตรฐานมาคิดได้เป็นความยาวแถวคอยมาตรฐานเท่ากับ 30, 60 และ 90 เมตรตามลำดับ ดังมีรายละเอียดวิธีการคำนวณตามภาพที่ 4.21 โดยผู้ศึกษาจะดำเนินการนำค่าความยาวแถวคอยดังกล่าวมาเป็นเกณฑ์ใน

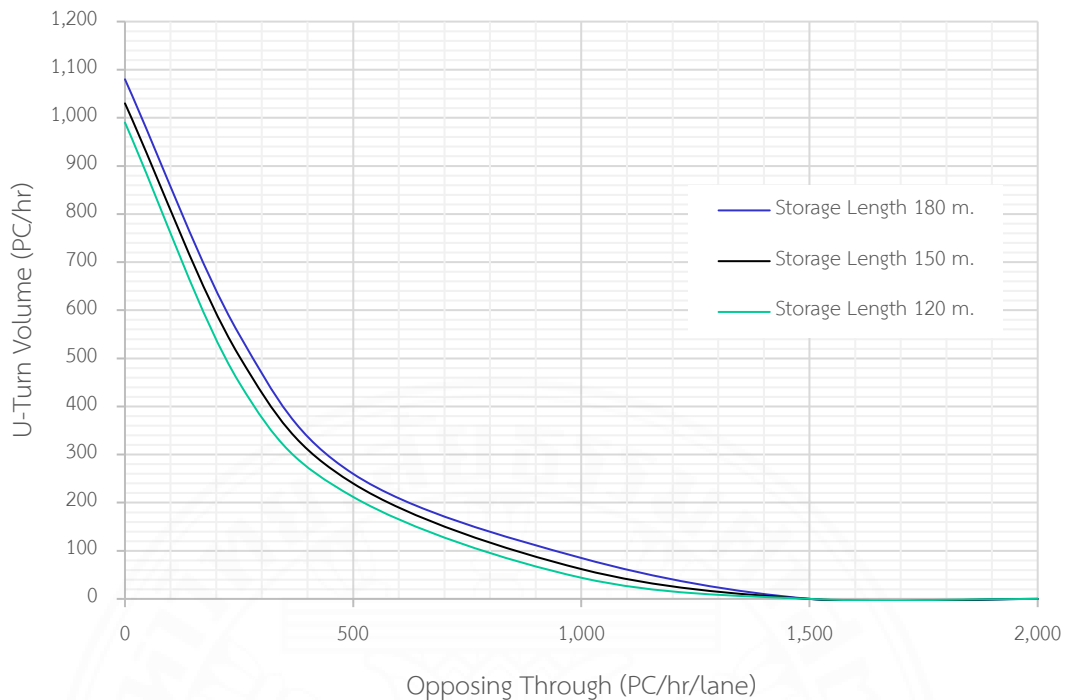
การวิเคราะห์หาปริมาณรถที่ต้องการกลับรถซึ่งส่งผลให้เกิดความยาวแถวคอยข้างต้น เพื่อให้ทราบถึงความจุในการกลับรถได้ ณ ความยาวของช่องรอเลี้ยวแต่ละขนาด ดังมีผลลัพธ์ของการศึกษาดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.21 ผลการคำนวณระยะในการลดความเร็วจนกระทั่งหยุด

1) รูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร

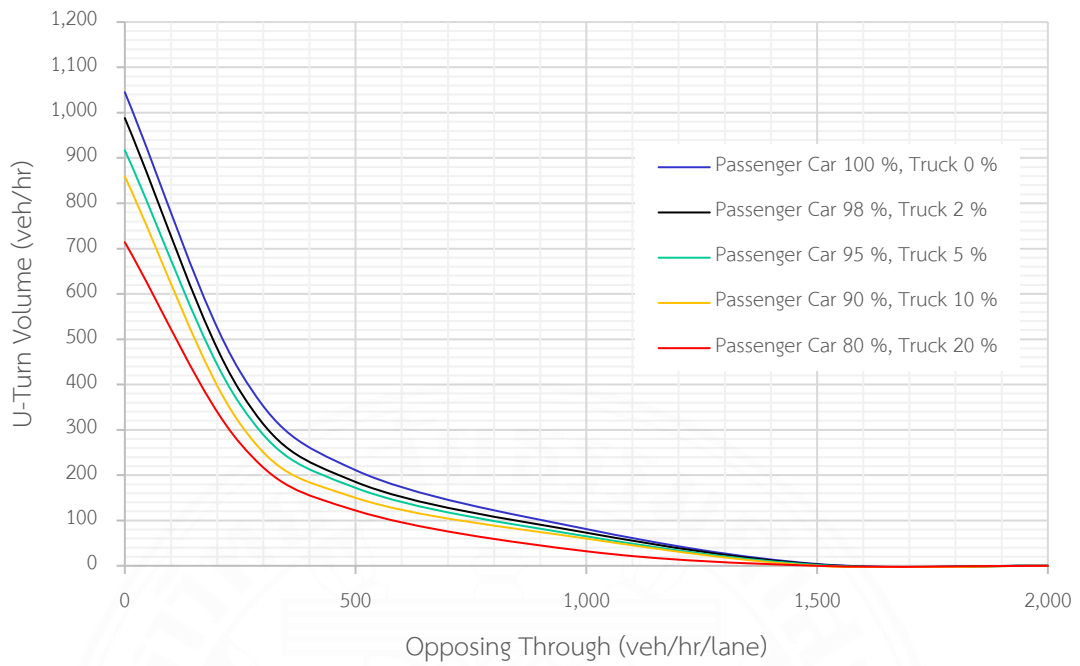
จากการวิเคราะห์ปริมาณรถที่ต้องการกลับรถที่จะส่งผลให้เกิดความยาวแถวคอย 30, 60 และ 90 เมตรพบว่าสำหรับจุดกลับรถไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจรนั้น กรณีมีความต้องการกลับรถ 180 คัน โดยมีปริมาณจราจรทางหลักฝั่งตรงข้ามอยู่ที่ 1,500 คันต่อชั่วโมง จะส่งผลให้เกิดความยาวแถวคอย 30 เมตร อีกทั้งยังสามารถใช้ในการพิจารณาความยาวแถวคอยจากช่องรอเลี้ยวเหมาะสมกับปริมาณจราจรหรือไม่ สำหรับในกรณีจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่จะไม่พิจารณาผลของรถบรรทุกมาเกี่ยวข้อง เนื่องจากลักษณะกายภาพของจุดกลับรถไม่สามารถให้รถบรรทุกทำการกลับได้เนื่องจาก รัศมีวงเลี้ยวของรถบรรทุกไม่สามารถทำการเลี้ยวกลับรถได้สมบูรณ์ ดังภาพที่ 4.22 ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าขนาดความยาวของช่องรอเลี้ยวที่ 180 เมตรจะรองรับความจุได้สูงสุดเท่ากับ 1,120 คันต่อชั่วโมง โดยมีความใกล้เคียงกับความจุสูงสุดที่เป็นได้กรณีไม่มีผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 1,080 เมตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความยาวของช่องรอเลี้ยวสูงสุดที่ส่งผลให้เกิดความสามารถในการกลับรถสูงสุดอยู่ที่ 180 เมตร



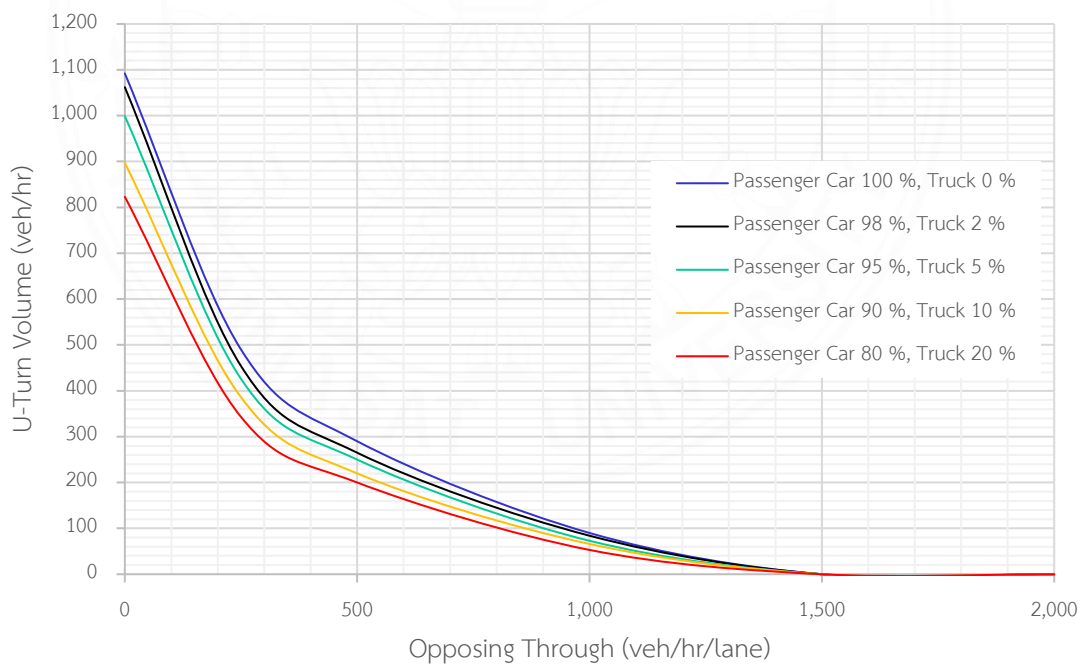
ภาพที่ 4.22 ผลของความยาวแถวคอยรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

2) รูปแบบมีพื้นที่สำหรับกลับรถบรรทุก (Loon) บนถนน 4 ช่องจราจร

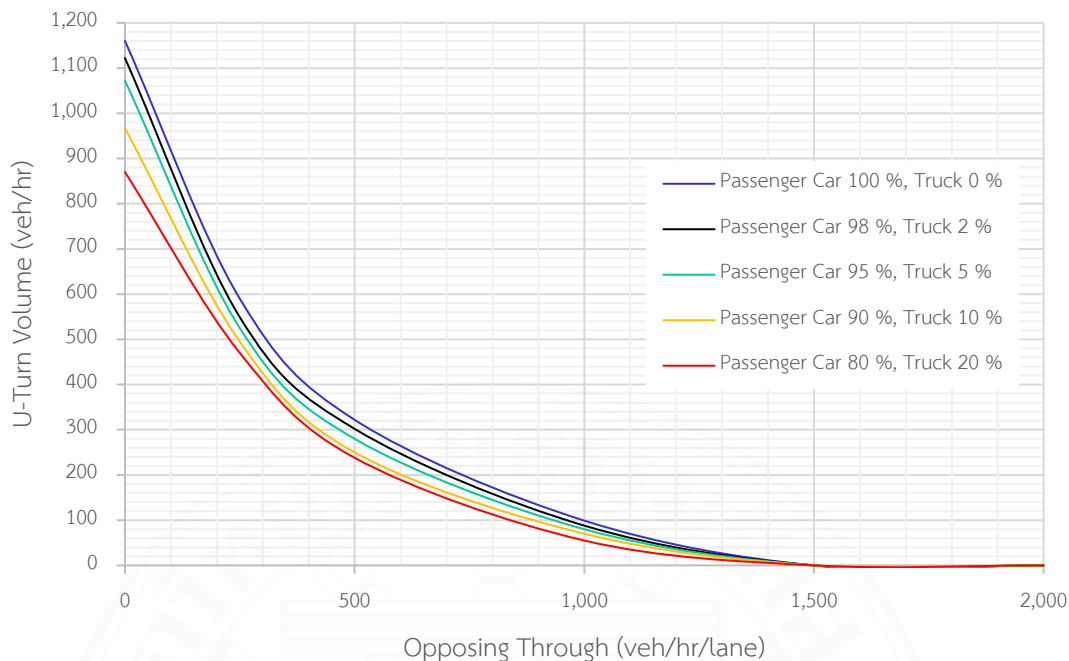
จากการวิเคราะห์ปริมาณรถที่ต้องการกลับรถที่จะส่งผลให้เกิดความยาวแถวคอย 30, 60 และ 90 เมตรพบว่าสำหรับจุดกลับรถมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจรนั้น ได้นำสัดส่วนของรถบรรทุกมาพิจารณาด้วยตั้งแต่ร้อยละ 0, 2, 5, 10 และ 20 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.23 ถึง ภาพที่ 4.25 โดยสามารถนำมาใช้พิจารณา อาทิเช่นกรณีมีความต้องการกลับรถ 110 คัน และมีสัดส่วนรถบรรทุกประมาณร้อยละ 5 โดยมีปริมาณจราจรทางหลักฝั่งตรงข้ามอยู่ที่ 1,500 คันต่อชั่วโมงจะส่งผลให้เกิดความยาวแถวคอย 30 เมตร อีกทั้งยังสามารถใช้ในการพิจารณาความยาวแถวคอยจากช่องรอเลี้ยวเหมาะสมกับปริมาณจราจรหรือไม่ข้อมูล ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นว่าขนาดความยาวของช่องรอเลี้ยวที่ 180 เมตรจะรองรับความจุได้สูงสุดเท่ากับ 1,160 คันต่อชั่วโมง (กรณีไม่มีสัดส่วนรถบรรทุก) โดยมีความใกล้เคียงกับความจุสูงสุดที่เป็นได้กรณีไม่มีผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 1,180 เมตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความยาวของช่องรอเลี้ยวสูงสุดที่ส่งผลให้เกิดความสามารถในการกลับรถสูงสุดอยู่ที่ 180 เมตร



ภาพที่ 4.23 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 120 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก



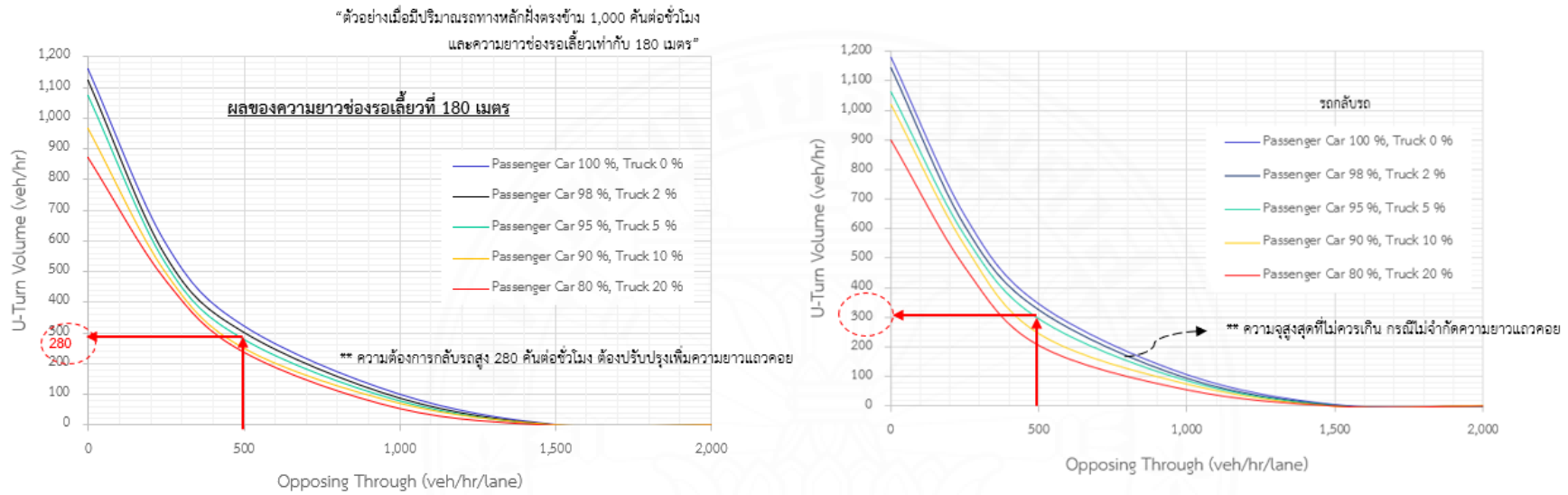
ภาพที่ 4.24 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 150 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก



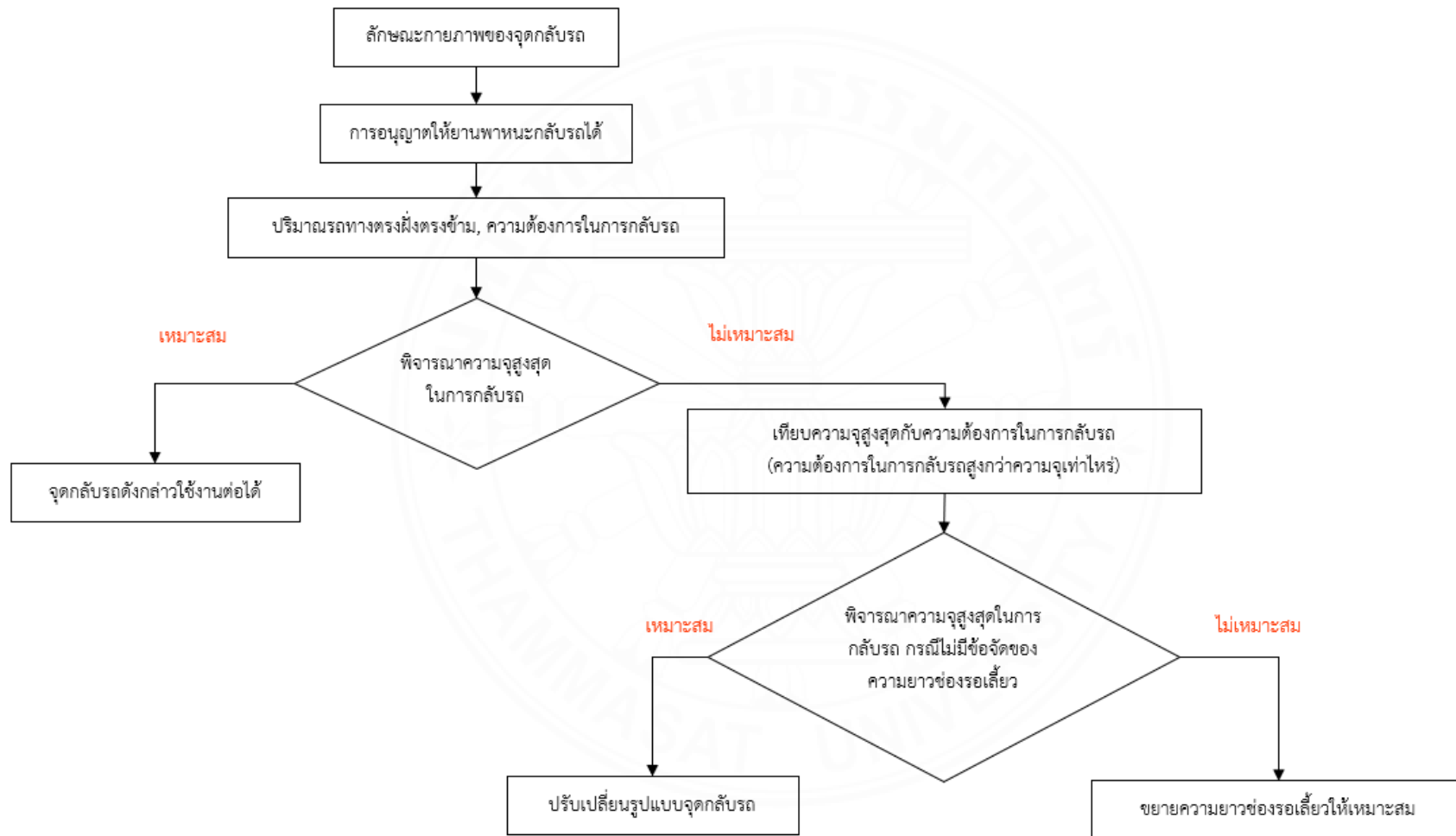
ภาพที่ 4.25 ผลของความยาวช่องรอเลี้ยวที่ 180 เมตร รูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก

4.4 การประยุกต์ใช้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อ 4.3.1 และ 4.3.2 นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจุดกลับรถเพื่ออธิบายความสามารถในการทำงานได้ ณ สภาพการจราจรที่แตกต่างออกไป ซึ่งจะมีข้อแตกต่างในด้านของการมีข้อจำกัดของช่องรอเลี้ยวหรือไม่ โดยที่ผลของความจุที่ต้องการวิเคราะห์ที่ความยาวของช่องรอเลี้ยวมากกว่า 180 เมตร ให้เลือกใช้ความจุจากกรณีไม่มีข้อจำกัดด้านความยาวแฉกคอย ดังตัวอย่างการใช้งานต่อไปนี้ จุดกลับรถรูปแบบมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก บนถนน 4 ช่องจราจร กรณีมีปริมาณจราจรในทิศทางตรงข้าม 1,000 คันต่อชั่วโมง โดยที่ปริมาณสัดส่วนของรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 5 และต้องการออกแบบความยาวของช่องรอเลี้ยวเท่ากับ 180 เมตร ผลพบว่าความสามารถในการกลับรถจะอยู่ที่ 280 คันต่อชั่วโมง และเมื่อมีการเก็บสำรวจข้อมูล พบว่าปริมาณจราจรอยู่สูงกว่าเส้นกราฟ จุดกลับรถดังกล่าวมีปริมาณรถที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการ ควรต้องได้รับการปรับปรุงความยาวช่องรอเลี้ยวให้ยาวขึ้นและเพียงพอสำหรับการใช้งาน โดยที่มีค่าของความจุสูงสุดที่จุดกลับรถรูปแบบนี้สามารถรองรับได้ในกรณีไม่มีข้อจำกัดของความยาวช่องรอเลี้ยวอยู่ที่ 300 คันต่อชั่วโมง ถ้าเกิดความต้องการในการกลับรถสูงกว่าข้อมูลดังกล่าวข้างต้นควรพิจารณาปรับปรุงเปลี่ยนรูปแบบจุดกลับรถให้สามารถรองรับความจุได้ ข้อมูลดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจุดกลับรถ



ภาพที่ 4.27 ลำดับการใช้งานในการบริหารจัดการประสิทธิภาพจุดกลับรถ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของจุดกลับรถนั้นพบว่าสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดกลับรถเกิดจากการชนท้ายรถที่รอกลับรถ และรถที่กลับรถชนกับรถทางตรง มักจะเกิดกับจุดกลับรถรูปแบบไม่มีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก และมีพื้นที่สำหรับรถบรรทุก (Loon) บนถนน 4 ช่องจราจร มีความจุในการรองรับปริมาณรถกลับรถที่ใกล้เคียงกันในช่วง 1,100-1,200 คันต่อชั่วโมง และจะมีความจุสูงสุดที่ความยาวช่องรอเลี้ยวเท่ากับ 180 เมตร จึงสามารถสรุปได้ว่าความยาวช่องรอเลี้ยวแปรผันโดยตรงกับปริมาณรถที่ต้องการกลับรถ โดยมีปัจจัยที่สำคัญสำหรับการพิจารณาและปรับปรุงจุดกลับรถให้ประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

1. ลักษณะกายภาพบริเวณจุดกลับรถอันประกอบไปด้วย รูปแบบจุดกลับรถ, จำนวนช่องจราจร, ขนาดของเกาะกลาง, ความกว้างของเขตทาง, ความยาวของช่องรอเลี้ยว และระยะมองเห็น จากองค์ประกอบดังกล่าวจะมีผลต่อการเลือกรูปแบบจุดกลับรถและการอนุญาตให้ยานพาหนะแต่ละประเภททำการกลับรถได้

2. ปริมาณรถที่กลับรถได้ จะแปรผันตามจำนวนช่องว่างที่ยอมรับได้ของรถทางตรงทิศทางตรงกันข้ามกล่าวคือ การกระจายตัวของการจราจรส่งผลให้มีปริมาณรถและความหนาแน่นที่แตกต่างกันและส่งผลถึงจำนวนช่องว่างที่ปลอดภัย อีกทั้งสัดส่วนของรถบรรทุกที่ต้องการกลับรถมีผลต่อความจุของจุดกลับรถเนื่องจากรถบรรทุกมีจำนวนช่องว่างที่ปลอดภัยที่สูงกว่ารถยนต์ส่วนบุคคล

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยในการพิจารณาประสิทธิภาพของจุดกลับรถที่ผู้ศึกษาได้ดำเนินการนั้นควรนำไปพิจารณากับจุดกลับรถรูปแบบอื่นบนถนน 4 หรือ 6 ช่องจราจร เพราะขนาดความกว้างของเกาะกลางที่แตกต่างไปจะมีผลต่อการวิเคราะห์ อาทิเช่นจุดกลับรถมีความกว้างของเกาะมากก็จะส่งผลให้ผู้ขับขี่ทำการกลับรถได้เร็วขึ้นโดยใช้ระยะเวลาในการยอมรับช่องว่างที่สั้นลง

รายการอ้างอิง

วิทยานิพนธ์

Liu, P., Wang, X., Lu, J., Sokokow, G. (2007) Headway Acceptance Characteristics of U-turning Vehicles at Unsignalized Intersections. Journal of the Transportation Research Board.

Distefano, N and Leonardi, S (2016) U-Turn Lanes in Narrow-Width Median Openings : Design Criteria for a Safe and Efficient Project. Archives of Civil Engineering.

Mohapatra, S and Dey, P (2018) Conflicting Volume for U-turns at Uncontrolled Median Openings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport.

วุฒิไกร ไชยปัญหา, จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร และลัดดา ตันวานิชกุล. พ.ต. (2561) การประยุกต์ใช้แบบจำลองการจราจรระดับจุลภาคในการประมาณค่าความจุ ของทางหลวง 4 ช่องจราจรนอกเมือง (เกาะกลางถนนแบบยก) . วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

วิริยะ เกิดสุข.(2540) การศึกษาเกี่ยวกับจุดกลับรถแบบยกระดับบนถนนพหลโยธินช่วง กม. 33+000 ถึง กม. 52+000. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิศวกรรมโยธา

ทิพย์สุดา กุมพันธ์. พ.ต. (2555) การศึกษาพฤติกรรมการขับขึ้นบริเวณจุดกลับรถที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิศวกรรมโยธา

Jenjiwattanakul, T and Sano, K (2011) Gap Acceptance Decision Model for U-turn Movement at Midblock Median Opening. Journal of Japan Society of Civil Engineers.

ณรงค์ยศ ดีสีปาน. (2557). การแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดบนทางหลวงหมายเลข 1 บริเวณเขตนครมอุตสาหกรรมนวนคร. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สาขาวิศวกรรมโยธา.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

Geoffrey E. Havers. (2007). GEH Formula. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2564 จาก http://www.wisdot.info/microsimulation/index.php?title=Model_Calibration.

Books

ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุ. (2563). ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบริเวณเกาะกลาง 5 ปีย้อนหลัง, สำนักอำนวยความปลอดภัย, กรมทางหลวง

AASHTO Geometric Design of Highways and Streets. (2011). Design controls and criteria. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA

AASHTO Geometric Design of Highways and Streets. (2011). Design controls and criteria. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., USA

Adolf D. May, (1990). Traffic Flow Fundamentals. Volume 2 Microscopic Flow Characteristics and Volume 4 Microscopic Speed Characteristics.

Florida Department of Transportation. (2006). Median handbook. Florida., USA

Transportation Research Board of the National Academies. (2010). Capacity, Washington, D.C., USA

Electronic Media

Aimsun User's Manual. (2010). Retrieved Sep 27, 2011, from <http://www.aimsun.com/paper/TRB2004-002603.pdf>



ภาคผนวก ก
ข้อมูลการมาของกระแสรถจร

ตารางที่ ก.1 Time Headway Distribution 400-1,200 veh/hr

Observed and Expected Counts

Time Headway (sec)	Observed	Historical Counts	Test Proportion	Expected	Contribution to Chi-Square
0-1	94	94	0.210291	99.6779	0.32342
1-2	107	79	0.176734	83.7718	6.4407
2-3	61	67	0.149888	71.047	1.42078
3-4	66	56	0.12528	59.3826	0.73743
4-5	49	48	0.107383	50.8993	0.07087
5-6	39	40	0.089485	42.4161	0.27513
6-7	36	34	0.076063	36.0537	0.00008
7-8	22	29	0.064877	30.7517	2.49066

Chi-Square Test

N	DF	Chi-Sq	P-Value
474	7	11.7591	0.109

ตารางที่ ก.2 Time Headway Distribution 1,200-2,400 veh/hr

Observed and Expected Counts

Time Headway (sec)	Observed	Historical Counts	Test Proportion	Expected	Contribution to Chi-Square
0-1	541	576	0.256342	574.718	1.97823
1-2	868	867	0.385848	865.071	0.00992
2-3	430	438	0.194927	437.025	0.11294
3-4	234	207	0.092123	206.539	3.65105
4-5	96	96	0.042724	95.786	0.00048
5-6	44	43	0.019137	42.904	0.02798
6-7	29	20	0.008901	19.955	4.09927

Chi-Square Test

N	DF	Chi-Sq	P-Value
2242	6	9.87986	0.13

ตารางที่ ก.3 Time Headway Distribution 2,400-3,600 veh/hr

Observed and Expected Counts

Time Headway (sec)	Observed	Historical Counts	Test Proportion	Expected	Contribution to Chi-Square
0-1	702	670	0.28438	670	0.92563
1-2	984	976	0.414261	976	1.48497
2-3	525	567	0.240662	567	1.73153
3-4	132	131	0.055603	131	0.96854
4-5	13	12	0.005093	12	3.97032

Chi-Square Test

N	DF	Chi-Sq	P-Value
2559	4	4.796	0.309

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการกระจายตัวของความเร็ว

ตารางที่ ข.1 Speed Distribution จุดสำรวจที่ 1 ทางหลวงหมายเลข 346 กม.23+900

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (PC)
0-10	5	0
10-20	15	60
20-30	25	536
30-40	35	644
40-50	45	668
50-60	55	858
60-70	65	866
70-80	75	784
80-90	85	452
90-100	95	320
100-110	105	150
110-120	115	63
120-130	125	23
130-140	135	1
140-150	145	0

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (Truck)
0-10	5	0
10-20	15	113
20-30	25	169
30-40	35	300
40-50	45	351
50-60	55	274
60-70	65	222
70-80	75	102
80-90	85	37
90-100	95	0
100-110	105	0
110-120	115	0
120-130	125	0
130-140	135	0
140-150	145	0

ตารางที่ ข.2 Speed Distribution จุดสำรวจที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 226 กม.6+546

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (PC)
0-10	5	0
10-20	15	7
20-30	25	21
30-40	35	22
40-50	45	20
50-60	55	41
60-70	65	54
70-80	75	90
80-90	85	114
90-100	95	55
100-110	105	16
110-120	115	9
120-130	125	12
130-140	135	2
140-150	145	1

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (Truck)
0-10	5	0
10-20	15	2
20-30	25	11
30-40	35	11
40-50	45	17
50-60	55	16
60-70	65	10
70-80	75	5
80-90	85	0
90-100	95	0
100-110	105	0
110-120	115	0
120-130	125	0
130-140	135	0
140-150	145	0

ตารางที่ ข.3 Speed Distribution จุดสำรวจที่ 3 ทางหลวงหมายเลข 340 กม.4+141

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (PC)
0-10	5	0
10-20	15	7
20-30	25	19
30-40	35	26
40-50	45	49
50-60	55	96
60-70	65	131
70-80	75	157
80-90	85	85
90-100	95	43
100-110	105	12
110-120	115	10
120-130	125	12
130-140	135	3
140-150	145	0

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (Truck)
0-10	5	0
10-20	15	5
20-30	25	3
30-40	35	10
40-50	45	23
50-60	55	39
60-70	65	48
70-80	75	26
80-90	85	15
90-100	95	0
100-110	105	0
110-120	115	0
120-130	125	0
130-140	135	0
140-150	145	0

ตารางที่ ข.4 Speed Distribution จุดสำรวจที่ 4 ทางหลวงหมายเลข 304 กม.38+500

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (PC)
0-10	5	0
10-20	15	9
20-30	25	21
30-40	35	20
40-50	45	15
50-60	55	31
60-70	65	61
70-80	75	95
80-90	85	104
90-100	95	103
100-110	105	27
110-120	115	13
120-130	125	16
130-140	135	0
140-150	145	0

Speed (km/hr)	Median Speed (km/hr)	Frequency (Truck)
0-10	5	0
10-20	15	1
20-30	25	6
30-40	35	10
40-50	45	14
50-60	55	23
60-70	65	35
70-80	75	18
80-90	85	13
90-100	95	2
100-110	105	0
110-120	115	0
120-130	125	0
130-140	135	0
140-150	145	0

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายฉนกร ไชยารุ่งยศ
วันเดือนปีเกิด	26 พฤษภาคม 2540
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2562 : คณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	2562-2563 : ตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท ช. การช่าง จำกัด (มหาชน) 2563-2565 : ตำแหน่งวิศวกรโยธา บริษัท บีซิเนส เซอร์วิสเฮส อัลไลแอนซ์ จำกัด 2565-ปัจจุบัน : ตำแหน่งวิศวกรโยธา สำนักก่อสร้างทาง กรมทางหลวงชนบท

