

**การวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคารจอดรถ
โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค**

**SPIRAL RAMP CAPACITY ANALYSIS OF MULTI STOREY CAR PARKING
USING TRAFFIC MICRO SIMULATION MODELING TECHNIQUE**

ก้อยกร คินซุนทด

KANYAKORN KINSHUNTOD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-093-081

การวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคารจอดรถ
โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

SPIRAL RAMP CAPACITY ANALYSIS OF MULTI STOREY CAR PARKING
USING TRAFFIC MICRO SIMULATION MODELING TECHNIQUE

กัลยกร คินขุนทด

KANYAKORN KINKHUNTOD

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-093-081

SPIRAL RAMP CAPACITY ANALYSIS OF MULTI STOREY CAR PARKING
USING TRAFFIC MICRO SIMULATION MODELING TECHNIQUE

KANYAKORN KINKHUNTOD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-EN-M-093-081

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคาร จอดรถ โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค
นักศึกษา	นางสาวกัลยกร คินขุนทด
รหัสประจำตัว	57601363
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.จรัส พิทักษ์ศฤงคาร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความเหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคารจอดรถ ทั้งนี้การศึกษานี้ยังได้ทำการปรับแก้ตัวแปรต่าง ๆ ของพฤติกรรมการขับขี่ (Driving Behavior) ในแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค เพื่อให้แบบจำลองสภาพจราจรสามารถสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ภายในอาคารจอดรถของประเทศไทย และใช้แบบจำลองสภาพจราจรดังกล่าวในการประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน และยังสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกขนาดทางลาดเชื่อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น โดยผลการศึกษาพบว่าค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนขนาดเล็กอยู่ที่ 836 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง ส่วนค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนขนาดกลางและขนาดใหญ่ อยู่ที่ 976 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง และ 1,055 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

Thesis	Spiral Ramp Capacity Analysis of Multi Storey Car Parking Using Traffic Micro Simulation Modeling Technique
Student	Miss Kanyakorn Kinkhuntutod
Student ID.	57601363
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst. Prof.Dr.Jumrus Pitaksringkarn

ABSTRACT

This research is a study to quantify the capacity of a parking structure's spiral ramp type. This is a crucial element of proper building design in terms of its efficiency and safety. This study is to apply a microsimulation modeling analysis technique to quantify a spiral ramp capacity. This study has modified the variables of driving behavior in the traffic model to reflect driving behavior within the parking building of Thailand. This includes creating criteria for the ramp design to be more economical, safe and effective. The results showed that the capacity of the small spiral ramp is 836 vph. As for the capacity of the medium and large spiral ramp is 976 vph and 1,055 vph respectively

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร ที่ท่านได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของผู้ศึกษา ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณบริษัท เอส ทู อาร์ คอนซัลติ้ง จำกัด สำหรับการสนับสนุนโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย และนางสาวบรรณรัตน์ ศรีจันทร์ วิศวกรอาวุโส บริษัท เอส ทู อาร์ คอนซัลติ้ง จำกัด และนายสถาปนา นามเมือง ผู้ให้คำปรึกษาในการทำงานโปรแกรมแบบจำลองจุลภาค

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และกราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้แต่ยังระลึกถึงตลอดไป

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กัลยกร คินขุนทด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการทำงาน.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 ระบบที่จอดรถ (Parking System).....	4
2.1.1 ประเภทที่จอดรถ (Types of Parking).....	4
2.1.2 ทางลาดเชื่อม (Ramp).....	5
2.2 คุณลักษณะทั่วไปของการจราจร (Traffic Characteristics).....	16
2.2.1 อัตราการไหล (Flow Rate ; q).....	16
2.2.2 ความหนาแน่น (Density; k).....	17
2.2.3 ความเร็ว (Speed, u).....	17
2.2.4 ระยะห่างระหว่างรถ (Headway).....	18
2.3 ทฤษฎีกระแสจราจร (Traffic Flow Theory)	19
2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น.....	20
2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น.....	20
2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล.....	21
2.4 แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model).....	21
2.4.1 โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร VISSIM.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 กระบวนการในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจร ระดับจุลภาค.....	29
2.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร ระดับจุลภาค (Error Checking).....	32
2.4.4 การปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Model Calibration).....	32
2.4.5 การทวนสอบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Model Validation).....	32
2.4.6 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม.....	33
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความจุโดยการพัฒนาแบบจำลองภาพ การจราจรระดับ จุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM.....	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	42
3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา.....	44
3.2 การเก็บและจัดเตรียมข้อมูลภาคสนาม.....	44
3.2.1 การเลือกพื้นที่ทำศึกษา.....	44
3.2.2 การเก็บข้อมูลปริมาณจราจร.....	45
3.2.3 การเก็บข้อมูลความเร็ว.....	48
3.2.4 การเก็บข้อมูลระยะห่างระหว่างรถ (Headway)	49
3.3 การสร้างและพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค.....	53
3.3.1 การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง.....	53
3.3.2 การสร้าง Links และ Connectors.....	53
3.3.3 การใส่ปริมาณจราจรและทิศทางการจราจร.....	54
3.3.4 การใส่ข้อมูลความเร็ว.....	55
3.3.5 การกำหนดเส้นทางจราจร.....	56
3.3.6 การลดความเร็วของยานพาหนะที่เข้าโค้ง.....	56
3.3.7 การเลือกค่าการเก็บข้อมูล.....	57
3.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง (Error Checking Process)...	57
3.4.1 การทบทวนข้อมูลนำเข้า (Data Input)	57
3.4.2 การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหว.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองการทวนสอบแบบจำลอง.....	58
3.6 การประเมินผลความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp)	62
3.7 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน.....	62
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	63
4.1 ผลการประเมินผลความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp).....	63
4.2 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน.....	68
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับกับวิจัยอื่น ๆ	71
5.3 ประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้ในอนาคต.....	71
5.4 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก ผลการสำรวจปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมพื้นที่ศึกษา.....	76
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	90

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมแบบตรง.....	7
2.2 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง.....	8
2.3 ตัวอย่างทางลาดเชื่อมแบบโค้ง 1 ช่องจราจร ตามเกณฑ์ของกรมขนส่งทางบกประเทศ สิงคโปร์.....	8
2.4 ตัวอย่างทางลาดเชื่อมแบบโค้ง หลายช่องจราจร ตามเกณฑ์ของกรมขนส่งทางบก ประเทศสิงคโปร์	9
2.5 องค์ประกอบของทางลาดเชื่อมแบบไร้การรบกวนกระแสจราจร (Clearway Ramp)...	9
2.6 องค์ประกอบของทางลาดเชื่อมแบบมีการรบกวนกระแสจราจร (Adjacent Parking Ramp)	10
2.7 ที่จอดรถแบบหลายระดับโดยใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม (Multilevel parking without ramps).....	11
2.8 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางลาดตรงเชื่อมขึ้นและลง (Straight one-way up and down ramps)	11
2.9 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดตรงเชื่อมขึ้นและลง (Straight two-way ramps split-level design)	12
2.10 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดเชื่อมตรงแยกระดับ (Straight one-way ramps split-level design)	12
2.11 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม (Ramped floor with two- way traffic (sloping floor))	13
2.12 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม (Ramped floor with two- way traffic (sloping floor))	13
2.13 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อมคู่ (Double ramped floor with one-way traffic)	14
2.14 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (ก้นหอย) (Helical ramp with two-way traffic)	14
2.15 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (ก้นหอย) (Helical one- way ramp at each end)	15
2.16 ที่จอดรถระดับเดียวโดยใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (ก้นหอย) ภายนอก (Flat car park with external spiral ramp)	15
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความหนาแน่น และความเร็ว.....	19

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น.....	20
2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น.....	20
2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล.....	21
2.21 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม VISSIM.....	23
2.22 ตรรกศาสตร์ของพฤติกรรมการขับขี่ตามกันของ Wiedemann ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1974.....	25
2.23 ตำแหน่งของยวดยาน 6 คัน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเปลี่ยนช่องจราจรของผู้ขับขี่ใน Rules-Based Algorithm.....	26
2.24 แสดงรายละเอียดและกระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Modeling Analysis Process)	31
2.25 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับปริมาณจราจรที่ผ่านทางเชื่อมได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง.....	39
2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรและความหนาแน่นจากการคำนวณจาก HCM2000 เปรียบเทียบกับแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค.....	40
3.1 ผังแสดงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	43
3.2 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลแจ้งวัฒนะ.....	46
3.3 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลไอส์วิล์ อาคาร 1.....	46
3.4 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างซีคอนสแควร์.....	47
3.5 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลไอส์วิล์ อาคาร 2.....	47
3.6 ภาพเปอร์เซ็นต์ไทม์ของความเร็วบนทางลาดเชื่อมจากการสำรวจ.....	49
3.7 แบบจำลองพฤติกรรมการขับขี่ตามกัน Wiedemann 1974.....	50
3.8 ค่าความจุของกระแสจราจรที่แตกต่างกันตามระยะห่างของการขับขี่ตามกัน.....	51
3.9 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับขี่ตามกันภายในอาคารจอดรถ โดยสมการถดถอยเชิงเส้น.....	52
3.10 การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง.....	53
3.11 ภาพแสดงการพัฒนา Links และ Connectors.....	54
3.12 ภาพแสดงการนำเข้าปริมาณจราจร.....	55

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ภาพแสดงการวาดแผนภูมิระหว่างความเร็วและเปอร์เซ็นต์สะสม.....	55
3.14 ภาพแสดงตัวอย่างการกำหนดเส้นทาง.....	56
3.15 ภาพแสดงกำหนดพื้นที่ชะลอความเร็ว.....	56
3.16 ภาพแสดงการเลือกค่าการเก็บข้อมูล.....	57
3.17 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าการกระจายตัวของความเร็ว.....	58
4.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับ ของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก.....	67
4.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับ ของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง.....	67
4.3 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของ ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่.....	68
5.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของ ทางลาดเชื่อมทั้ง 3 ขนาด.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของที่จอดรถ.....	5
2.2 กฎหมายและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของประเทศไทย.....	6
2.3 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของกรมขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์	7
2.4 สัญลักษณ์และคำอธิบายในตรรกศาสตร์ของพฤติกรรมการขับขี่ตามกันของ Wiedemann.....	25
2.5 ตัวแปรที่ใช้ในการสอบเทียบของแบบจำลอง Wiedemann 99.....	28
2.6 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลอง.....	33
2.7 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM , VISSIM และ SIM TRAFFIC.....	34
2.8 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM , PARAMICS และ VISSIM.....	35
2.9 เกณฑ์ในการทวนสอบแบบจำลองสภาพการจราจรในการศึกษาของ Choa et al.....	37
2.10 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรกับหลักเกณฑ์ใน การคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร.....	37
3.1 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมจากการสำรวจ.....	45
3.2 ปริมาณจราจรเปอร์เซ็นต์ไทม์ของความเร็วนบนทางลาดเชื่อม (หน่วย กม./ชม.).....	48
3.3 ค่าคงที่ระยะห่างของแบบจำลองการขับขี่ตามกัน Wiedemann 74.....	52
3.4 ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับขี่ตามกันภายในอาคารจอดรถ.....	54
3.5 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Design Manual for Roads and Bridges (DMRB).....	59
3.6 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก.....	59
3.7 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง.....	60
3.8 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่.....	61
3.9 ผลสรุปการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อม.....	62
4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของ ทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก (หน่วย กม./ชม.).....	64
4.2 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของ ทางลาดเชื่อมขนาดกลาง (หน่วย กม./ชม.).....	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของ ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (หน่วย กม./ชม.).....	66
4.4 เกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อม.....	68
5.1 สรุปเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อม.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในแต่ละจังหวัดของประเทศไทยและในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครได้มีการพัฒนาและขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้น ทำให้มีโครงการพัฒนาที่เกิดขึ้นใหม่หรือการปรับปรุงและขยายโครงการที่มีอยู่เดิม เพื่อพัฒนาพื้นที่ขึ้นเป็นจุดศูนย์รวมกิจกรรมต่างๆ อาทิ แหล่งพักอาศัย แหล่งจ้างงาน ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ หรือการขยายขอบเขตของศูนย์รวมกิจกรรมดังกล่าวที่มีอยู่เดิมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพัฒนาห้างสรรพสินค้า ซึ่งเป็นศูนย์รวมของกิจกรรมต่างๆ อาทิ ร้านอาหาร ศูนย์การค้า ธนาคาร การศึกษา โรงภาพยนตร์ เป็นต้น รวมอยู่ในที่เดียวกันย่อมดึงดูดผู้คนให้เดินทางเข้ามายังโครงการเป็นจำนวนมาก เหล่านี้ล้วนแล้วแต่สร้างความต้องการในการเดินทาง และส่งผลต่อจำนวนความต้องการของที่จอดรถเป็นอย่างมาก ซึ่งการพัฒนาห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมลาดจอดรถหรืออาคารจอดรถให้เพียงพอต่อความต้องการของที่จอดรถ ที่จะเข้ามายังพื้นที่โครงการ เนื่องด้วยปัจจุบันราคาที่ดินค่อนข้างสูงการจัดเตรียมลานจอดรถอาจจะต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมากโครงการส่วนใหญ่จึงจำเป็นต้องสร้างอาคารจอดรถสำหรับเตรียมพื้นที่จอดรถนั้นการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถภายในโครงการจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับรองรับจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้การสัญจรของกระแสจราจรภายในโครงการเป็นไปอย่างราบรื่น หากการติดขัดภายในโครงการอาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่โดยรอบได้ โดยทั่วไปห้างสรรพสินค้าส่วนใหญ่มักจะทำอาคารจอดรถหรือพื้นที่จอดรถที่มีจำนวนหลายชั้น ระบบจอดรถ (Parking System) จึงมีความสำคัญสำหรับอาคารจอดรถ และส่วนประกอบที่สำคัญของระบบจอดรถที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้นคือ ทางลาดเชื่อม (Ramp) เนื่องจาก Ramp จะช่วยให้สามารถเข้าถึงที่จอดรถได้หลายระดับชั้นจากระบบถนน ซึ่งจะช่วยในการกระจายการจราจรระหว่างระบบถนนและระบบจอดรถบนอาคาร ดังนั้น ในการออกแบบอาคารจอดรถจึงควรพิจารณารูปแบบ Ramp ที่เหมาะสมเป็นสำคัญ แต่ในปัจจุบันผู้ออกแบบส่วนใหญ่ไม่ได้คำนึงถึงหลักการและความเหมาะสมในการออกแบบ อาจเป็นเพราะประเทศไทยไม่มีรูปแบบ ข้อกำหนด หรือหลักในการออกแบบที่ชัดเจน ไม่มีข้อมูลหรือค่าที่บอกความจุของทางลาดเชื่อม (Ramp) เพื่อใช้ในการออกแบบรูปแบบอาคารจอดรถที่เหมาะสม

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) โดยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำค่าความหนาแน่น ค่าความเร็ว ปริมาณจราจร มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบทางลาดเชื่อม (Ramp) อาคารจอดรถให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ออกแบบ

1.2 จุดประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเกณฑ์ในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลอง โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม VISSIM จำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (Micro Simulation Modeling) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ กรณีศึกษาทางลาดทางเชื่อมของห้างสรรพสินค้าในเขตกรุงเทพมหานคร

1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ทำการศึกษาแบ่งตามขนาดลักษณะทางกายภาพทางลาดเชื่อมเป็น 3 ขนาด คือ ทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ โดยมีพื้นที่ศึกษาตัวอย่างของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาด ดังนี้

1.3.1.1 ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดเล็ก โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างน้อยกว่า 4.00 เมตร

1.3.1.2 ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดกลาง โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร

1.3.1.3 ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดใหญ่ โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป

1.3.2 ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นอาคารจอดรถของห้างสรรพสินค้า ซึ่งยานพาหนะที่เข้ามาใช้บริการดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นเพียงรถยนต์ส่วนบุคคลเท่านั้น

1.3.3 การศึกษาครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลองระดับจุลภาค (Micro Simulation Modeling) ทางด้านวิศวกรรมจราจร โดยอาศัยข้อมูลจากการเก็บปริมาณจราจรและความเร็วจากโครงการตัวอย่างทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) อาคารจอดรถของห้างสรรพสินค้า

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถทราบทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.4.2 สามารถสร้างเกณฑ์และหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.4.3 สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค (VISSIM) ในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำทฤษฎี แนวความคิด และค่าความจุของทางเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถไปใช้ในการออกแบบได้อย่างแม่นยำสอดคล้องกับความต้องการของการใช้งานทางลาดขึ้น-ลงอาคารจอดรถ ช่วยให้การออกแบบอาคารจอดรถในปัจจุบันมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งทำให้เกิดความประหยัดเวลาและงบประมาณในการก่อสร้าง ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรภายในอาคารจอดรถ

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1.6.1 ศึกษาและทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงวิธีการต่างๆ ในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อม พฤติกรรมการขับขึ้นบนทางลาดเชื่อม และการจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM

1.6.2 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาและทำการเก็บข้อมูลภาคสนามพื้นที่ที่ศึกษา

1.6.3 วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

1.6.4 ทำการพัฒนาแบบจำลองด้วยโปรแกรม VISSIM ในการวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ และทำการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองเพื่อให้มีสภาพเสมือนจริงมากที่สุด และทำการจำลองเพื่อหาค่าความจุในกรณีต่างๆ

1.6.5 วิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองโปรแกรม VISSIM อภิปรายผลรวมทั้งสรุปค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ

1.6.6 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

เนื้อหาของงานวิจัยในบทนี้เป็นการทบทวนทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของงานวิจัย และเป็น การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษาทั้งในและต่างประเทศที่ได้จากวารสาร วิทยานิพนธ์ บทความทางวิชาการและหนังสือตำราต่างๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่ทำให้ผู้ที่สนใจใน งานวิจัยนี้ได้รับความรู้ และมีความเข้าใจในกระบวนการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อม (Ramps) โดยการทบทวนงานวิจัยดังกล่าวได้แบ่งรายละเอียดในการนำเสนอมีลำดับหัวข้อ ดังนี้

- 2.1 ระบบที่จอดรถ (Parking System)
- 2.2 คุณลักษณะทั่วไปของการจราจร (Traffic Characteristics)
- 2.3 ทฤษฎีการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow Theory)
- 2.4 การจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model)
- 2.5 บทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยงานวิจัยการหาค่าความจุโดยการพัฒนาแบบจำลอง ภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM

2.1 ระบบที่จอดรถ (Parking System)

2.1.1 ประเภทที่จอดรถ (Types of Parking)

ที่จอดรถแบ่งออกกว้างๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่ ที่จอดรถบนพื้นที่ถนน (On-Street Parking) หมายถึง การจอดรถไม่ว่าที่ใดก็ตามบนพื้นที่เขตทาง ในบางพื้นที่กำหนดให้สามารถจอด รถบนพื้นที่ถนนได้เสมอ ในขณะที่บางพื้นที่ก็มีข้อกำหนด โดยส่วนใหญ่ข้อกำหนดต่างๆ จะแสดง โดยป้ายจราจรหรืออาจเป็นสัญลักษณ์ต่างๆ บริเวณคันทางของทางเดินเท้าเป็นต้น ในขณะที่อีก ประเภทหนึ่งคือที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Street Parking) หมายถึง ที่จอดรถทั้งหมดที่ นอกเหนือจากการใช้พื้นที่บนถนน ซึ่งโดยส่วนมากจะมีลักษณะเป็นอาคารจอดรถหรือลานจอดรถ ทั้งนี้ที่จอดรถนอกพื้นที่ถนนสามารถเป็นได้ทั้งที่จอดรถในร่มและที่จอดรถกลางแจ้ง ซึ่งนอกจาก การจำแนกที่จอดรถตามประเภทพื้นที่จอดแล้ว ยังสามารถจำแนกเป็นที่จอดรถสาธารณะ (Public Parking) และที่จอดรถส่วนบุคคล (Private Parking) ได้อีกด้วย (Barter, 2016: 1-2)

ตารางที่ 2.1 ประเภทของที่จอดรถ

ประเภทของที่จอดรถ	ที่จอดรถสาธารณะ (Public Parking)	ที่จอดรถส่วนบุคคล (Private Parking)
ที่จอดรถบนพื้นที่ถนน (On-Street Parking)	ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนสาธารณะ	ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนส่วนบุคคล <ul style="list-style-type: none"> ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนในพื้นที่อยู่อาศัย (ถนนโครงการ) ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนในพื้นที่หวงห้ามส่วนบุคคล
ที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Street Parking)	ที่จอดรถสาธารณะนอกพื้นที่ถนน <ul style="list-style-type: none"> อาคารหรือลานจอดรถของสถานที่ราชการ อาคารหรือลานจอดรถของรัฐวิสาหกิจ เป็นต้น 	ที่จอดรถส่วนบุคคลนอกพื้นที่ถนน <ul style="list-style-type: none"> อาคารหรือลานจอดรถของห้างสรรพสินค้า อาคารหรือลานจอดรถสำหรับพนักงานบริษัท อาคารหรือลานจอดรถสำหรับที่พักอาศัย เป็นต้น

ที่มา : Barter, 2016

2.1.2 ทางลาดเชื่อม (Ramp)

2.1.2.1 ประเภทของทางลาดเชื่อม

ทางลาดเชื่อมแบบตรง (Straight Ramp)

ปกติแล้วทางลาดเชื่อมประเภทนี้จะมีรูปร่างลักษณะเป็นมุมฉากเหมาะสมกับพื้นที่ที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมแคบและยาว ความชันของทางลาดเชื่อมต้องไม่เกินร้อยละ 15 ข้อดีของทางลาดเชื่อมแบบตรงคือ ประหยัดพื้นที่ เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย ง่ายต่อการก่อสร้าง ความลาดชันของพื้นค่อนข้างราบช่วยให้สะดวกสบายในการขับขี่ การจัดเส้นทางเดินรถแบบทิศทางเดียวทำได้ง่าย แต่ข้อเสียของทางลาดแบบตรงคือ มีความยากลำบากในการเข้าและออกทางลาดตรง กรณีเดินรถสองทิศทางค่อนข้างอันตราย เนื่องจากจะเกิดจุดตัด (Conflict) บ่อยระหว่างการไหลเวียนของการจราจรเข้าจอดและออกจากที่จอด อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุภายในอาคารได้ง่าย ทางลาดเชื่อมแบบตรงเหมาะสำหรับอาคารจอดรถที่มีปริมาณจราจรไม่สูงมากนัก มีรอบการใช้งานของทางลาดเชื่อมน้อย เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน เป็นต้น

ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง (Curve Ramp)

เป็นพื้นที่ที่ทำให้ยานพาหนะเดินทางขึ้นลานจอดได้อย่างต่อเนื่องระหว่างชั้นจอดรถ ความชันของทางลาดเชื่อมต้องไม่เกินร้อยละ 12 ข้อดีของทางลาดเชื่อมแบบโค้งคือ การใช้งานสะดวก คล่องตัว สามารถระบายรถออกจากลานจอดรถหรือชั้นจอดรถได้รวดเร็ว มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถสลับเป็น ทางลาดเชื่อมสำหรับขึ้นหรือลงได้ ไม่เกิดจุดตัดบริเวณ

ทางขึ้น-ลงทางลาด ส่วนข้อเสียของทางลาดเชื่อมแบบโค้งคือ ต้องใช้พื้นที่มาก ยากต่อการก่อสร้าง และค่าก่อสร้างสูง ทางลาดเชื่อมแบบโค้งเหมาะสำหรับอาคารจอดรถที่มีปริมาณจราจรเข้า-ออกจำนวนมาก มีรอบการใช้งานของทางลาดเชื่อมหลายรอบ เช่น อาคารจอดรถสำหรับอาคารพาณิชย์หรือห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

2.1.2.2 การออกแบบทางลาดเชื่อม (Ramp Design)

ในประเทศไทยมีกฎหมายและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมทั้งในพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร และในข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร โดยในพระราชบัญญัติ ควบคุมการก่อสร้างอาคารได้กำหนดไว้ว่าทางเข้าออกของรถยนต์ต้องกว้างไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีที่ทำให้รถยนต์วิ่งได้ทางเดียวทางเข้าและทางออกต้องกว้างไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร ส่วนในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องอาคารจอดรถยนต์ได้มีการเพิ่มข้อกำหนดเกี่ยวกับความลาดชันและรัศมีโค้งของขอบด้านใน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ในขณะที่ในต่างประเทศนอกจากจะมีข้อกำหนดและข้อบัญญัติต่างๆ ของแต่ละเมืองแล้ว ยังมีคู่มือหลักการปฏิบัติ (Code of Practice) หรือแนวทางการปฏิบัติที่ดี (Best Practice) สำหรับการออกแบบอาคารจอดรถ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

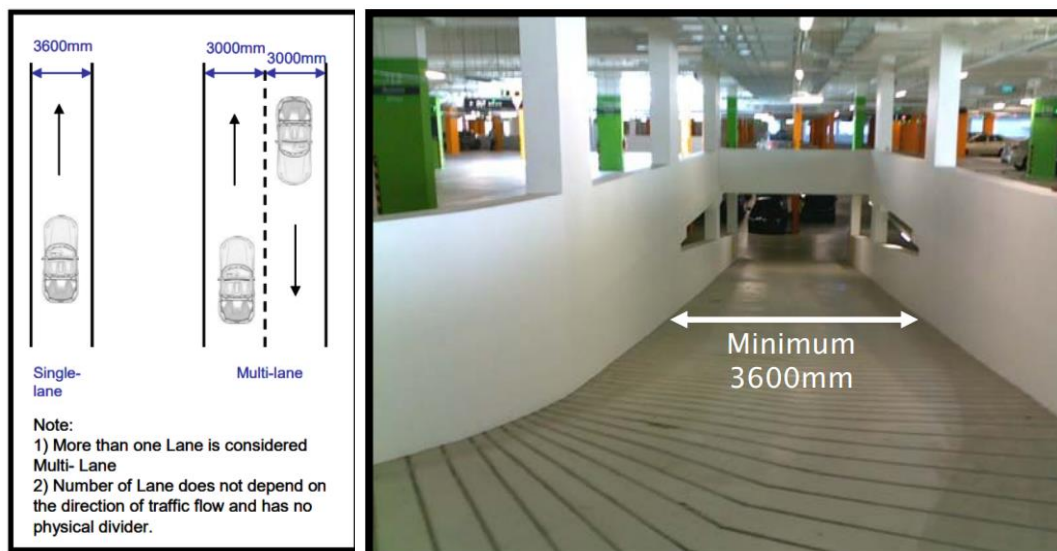
ตารางที่ 2.2 กฎหมายและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของประเทศไทย

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อม	พระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร	ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร
ความกว้างทางวิ่ง (กรณีจัดให้รถวิ่งได้ทางเดียว)	ไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร	ไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร
ความกว้างทางวิ่ง (กรณีจัดให้รถวิ่งได้สองทิศทาง)	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร
รัศมีโค้งของขอบด้านใน (ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง)	-	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร
ความลาดชัน (ทางลาดเชื่อมแบบตรง)	-	ไม่เกินร้อยละ 15
ความลาดชัน (ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง)	-	ไม่เกินร้อยละ 12

ตารางที่ 2.3 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของกรมขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์

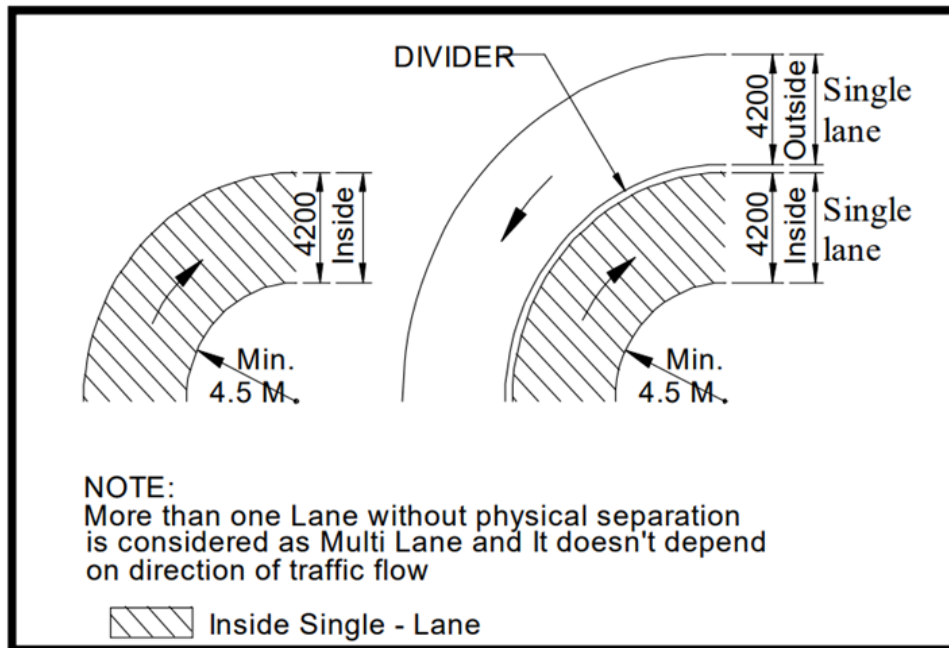
ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อม	ทางลาดเชื่อม หนึ่งช่องจราจร	ทางลาดเชื่อม หลายช่องจราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมตรง	3.6 เมตร	3.0 เมตร/ช่อง จราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมโค้งของวงใน	4.2 เมตร	3.6 เมตร/ช่อง จราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมโค้งของวงนอก	4.2 เมตร	3.3 เมตร/ช่อง จราจร
รัศมีโค้งของขอบด้านใน	4.5 เมตร	
ความลาดเอียงของทางลาดเชื่อมโค้ง	ไม่เกิน 1:10 (10%) ที่แนะนำ	

ที่มา : Land Transport Authority [Singapore], 2011



รูปที่ 2.1 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมแบบตรง

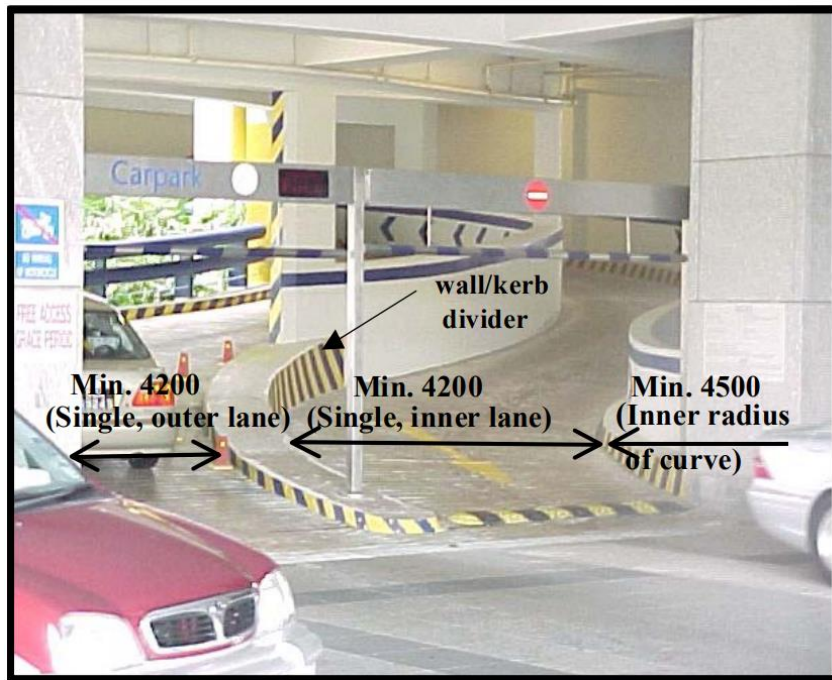
ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011



รูปที่ 2.2 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง
ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011

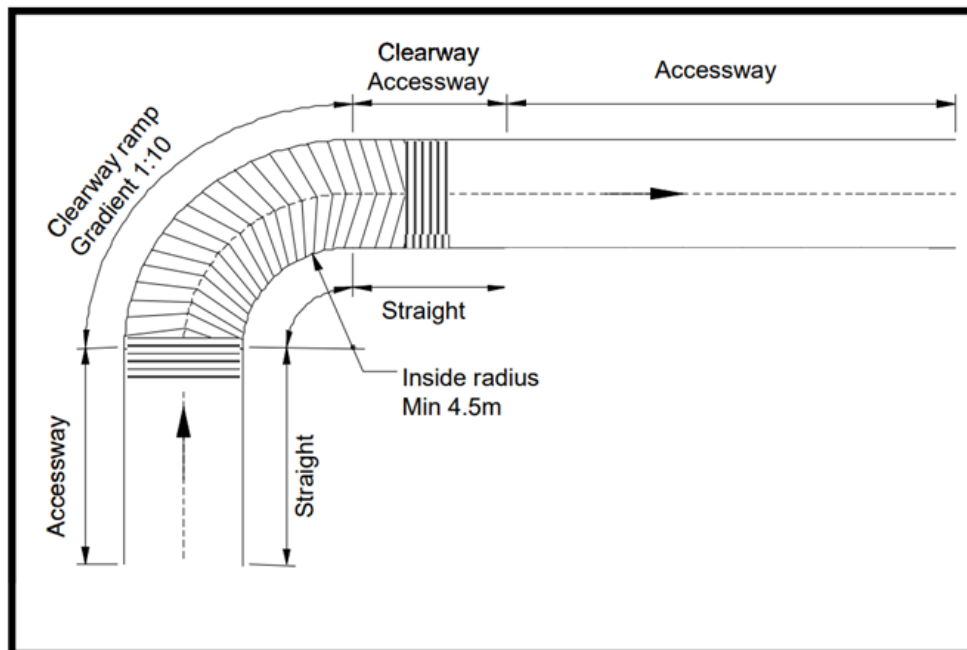


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างทางลาดเชื่อมแบบโค้ง 1 ช่องจราจร ตามเกณฑ์
ของกรมขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์
ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011

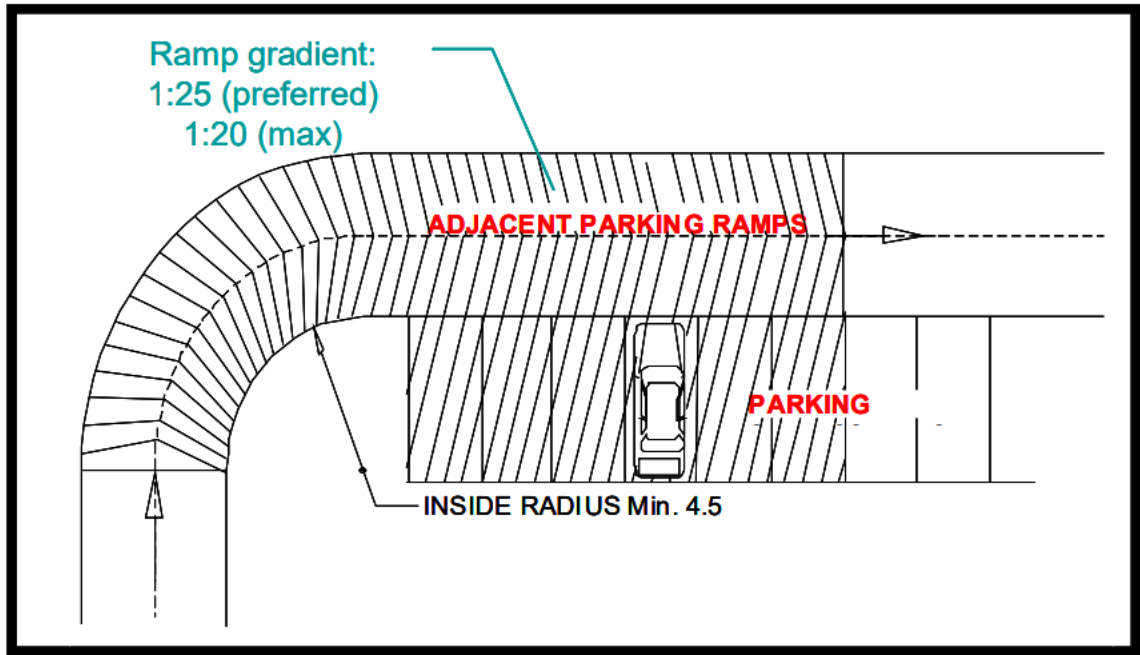


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างทางลาดเชื่อมแบบโค้ง หลายช่องจราจร ตามเกณฑ์
ของกรมขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์

ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของทางลาดเชื่อมแบบไร้การรบกวนกระแสนจราจร (Clearway Ramp)
ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011

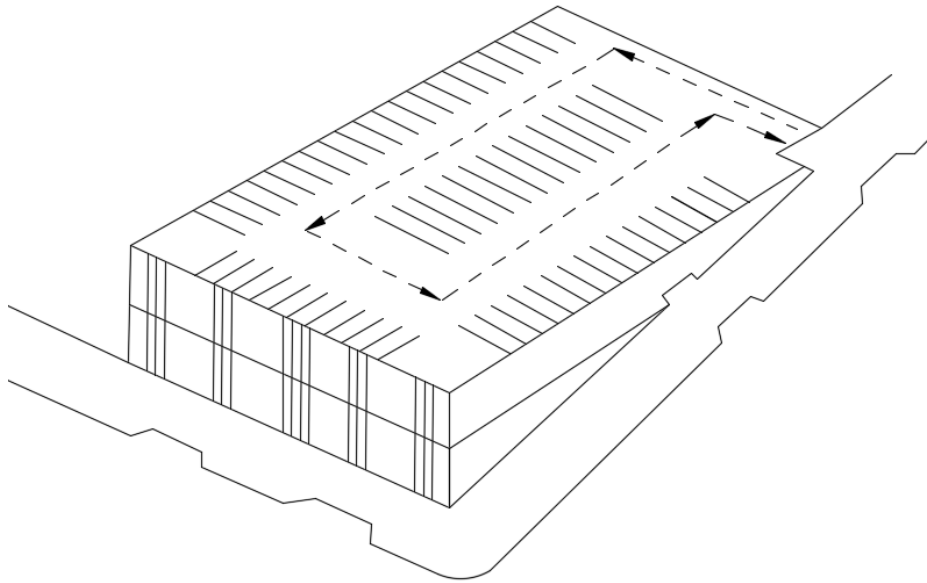


รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของทางลาดเชื่อมแบบมีการรบกวนกระแสรถจร
(Adjacent Parking Ramp) ของกรมขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์

ที่มา: Land Transport Authority [Singapore], 2011

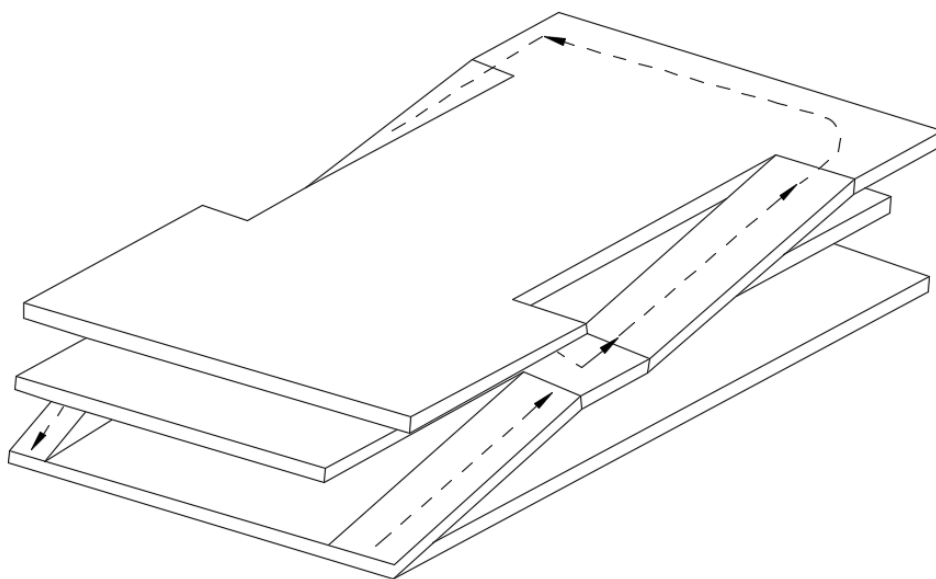
2.1.2.3 รูปแบบการเดินรถและทางวิ่ง (Type of Traffic Circulation and Roadway)

การออกแบบอาคารจอดรถมักออกแบบให้มีการเชื่อมกับอาคารสำคัญในบริเวณนั้น นอกจากนี้ การเคลื่อนตัวของยานพาหนะเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึง โดยออกแบบให้มีจุดขัดแย้งให้น้อยที่สุด โดยตัวอย่างของรูปแบบการเดินรถประเภทต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ถึง รูปที่ 2.16



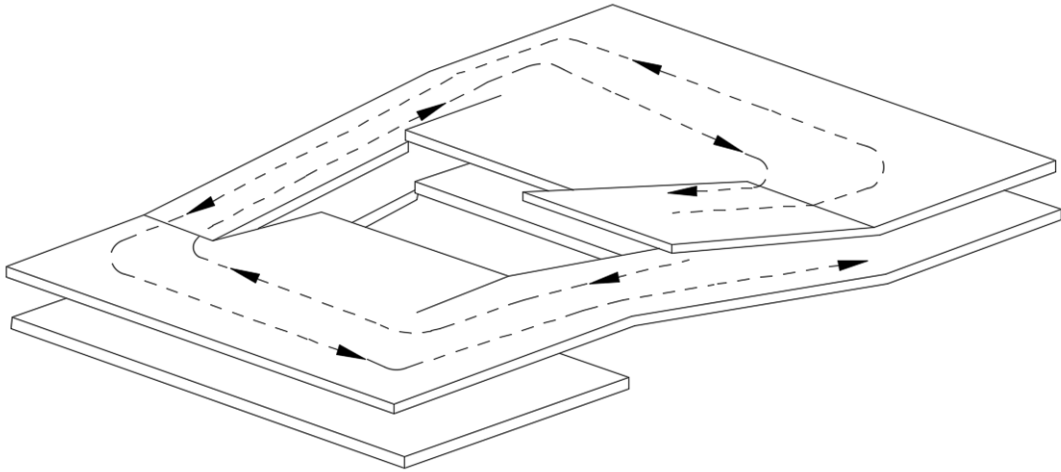
รูปที่ 2.7 ที่จอดรถแบบหลายระดับโดยใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม
(Multilevel parking without ramps)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สรวุฑ จริตงาม, 2554



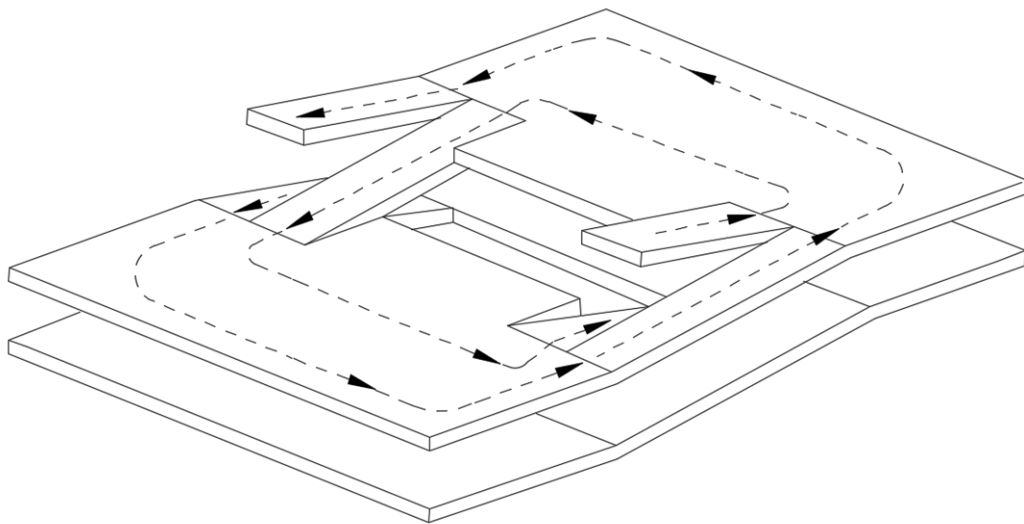
รูปที่ 2.8 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางลาดตรงเชื่อมขึ้นและลง
(Straight one-way up and down ramps)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สรวุฑ จริตงาม, 2554



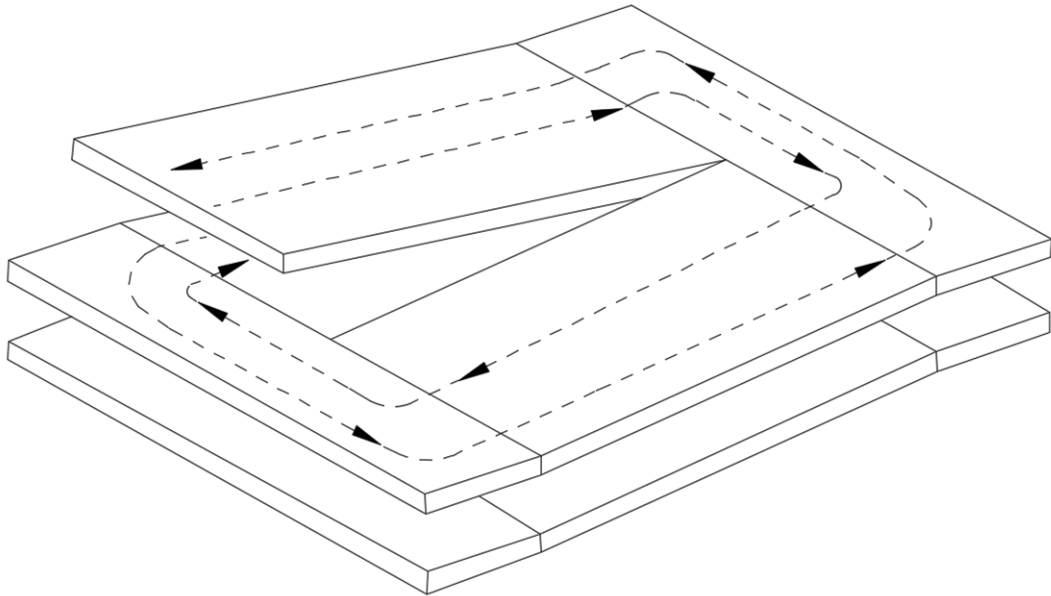
รูปที่ 2.9 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดตรงเชื่อมขึ้นและลง
(Straight two-way ramps split-level design)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สรวุฑ จริตงาม, 2554



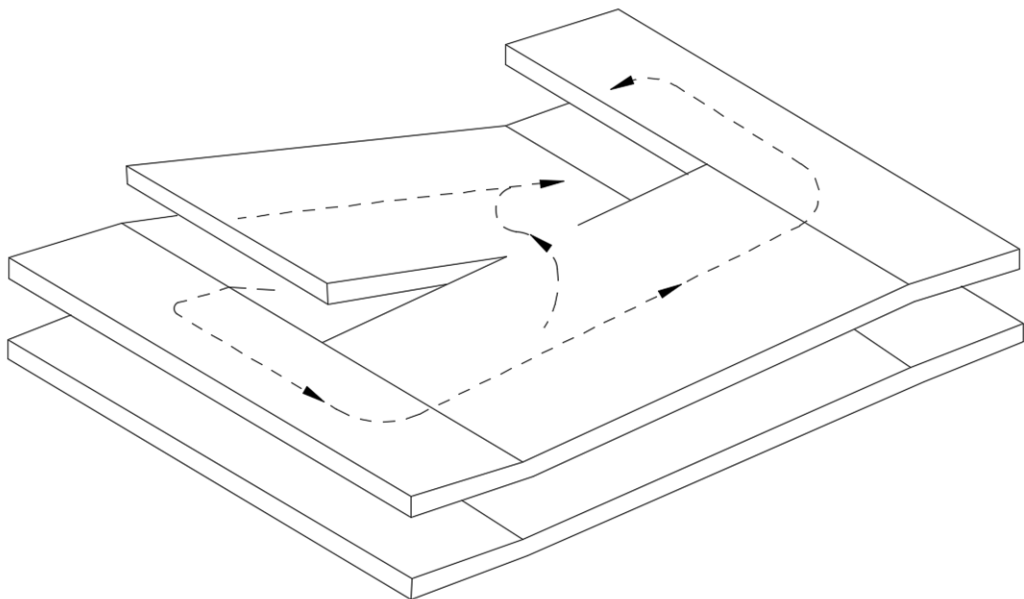
รูปที่ 2.10 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดเชื่อมตรงแยกระดับ
(Straight one-way ramps split-level design)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สรวุฑ จริตงาม, 2554



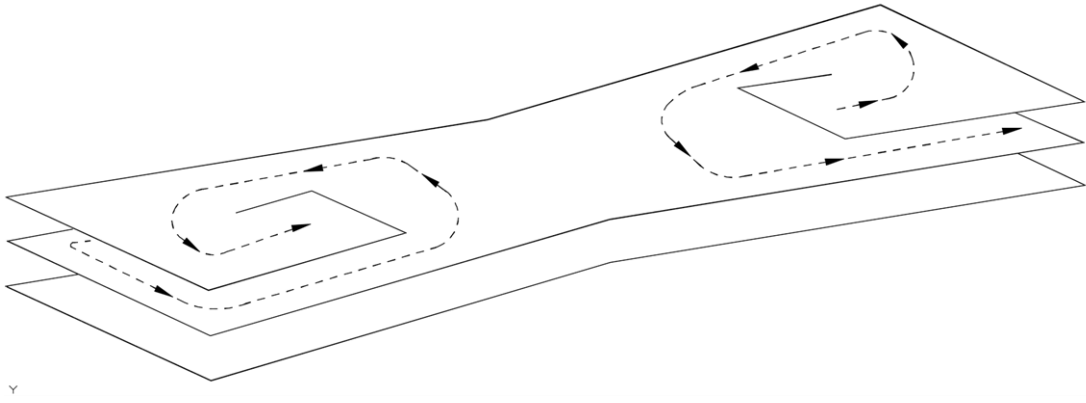
รูปที่ 2.11 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม
(Ramped floor with two-way traffic (sloping floor))

ที่มา : รัตน์วงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554



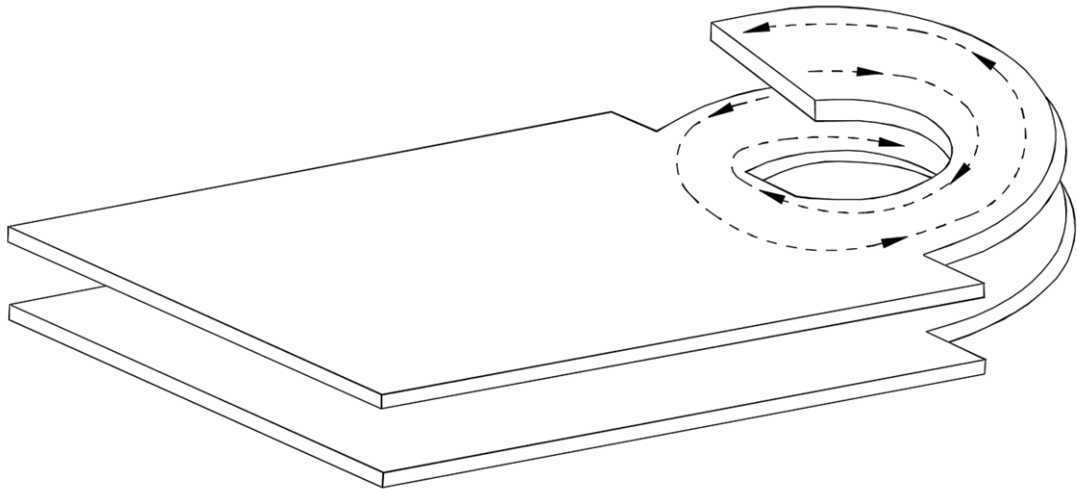
รูปที่ 2.12 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อม
(Ramped floor with two-way traffic (sloping floor))

ที่มา : รัตน์วงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554



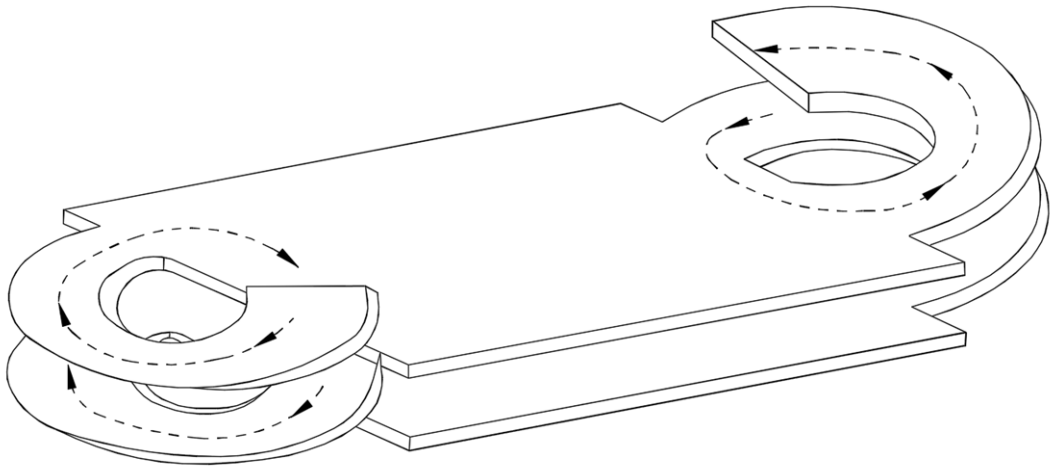
รูปที่ 2.13 รูปแบบการเดินรถทางเดียวใช้ทางวิ่งเป็นทางลาดเชื่อมคู่
(Double ramped floor with one-way traffic)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554



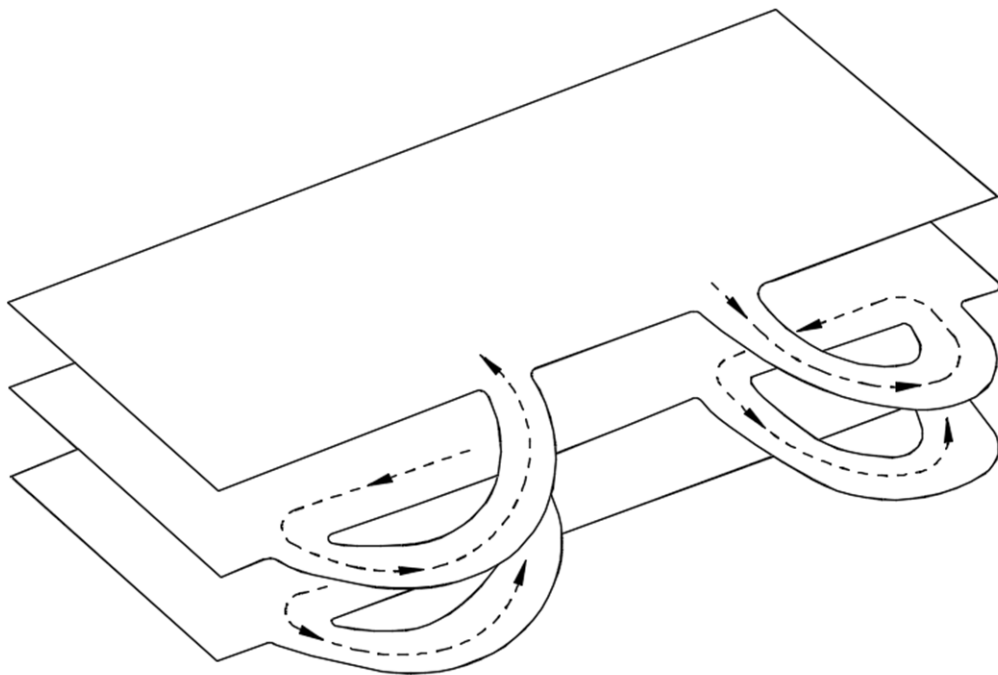
รูปที่ 2.14 รูปแบบการเดินรถสองทางใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (กั้นหอย)
(Helical ramp with two-way traffic)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554



รูปที่ 2.15 รูปแบบการเดินทางเดียวใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (กั้นหอย)
 (Helical one-way ramp at each end)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554



รูปที่ 2.16 ที่จอดรถระดับเดียวโดยใช้ทางลาดเชื่อมแบบเกลียว (กั้นหอย) ภายนอก
 (Flat car park with external spiral ramp)

ที่มา : รัตนวงศ์ รัตนวราห และ สราวุธ จริตงาม, 2554

2.1.2.4 ค่าความจุทางลาดเชื่อม (Ramp Capacity)

ความจุถนน คือ อัตราการไหลของปริมาณการจราจรสูงสุดรายชั่วโมง ซึ่งถนนสามารถรองรับได้ ภายใต้เงื่อนไขทางกายภาพของถนน, การจราจร, การควบคุมการจราจร นั่นคือ อัตราการไหลรายชั่วโมง (Hourly Rate) โดยค่าความจุของทางลาดเชื่อมในอาคารจอดรถจะมีค่าน้อยกว่าค่าความจุของถนนหรือทางลาดเชื่อมกลางแจ้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากพฤติกรรมการขับขี่ยานพาหนะที่แตกต่างกันระหว่างในอาคารจอดรถและกลางแจ้ง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Institute of Traffic Engineering (ITE) ได้ทำการศึกษาความจุของทางลาดเชื่อมของที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Site Parking) (Institute of Traffic Engineering, 2009: 534) พบว่ามีค่าความจุอยู่ที่ 1,050 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และจะลดลงเหลือ 400-650 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจรอย่างตู้รับตัวหรือจัดเก็บค่าใช้บริการ ในขณะที่ CA O'Flaherty ได้ทำการศึกษาไว้ใน Transport Planning and Traffic Engineering (CA O'Flaherty, 2006: 417) พบว่ามีค่าความจุอยู่ที่ 970 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และลดลงเหลือ 350-450 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร

2.2 คุณลักษณะทั่วไปของการจราจร (Traffic Characteristics)

คุณลักษณะทั่วไปของการจราจรเป็นพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้อธิบายด้านจราจร รวมทั้งการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์นั้นๆ ซึ่งการวิเคราะห์กระแสจราจรในระดับมหภาคนั้น จะพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์หลัก 3 ค่า ได้แก่ อัตราการไหล (Flow Rate, q) ความหนาแน่น (Density, k) และความเร็ว (Speed, u) นอกเหนือจากองค์ประกอบหลักแล้วยังมีพารามิเตอร์อื่นที่เป็นผลจากองค์ประกอบหลักข้างต้น ได้แก่ ระยะห่างระหว่างรถ (Headway) แบ่งได้เป็น Time Headway และ Space Headway (วิรัช หิรัญ, 2558)

2.2.1 อัตราการไหล (Flow Rate ; q) คือ อัตราเทียบเท่ารายชั่วโมง ซึ่งพาหนะผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนช่องทางที่กำหนดไว้ ในระหว่างช่วงเวลานี้น้อยกว่า 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็นคันต่อชั่วโมง (vehicle per hour, vph) สามารถคำนวณหาอัตราการไหลเทียบเท่าต่อหนึ่งชั่วโมง ดังนี้

$$Q = \frac{n \ 3600}{T} \quad (2.1)$$

ซึ่ง Q = ค่าเทียบเท่าอัตราการไหลรายชั่วโมง
 n = จำนวนรถที่วิ่งผ่านจุดที่ทำหาลสำรวจในช่วงเวลา T
 T = ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ เป็น วินาที

2.2.2 ความหนาแน่น (Density; k) คือ จำนวนยานที่ครอบครองพื้นผิวจราจร ในช่วงความยาวของถนนหรือช่องจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น คัน/กิโลเมตร (vehicle per kilometer, vpk) โดยทั่วไปการกำหนดระยะทางเป็น “กิโลเมตร” สำหรับทางหลวงนอกเมือง ส่วนถนนในเมืองควรพิจารณาความยาวช่วงถนนที่เหมาะสมโดยไม่ควรอยู่ใกล้ทางแยกมากเกินไป สามารถคำนวณหาความหนาแน่น ดังนี้

$$K = \frac{n}{L} \quad (2.2)$$

ซึ่ง k = ความหนาแน่นของยานถนนซึ่งยาว L ณ เวลา T
 n = จำนวนยานบนถนนซึ่งยาว L
 L = ความยาวของช่วงถนนที่วัดความหนาแน่น

2.2.3 ความเร็ว (Speed, u) เป็นระยะทางที่ยานเดินทางไปได้ในระหว่างช่วงเวลาที่กำหนด มักมี หน่วยเป็นกิโลเมตร/ชั่วโมง (kilometer per hour ; Km/h) หรือเมตร/วินาที (m/s) คำนวณจากเวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านระยะทางช่วงใดช่วงหนึ่งที่ทราบระยะแน่นอน ดังนี้

$$u = \frac{d}{t} \quad (2.3)$$

ซึ่ง u = ความเร็ว
 d = ระยะทาง
 t = เวลาที่ใช้ในการเดินทางเป็นระยะทาง d

โดยความเร็วของการจราจรจะใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ความเร็วเฉลี่ยที่อิงเวลา (Time Mean Speed) และ ความเร็วเฉลี่ยอิงระยะทาง (Space Mean Speed)

ความเร็วเฉลี่ยที่อิงเวลา (Time Mean Speed) เป็นค่ากลางทางคณิตศาสตร์ของความเร็วของยานที่แล่นผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนท้องถนน สูตรที่ใช้ในการหา คือ

$$\bar{U}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (2.4)$$

ซึ่ง \bar{U}_t = ความเร็วเฉลี่ยที่อิงระยะทาง
 n = จำนวนยานที่ทำการสำรวจ
 u_i = ความเร็วของยานคันที่ i

ความเร็วเฉลี่ยอิงระยะทาง (Space Mean Speed) เป็นค่ากลางของความเร็วยานที่ผ่านช่วงของถนนที่กำหนด สูตรที่ใช้ในการหา คือ

$$\bar{U}_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{u_i}\right)} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.5)$$

ซึ่ง \bar{U}_s = ความเร็วเฉลี่ยที่อิงระยะทาง
 n = จำนวนรถยนต์ที่ทำการสำรวจ
 L = ช่วงถนนที่กำหนดไว้ (ค่าคงที่)
 t_i = เวลาที่รถคันที่ i ใช้วิ่งผ่านช่วงถนนที่กำหนดไว้

2.2.4 ระยะห่างระหว่างรถ (Headway) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.2.4.1 ช่วงห่าง (Time Headway, h) คือค่าความแตกต่างระหว่างเวลาที่ส่วนหน้าของรถยนต์มาถึงจุดใด ๆ บนถนนที่กำหนด กับเวลาที่ส่วนหน้าของรถยนต์คันต่อไปได้มาถึงจุดเดียวกับคันแรก โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น “วินาที” สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$h_d = \frac{1000}{k} \quad (2.6)$$

ซึ่ง h_d = Mean-distance headway (เมตรต่อคัน)
 k = ความหนาแน่น (คันต่อกิโลเมตร)

2.2.4.2 ระยะห่าง (Distance Headway, d) เป็นระยะระหว่างส่วนหน้าของรถยนต์คันแรกและส่วนหน้าของรถยนต์คันต่อมา โดยปกติจะมีหน่วยเป็น “เมตร” สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$h_d = \frac{1000}{k} \quad (2.7)$$

ซึ่ง h_t = Mean-time headway (วินาทีต่อคัน)
 q = ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)

2.3 ทฤษฎีกระแสจราจร (Traffic Flow Theory)

บนท้องถนนทั่วไปจะมีจราจรที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชั่วโมง โดยจะมีความต้องการเดินทางในช่วงเช้าจนถึงเย็น ในขณะที่ความต้องการเดินทางลดลงในช่วงกลางคืนจนถึงเข้ามิด ดังนั้นในแต่ละช่วงเวลาของวันถนนแต่ละเส้นจะมีสภาพจราจรที่แตกต่างกัน สำหรับสภาพจราจรหนึ่ง ๆ นั้นสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรทางด้านจราจร 3 ตัว คือ อัตราการไหล (Flow Rate, q) ความหนาแน่น (Density, k) และความเร็ว (Speed, u) ซึ่งทั้ง 3 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันดังสมการ คือ

$$q=uk \quad (2.8)$$

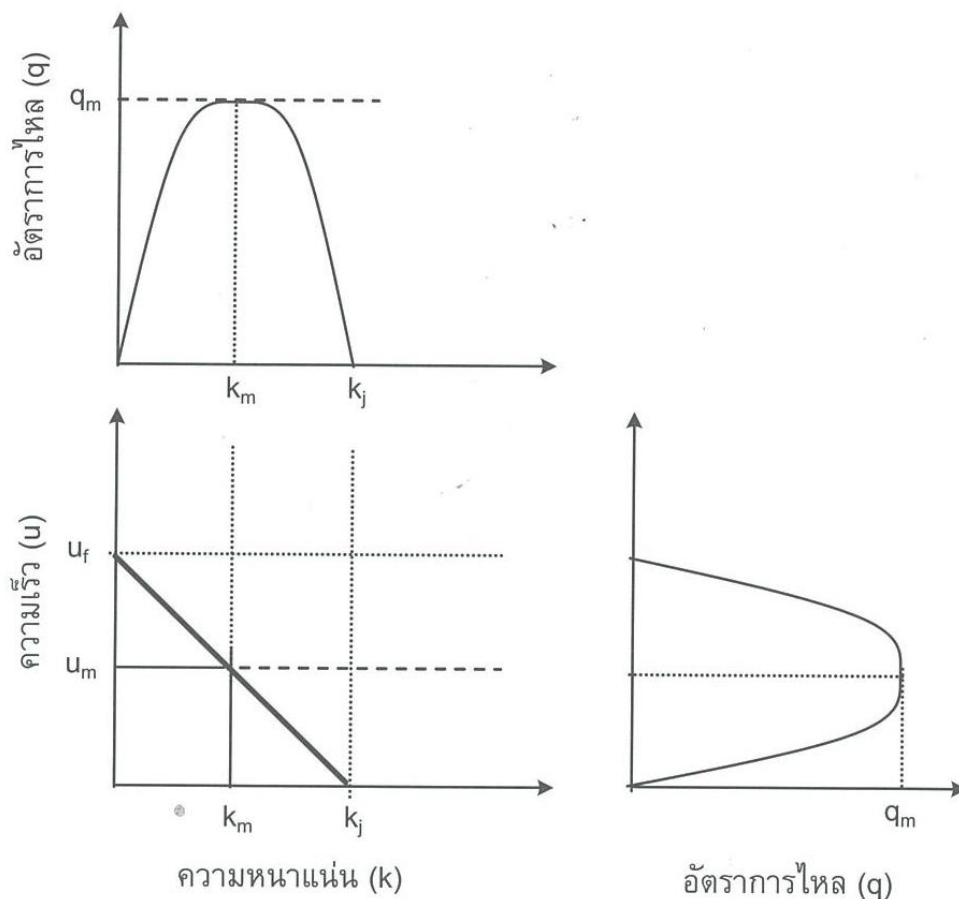
ซึ่ง q = อัตราการไหล (คันต่อชั่วโมง)
 u = ความเร็วจราจร (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
 k = ความหนาแน่น (คันต่อกิโลเมตร)

นอกจากตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวดังที่กล่าวมานั้น ยังมีตัวแปรที่ควรศึกษา ดังต่อไปนี้

k_j = ความหนาแน่นติดขัด (Jam Density) คือ ความหนาแน่นที่
 การจราจรติดขัดมากจนกระทั่งยานพาหนะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

u_f = ความเร็วอิสระ (Free Speed) คือ ความเร็วของยานพาหนะใน
 กรณีไม่มียานพาหนะอื่นบนถนน

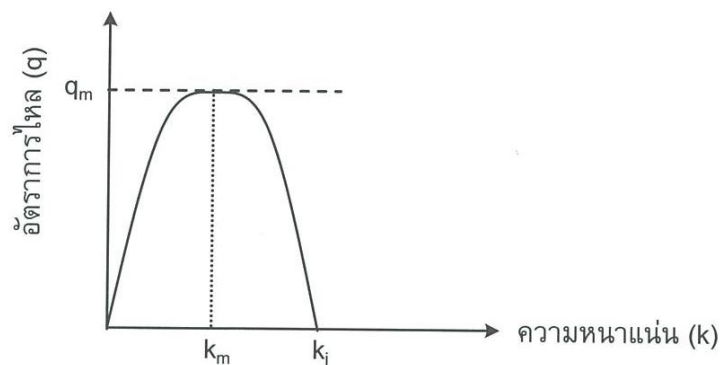
Q = ความสามารถในการรองรับได้ (Capacity) คือ จำนวนยานพาหนะ
 ที่มากที่สุดที่แล่นผ่านตำแหน่งใด ๆ ในระยะเวลาที่กำหนด



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความหนาแน่น และความเร็ว
 ที่มา: ยอดพล ธนาบุรณ์, 2524

2.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น

เมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้นความหนาแน่นก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย จนกระทั่งความหนาแน่นมีค่าเท่ากับความสามารถในการรองรับได้ (Capacity, Q) ซึ่ง ณ จุดนี้อัตราการไหลจะมีค่ามากที่สุด เรียกว่าอัตราการไหลสูงสุด (Maximum Flow Rate, q_m) และหลังจากจุดนี้ไปอัตราการไหลจะลดลงเมื่อความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเกิดความหนาแน่นติดขัด (Jam Density, k_j) ซึ่ง ณ จุดนี้อัตราการไหลจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากรถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.18

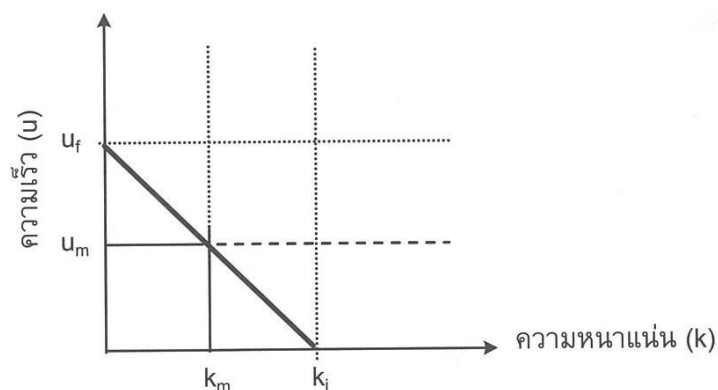


รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความหนาแน่น

ที่มา: ยอดพล ธนาบุรณ์, 2524

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น มีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Relationship) โดยค่าความเร็วจะมีค่าลดลง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ณ จุดที่ความหนาแน่นเท่ากับศูนย์ (ไม่มีรถวิ่งบนถนน) ยานพาหนะจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอิสระ (Free Speed, u_f) และเมื่อจราจรติดขัดมากๆ จนความเร็วเป็นศูนย์ความหนาแน่นจะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นติดขัด (Jam Density, k_j) ดังแสดงในรูปที่ 2.19

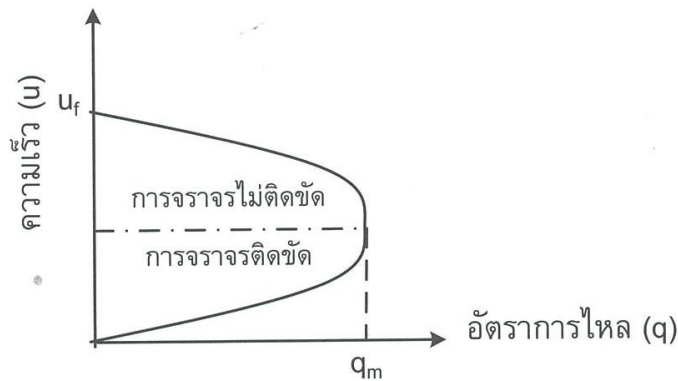


รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น

ที่มา: ยอดพล ธนาบุรณ์, 2524

2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล

โดยทั่วไปความเร็วจะลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดค่าความสามารถในการรองรับได้ (Capacity, Q) ทั้งความเร็วและอัตราการไหลจะมีค่าลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับอัตราการไหล

ที่มา: ยอดพล ธนาบุรณ์, 2524

2.4 แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model)

การวิเคราะห์สภาพการจราจรโดยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค เป็นการสร้างแบบจำลองที่สามารถมาใช้เป็นตัวแทนของลักษณะสภาพจราจรที่เกิดขึ้นจริงบนท้องถนน ทางแยก หรือโครงข่ายถนนหนึ่งๆ ได้ เพื่อนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้มาใช้วิเคราะห์สภาพจราจรที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบผลที่ได้กับสภาพการจราจรที่เกิดขึ้นจริง เป็นการนำเสนอสภาพการจราจรโดยการแสดงในรูปของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสุมตัวอย่างโดยการสังเกตและเก็บข้อมูลทางสถิติผ่านทางแบบจำลองสภาพการจราจร (Traffic Modeling) จะพิจารณาถึงพฤติกรรมการสัญจรของยานพาหนะแต่ละคัน ซึ่งมีหลักในการพิจารณาที่สำคัญ ได้แก่ ทฤษฎีการขับรถตามกัน (Car Following Theory) ความสามารถในการแทรกช่องว่างระหว่างยานพาหนะ (Gap Acceptance) การเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Changing) ตัวชี้วัดสภาพจราจรที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้แก่ ความล่าช้าในการเดินทาง ความยาวแถวคอยสูงสุด ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง และระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะนำมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาสำหรับเปรียบเทียบรูปแบบทางเลือกทางด้านวิศวกรรมซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบรายละเอียดที่มีความถูกต้องและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

จากข้อมูลที่มีการสำรวจและเก็บรวบรวม พร้อมทั้งประเมินและวิเคราะห์สภาพการจราจรในปัจจุบันและอนาคต ทำให้สามารถเสนอแนะรูปแบบและทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจร ทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้อย่างเหมาะสม ซึ่งถ้ามีการใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค จะทำให้การเสนอแนะรูปแบบและทางเลือกในการแก้ปัญหาจราจรมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งสามารถนำภาพเคลื่อนไหว (Traffic Animation) เพื่อให้เกิดความเข้าใจและความน่าเชื่อถือในงานการศึกษาทางด้านจราจรมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้จำลองสภาพจราจรมากมาย แต่ละโปรแกรมมีจุดแข็งและจุดอ่อนแตกต่างกันไป ในการศึกษาครั้งนี้จะอธิบายเฉพาะโปรแกรม VISSIM และการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร CORSIM PARASIM และ SIMTRAFFIC เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวที่ได้กล่าวมานี้เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในงานวิศวกรรมจราจรของประเทศไทยในปัจจุบัน

2.4.1 โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร VISSIM

VISSIM เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค ที่ปรับปรุงเงื่อนไขการจราจรในลักษณะเฟ้นสุ่มทุกๆ ช่วงเวลาย่อยของวินาที โดยอาศัยพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่เป็นหลักการพื้นฐานในการจำลอง (PTV Manual, 2015)

2.4.1.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม VISSIM

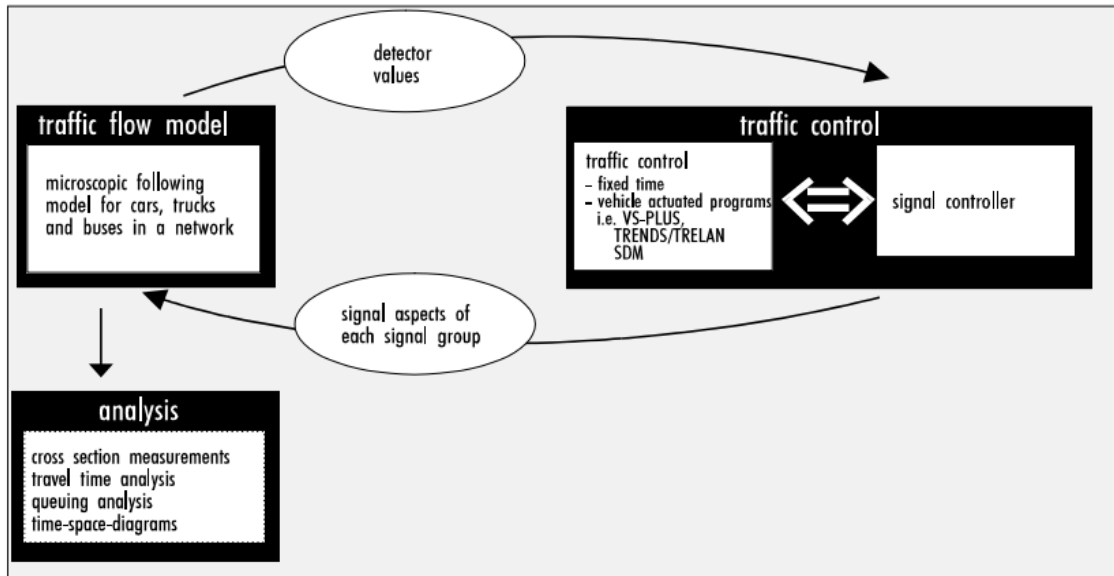
โปรแกรม VISSIM ประกอบด้วยโปรแกรมย่อย ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน 2 โปรแกรม ดังต่อไปนี้

- โปรแกรมสร้างการจำลองสภาพการจราจร (Traffic Simulator)

Traffic Simulator ถือเป็นโปรแกรมหลักของ VISSIM ซึ่งใช้ในการสร้างการจำลองสภาพการจราจรโดยอาศัยชุดคำสั่งทางตรรกศาสตร์ของพฤติกรรมการขับขี่ตามกันและการเปลี่ยนช่องจราจรของผู้ขับขี่ โดย Traffic Simulator จะทำการปรับปรุงสถานการณ์ในการจำลองตามเงื่อนไขที่แปรเปลี่ยนไปในทุกๆ Time Step อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่ทำการจำลอง

- โปรแกรมสร้างสถานะการควบคุมของระบบสัญญาณไฟจราจร (Signal State Generator)

Signal State Generator เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณสถานะการควบคุมของระบบสัญญาณไฟจราจรใน Time Step ถัดไป โดยจะรับข้อมูลสภาพการจราจรของ Time Step ปัจจุบันที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณจาก Traffic Simulator จากนั้นจะทำการคำนวณและส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับไปยัง Traffic Simulator อีกครั้งหนึ่ง เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขอันหนึ่งในการปรับปรุงสถานการณ์ในการจำลองสภาพการจราจรใน Time Step ถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 สถาปัตยกรรมของโปรแกรม VISSIM

ที่มา : PTV Manual, 2015

2.4.1.2 แบบจำลองพฤติกรรมรถของผู้ขับขี่ในโปรแกรม VISSIM

โปรแกรม VISSIM ใช้แบบจำลองจิตฟิสิกส์ของการขับขี่ตามกัน (Psycho-Physical Car Following Model) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Rainer Wiedemann เมื่อปี ค.ศ. 1974 ในการจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Longitudinal) และใช้ Rules-Based Algorithm ในการจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ทางด้านข้าง (Lateral) ของยานยนต์ โดยในแบบจำลองได้รวมยานพาหนะ (Vehicle) และผู้ขับขี่ (Driver) เข้าเป็นหน่วยเดียวกัน เรียกว่า Driver-Vehicle-Element (DVE) (PTV Manual, 2015)

Psycho-Physical Car Following Model เป็นแบบจำลองแบบ Discrete, Stochastic และ Time Step ในระดับจุลภาค ที่ใช้แนวคิดพื้นฐานเรื่องค่าเริ่มต้น (น้อยที่สุดหรือมากที่สุด) ในการรับรู้ของแต่ละบุคคล (Individual Perception Threshold) เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมรถของผู้ขับขี่ในแบบจำลอง โดยในแบบจำลองจะกำหนดให้ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่เล่นตามหลังเริ่มเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมรถขับขี่ เช่น ลดความเร็ว เบรก เร่งความเร็ว หรือเปลี่ยนช่องจราจร หลังจากที่ได้รับค่าการรับรู้ในสถานะใดสถานะหนึ่งของการขับขี่ตามกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 และตารางที่ 2.4 ซึ่งสถานะที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระยะห่าง (Distance) และความแตกต่างระหว่างความเร็ว (Speed Difference) ของยานยนต์ที่เล่นตามกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 สถานะ ดังต่อไปนี้

- **สภาวะการขับขี้อิสระ (No Reaction)**

No Reaction เป็นสภาวะที่ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังไม่ได้รับอิทธิพลจากยานยนต์คันที่ถูกสังเกตซึ่งแล่นอยู่ข้างหน้า ทำให้ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังสามารถเลือกใช้ความเร็วได้ตามการ (Desired Speed) และจะพยายามรักษาระดับความเร็วนั้นไว้

- **สภาวะการขับขี้นขณะเข้าใกล้ยานยนต์คันที่แล่นอยู่ข้างหน้า (Reaction)**

Reaction เป็นสภาวะที่ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังได้รับอิทธิพลจากยานยนต์คันที่ถูกสังเกตซึ่งแล่นอยู่ข้างหน้า ทำให้ต้องลดความเร็วลงหลังจากที่เริ่มรับรู้ว่ายานยนต์คันที่ถูกสังเกตมีความเร็วต่ำกว่า จนความเร็วของยานยนต์ทั้งสองคันมีค่ากันใกล้เคียงกัน (กวดแกว่งอยู่ใกล้ ๆ ค่าศูนย์) ในระยะห่างที่เท่ากับระยะห่างปลอดภัยที่ต้องการ (Desired Safety Distance) ของผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลัง

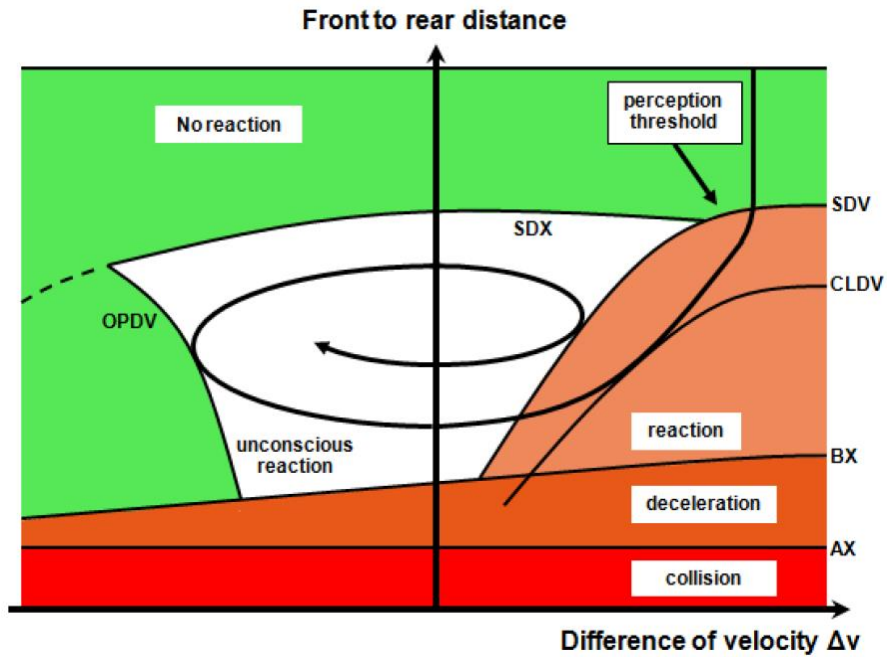
- **สภาวะการขับขี้นตามกันไป (Unconscious Reaction)**

Unconscious Reaction เป็นสภาวะที่ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังพยายามที่จะรักษาระยะห่างปลอดภัยตามที่ต้องการไว้ โดยความแตกต่างระหว่างความเร็วของยานยนต์ทั้งสองคันจะกวดแกว่งอยู่ใกล้ ๆ ค่าศูนย์

- **สภาวะเบรก (Deceleration and Collision)**

Deceleration and Collision เป็นสภาวะที่ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังลดความเร็วลงโดยใช้อัตราหน่วงที่สูงกว่าปกติ (High Deceleration Rate) หลังจากเริ่มรับรู้ระยะห่างจากยานยนต์คันที่แล่นอยู่ข้างหน้ามีค่าน้อยกว่าระยะปลอดภัยที่ต้องการ ซึ่งอาจเกิดจากยานยนต์คันที่ถูกสังเกตซึ่งแล่นอยู่ข้างหน้าลดความเร็วลงอย่างทันทีทันใด เนื่องจากมียานยนต์จากช่องจราจรอื่นเปลี่ยนช่องจราจรเข้ามาอยู่ข้างหน้ายานยนต์คันที่ถูกสังเกตดังกล่าว

VISSIM ใช้ Rules-Based Algorithm ในการจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ทางด้านข้างของยานยนต์บนช่วงถนนที่มีหลายช่องจราจรในแบบจำลอง โดยผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังจะถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนช่องจราจร ถ้าคาดคะเนได้ว่ายานยนต์คันที่แล่นอยู่ข้างหน้าจะเป็นอุปสรรคกีดขวางการเคลื่อนที่ของยานยนต์ที่ผู้ขับขี่คนดังกล่าวควบคุมอยู่ หรือมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อให้อยู่ในเส้นทางที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า เช่น กำลังจะออกจากช่องจราจรสำหรับชะลอความเร็ว เป็นต้น โดยผู้ขับขี่จะพิจารณาตรวจสอบสภาพการจราจรเวลานั้น ว่าสามารถที่จะทำการเปลี่ยนช่องจราจรตามแผนที่วางเอาไว้ได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ ก่อนที่จะทำการเปลี่ยนช่องจราจร โดยจะพิจารณาจากเงื่อนไขของตำแหน่งและความเร็วของยานยนต์ที่แล่นตามหลังและที่แล่นอยู่ข้างหน้าในช่องจราจรเดียวกันและในช่องจราจรที่อยู่ด้านข้างทั้งสองด้าน



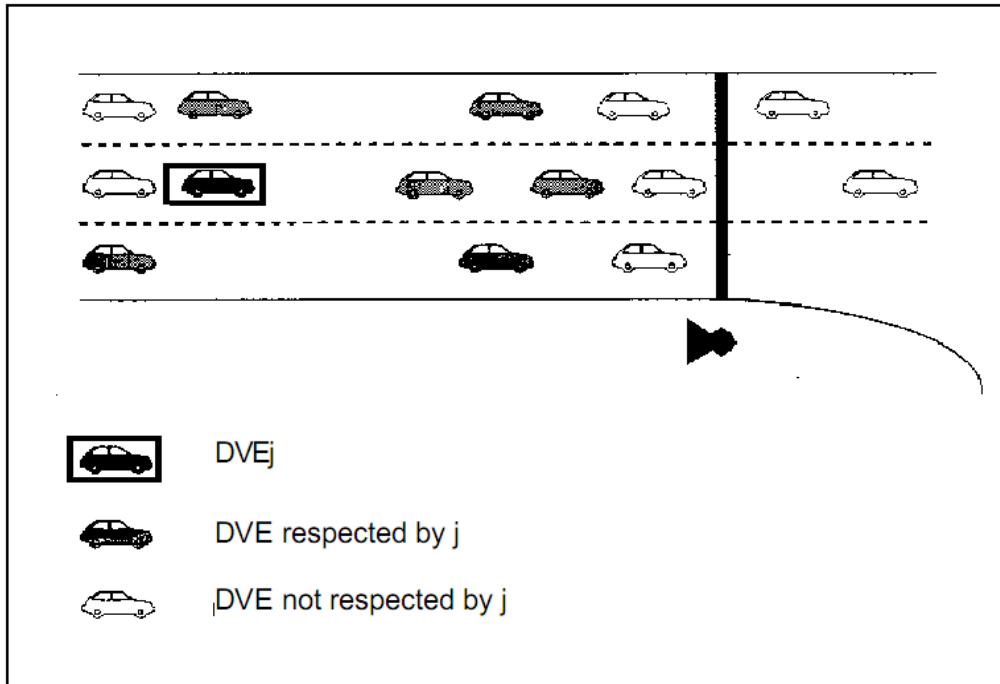
รูปที่ 2.22 ตรรกศาสตร์ของพฤติกรรมกรับขี่ตามกันของ Wiedemann ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1974

ที่มา : PTV Manual, 2015

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์และคำอธิบายในตรรกศาสตร์ของพฤติกรรมกรับขี่ตามกันของ Wiedemann

Threshold	คำอธิบาย
AX	ระยะห่างสั้นที่สุดที่ต้องการระหว่าง DVE ที่ต่อท้ายกันอยู่ในแถวคอย
BX	ระยะห่างสั้นที่สุดที่ต้องการระหว่าง DVE ที่แล่นตามกันซึ่งมีความเร็วใกล้เคียงกัน
SDV	จุดที่ DVE ที่แล่นตามหลังเริ่มรับรู้ว่าจะเข้าใกล้ DVE ที่แล่นอยู่ข้างหน้าซึ่งมีความเร็วต่ำกว่า
OPDV	จุดที่ DVE ที่แล่นตามหลังเริ่มรับรู้ว่าจะใช้ความเร็วต่ำกว่า DVE ที่แล่นอยู่ข้างหน้าและเริ่มเร่งความเร็วอีกครั้ง
SDX	ระยะห่างมากที่สุดระหว่าง DVE ที่แล่นตามกัน
CLDV	จุดที่ความแตกต่างระหว่างความเร็วของ DVE ที่แล่นตามกันลดลง

ที่มา : PTV Manual, 2015



รูปที่ 2.23 ตำแหน่งของยานยนต์ 6 คัน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเปลี่ยนช่องจราจรของผู้ขับขี่ใน Rules-Based Algorithm

ที่มา : PTV Manual, 2015

2.4.1.3 แบบจำลองการขับขี่ตามกันของยานยนต์ที่ใช้โปรแกรม VISSIM

แบบจำลองการขับขี่ตามกันของยานยนต์ที่ใช้ในโปรแกรม VISSIM สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

- **แบบจำลอง Wiedemann 74**

Wiedemann 74 เป็นแบบจำลองที่ปรับปรุงมาจากแบบจำลองการขับขี่ตามกันของ Wiedemann ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1974 เพื่อใช้จำลองพฤติกรรมของการขับขี่ตามกันของยานยนต์ในสภาพการจราจรในเขตเมือง

$$d = ax + bx \tag{2.9}$$

เมื่อ

d คือ ระยะห่างระหว่างยานยนต์ที่แล่นตามกัน (เมตร)

ax คือ ระยะห่างระหว่างยานยนต์ที่ต้องการในขณะจอด (Standstill Distance) (เมตร)

bx คือ ระยะห่างปลอดภัยระหว่างยานยนต์ในขณะแล่นตามกัน (เมตร) ซึ่งหาค่าได้โดยสมการด้านล่าง

$$bx = (bx_add + bx_multi \times Z) \times \sqrt{V} \tag{2.10}$$

เมื่อ	
V	คือ ความเร็วของยานพาหนะ (เมตรต่อวินาที)
bx_add	คือ Additive Part of Desired Safety Distance (m)
bx_multi	คือ Additive Part of Desired Safety Distance (m)
Z	คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จะมีค่าเท่ากับ 0.5 ที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15

- **แบบจำลอง Wiedemann 99**

Wiedemann 99 เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1999 เพื่อใช้จำลองพฤติกรรมรถที่ขับชิดตามกันของยานพาหนะในสภาพการจราจรบนทางด่วนและทางด่วนพิเศษ แบบจำลอง Wiedemann 99 ประกอบด้วย ตัวแปรสำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง 10 ตัวแปร โดยตัวแปรทุกตัวจะขึ้นต้นด้วย CC (Calibration Component) และตัวด้วยตัวเลขหนึ่งหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2.5

2.4.1.4 อัลกอริทึมของการเปลี่ยนช่องจราจร

การเปลี่ยนช่องจราจรจะสามารถทำได้ ในกรณีที่บนช่วงถนนมีมากกว่าหนึ่งช่องจราจรต่อทิศทางหรือช่องจราจรมีความกว้างเพียงพอสำหรับการแซงในช่องจราจรเดียวกัน โดยในโปรแกรม VISSIM มีการเปลี่ยนช่องจราจรอยู่ 2 ชนิด

- **Necessary Lane Change**

Necessary Lane Change เป็นการเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อรักษาเส้นทางในการเดินทางซึ่งได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว

- **Free Lane Change**

Free Lane Change เป็นการเปลี่ยนช่องจราจรที่ไม่ได้ถูกบังคับจากการกำหนดเส้นทางในการเดินทางไว้ล่วงหน้า แต่กระทำเพื่อรักษาความเร็วที่ผู้ขับขี่ต้องการไว้ ในขณะที่มีช่องว่างบนช่องจราจรทั้งในทิศทางตรงกันข้ามหรือในทิศทางเดียวกันเพียงพอสำหรับการแซง

ตารางที่ 2.5 ตัวแปรที่ใช้ในการสอบเทียบของแบบจำลอง Wiedemann 99

ประเภท	รหัส	คำอธิบาย
ค่าเริ่มต้น สำหรับ Δx	CC0	Standstill Distance หมายถึง ระยะห่างระหว่างรถคันที่อยู่ข้างหน้ากับรถคันที่อยู่ข้างหลังในขณะที่ยุคหนึ่งของผู้ขับขี่ต้องการ
	CC1	Headway Time หมายถึง เวลาห่างระหว่างรถคันวิ่งนำหน้าและรถคันวิ่งตามหลังที่ผู้ขับขี่ต้องการ
	CC2	'Following' Variation หมายถึง ระยะห่างเพิ่มเติมจากระยะห่างปลอดภัยที่ผู้ขับขี่ต้องการ
	CC3	Thresholds for Entering 'Following' หมายถึง ความยาวของช่วงเวลาก่อนที่ผู้ขับขี่จะเริ่มลดความเร็วลงเพื่อให้อยู่ในระยะห่างที่ปลอดภัย
ค่าเริ่มต้น สำหรับ Δv	CC4	Negative 'Following' Thresholds หมายถึง ค่ามากที่สุดในด้านลบของความแตกต่างระหว่างความเร็วของรถที่แล่นอยู่ข้างหน้ากับรถแล่นตามหลัง
	CC5	Positive 'Following' Thresholds หมายถึง ค่ามากที่สุดในด้านบวกของความแตกต่างระหว่างความเร็วของรถที่แล่นอยู่ข้างหน้ากับรถแล่นตามหลัง
	CC6	Speed Dependency of Oscillation หมายถึง อิทธิพลของระยะห่างระหว่างยานที่มีต่อช่วงการกวัดแกว่งความเร็วของรถที่แล่นตามหลัง
อัตราเร่ง	CC7	Oscillation Acceleration หมายถึง อัตราเร่งที่แท้จริงในช่วงที่อัตราเร่งมีการกวัดแกว่ง
อัตราเร่ง	CC8	Standstill Acceleration หมายถึง อัตราเร่งที่ผู้ขับขี่ต้องการใช้เมื่อเริ่มออกตัวจากตำแหน่งที่จอด (ความเร็วเท่ากับ 0 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
	CC9	Acceleration at 80 km/h หมายถึง อัตราเร่งที่ผู้ขับขี่ต้องการใช้ที่ระดับความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ที่มา : PTV Manual, 2015

2.4.2 กระบวนการในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

ในการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Modeling Analysis Process) แบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.24 โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา (Identification of Project Purpose, Scope and Approach) เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนดเป้าหมาย กำหนดทรัพยากร (ค่าใช้จ่ายและเวลา) และวางแผนการบริหารจัดการในการศึกษา

2. การสำรวจและรวบรวมข้อมูล รวมถึงการประมวลผลข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง (Data Collection and Preparation) เป็นขั้นตอนที่ต้องทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูล รวมถึงการประมวลผลข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาและการสอบเทียบแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ลักษณะทางเรขาคณิตและการควบคุมการจราจรของโครงข่ายถนน ปริมาณจราจร อาทิเช่น รถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่ พร้อมทั้งความต้องการในการเดินทางในสภาพปัจจุบันข้อมูลของการเดินทางรูปแบบอื่นๆ เช่น ระบบขนส่งสาธารณะ และคนเดินเท้า และข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง เช่น เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ความล่าช้าในการเดินทาง และความยาวแถวคอย เป็นต้น

3. การพัฒนาแบบจำลองฐาน (Base Model Development) การพัฒนาแบบจำลองมีลักษณะเป็นการสร้างชั้น (Layer) ของข้อมูลหลาย ๆ ชั้นซ้อนกัน โดยชั้นข้อมูลชั้นแรกที่ถูกสร้างได้แก่ Link-Node Diagram ซึ่งถือเป็นรากฐานของแบบจำลอง จากนั้นจะทำการสร้างชั้นข้อมูลอื่นๆ บน Link-Node Diagram โดยชั้นข้อมูลชั้นที่ 2 ที่ถูกสร้าง คือ ข้อมูลการควบคุมการจราจร และลักษณะการดำเนินการจราจรของแต่ละ Link เรียกว่า ชั้นโครงข่ายพื้นฐาน (Basic Network) ชั้นข้อมูลชั้นที่ 3 ที่ถูกสร้าง คือ ความต้องการและพฤติกรรมในการเดินทาง ซึ่งจะถูกเพิ่มเข้าไปในชั้นโครงข่ายพื้นฐานและชั้นข้อมูลชั้นสุดท้ายของแบบจำลองสภาพการจราจร คือ ข้อมูลควบคุมการ Run แบบจำลองสภาพการจราจร

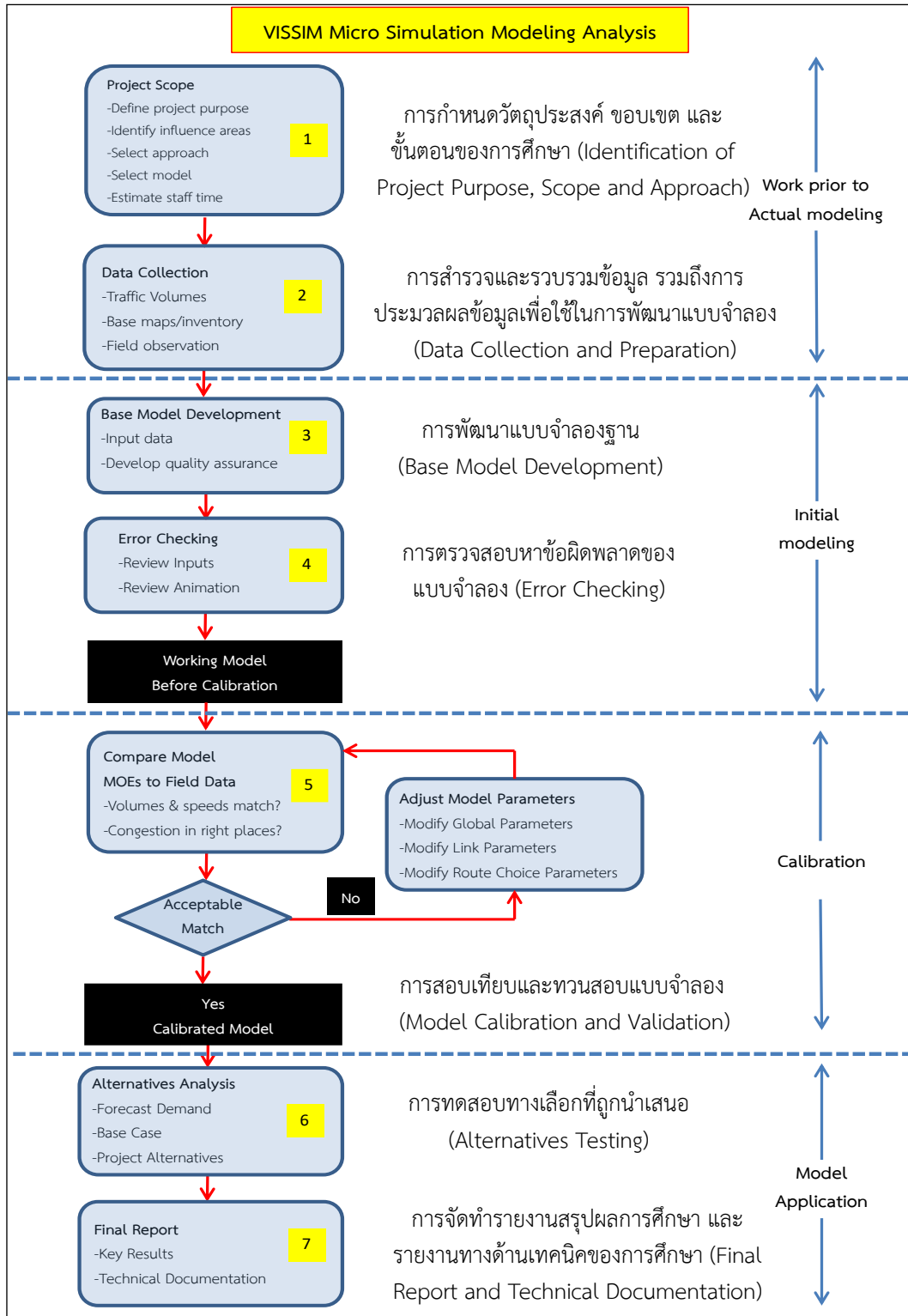
4. การตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของแบบจำลอง (Error Checking) เป็นขั้นตอนที่ต้องทำการตรวจสอบและค้นหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างชั้นของข้อมูลต่างๆ และการป้อนข้อมูลต่าง ๆ เข้าสู่แบบจำลอง

5. การสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) เป็นขั้นตอนที่ทำการคัดเลือกตัวแปรด้านพฤติกรรมการขับขี่บางตัวแปรในแบบจำลอง และทำการปรับแก้ค่าตัวแปรดังกล่าว ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพการจราจรของทั้งโครงข่ายถนน (Global Parameter) เช่น ความเร็วที่ต้องการใช้ในการขับขี่ อัตราเร่งและอัตราหน่วงสูงสุดของยานยนต์ และเวลาห่างน้อยที่สุด เป็นต้น และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาพการจราจรเฉพาะช่วงถนนช่วงใดช่วงหนึ่ง (Local Parameter) ซึ่งในการศึกษาส่วนใหญ่ ประกอบด้วย ความเร็วเฉลี่ยและปริมาณจราจรในทิศทางต่างๆ ที่ทางแยก ความยาวแถวคอยในแต่ละขาทางแยก พื้นที่ที่ใช้ในการเปลี่ยน

ช่องจราจร รวมถึงรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกและที่จุดต่อเชื่อมเข้าสู่ทางด่วน เป็นต้น จากนั้นจึงทำการ Run แบบจำลอง แล้วนำค่าตัวชี้วัดที่ได้จากผลการจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจ ถ้าพบว่า ผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งจะกระทำกระบวนการตั้งที่กล่าวมาในข้างต้นซ้ำอีก จนกระทั่งได้ค่าตัวแปรที่ให้ค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด นอกจากนี้ ยังต้องทำการทวนสอบความถูกต้องของค่าตัวแปรที่ได้ โดยการ Run แบบจำลอง โดยใช้ค่าตัวแปรที่ให้ผลการเปรียบเทียบที่ดีที่สุด กับข้อมูลเงื่อนไขการจราจรชุดใหม่ แล้วนำค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าตัวชี้วัดที่ได้จากการสำรวจของข้อมูลเงื่อนไขการจราจรชุดใหม่ ถ้าผลการเปรียบเทียบมีค่าแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ค่าตัวแปรดังกล่าวจะถูกรับให้นำไปใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจร ต่อไป

6. การทดสอบทางเลือกที่ถูกรับเลือก (Alternatives Testing) เป็นขั้นตอนที่ต้องประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรในการประเมินแบบหลายทางเลือก โดยผู้ศึกษาจะต้องทำการพัฒนาแบบจำลองของทางเลือกทุกทางเลือกที่ถูกรับเลือก และทำการ Run แบบจำลองทุกแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ โดยใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากกระบวนการสอบเทียบกับเงื่อนไขการจราจรที่ต้องการทดสอบ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน ด้านการจราจรที่ได้จากการ Run แบบจำลองของทางเลือกทุกทางเลือกและทำการประเมินหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

7. การจัดทำรายงานสรุปผลการศึกษา และรายงานทางด้านเทคนิคของการศึกษา (Final Report and Technical Documentation) เป็นขั้นตอนที่ต้องจัดทำรายงานทั้งทางด้านเทคนิคในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง รายงานสรุปผลการสอบเทียบแบบจำลอง และผลการวิเคราะห์ทางเลือกต่างๆ ที่ถูกรับเลือก รวมถึงการจัดเตรียมข้อมูลและวิธีการนำเสนอผลการศึกษา



รูปที่ 2.24 แสดงรายละเอียดและกระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Traffic Micro Simulation Modeling Analysis Process)
ที่มา : บริษัท เอสทิวาร์คอนซัลตติ้ง จำกัด

2.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Error Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะทำการตรวจสอบและค้นหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างโครงข่ายถนน การสร้างชั้นข้อมูลต่างๆ และการป้อนข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง โดยอาศัยการเปรียบเทียบภาพเคลื่อนไหวของสภาพการจราจรในแบบจำลองกับสภาพการจราจรจริงที่บันทึกได้จากพื้นที่ศึกษาและการสุ่มตรวจข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าไป ดังนี้

การทบทวนข้อมูลนำเข้า (Data Input) คือการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานที่ได้ทำการนำเข้าแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทั้งในรูปแบบของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของตารางและความผิดปกติผ่านการแสดงผลของหน้าจอผู้ใช้งานจนมีความมั่นใจว่าแบบจำลองของทางแยกที่เป็นอยู่ในปัจจุบันได้ขจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล

การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหวเพื่อให้เห็นพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ไม่เป็นธรรมชาติในกรณีที่แบบจำลองมีความผิดปกติและขจัดความผิดปกติของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในเบื้องต้นและพร้อมสำหรับการนำไปสู่ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองอย่างละเอียดต่อไป

2.4.4 การปรับเทียบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Model Calibration)

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นกระบวนการที่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัวในแบบจำลอง เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลแบบจำลองมีค่าที่เสมือนกับค่าที่ได้จากการสำรวจ โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษาคั้งนี้จะถูกนำมาประมวลผล และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพการจราจรที่สำรวจในสนาม ซึ่งค่าที่ใช้รวมถึง ปริมาณจราจร (Volume) ความเร็วของกระแสจราจรตามสภาพจริง (Conditioned Speed) ความยาวแถวคอย (Queue Length) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบพฤติกรรมการขับขี่ (Driving Behavior Calibration) โดยทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมต่างๆ ให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด เช่น การลดความเร็ว การเปลี่ยนช่องจราจร การวิ่งตามกันของกระแสจราจร เป็นต้น

2.4.5 การทวนสอบแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค (Model Validation)

การทวนสอบแบบจำลองเป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เกิดควบคู่กับขั้นตอนการปรับแก้แบบจำลอง ซึ่งหากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีความถูกต้องไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จะต้องทำการปรับแก้แบบจำลองใหม่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงจะถือว่าแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งผลเปรียบเทียบต้องผ่านเกณฑ์

ที่ยอมรับได้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้อีกไปเกณฑ์สำหรับการปรับเทียบของ DMRB, 1996 เป็นเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองระดับจุลภาคอย่างแพร่หลาย ซึ่งรายละเอียดในการปรับเทียบแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ในการปรับเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)

เกณฑ์การทวนสอบแบบจำลอง	เกณฑ์ยอมรับได้ที่แนะนำ
<p>การเปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการสำรวจและแบบจำลอง</p> <p>1. แตกต่างไม่เกินร้อยละ 15 สำหรับปริมาณจราจรในช่วง 700-2,700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>2. แตกต่างไม่เกิน 100 คัน สำหรับปริมาณจราจรน้อยกว่า 700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>3. แตกต่างไม่เกิน 100 คัน สำหรับปริมาณจราจรมากกว่า 2,700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>4. ค่าสถิติ GEH แต่ละช่วงเวลาน้อยกว่า 5</p>	<p>ครอบคลุมร้อยละ 85 ของปริมาณจราจรทั้งหมด</p>

หมายเหตุ : ผลการเปรียบเทียบทั้งหมดให้ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรรายชั่วโมง และช่วงเวลาในการวิเคราะห์ของแบบจำลองต้องไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง.

ที่มา : DMRB, 1996

วิธีการคำนวณค่า GEH Statistic ที่ใช้ในการปรับเทียบค่าปริมาณจราจร

$$GEH = \sqrt{\frac{(V-C)^2}{(V+C)/2}} \quad (2.11)$$

เมื่อ V คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากผลการจำลอง

C คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากผลการสำรวจในสนาม

2.4.6 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม

Kaseko (2002) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร เพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในโครงการของ Nevada Department of Transport (NDOT) ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรม CROSIM VISSIM และ SYNCHRO/SIMTRAFFIC โดยทำการประเมินความสามารถของโปรแกรม 2 เงื่อนไข คือ

1) เงื่อนไขการจราจรบนทางด่วนและแยกต่างระดับ ซึ่งแบ่งการจำลอง คือ ช่วงทางด่วนทั่วไปในบริเวณ Ramp Metering ช่วงทางด่วนที่มีช่องจราจรเฉพาะ และบริเวณที่มีการก่อสร้างหรือซ่อมแซมผิวจราจร โดยใช้โปรแกรม VISSIM และ CORSIM และ

2) เงื่อนไขการจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองทั่วไป ซึ่งบริเวณทางแยกเป็นสัญญาณไฟ ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมนั้น พบว่า โปรแกรม CORSIM สามารถสร้างโครงข่ายถนนในแบบจำลองได้ง่าย และสามารถดำเนินการกับระบบขนส่งมวลชนได้ แต่ไม่สามารถใช้ในการจำลองสภาพการจราจรภายในวงเวียนและการข้ามของคนเดินเท้าได้ ในขณะที่โปรแกรม VISSIM สามารถใช้ในการจำลองสภาพการจราจรภายในวงเวียนและการข้ามของคนเดินเท้าได้ แต่การใช้โปรแกรม VISSIM สร้างโครงข่ายถนนในแบบจำลองต้องใช้ข้อมูลมากและใช้เวลาานานกว่าโปรแกรมอื่น ส่วน SIMTRAFFIC นั้นสามารถสร้างโครงข่ายถนนในแบบจำลองและ Run แบบจำลองได้ง่าย แต่การจำลองสภาพการจราจรอย่างอื่นไม่สามารถทำได้เลย ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของทั้ง 3 โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM , VISSIM และ SIM TRAFFIC

ประเด็นเปรียบเทียบ	โปรแกรม		
	CORSIM	VISSIM	SIM TRAFFIC
1.การสร้างโครงข่ายถนนและสิ่งอำนวยความสะดวก (Coding)	ง่าย	มีความยืดหยุ่นสูง	ง่ายที่สุด
2.การ Run แบบจำลองสภาพจราจร	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ง่ายที่สุด
3.Operational ของวงเวียน	ทำไม่ได้	ทำได้	ทำไม่ได้
4.Operational ของระบบขนส่งมวลชน	Bus	Bus, LRT	ทำไม่ได้
5.การจำลองการข้ามถนนของคนเดินเท้า	ทำไม่ได้	ทางแยก, ช่วงถนน	ทำไม่ได้
6.การใช้งานตามวัตถุประสงค์	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
7.จำนวนเพิ่มข้อมูลของ Output	1	มากกว่า 1 เพิ่ม	ไม่ระบุ
8.นำเสนอ Output ในระดับ Aggregate	นำเสนอ	ไม่นำเสนอ	ไม่ระบุ
9.นำเสนอ Output ในระดับ Disaggregate	นำเสนอ	นำเสนอ	ไม่ระบุ

ที่มา : Kaseko, 2002

Choa, Milam and Stanek (2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร เพื่อจัดทำข้อเสนอในการตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมจำลอง

สภาพการจราจรสำหรับวิศวกรจราจรและนักวางแผนการขนส่งให้เหมาะสมกับรูปแบบของโครงการที่กำลังพิจารณา ประกอบด้วยโปรแกรม CORSIM VISSIM และ PARAMICS สามารถสร้างโครงข่ายให้สอดคล้องกับผลของการจำลองและผลของการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการของ Highway Capacity Manual (HCM) โดยในการศึกษาได้ใช้ทั้ง 3 โปรแกรมนี้ ในการพัฒนาให้เป็น Single-Point Urban Interchange (SPUI) เป็นแยกต่างระดับรูปแบบใหม่ในแคลิฟอร์เนียร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของทั้ง 3 โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 2.8 ซึ่ง Choa et al. ได้สรุปผลการศึกษาว่า ผลของการจำลองสภาพการจราจรของโปรแกรม VISSIM และ Paramics มีความสอดคล้องกับผลที่สำรวจมาจากภาคสนาม หลักวิศวกรรมจราจร และผลการทบทวนงานวิจัยของหน่วยงานอื่นๆ มากกว่าผลที่ได้จากโปรแกรม CORSIM นอกจากนี้ยังได้นำเสนอตัวอย่างของเกณฑ์ในการทวนสอบแบบจำลองสภาพการจราจรที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM , PARAMICS และ VISSIM

หัวข้อในการเปรียบเทียบ	โปรแกรม		
	CORSIM	PARAMICS	VISSIM
1.ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	น้อยกว่า PARAMICS และ VISSIM	ใช้ข้อมูลมากกว่า CORSIM เนื่องจากแบบจำลองมีความละเอียดมากกว่า	
2.เวลาที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง	3 ถึง 4 วัน	ใช้เวลามากกว่า CORSIM เนื่องจากแบบจำลองมีความละเอียดมากกว่า	
3.วิธีการเลือกใช้เส้นทางในแบบจำลอง	Link-Based Routing ซึ่งไม่รองรับ Link ที่มีความยาวน้อยกว่า 50 ฟุต		Path-Based Routing
4.การปรับให้เข้ากับบริบทมีวงเลี้ยว(ซึ่งมากกว่าปกติ)ของ SPUI	ทำได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของ Link-Based Routing	สามารถทำได้โดยใช้ Network Editing Tools ของโปรแกรม	สามารถทำได้
5.การเลือกใช้ช่องจราจรในช่วง 50 ฟุตก่อนถึงทางแยก	มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากข้อจำกัดของ Link-Based Routing		ไม่มีความคลาดเคลื่อน
6.ความคลาดเคลื่อนในการเลือกใช้ช่องจราจร ซึ่งเกิดจากขีดจำกัด Look Ahead Distance	มี แต่ความสามารถลดลงได้โดยใช้ Conditional Turn Movement ของโปรแกรม Total Delay ของรถเลี้ยวที่ทางแยก	มี แต่กำลังถูกแก้ไขใน version ถัดไป	ไม่มีความคลาดเคลื่อนโครงข่ายและของรถเลี้ยวที่ทางแยก
7.ความล่าช้าที่ทางแยกใน Output ของโปรแกรม	Control Delay ในแต่ละ Link และ Total Delay ของรถเลี้ยวที่ทางแยก	Total Delay ในแต่ละ Link	Total Delay ระหว่างจุด 2 จุดในโครงข่ายและของรถเลี้ยวที่แยก

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรม CORSIM , PARAMICS และ VISSIM (ต่อ)

8.ความหนาแน่นของจราจร Output ของโปรแกรม	เฉพาะจุดและทั้งช่วงของ ถนน (Link)	เฉพาะ จุดทั้งช่วง ของถนนและช่อง จราจร	เฉพาะจุดทั้งช่วงของ ถนนและช่องจราจร
9.ความสอดคล้องของ ปริมาณจราจรที่ได้จากการ สำรวจกับการจำลอง	95 - 99 %	86 - 95 % เป็นผล ของ Link-Based Routing และ Look Ahead Distance	98 - 100 %
10.ความสอดคล้องของ LOS ของช่วงสลับกระแส จราจรที่ได้จากแบบจำลอง กับที่ได้จาก HCM	ต่ำกว่าค่าจาก HCM เนื่องจากเกิด Artificial Barrier ที่จุดต่อเชื่อมระหว่าง Freeway กับ Arterial	สอดคล้องกับค่าที่ได้จาก HCM	
11.การสร้างกราฟฟิกของ วัตถุในแบบจำลอง	ใช้ Rectangular Shapes	ใช้ Triangular Shapes	
12.การกำหนดสีของ วัตถุในแบบจำลอง	ใช้สีได้จำกัด	ใช้สีได้มากกว่า CORSIM	
13.วัตถุในแบบจำลอง	ยานพาหนะประเภทต่างๆ		ยานพาหนะ ระบบ ขนส่งมวลชน คนเดิน เท้า และวัตถุอื่น เช่น ต้นไม้ และอาคาร เป็น ต้น
14.การนำเสนอกราฟฟิก (Graphic) ในรูปแบบ ภาพเคลื่อนไหว	2 มิติ (คนเดินเท้าไม่ถูก แสดงในภาพเคลื่อนไหวแต่มี อิทธิพลต่อรถเลี้ยว)	3 มิติ	3 มิติ
15.ความสามารถในการ บันทึกภาพเคลื่อนไหว	ไม่รองรับ		รองรับ

ที่มา : Choa, Milam and Stanek, 2003

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์ในการทวนสอบแบบจำลองสภาพการจราจรในการศึกษาของ Choa et al.

ตัวแปร	คำอธิบาย	เกณฑ์ที่ยอมรับ
ปริมาณจราจรที่รองรับ	ความแตกต่างระหว่างปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจกับที่ได้จากผลการจำลอง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	95% ถึง 105% ของค่าที่สังเกต
เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทาง	ความแตกต่างระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางที่ได้จากการสำรวจกับที่ได้จากผลการทดลอง	+ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทาง	ความแตกต่างระหว่างความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการเดินทางที่ได้จากการสำรวจกับที่ได้จากผลการทดลอง	+ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความหนาแน่นของการจราจรบนทางด่วน	ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของการจราจรบนทางด่วนที่ได้จากการสำรวจกับที่ได้จากผลการจำลอง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	90% ถึง 110% ของค่าที่สังเกต
ความยาวแถวคอยเฉลี่ยหรือมากที่สุด	ความแตกต่างระหว่างความยาวแถวคอยที่ได้จากการสำรวจกับที่ได้จากผลการจำลอง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	80% ถึง 120% ของค่าที่สังเกต

ที่มา : Choa, Milam and Stanek, 2003

เสกสรร บุญฉวี (2554) ได้ทำการวิเคราะห์ระยะห่างที่เหมาะสมของทางแยกในลักษณะพิเศษ โดยใช้แบบจำลอง VISSIM เพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่มีความเหมาะสมกับงานศึกษาที่สุด โดยได้กำหนดหลักเกณฑ์และเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร VISSIM และ PARAMICS โดยมีเกณฑ์การพิจารณา 12 ข้อ เริ่มจากเกณฑ์ในการพิจารณาข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ก่อนนกลังจากนั้นก็ใช้เกณฑ์ข้อที่ 3 ถึงข้อที่ 12 ต่อไป จากการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมโดยใช้เกณฑ์ทั้งหมดทุกข้อในการพิจารณา พบว่าโปรแกรม VISSIM เป็นเพียงโปรแกรมเดียวที่ผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกทุกข้อ ซึ่งผลการเปรียบเทียบความสามารถของทั้ง 2 โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรกับหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร

หลักเกณฑ์ในการพิจารณา	โปรแกรม	
	PARAMICS	VISSIM
1.สามารถจำลองพฤติกรรมรถขึ้นและเคลื่อนที่ของยานยนต์แต่ละคันได้อย่างถูกต้องแม่นยำและสมเหตุสมผลตามหลักวิศวกรรมจราจร	ผ่าน	ผ่าน
2.เป็นโปรแกรมที่สามารถจัดหาได้	ผ่าน	ผ่าน
3.การจำลองการขึ้นในเลนซ้าย	ผ่าน	ผ่าน

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรกับหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร (ต่อ)

หลักเกณฑ์ในการพิจารณา	โปรแกรม	
	PARAMICS	VISSIM
4.รองรับการใช้งานภาพถ่ายทางอากาศ	ผ่าน	ผ่าน
5.การสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความโค้ง	ผ่าน	ผ่าน
6.รองรับความยาว links น้อยกว่า 50 ฟุต	มีข้อจำกัด	ผ่าน
7.การจำลองสภาพการจราจรในสภาวะอิมตัว	ผ่าน	ผ่าน
8.การจำลองการเกิด Queue Spillback	ผ่าน	ผ่าน
9.การจำลองสัญญาณไฟจราจรแบบทำงานประสานกันหลายทาง	ผ่าน	ผ่าน
10.ความเหมาะสมของ MOEs ที่ใช้	ผ่าน	ผ่าน
11.แสดงผลในรูปแบบ 3D Animation	มีข้อจำกัด	ผ่าน
12.การทำงานบน PC	ผ่าน	ผ่าน

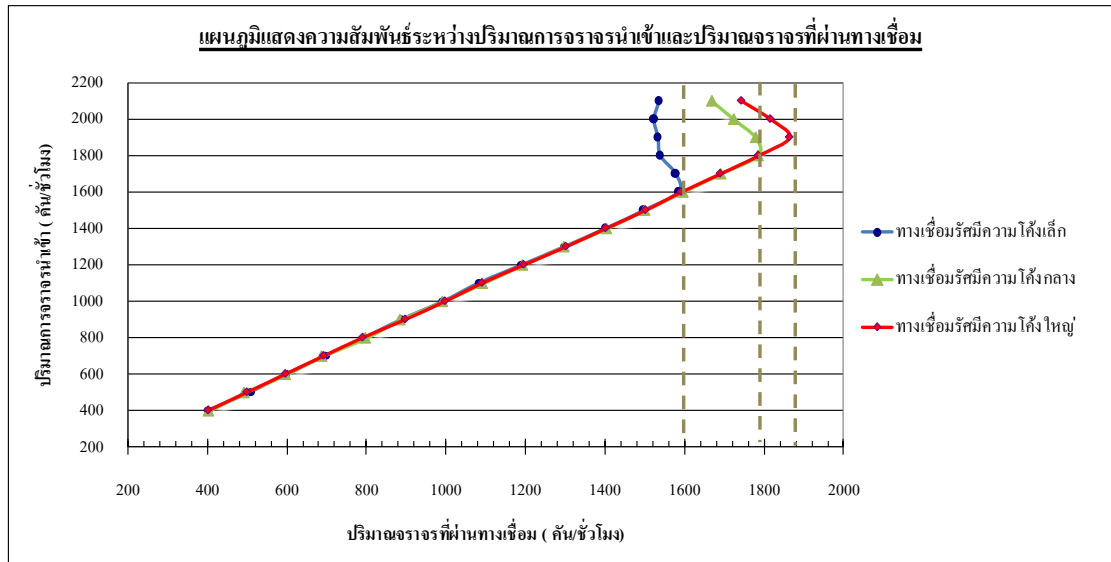
ที่มา : เสกสรร บุญฉวี, 2554

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความจุโดยการพัฒนาแบบจำลองภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM

M. Winkler W.D. Fan (2011) ได้วิเคราะห์ผลกระทบของความจุทางดาวน์จากรถบรรทุก โดยกำหนดปัจจัยที่พิจารณา 3 ปัจจัย คือ ช่องจราจรบังคับรถบรรทุก พฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้รถบรรทุก และความหนาแน่น (Density) บริเวณทางเข้า-ออกทางเชื่อมต่างระดับบนทางดาวน์ โดยได้ใช้โปรแกรม VISSIM ในการจำลอง โดยการแยกรถบรรทุกออกจากการจราจรกระแสหลักบนทางดาวน์ จากการศึกษาพบว่า การแยกรถบรรทุกออกจากรถอื่นๆ จากการแยกช่องทางวิ่งสำหรับรถบรรทุกอย่างเดียว นั้นพบว่ามีค่าความจุมากกว่าการให้รถบรรทุกวิ่งร่วมกับรถอื่น ทั้งนี้ส่งผลให้ค่าความจุของทางดาวน์มีค่าน้อยลง อันเนื่องมาจากความหนาแน่นบริเวณทางเข้า-ออกของทางเชื่อมที่มีความหนาแน่นของรถบรรทุกมากขึ้น

ไกรสิทธิ์ สิงห์กาญจนโรจน์ (2555) ได้ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของรัศมีโค้งที่มีผลต่อความจุของทางเชื่อมต่างระดับ (Interchange ramp) ซึ่งแบ่งการคัดเลือกเป็นทางเชื่อมที่มีรัศมีโค้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์ความจุทางเชื่อมต่างระดับ โดยใช้โปรแกรม VISSIM เป็นเครื่องมือ จากการศึกษาพบว่า ทางเชื่อมต่างระดับที่มีรัศมีโค้งต่ำสุด 64 เมตร มีค่าความจุประมาณ 1,580 คันต่อชั่วโมง ทางเชื่อมต่างระดับที่มีรัศมีโค้งต่ำสุด 125 เมตร มีค่าความจุประมาณ 1,790 คันต่อชั่วโมง และทางเชื่อมต่างระดับที่มีรัศมีโค้งต่ำสุด 150 เมตร มีค่าความจุประมาณ 1,870 คันต่อ

ชั่วโมงซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทางเชื่อมที่มีรัศมีความโค้งมาก ส่งผลให้มีพฤติกรรมการขับขี่ที่คล่องตัว จึงสามารถใช้ความเร็วได้มากกว่าทางเชื่อมที่มีรัศมีความโค้งน้อย ส่งผลให้รัศมีความโค้งของทางเชื่อมเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าความจุ ทำให้ทางเชื่อมที่มีรัศมีความโค้งมากมีค่าความจุของทางเชื่อมมากตามไปด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรนำเข้กับปริมาณการจราจรที่ผ่านทางเชื่อมได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง

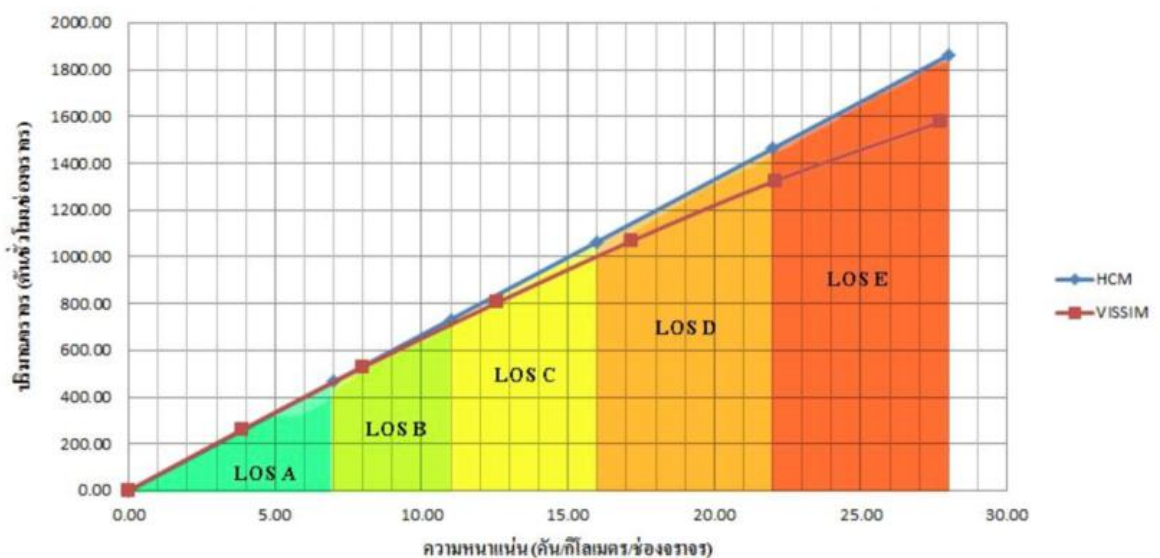
ที่มา : ไกรสิทธิ์ สิงห์กาญจนโรจน์, 2555

ณัฐกร กริยธรรม์ (2555) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (ด่านประชาชน) โดยได้วิเคราะห์ทั้งระบบการเก็บเงินค่าผ่านทางแบบเงินสด (Manual Toll Collection, MTC) และระบบการเก็บเงินค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection, ETC) ซึ่งในการวิเคราะห์ความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางมีการพิจารณาจากตัวแปรหลัก 2 ตัวแปร คือ ค่าเวลาในการใช้บริการ (Dwell Time) และการชะลอความเร็ว (Deceleration Speed) ด้วยการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM เป็นเครื่องมือใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความจุของด่านเก็บเงินค่าผ่านทางทั้งสองประเภท จากการศึกษาพบว่า ระบบการเก็บเงินค่าผ่านทางแบบเงินสดมีค่าความจุ 400 คันต่อชั่วโมงต่อตู้ และระบบการเก็บเงินค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติมีค่าความจุ 994 คันต่อชั่วโมงต่อตู้

สุวิษ เพชรชมพูพันธ์ (2556) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาค่าความจุบนถนนสายหลัก และวิเคราะห์หาสาเหตุและปัญหาที่ส่งผลต่อค่าความจุที่ให้น้อยกว่าที่ออกแบบ โดยทำการเก็บข้อมูลบนช่วงถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง และประยุกต์ใช้โปรแกรม VISSIM เพื่อจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค การวัดค่าความจุของถนนจากค่าพารามิเตอร์ทางด้านจราจร ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณจราจร และความเร็ว จากการศึกษาพบว่า ค่าความจุของถนนเส้นนี้ไปในทิศทางตะวันตกที่ความหนาแน่น 150 คันต่อกิโลเมตร มีค่าความเร็วเฉลี่ย 20-21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความสามารถรองรับปริมาณจราจรได้ 2,439 คันต่อชั่วโมง คิดเป็น 813 คันต่อชั่วโมงต่อเลน และ

ในไปในทิศมุ่งตะวันออกที่ความหนาแน่น 175 คันต่อกิโลเมตร มีค่าความเร็วเฉลี่ย 19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความสามารถรองรับปริมาณจราจรได้ 2,321 คันต่อชั่วโมง คิดเป็น 774 คันต่อชั่วโมงต่อเลน ซึ่งน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ 1,800 คันต่อชั่วโมงต่อเลนมาก เนื่องจากมีรถที่จอดข้างทางบางช่วงบนถนนทั้ง 2 ฝั่ง

ปิยวัฒน์ ทองเกรียว (2556) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าความจุและระดับการให้บริการบนถนนระหว่างการคำนวณโดยอ้างอิงหลักการจาก Highway Capacity Manual (HCM) และค่าความจุที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม VISSIM ซึ่งทำการเก็บข้อมูลบนถนนในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยการหาแนวทางและขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคขึ้น เพื่อใช้วิเคราะห์หาความจุและระดับการให้บริการของถนนที่ศึกษาโยที่คำนึงถึงการใช้งานจริง ซึ่งมีผลกระทบจากความถี่ของทางเชื่อม จุดกลับรถและความเร็วต่าง ๆ มาเกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้ได้เอาผลที่ได้จากการคำนวณ HCM และผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าความจุของถนนที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจาก HCM ในช่วงที่มีค่าความหนาแน่นของปริมาณจราจรน้อย ๆ ในขณะที่ค่าความจุของถนนที่ได้จากแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณจาก HCM ในช่วงที่มีค่าความหนาแน่นมาก ความจุของแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคจะมีค่าน้อยกว่าค่าความจุที่ได้จากการคำนวณตามหลักการของ HCM2000 กว่า 15 % ดังแสดงในภาพที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรและความหนาแน่นจากการคำนวณจาก HCM2000 เปรียบเทียบกับแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค
ที่มา : ปิยวัฒน์ ทองเกรียว, 2555

วุฒิไกร ไชยปัญญา (2560) ซึ่งได้ทำการศึกษการประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยวิธี Indirect Empirical Methods Roadway Capacity Estimation by Indirect Empirical Methods ซึ่งการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนน ด้วยวิธี Indirect Empirical Method เป็นวิธีการที่สามารถลดข้อจำกัดในการสำรวจข้อมูลในภาคสนาม โดยวิธีการนี้ประกอบด้วย 2 แนวทาง คือ

(1) การคำนวณค่าความจุตามคู่มือ ซึ่ง HCM ซึ่ง HCM เป็นคู่มือที่ได้รับการยอมรับสูงสุดและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่เนื่องจากเป็นคู่มือที่ถูกพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกาจึงอาจจะไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรงในพื้นที่ที่มีเงื่อนไขของสภาพการจราจรที่มีความแตกต่างออกไปและ (2) การประมาณค่าความจุด้วยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม VISSIM วิธีการนี้มีข้อจำกัดในการนำเข้าสู่ข้อมูลและตัวแปรที่มีจำนวนมากแต่มีข้อดีที่สามารถจำลองสถานการณ์ เงื่อนไข และพฤติกรรมของผู้ขับขี่รถยนต์ได้อย่างละเอียดทำให้ผลการประมาณค่าความจุมีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น โดยการประมาณค่าความจุด้วยแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคถือได้ว่าเป็นวิธีการหนึ่งในการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ความจุของช่วงถนนและทางหลวงในประเทศไทยที่ยังคงมีการศึกษาค้นคว้าน้อยจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งในการทำการวิจัยในอนาคต

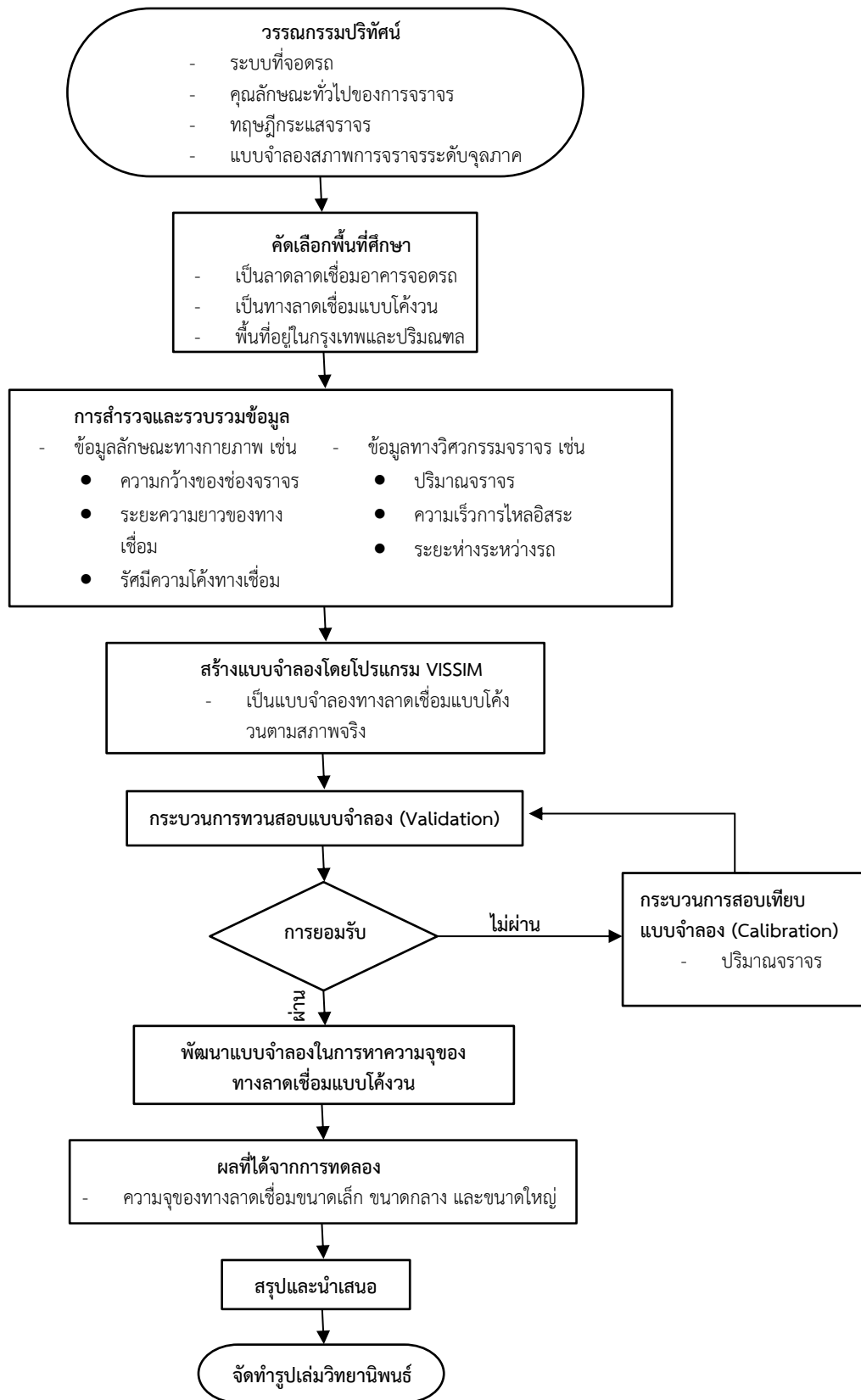
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากนิยามและทฤษฎีในบทที่ 2 ในไปสู่การดำเนินการวิจัยเพื่อการวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคารจอดรถโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยมีขั้นตอนประกอบไปด้วย การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา การเก็บและจัดเตรียมข้อมูลภาคสนาม การพัฒนาแบบจำลองฐาน การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อม และการจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง ดังแสดงรายละเอียดใน รูปที่ 3.1

อย่างไรก็ตามในส่วนของการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา ตลอดจนการทำวรรณกรรมปริทัศน์ได้นำเสนอแล้วในบทที่ 1 และ บทที่ 2 ในส่วนนี้จึงเป็นการนำเสนองานในส่วนอื่นๆ ทั้งนี้มีการเรียงลำดับดังนี้

- 3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา
- 3.2 การเก็บและจัดเตรียมข้อมูลภาคสนาม
- 3.3 การพัฒนาแบบจำลองฐาน
- 3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- 3.5 การสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง
- 3.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อม
- 3.7 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน



รูปที่ 3.1 ผังแสดงรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการนำเสนอไปแล้วในบทที่ 1 และบทที่ 2 ซึ่งยังรวมถึงการทบทวนงานศึกษาทฤษฎีการออกแบบที่จอดรถ (Parking Design) คุณลักษณะทั่วไปของการจราจร (Traffic Characteristics) การวิเคราะห์ความจุ (Capacity Analysis) และการจำลองสภาพการณ์จราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Model)

3.2 การเก็บและจัดเตรียมข้อมูลภาคสนาม

เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรตลอดจนนำไปใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองให้ใกล้เคียงความเป็นจริง การสำรวจและเตรียมข้อมูลเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจร โดยเปรียบเทียบข้อมูลต้นน้ำที่ส่งผลกระทบต่อผลของการศึกษาโดยในการศึกษานี้มีรายละเอียดของการเก็บและจัดเตรียมข้อมูลดังนี้

3.2.1 การเลือกพื้นที่ทำการศึกษา

จากการสำรวจลักษณะหรือรูปแบบทางลาดเชื่อมของห้างสรรพสินค้าในประเทศไทยพบว่า ทางลาดเชื่อมอาคารจอดรถของห้างสรรพสินค้าส่วนใหญ่ จะมีทางลาดเชื่อมเป็นแบบโค้งวน (Spiral Ramp) และขนาดความกว้างของทางลาดเชื่อมอาจส่งผลกระทบต่อความเร็วในการขึ้นขึ้นส่งผลโดยตรงไปยังความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรหรือค่าความจุของทางลาดเชื่อม

โดยจากพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ได้มีข้อกำหนดว่าขนาดความกว้างของทางวิ่งภายในอาคารต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร และขนาดความกว้างของทางลาดเชื่อมที่มากกว่า 6.0 เมตร จะส่งผลให้เกิดการแบ่งช่องจราจรออกเป็น 2 ช่อง ดังนั้นขอบเขตงานวิจัยนี้จึงได้แบ่งประเภทของทางลาดเชื่อมตามขนาดความกว้างของทางลาดเชื่อมเป็น 3 ขนาด คือ ทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ โดยมีรายละเอียดของการจำแนกดังนี้

ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดเล็ก โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างน้อยกว่า 4.00 เมตร ซึ่งพื้นที่ศึกษา คือ ห้างเซ็นทรัลแจ้งวัฒนะ มีขนาดความกว้างทางวิ่งของทางลาดเชื่อมกว้าง 3.80 เมตร

ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดกลาง โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร ซึ่งพื้นที่ศึกษา คือ ห้างเซ็นทรัลอัสวีลล์ อาคาร 1 มีขนาดความกว้างทางวิ่งของทางลาดเชื่อมกว้าง 4.50 เมตร

ทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ขนาดใหญ่ โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป ซึ่งพื้นที่ศึกษา คือ ห้างซีคอนสแควร์ศรีนครินทร์ มีขนาดความกว้างทางวิ่งของทางลาดเชื่อมกว้าง 5.00 เมตร และห้างเซ็นทรัลอีสวิลล์ อาคาร 2 มีขนาดความกว้างทางวิ่งของทางลาดเชื่อมกว้าง 6.00 เมตร

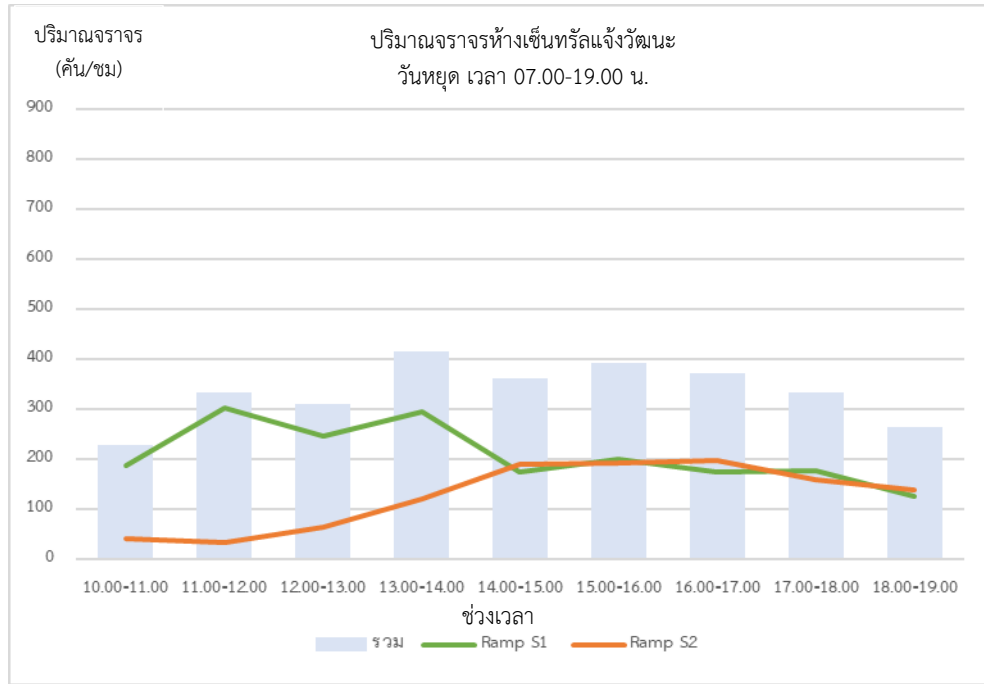
3.2.2 การเก็บข้อมูลปริมาณจราจร

การสำรวจปริมาณจราจรด้านวิศวกรรมจราจร หมายถึง การนับจำนวนรถซึ่งแล่นผ่านบริเวณที่กำหนด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสำรวจปริมาณจราจรเฉพาะวันหยุด ตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง เวลา 19.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดทำการของห้างสรรพสินค้าและเป็นมีปริมาณจราจรมาก โดยผลการสำรวจปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

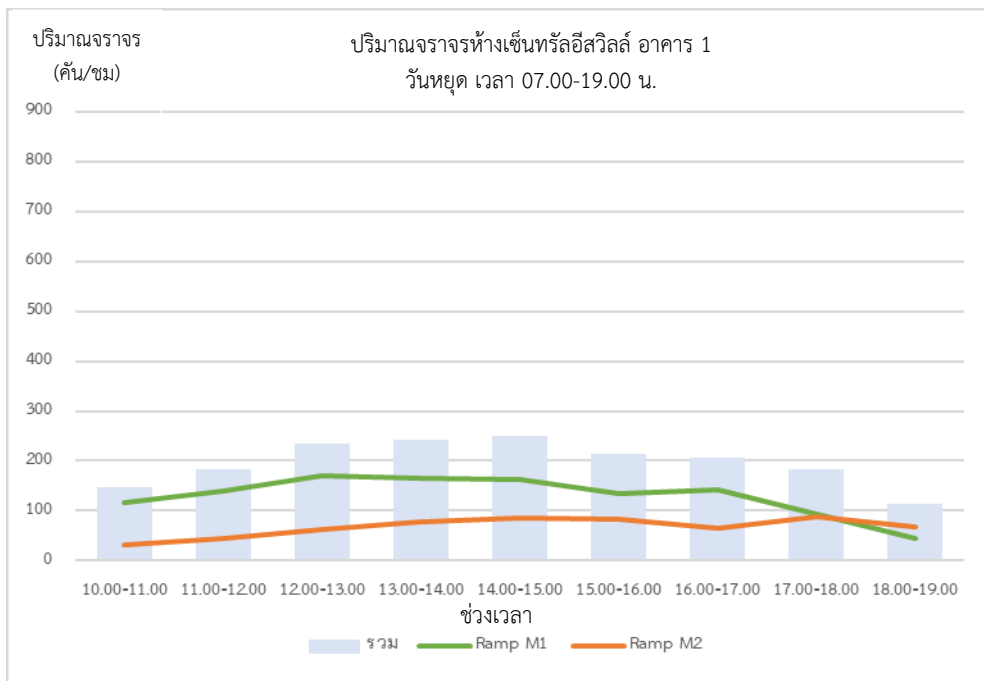
ตารางที่ 3.1 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมจากการสำรวจ

เวลา	ห้างเซ็นทรัลแจ้งวัฒนะ		ห้างเซ็นทรัลอีสวิลล์ อาคาร 1		ห้างซีคอนสแควร์		ห้างเซ็นทรัลอีสวิลล์ อาคาร 2	
	Ramp S1	Ramp S2	Ramp M1	Ramp M2	Ramp L1	Ramp L2	Ramp L3	Ramp L4
10.00-11.00	187	41	116	31	148	21	137	10
11.00-12.00	301	33	140	44	486	78	192	20
12.00-13.00	245	65	171	63	535	172	179	89
13.00-14.00	295	119	164	78	506	318	125	118
14.00-15.00	173	189	163	86	459	393	79	134
15.00-16.00	200	191	133	82	285	365	82	126
16.00-17.00	174	198	141	65	122	323	118	137
17.00-18.00	176	158	93	89	209	513	66	138
18.00-19.00	126	138	45	68	105	418	59	134

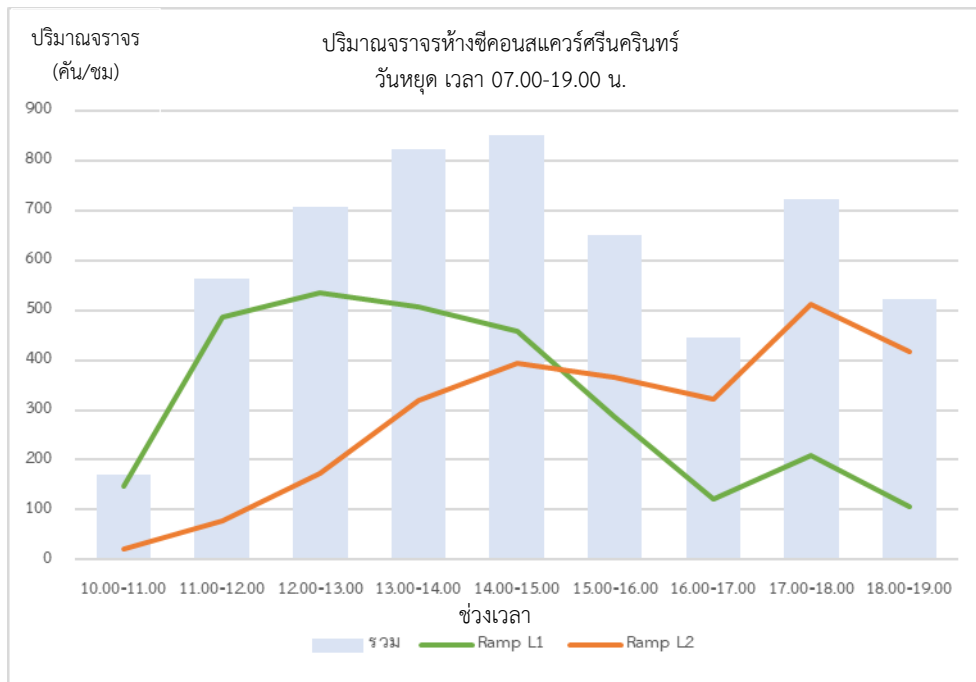
หมายเหตุ : S1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดเล็กขาขึ้น, S2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดเล็กขาลง
M1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดกลางขาขึ้น, M2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดกลางขาลง
L1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (จุดสำรวจ1) ขาขึ้น, L2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (จุดสำรวจ 1) ขาลง, L3 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (จุดสำรวจ2) ขาขึ้น, L4 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (จุดสำรวจ 2) ขาลง



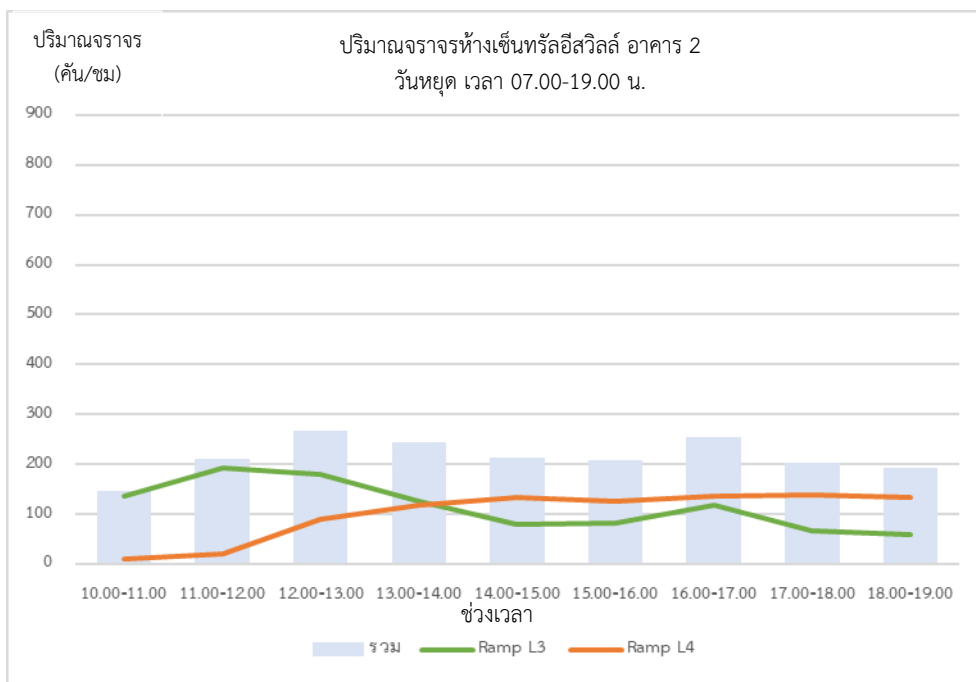
รูปที่ 3.2 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลแจ้งวัฒนะจากการสำรวจ



รูปที่ 3.3 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลอีสวิลล์ อาคาร 1 จากการสำรวจ



รูปที่ 3.4 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างซีคอนสแควร์ศรีนครินทร์จากการสำรวจ



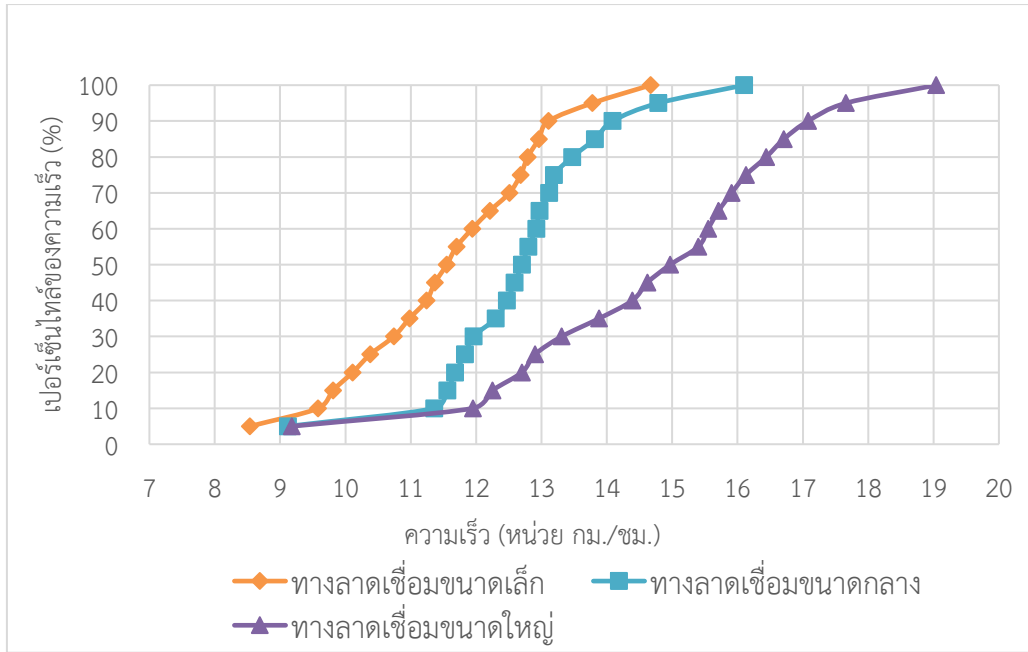
รูปที่ 3.5 ปริมาณจราจรบนทางลาดเชื่อมของห้างเซ็นทรัลอีลีวัลส์ อาคาร 2 จากการสำรวจ

3.2.3 การเก็บข้อมูลความเร็ว

ในทางวิศวกรรมจราจรแล้ว ความเร็วระยะทางที่เดินทางได้ในหนึ่งหน่วยเวลา การสำรวจข้อมูลความเร็วของนั้นสามารถจัดเก็บได้หลากหลายวิธี อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้มีการบันทึกวิดีโอเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณจราจร ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลดังกล่าวในการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาค่าความเร็ว โดยการนำระยะทางที่เดินทางบนทางลาดเชื่อมมาหารด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านทางลาดเชื่อม และทำการแปลงผลที่วิเคราะห์ได้ให้อยู่ในรูปของหน่วย กม.ต่อชั่วโมง โดยปกติแล้วการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของความเร็วหรือการหาความเร็วของปริมาณการจราจรในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งนั้นจำนวนข้อมูลหรือจำนวนรถที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษาทางด้านวิศวกรรมจราจร ควรจะมีการเก็บข้อมูลอย่างน้อยจำนวน 50 คัน หรือโดยทั่วไปที่นิยมและปฏิบัติคือจำนวน 100 คันเป็นอย่างน้อย (Ewing, 1999) โดยผลการสำรวจความเร็วของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน แต่ละขนาดที่ได้นั้นจะนำไปใช้ในแบบจำลองสภาพจราจร VISSIM จึงได้ทำการแปลงข้อมูลความเร็วที่สำรวจได้ให้อยู่ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตารางที่ 3.2 และในรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 ปริมาณจราจรเปอร์เซ็นต์ของความเร็วบนทางลาดเชื่อม (หน่วย กม./ชม.)

เปอร์เซ็นต์	ทางลาดเชื่อม		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
0%	8.54	9.12	9.18
5%	9.58	11.36	11.95
10%	9.81	11.56	12.25
15%	10.11	11.68	12.70
20%	10.38	11.83	12.90
25%	10.74	11.96	13.31
30%	10.98	12.12	13.59
35%	11.24	12.30	13.88
40%	11.37	12.47	14.39
45%	11.50	12.59	14.62
50%	11.70	12.70	14.97
55%	11.94	12.80	15.40
60%	12.21	12.92	15.55
65%	12.42	12.97	15.71
70%	12.51	13.12	15.91
75%	12.68	13.19	16.13
80%	12.79	13.47	16.44
85%	12.96	13.82	16.71
90%	13.11	14.09	17.08
95%	13.78	14.79	17.66
100%	14.67	16.10	19.04



รูปที่ 3.6 ภาพกราฟเปอร์เซ็นต์ไหลของความเร็วนบนทางลาดเชื่อมจากการสำรวจ (หน่วย กม./ชม.)

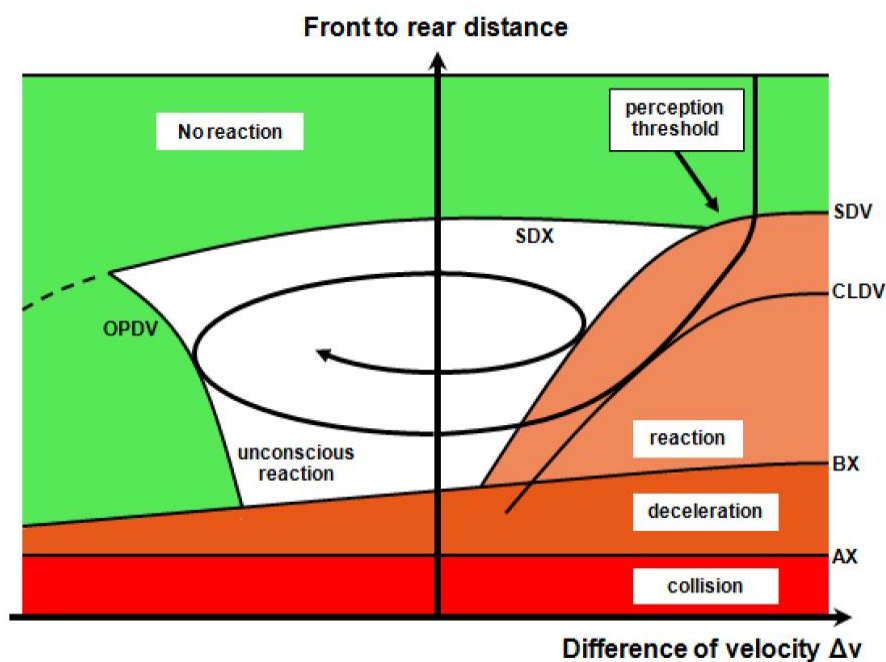
3.2.4 การเก็บข้อมูลระยะห่างระหว่างรถ (Headway)

Zhang และ Kim (2005) ศึกษาการไหลของกระแสจราจรในกรณีมีรถยนต์เข้ามาในกระแสจราจร โดยเสนอทฤษฎีที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความจุของถนนและปริมาณจราจรในลักษณะต่าง ๆ ตัวแปรต่าง ๆ เช่น ช่องว่างของเวลา (Gap-Time) ระยะห่างระหว่างรถยนต์ในกระแสจราจร (Gap-Distance) และเฟสการจราจร (Traffic Phase)

ในการศึกษาและวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของกระแสจราจรนั้น จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะพื้นฐานของสภาพการจราจร ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมที่สามารถใช้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการเคลื่อนของกลุ่มยานเหล่านั้น ตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้บ่งบอกลักษณะของกระแสจราจรได้แก่ ปริมาณจราจรและอัตราการไหล (Traffic volume and Rate of flow) ความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel time) ความหนาแน่นและการครอบครองผิวจราจร (Density and Occupancy) ระยะห่าง (Headway) โดยตัวแปรสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ในระดับจุลภาค (Microscopic parameters) ได้แก่ ความเร็วของยานแต่ละคัน ระยะห่างระหว่างรถ

ซึ่งโปรแกรม VISSIM ใช้แบบจำลองจิตฟิสิกส์ของการกับขี่ตามกัน (Psycho-Physical Car Following Model) ที่ถูกพัฒนาโดย Rainer Wiedemann เมื่อปีค.ศ. 1974 ในการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Longitudinal) และใช้ Rules-Based Algorithm ในการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ด้านข้าง (Lateral) ของยานยนต์ในแบบจำลองได้รวมยานพาหนะ (Vehicle) และผู้ขับขี่ (Driver) เข้าเป็นหน่วยเดียวกันเรียกว่า Driver-Vehicle-Element [DVE]

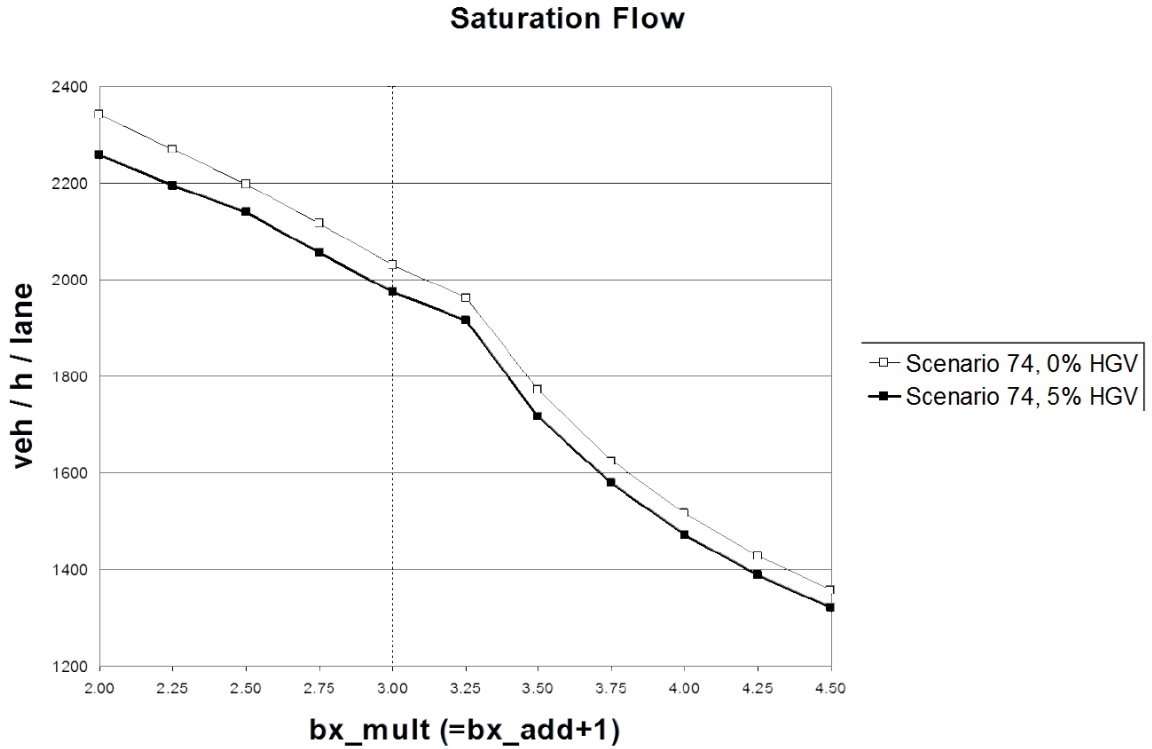
โดย Psycho-Physical Car Following Model เป็นแบบจำลองแบบ Discrete , Stochastic และ Time step ในระดับจุลภาค ที่ใช้แนวคิดพื้นฐานเรื่องค่าเริ่มต้น (น้อยที่สุดหรือมากที่สุด) ในการรับรู้ ของแต่ละบุคคล (Individual Perception Threshold) เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ในแบบจำลอง โดยในแต่ละแบบจำลองจากกำหนดให้ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังเริ่มเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการขับขี่ เช่น ลดความเร็ว เบรก เร่งความเร็ว หรือเปลี่ยนช่องจราจรหลังจากเข้าสู่ค่าการรับรู้ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งของการขับขี่ตามกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งสภาวะที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระยะห่าง (Distance) และความแตกต่างระหว่างความเร็ว (Speed Difference) ของยวดยานที่แล่นตามกัน



รูปที่ 3.7 แบบจำลองพฤติกรรมการขับขี่ตามกัน Wiedemann 1974

ที่มา : PTV Manual, 2015

ซึ่งจากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าความแตกต่างของความเร็วในการขับขี่ตามกันแปรผันตรงต่อระยะห่างระหว่างรถที่ขับขี่ตามกัน ซึ่งระยะห่างดังกล่าวแปรผันตรงต่อค่าความหนาแน่นของกระแสจราจร และจากทฤษฎีการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow Theory) กล่าวไว้ว่า ปริมาณจราจร (Q) เท่ากับผลพหุของความเร็ว (V) กับความหนาแน่น (K) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะห่างรถที่ขับขี่ตามกันแปรผันตรงต่อปริมาณจราจร ซึ่งจากการทดสอบโดยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM ที่ค่าความห่างของรถที่ขับขี่ตามกันที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ค่าความจุของกระแสจราจรที่แตกต่างกันตามระยะห่างของการขับขี่ตามกัน
ที่มา : PTV Manual, 2015

ทั้งนี้ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างรถจากการบันทึกวิดีโอ และทำการแปลงระยะห่างในหน่วยเวลาให้กลายเป็นหน่วยระยะทางโดยใช้ความเร็วของยานพาหนะในการแปลง โดยระยะห่างระหว่างรถในแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองประเภทได้แก่ระยะห่างคงที่ และระยะห่างที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่ระยะห่างของแบบจำลองการขับขี่ตามกัน Wiedemann 74

ค่าคงที่	คำอธิบาย
Average standstill distance (ax)	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างรถสองคันเมื่อใกล้สภาวะหยุดนิ่ง
Additive part of safety distance (bx _{add})	ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ตามกัน
Multiplicative part of safety distance (bx _{multi})	ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว

ที่มา : PTV Manual, 2015

ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ของแต่ละตัวแปรได้จากระยะห่างของการขับขี่ตามกันดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$d = ax + bx \cdot v^{(1/2)} \tag{3.1}$$

$$bx = bx_{add} + (bx_{multi} \cdot z) \tag{3.2}$$

- โดย
- d = ระยะห่างของการขับขี่ตามกัน
 - ax = ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างรถสองคันเมื่อหยุดนิ่ง
 - bx_{add} = ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ตามกัน
 - bx_{multi} = ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว
 - z = ค่าเบี่ยงเบนของการกระจายตัว
 - v = ความเร็วในการขับขี่

ซึ่งจากข้อมูลระยะห่างของการขับขี่ตามกันและข้อมูลความเร็วในการขับขี่ของรถแต่ละคันขณะเคลื่อนที่บนทางลาดเชื่อม เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นตรงเพื่อหาค่าคงที่ของแต่ละตัวแปร พบว่าผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับขี่ตามกันในอาคารจอดรถ

ค่าคงที่	คำอธิบาย
Average standstill distance (ax)	2.29
Additive part of safety distance (bx _{add})	2.00
Multiplicative part of safety distance (bx _{multi})	3.35

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.889899
R Square	0.79192
Adjusted R	0.791789
Standard E	1.501326
Observatio	n 1594

ANOVA					
	df	SS	MS	F	ignificance F
Regression	1	13656.6	13656.6	6058.886	0
Residual	1592	3588.335	2.253979		
Total	1593	17244.94			

	Coefficients	andard Errc	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	ower 95.0%	pper 95.0%
Intercept	2.286967	0.254222	8.995949	6.49E-19	1.788322	2.785611	1.788322	2.785611
X Variable	5.351183	0.068747	77.83885	0	5.216339	5.486027	5.216339	5.486027

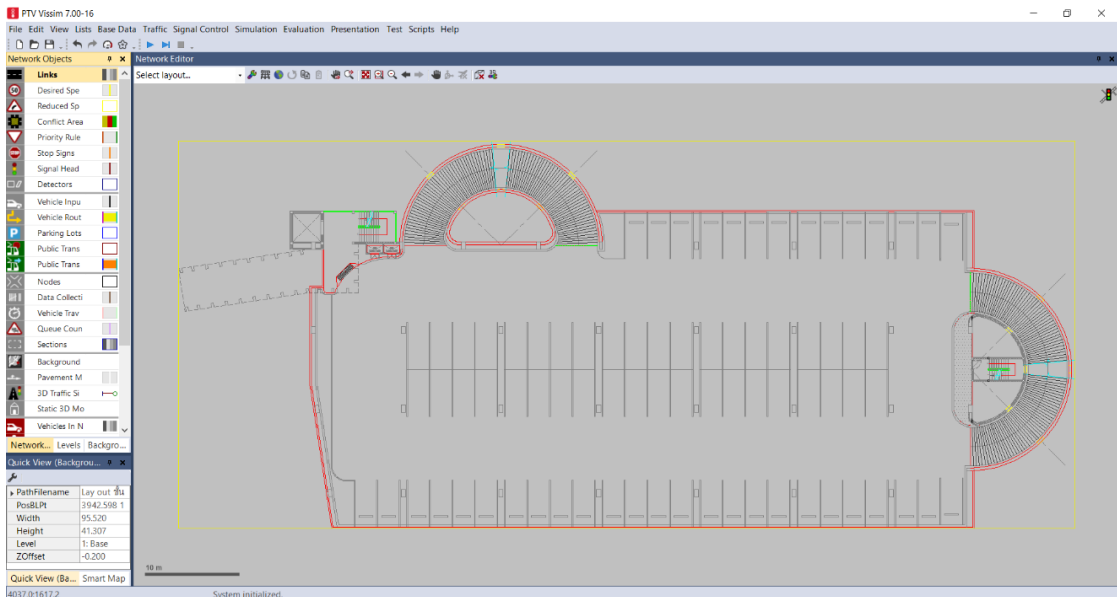
รูปที่ 3.9 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับขี่ตามกันในอาคารจอดรถ โดยสมการถดถอยเชิงเส้น

3.3 การสร้างและพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค

การออกแบบแบบจำลองที่แสดงผลตามสภาพจริงเป็นต้นแบบในการนำแบบจำลองไปพัฒนา เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบแบบจำลองในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อม โดยมีขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM นั้นสามารถนำเข้ารูปพื้นหลังจากไฟล์ .dwg จากโปรแกรมเขียนแบบ Auto Cad ได้ ขั้นตอนคือการเข้าสู่คำสั่ง View > Background > Edit > Load โดยในการศึกษานี้ได้ทำการจัดทำแบบแปลนของอาคารจอดรถและทางลาดเชื่อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดทำแบบจำลอง สามารถบอกถึงขนาดและความยาวต่างๆ ของลักษณะทางกายภาพต่างๆ ของอาคารจอดรถ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง

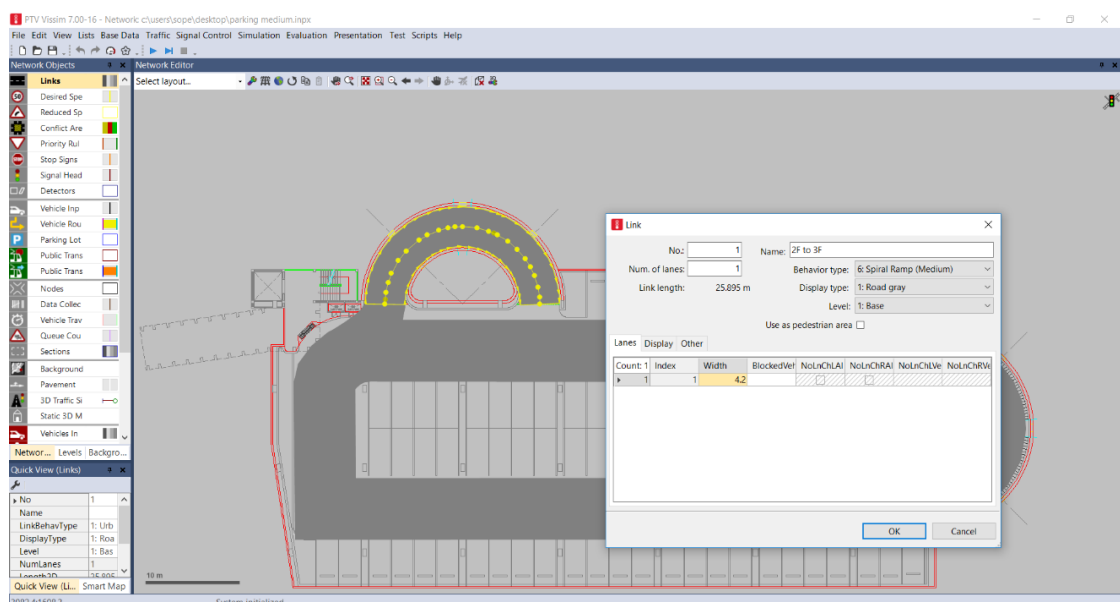
3.3.2 การสร้าง Links และ Connectors

การสร้างลิงค์นั้นเปรียบเสมือนการสร้างโครงข่ายทางสัญจรขึ้นมา โดยในแต่ละลิงค์นั้นสามารถบอกถึงจำนวนช่องจราจร ความกว้างของถนน ความชันของถนน ตลอดจนความยาวของถนน เป็นต้น ซึ่งลิงค์แต่ละลิงค์จะถูกเชื่อมต่อกันโดยคอนเนคเตอร์ ขั้นตอนการสร้างลิงค์นั้นสามารถกำหนดองค์ประกอบของถนนและทางลาดเชื่อมได้โดยกำหนดในคำสั่งต่างๆ ดังนี้

- ชื่อของลิงค์ที่สร้าง (Name)
- จำนวนช่องจราจร (No. of Lane)

- ชนิดของพฤติกรรมของการใช้ถนน (Behavior Type) โดยพฤติกรรมของผู้ใช้ถนนหรือทางลาดเชื่อมสามารถเข้าไปปรับแก้ค่าได้ เพื่อให้เป็นพฤติกรรมของผู้ใช้ที่เสมือนจริง
- ชนิดการแสดงผล (Display Type)
- ความกว้างของช่องจราจร (Lane Widths)
- ความกว้างของช่องจราจรที่มีขนาดไม่คงที่ (Various Lane Widths)
- การปิดช่องจราจร (Lane Closure)
- ห้ามเปลี่ยนช่องจราจร (No Lane Change)
- การเปลี่ยนทิศทางของถนนหรือทางวิ่งทางลาดเชื่อม (Change Direction)

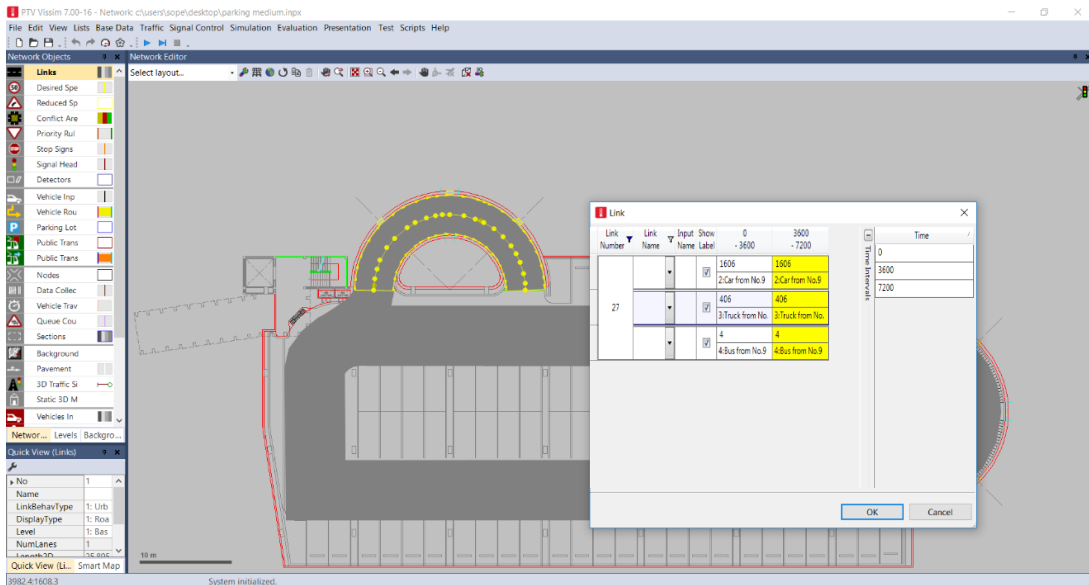
แสดงได้ดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงการพัฒนา Links และ Connectors

3.3.3 การใส่ปริมาณจราจรและทิศทางจราจร

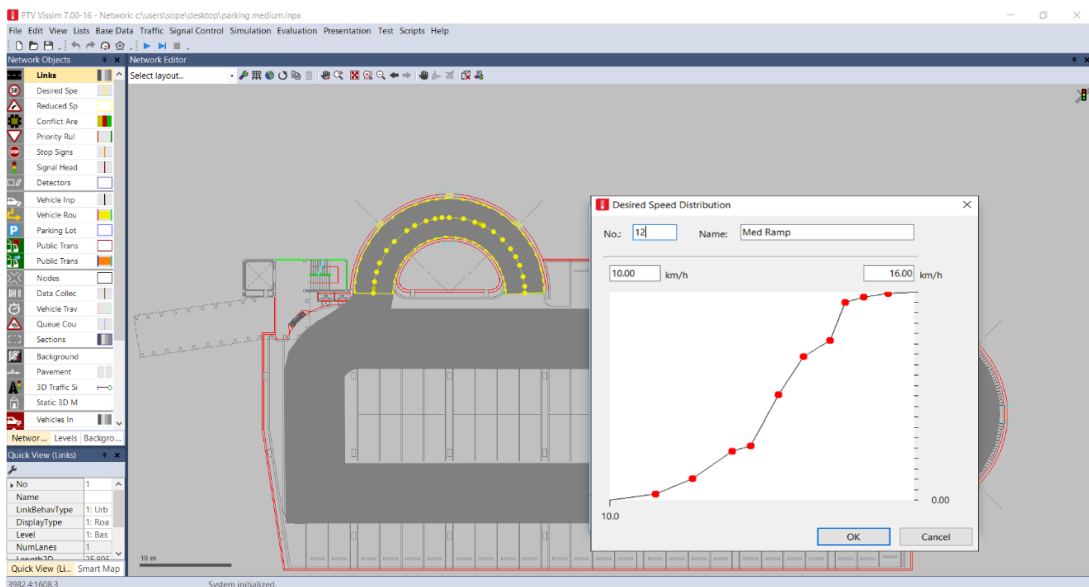
ปริมาณจราจรจะถูกใส่เข้าไปในแต่ละ Link โดยระบุว่าปริมาณจราจรเท่าไรในช่วงเวลานั้น และทิศทางจราจรนั้นถูกใส่เข้าไปเพื่อระบุว่าปริมาณจราจรบน Link นั้นมีทิศทางจราจรไปยังทิศทางต่างๆ ในปริมาณหรือว่าสัดส่วนเท่าใด โดยการใช้คำสั่ง Vehicle Inputs แสดงได้ดังในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงการนำเข้าปริมาณจราจร

3.3.4 การใส่ข้อมูลความเร็ว

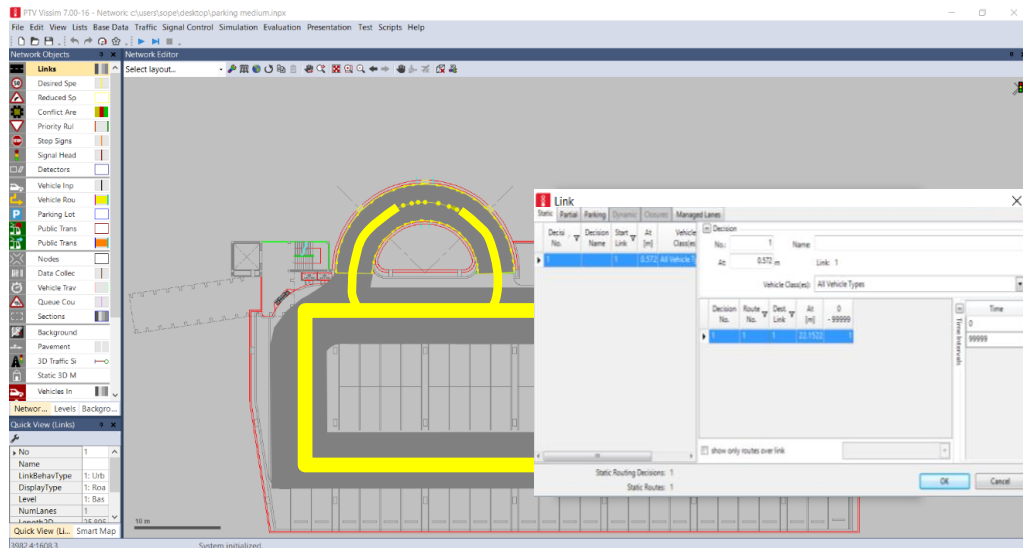
เป็นขั้นตอนในการกำหนดความเร็วของรถแต่ละช่วงซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลจริงของรถแต่ละประเภทในแบบจำลองให้มีค่าสอดคล้องกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะถูกนำมาเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์สะสม จากนั้นจึงนำมาวาดเป็นกราฟในเชิงแผนภูมิของโปรแกรม VISSIM โดยใช้คำสั่ง Base Data > Distribution > Design Speed แสดงได้ดังในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพแสดงการวาดแผนภูมิระหว่างความเร็วและเปอร์เซ็นต์สะสม

3.3.5 การกำหนดเส้นทางจราจร (Routes)

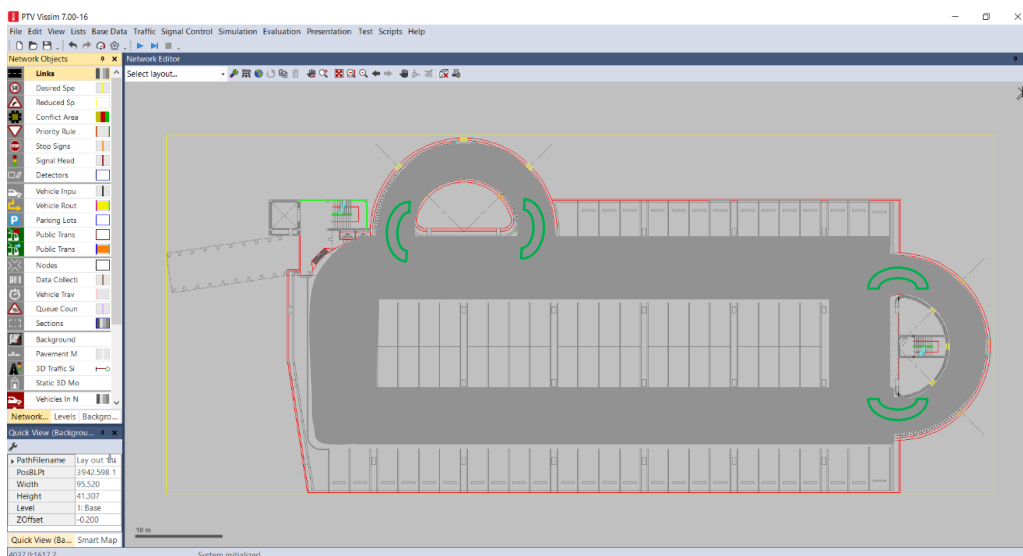
การกำหนดเส้นทางจราจรเป็นการเลือกเส้นทางให้รถวิ่งโดยการสร้างจุดเริ่มหรือต้นทาง จากนั้นจึงกำหนดจุดหมายปลายทาง ซึ่งหากปลายทางมีจุดเดียวแต่มีหลายเส้นทางก็สามารถกำหนดเส้นทางได้ตามสัดส่วนโดยเส้นทางที่ได้กำหนดจะปรากฏเป็นเส้นสีเหลืองดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการกำหนดเส้นทาง

3.3.6 การลดความเร็วของยานพาหนะที่เข้าโค้ง (Reduce Speed Area)

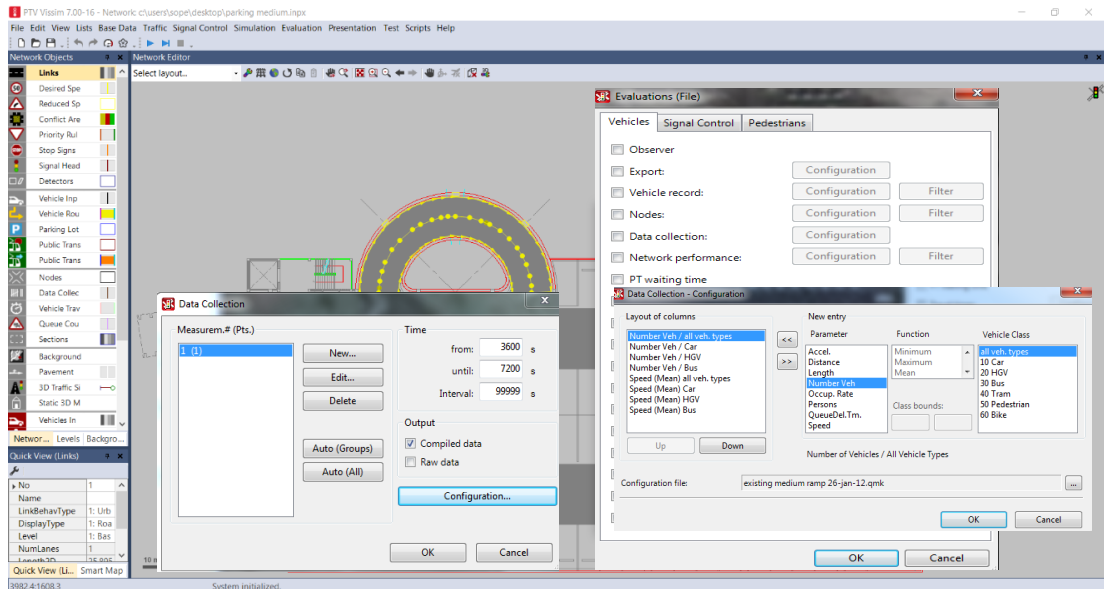
เป็นขั้นตอนในการกำหนดพื้นที่ต่างๆ ที่ยานพาหนะจำเป็นต้องลดความเร็วลงช่วงที่เข้าโค้งในแบบจำลองให้สอดคล้องกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.15 แสดงกำหนดพื้นที่ชะลอความเร็ว

3.3.7 การเลือกค่าการเก็บข้อมูล (Evaluation)

การเลือกค่าการเก็บข้อมูลเป็นคำสั่งที่ใช้เลือกชนิดของข้อมูลที่จะทำการเก็บบันทึกจากตำแหน่งที่ทำการติดตั้งจุดเก็บข้อมูล (Data Collection Points) และยังบันทึกผลจากการเก็บข้อมูลโดยคำสั่งอื่นได้ด้วย โดยข้อมูลที่จะทำการเก็บนั้นจะสามารถเลือกได้หลากหลาย ทั้งยังสามารถแบ่งตามประเภทของรถและช่วงเวลาได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการเลือกค่าการเก็บข้อมูล

3.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง (Error Checking Process)

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนแบบจำลอง คือ การตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของแบบจำลอง โดยแบ่งได้ 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1 การทบทวนข้อมูลนำเข้า (Data Input)

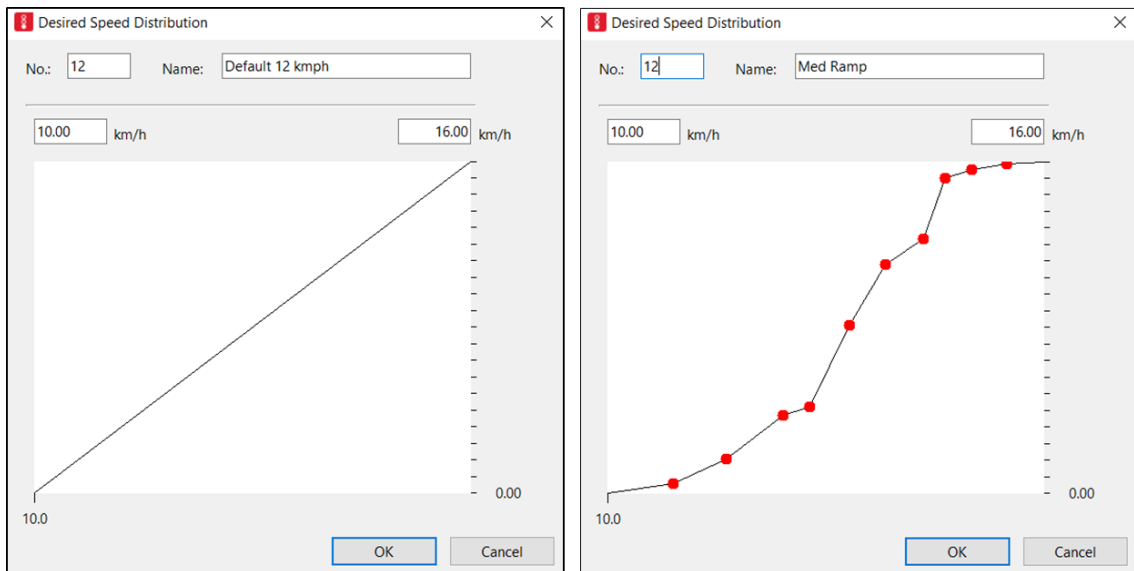
เป็นการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานที่ได้ทำการนำเข้าแบบจำลองที่สร้างขึ้น เช่น ลักษณะทางกายภาพถนนในรูปแบบของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของตารางและความผิดปกติผ่านการแสดงผลของหน้าจอผู้ใช้งานจนมีความมั่นใจว่าแบบจำลองของทางแยกที่เป็นอยู่ในปัจจุบันได้ขจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล

3.4.2 การทบทวนการแสดงผลจากภาพเคลื่อนไหว

เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานที่ไม่เป็นธรรมชาติในกรณีที่แบบจำลองมีความผิดปกติและขจัดความผิดปกติของการเคลื่อนที่ของยานในเบื้องต้นและพร้อมสำหรับการนำไปสู่ขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองอย่างละเอียดต่อไป

3.5 การปรับเทียบแบบจำลองการทวนสอบแบบจำลอง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการปรับเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง เพื่อเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พฤติกรรมผู้ขับขี่ ความเร็วที่ปรารถนา ความเร็วขณะเลี้ยว และอื่นๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยในงานวิจัยนี้นอกเหนือจากการปรับแก้แบบจำลองพฤติกรรมรถที่แสดงไปก่อนหน้านี้ ยังมีการปรับแก้ค่าการกระจายตัวความเร็วดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.17 และเมื่อทำการปรับแก้ข้อมูลต่างๆ แล้ว โดยแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (Validation) ซึ่งผลการเปรียบเทียบต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (เกณฑ์การปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังตารางที่ 3.5) โดยผลการตรวจสอบแสดงดังตารางที่ 3.6 ถึง ตารางที่ 3.8



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าการกระจายตัวของความเร็ว

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบแบบจำลองที่แนะนำโดย Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)

เกณฑ์การทวนสอบแบบจำลอง	เกณฑ์ยอมรับได้ที่แนะนำ
<p>การเปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการสำรวจและแบบจำลอง</p> <p>1. แตกต่างไม่เกินร้อยละ 15 สำหรับปริมาณจราจรในช่วง 700-2,700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>2. แตกต่างไม่เกิน 100 คัน สำหรับปริมาณจราจรน้อยกว่า 700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>3. แตกต่างไม่เกิน 100 คัน สำหรับปริมาณจราจรมากกว่า 2,700 คันต่อชั่วโมง</p> <p>4. ค่าสถิติ GEH แต่ละช่วงเวลาน้อยกว่า 5</p>	<p>ครอบคลุมร้อยละ 85 ของปริมาณจราจรทั้งหมด</p>

หมายเหตุ : ผลการเปรียบเทียบทั้งหมดให้ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรรายชั่วโมง และช่วงเวลาในการวิเคราะห์ของแบบจำลองต้องไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

ที่มา : DMRB, 1996

$$GEH = \sqrt{\frac{(V - C)^2}{(V + C)/2}} \quad (3.3)$$

เมื่อ V คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากผลการจำลอง

C คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากผลการสำรวจในสนาม

ตารางที่ 3.6 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก

ช่วงเวลา	ทางลาดเชื่อม	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ความแตกต่าง (คัน/ชม.)	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน (%)	GEH Statistic	ผ่านเกณฑ์ของ DMRB
		จากการสำรวจ	จากแบบจำลอง				
10.00-11.00	S1	187	189	2	1.07%	0.15	ผ่าน
11.00-12.00	S1	301	274	-27	-8.97%	1.59	ผ่าน
12.00-13.00	S1	245	223	-22	-8.98%	1.44	ผ่าน
13.00-14.00	S1	295	275	-20	-6.78%	1.18	ผ่าน
14.00-15.00	S1	173	157	-16	-9.25%	1.25	ผ่าน
15.00-16.00	S1	200	183	-17	-8.50%	1.23	ผ่าน
16.00-17.00	S1	174	176	2	1.15%	0.15	ผ่าน
17.00-18.00	S1	176	163	-13	-7.39%	1.00	ผ่าน
18.00-19.00	S1	126	118	-8	-6.35%	0.72	ผ่าน
10.00-11.00	S2	41	44	3	7.32%	0.46	ผ่าน
11.00-12.00	S2	33	36	3	9.09%	0.51	ผ่าน
12.00-13.00	S2	65	62	-3	-4.62%	0.38	ผ่าน
13.00-14.00	S2	119	113	-6	-5.04%	0.56	ผ่าน
14.00-15.00	S2	189	175	-14	-7.41%	1.04	ผ่าน

ตารางที่ 3.6 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก (ต่อ)

ช่วงเวลา	ทางลาดเชื่อม	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ความแตกต่าง (คัน/ชม.)	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน (%)	GEH Statistic	ผ่านเกณฑ์ ของ DMRB
		จากการสำรวจ	จากแบบจำลอง				
15.00-16.00	S2	191	178	-13	-6.81%	0.96	ผ่าน
16.00-17.00	S2	198	183	-15	-7.58%	1.09	ผ่าน
17.00-18.00	S2	158	142	-16	-10.13%	1.31	ผ่าน
18.00-19.00	S2	138	128	-10	-7.25%	0.87	ผ่าน
รวม		3,009	2,819	-190	-6.31%	3.52	ผ่าน

หมายเหตุ : S1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดเล็กทางเข้านิคมอุตสาหกรรมบางชัน , S2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดเล็กทางเข้านิคมอุตสาหกรรมบางพลี

ตารางที่ 3.7 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง

ช่วงเวลา	ทางลาดเชื่อม	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ความแตกต่าง (คัน/ชม.)	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน (%)	GEH Statistic	ผ่านเกณฑ์ ของ DMRB
		จากการสำรวจ	จากแบบจำลอง				
10.00-11.00	M1	116	120	4	3.45%	0.37	ผ่าน
11.00-12.00	M1	140	145	5	3.57%	0.42	ผ่าน
12.00-13.00	M1	171	179	8	4.68%	0.60	ผ่าน
13.00-14.00	M1	164	170	6	3.66%	0.46	ผ่าน
14.00-15.00	M1	163	169	6	3.68%	0.47	ผ่าน
15.00-16.00	M1	133	138	5	3.76%	0.43	ผ่าน
16.00-17.00	M1	141	147	6	4.26%	0.50	ผ่าน
17.00-18.00	M1	93	96	3	3.23%	0.31	ผ่าน
18.00-19.00	M1	45	44	-1	-2.22%	0.15	ผ่าน
10.00-11.00	M2	31	35	4	12.90%	0.70	ผ่าน
11.00-12.00	M2	44	49	5	11.36%	0.73	ผ่าน
12.00-13.00	M2	63	64	1	1.59%	0.13	ผ่าน
13.00-14.00	M2	78	75	-3	-3.85%	0.34	ผ่าน
14.00-15.00	M2	86	85	-1	-1.16%	0.11	ผ่าน
15.00-16.00	M2	82	87	5	6.10%	0.54	ผ่าน
16.00-17.00	M2	65	69	4	6.15%	0.49	ผ่าน
17.00-18.00	M2	89	95	6	6.74%	0.63	ผ่าน
18.00-19.00	M2	68	67	-1	-1.47%	0.12	ผ่าน
รวม		1,772	1,834	62	3.50%	1.46	ผ่าน

หมายเหตุ : M1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดกลางทางอีสวิล์ล์อาคาร 1 ขาขึ้น , M2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดกลางทางอีสวิล์ล์อาคาร 1 ขาลง

ตารางที่ 3.8 ผลการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่

ช่วงเวลา	ทางลาดเชื่อม	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ความแตกต่าง (คัน/ชม.)	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน (%)	GEH Statistic	ผ่านเกณฑ์ของ DMRB
		จากการสำรวจ	จากแบบจำลอง				
10.00-11.00	L1	148	147	-1	-0.68%	0.08	ผ่าน
11.00-12.00	L1	486	510	24	4.94%	1.08	ผ่าน
12.00-13.00	L1	535	565	30	5.61%	1.28	ผ่าน
13.00-14.00	L1	506	539	33	6.52%	1.44	ผ่าน
14.00-15.00	L1	459	495	36	7.84%	1.65	ผ่าน
15.00-16.00	L1	285	283	-2	-0.70%	0.12	ผ่าน
16.00-17.00	L1	122	119	-3	-2.46%	0.27	ผ่าน
17.00-18.00	L1	209	215	6	2.87%	0.41	ผ่าน
18.00-19.00	L1	105	102	-3	-2.86%	0.29	ผ่าน
10.00-11.00	L2	21	25	4	19.05%	0.83	ผ่าน
11.00-12.00	L2	78	85	7	8.97%	0.78	ผ่าน
12.00-13.00	L2	172	176	4	2.33%	0.30	ผ่าน
13.00-14.00	L2	318	323	5	1.57%	0.28	ผ่าน
14.00-15.00	L2	393	395	2	0.51%	0.10	ผ่าน
15.00-16.00	L2	365	364	-1	-0.27%	0.05	ผ่าน
16.00-17.00	L2	323	318	-5	-1.55%	0.28	ผ่าน
17.00-18.00	L2	513	537	24	4.68%	1.05	ผ่าน
18.00-19.00	L2	418	431	13	3.11%	0.63	ผ่าน
10.00-11.00	L3	137	129	-8	-5.84%	0.69	ผ่าน
11.00-12.00	L3	192	192	0	0.00%	0.00	ผ่าน
12.00-13.00	L3	179	184	5	2.79%	0.37	ผ่าน
13.00-14.00	L3	125	125	0	0.00%	0.00	ผ่าน
14.00-15.00	L3	79	87	8	10.13%	0.88	ผ่าน
15.00-16.00	L3	82	88	6	7.32%	0.65	ผ่าน
16.00-17.00	L3	118	127	9	7.63%	0.81	ผ่าน
17.00-18.00	L3	66	68	2	3.03%	0.24	ผ่าน
18.00-19.00	L3	59	64	5	8.47%	0.64	ผ่าน
10.00-11.00	L4	10	11	1	10.00%	0.31	ผ่าน
11.00-12.00	L4	20	21	1	5.00%	0.22	ผ่าน
12.00-13.00	L4	89	85	-4	-4.49%	0.43	ผ่าน
13.00-14.00	L4	118	126	8	6.78%	0.72	ผ่าน
14.00-15.00	L4	134	141	7	5.22%	0.60	ผ่าน
15.00-16.00	L4	126	136	10	7.94%	0.87	ผ่าน
16.00-17.00	L4	137	151	14	10.22%	1.17	ผ่าน
17.00-18.00	L4	138	150	12	8.70%	1.00	ผ่าน
18.00-19.00	L4	134	146	12	8.96%	1.01	ผ่าน
รวม		1,943	2,031	88	4.53%	1.97	ผ่าน

หมายเหตุ : L1 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ทางสี่คอนสแควร์ศรีนครินทร์ ขาขึ้น, L2 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ทางสี่คอนสแควร์ศรีนครินทร์ ขาลง, L3 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ทางอีสิวลีอาคาร 2 ขาขึ้น, L4 หมายถึง ทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ทางอีสิวลีอาคาร 2 ขาลง

ตารางที่ 3.9 ผลสรุปการทวนสอบแบบจำลองของทางลาดเชื่อม

ผลการทวนสอบ	ขนาดของความกว้างทางลาดเชื่อม		
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
ผลต่างของข้อมูลสำรวจและแบบจำลอง	-190	62	88
ร้อยละของความคลาดเคลื่อน	-6.31	3.50	4.53
ค่าสถิติ GEH	3.52	1.46	1.97

จากผลการทวนสอบแบบจำลองของแต่ละความกว้างทางลาดเชื่อมพบว่าค่าความแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีผลต่างของข้อมูลอยู่ที่ -190 คั่น 62 คั่น และ 88 คั่น ตามลำดับ ร้อยละของความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -6.31 3.50 และ 4.53 ตามลำดับ ส่วนค่าสถิติ GEH อยู่ที่ 3.52 1.46 และ 1.97 ตามลำดับ ซึ่งค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้นั้นผ่านเกณฑ์การสอบเทียบแบบจำลองของ DMRB ทั้งหมด เมื่อแบบจำลองผ่านการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองแล้ว ก็จะสามารถนำแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนต่อไป

3.6 การประเมินผลความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp)

การวิเคราะห์ค่าความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) จะดำเนินการหลังจากทำการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองแล้ว โดยจะเป็นการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณจราจรเข้าสู่แบบจำลองที่ผ่านการสอบเทียบและทวนสอบแล้ว โดยจะเพิ่มปริมาณจราจรขึ้นเรื่อยๆ และเก็บข้อมูลปริมาณจราจรที่สามารถผ่านทางลาดเชื่อมได้ โดยทำการบวกรถที่วนซ้ำไปจนกว่าปริมาณจราจรที่นำเข้ามาจะไม่ส่งผลให้ปริมาณจราจรที่ผ่านทางลาดเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะนำไปสู่การวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp)

3.7 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน จะพบว่า ทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างแต่ละขนาดนั้นมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรได้แตกต่างกัน โดยสามารถนำค่าความจุสูงสุดของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาดมากำหนดเกณฑ์ในการออกแบบทางเชื่อมแบบโค้งวนสำหรับอาคารจอดรถได้ โดยจำแนกทางลาดเชื่อมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างน้อยกว่า 4 เมตรให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ ซึ่งรายละเอียดการจัดทำเกณฑ์การออกแบบจะถูกนำมากล่าวต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิจัยตามที่ได้ทำการศึกษาไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ค่าความจุของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ และผลการจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน โดยรายละเอียดในแต่ละหัวข้อของผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ผลการประเมินความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp)

ผลการวิเคราะห์ค่าความจุทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) โดยทำการประมวลผลแบบจำลองโดยการเพิ่มปริมาณจราจรนำเข้าจากศูนย์ และเพิ่มขึ้นทีละ 50 คันต่อชั่วโมง เพิ่มไปเรื่อยๆจนถึง 1,350 คันต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาปริมาณจราจรที่สามารถผ่านทางลาดเชื่อมได้ โดยแยกแบบจำลองออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.3 จากนั้นจึงทำการประเมินผลจากแบบจำลองโดยการวัดปริมาณจราจรของรถที่สามารถผ่านทางลาดเชื่อมได้ ซึ่งในการวัดผลเพื่อให้ถูกต้องและแม่นยำ จึงได้ประมวลผล 20 ครั้ง โดยปรับเปลี่ยน SEED Number ในโปรแกรม เพื่อสุ่มพฤติกรรมจราจรขึ้นๆ แล้วจึงนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและนำมาจัดทำแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาด เพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาด โดยแผนภูมิแสดงการไหลของกระแสจราจรของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาดแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจรรยาเข้ากับความสมารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก (หน่วย คัน/ชม.)

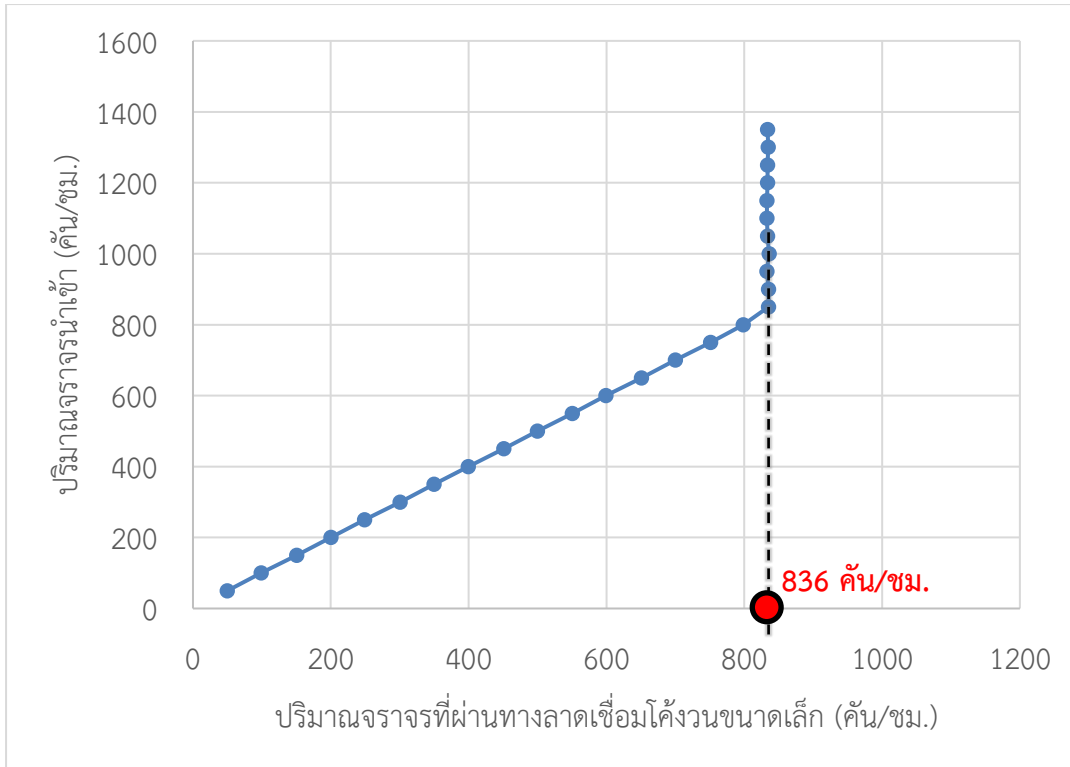
ปริมาณ จรรยา นำเข้า	Seed Number																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	เฉลี่ย
50	52	52	53	49	50	47	51	50	46	49	50	51	48	50	47	51	50	52	48	52	50
100	98	99	98	97	97	97	97	100	96	102	101	100	103	99	99	103	98	100	96	100	99
150	151	149	150	150	152	154	150	150	148	147	148	152	152	152	148	150	154	148	154	150	150
200	198	204	199	201	202	201	201	202	196	200	200	198	200	201	200	200	201	202	200	199	200
250	251	256	246	251	248	249	251	251	249	245	247	247	254	243	249	252	250	249	244	251	249
300	304	303	294	300	301	297	300	307	306	301	297	301	294	307	302	298	302	302	299	301	301
350	346	353	347	346	343	351	350	353	353	346	346	346	352	352	350	354	347	356	352	349	350
400	398	394	404	404	397	399	395	398	399	406	405	400	407	395	403	400	400	397	394	395	400
450	456	455	453	451	447	453	449	454	449	451	449	445	454	447	449	452	455	451	447	450	451
500	501	492	505	492	499	503	497	503	493	497	508	506	498	498	500	500	499	501	501	506	500
550	546	550	554	549	552	544	552	552	558	552	551	556	549	551	553	554	550	547	546	544	551
600	601	597	600	600	598	594	601	604	595	592	605	602	604	596	598	595	603	601	601	599	599
650	650	655	653	648	656	651	651	648	645	648	648	651	654	650	653	651	652	649	648	651	651
700	701	706	698	697	700	701	699	694	695	701	700	702	702	706	700	697	697	700	700	704	700
750	752	750	754	751	750	745	746	750	747	751	753	753	752	749	750	758	755	742	758	753	751
800	802	793	807	797	799	797	800	802	796	805	798	797	802	799	795	796	797	797	800	795	799
850	839	835	834	829	839	835	839	828	835	834	840	833	839	837	825	837	831	839	836	839	835
900	834	835	839	841	837	839	840	830	840	837	827	840	832	833	832	834	834	841	831	833	835
950	840	826	830	830	831	841	839	829	829	831	826	835	827	835	831	831	834	843	833	836	833
1000	833	837	838	840	833	839	829	842	837	834	836	831	833	840	835	832	835	840	835	840	836
1050	834	830	834	837	833	834	833	836	831	827	832	833	840	843	836	838	832	831	831	828	834
1100	832	827	838	836	841	833	829	834	827	835	836	832	836	829	826	834	834	834	838	827	833
1150	833	834	833	836	829	829	829	835	833	838	834	834	836	833	836	832	828	835	833	828	833
1200	827	841	829	832	836	838	840	835	825	834	838	833	830	828	840	834	831	835	839	835	834
1250	833	831	832	835	834	835	833	833	840	836	831	839	835	828	840	827	835	836	835	829	834
1300	830	831	838	837	830	828	842	839	837	837	838	832	829	836	833	835	835	836	834	835	835
1350	837	837	840	833	827	833	829	834	837	832	836	841	835	840	833	828	831	831	834	830	834

ตารางที่ 4.2 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจรรยาเข้ากับความสมารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง (หน่วย คัน/ชม.)

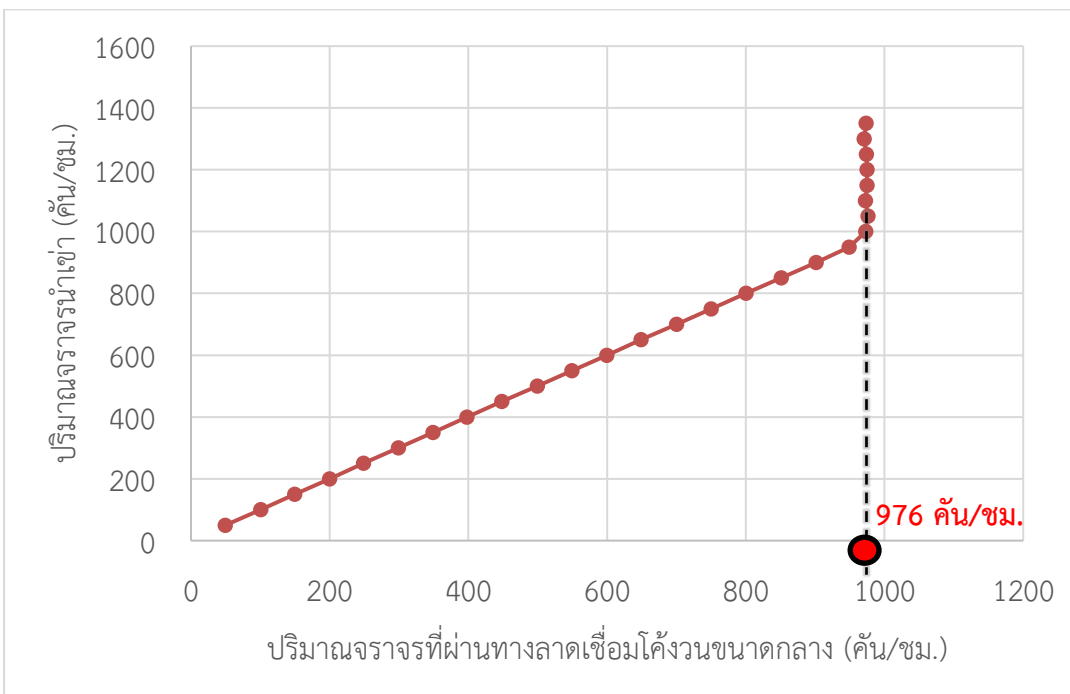
ปริมาณ จรรยา นำเข้า	Seed Number																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	เฉลี่ย
50	48	53	52	50	49	53	52	47	50	51	50	47	46	49	47	51	48	48	49	53	50
100	104	101	96	101	99	102	101	104	101	104	103	101	99	101	101	102	101	98	99	101	101
150	147	151	151	153	148	149	150	151	146	150	149	149	150	150	150	148	150	152	152	152	150
200	198	200	201	199	200	197	200	204	199	203	202	203	199	199	202	202	199	197	202	197	200
250	248	247	256	250	242	250	249	246	253	251	245	255	242	249	246	253	250	244	254	251	249
300	296	302	297	298	301	301	301	301	302	297	299	301	295	295	302	297	298	300	302	302	299
350	355	344	345	358	352	352	343	345	346	350	348	349	343	352	348	355	350	344	355	343	349
400	396	401	400	395	401	397	397	398	395	397	398	396	406	402	397	399	396	399	393	399	398
450	452	452	447	447	441	449	444	450	446	454	447	445	450	452	441	451	455	447	445	449	448
500	507	498	500	498	499	492	499	507	497	499	491	499	496	507	497	497	505	501	499	500	499
550	547	549	555	549	552	551	555	550	553	548	541	555	551	545	544	546	548	551	548	548	549
600	601	596	604	602	600	602	596	593	599	595	595	592	600	593	597	600	607	604	607	607	600
650	652	649	646	644	656	651	652	650	648	652	647	643	647	655	655	647	645	652	646	646	649
700	700	702	697	706	699	699	705	709	694	696	700	698	696	696	704	703	695	706	700	697	700
750	746	742	753	756	758	751	749	745	750	751	749	750	751	749	758	756	743	751	743	752	750
800	800	799	808	800	797	809	792	803	796	801	803	800	800	797	801	801	801	801	798	805	801
850	850	850	849	849	852	851	858	846	851	851	855	846	845	856	855	852	855	852	852	854	851
900	900	897	900	906	897	898	908	891	902	896	908	900	906	898	899	907	907	907	901	901	901
950	952	942	950	952	947	941	951	953	949	950	950	950	951	947	948	945	951	954	947	953	949
1000	971	969	971	971	970	974	968	975	971	977	972	972	971	969	978	981	972	969	979	980	973
1050	981	971	975	980	978	976	972	979	979	979	974	973	979	972	974	974	978	978	978	973	976
1100	980	970	975	972	968	967	966	975	968	976	968	983	970	969	976	977	977	974	967	973	973
1150	974	976	972	978	976	969	978	975	981	972	979	976	977	976	977	972	972	972	977	968	975
1200	980	969	974	973	979	974	983	968	971	973	971	972	974	980	981	977	981	974	975	973	975
1250	973	980	973	972	968	979	973	975	976	978	973	969	975	977	972	978	976	974	974	967	974
1300	969	967	968	970	971	974	968	965	977	970	966	976	974	975	976	968	978	965	967	969	971
1350	973	973	979	973	969	977	973	970	969	979	973	980	975	972	973	969	973	970	973	977	974

ตารางที่ 4.3 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจรรยาเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ (หน่วย คัน/ชม.)

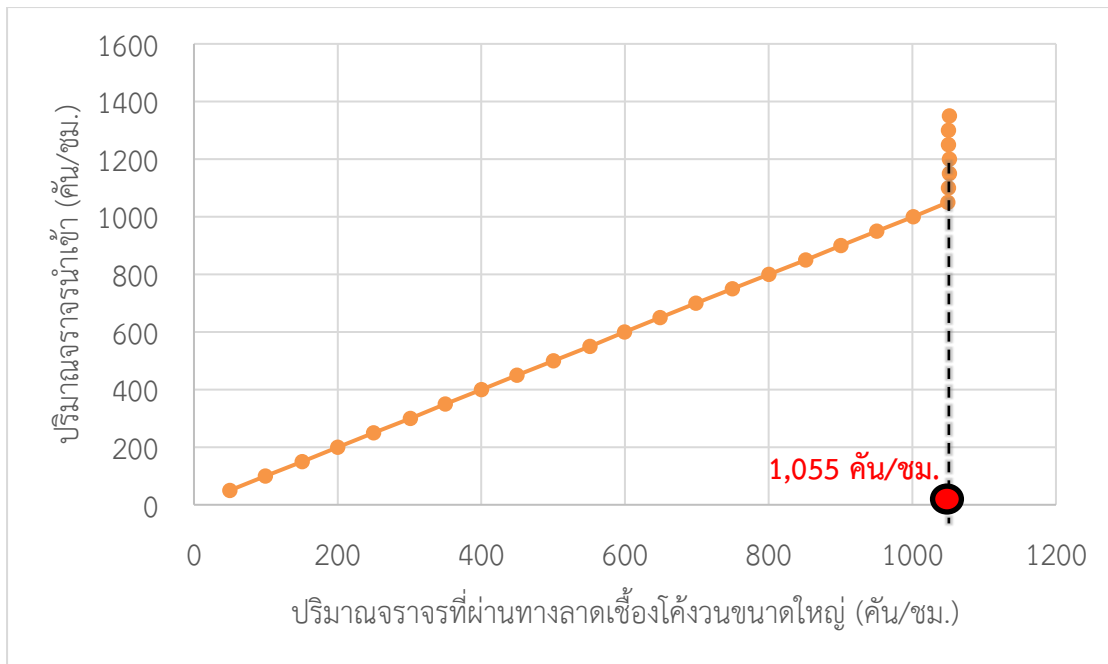
ปริมาณ จรรยา นำเข้า	Seed Number																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	เฉลี่ย
50	52	48	47	50	51	53	51	47	50	48	51	50	46	51	54	50	51	51	51	48	50
100	99	103	101	98	98	104	98	99	100	100	96	96	100	102	100	97	97	96	103	100	99
150	147	150	150	153	154	150	153	153	152	147	151	148	151	149	151	150	150	150	150	152	151
200	200	200	202	203	200	198	197	204	199	201	202	199	199	198	199	202	199	201	202	200	200
250	254	252	246	249	251	247	246	245	251	250	251	254	250	252	253	245	252	251	251	251	250
300	299	301	301	305	302	298	307	300	296	298	300	297	300	302	301	303	308	302	305	304	301
350	351	355	354	359	345	353	350	349	349	357	348	351	350	349	348	341	352	346	349	346	350
400	409	403	403	393	392	404	399	397	401	394	400	400	401	402	404	399	404	400	407	393	400
450	441	450	450	449	453	455	457	447	457	450	445	445	448	444	448	448	455	449	449	455	450
500	499	504	500	495	504	506	499	506	502	501	506	497	495	498	501	505	503	501	491	496	500
550	555	554	546	549	557	542	554	555	554	552	546	549	558	546	558	550	546	552	558	547	551
600	592	595	601	596	599	600	598	594	605	604	603	592	604	603	599	602	600	598	600	602	599
650	653	648	647	656	645	641	650	655	652	646	652	650	647	653	651	647	650	651	647	642	649
700	691	695	696	702	699	701	701	697	694	698	698	700	703	702	694	701	699	705	704	696	699
750	757	747	742	751	749	750	749	756	753	751	743	747	741	757	750	752	751	747	747	755	750
800	805	802	801	800	796	797	799	799	799	809	806	796	802	803	797	797	801	793	798	805	800
850	858	854	846	851	850	848	851	859	853	850	856	852	854	845	854	850	848	854	853	851	852
900	904	903	896	902	900	899	902	904	898	904	908	901	894	900	897	902	896	901	898	904	901
950	949	959	946	950	950	954	957	956	946	945	955	948	946	952	953	953	946	946	948	952	951
1000	997	1000	1002	1006	1001	1004	1001	1002	999	1008	999	1000	1000	1002	1002	998	1000	1007	993	1004	1001
1050	1046	1054	1051	1046	1045	1047	1049	1054	1050	1051	1052	1049	1055	1044	1045	1055	1044	1047	1051	1053	1049
1100	1049	1051	1048	1049	1046	1053	1043	1049	1058	1048	1051	1052	1060	1049	1048	1046	1059	1053	1055	1042	1050
1150	1056	1051	1052	1058	1047	1052	1050	1051	1055	1049	1046	1053	1046	1052	1059	1054	1053	1052	1049	1053	1052
1200	1054	1052	1052	1060	1057	1048	1054	1053	1063	1055	1053	1048	1056	1062	1053	1054	1052	1051	1060	1055	1055
1250	1048	1051	1052	1050	1047	1060	1047	1054	1046	1047	1049	1057	1054	1049	1049	1055	1049	1055	1052	1044	1051
1300	1056	1042	1055	1056	1050	1054	1049	1045	1051	1054	1052	1043	1052	1056	1045	1051	1053	1051	1044	1049	1050
1350	1049	1055	1057	1056	1057	1051	1045	1051	1055	1046	1049	1050	1052	1050	1054	1054	1044	1056	1047	1050	1051



รูปที่ 4.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจากราน้ำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก



รูปที่ 4.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจากราน้ำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง



รูปที่ 4.3 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่

4.2 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวง

จากการจำแนกทางลาดเชื่อมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างน้อยกว่า 4 เมตร ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ ประกอบกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงขนาดต่างๆ จะพบว่าทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างแต่ละขนาดนั้นมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรได้แตกต่างกัน โดยค่าความจุสูงสุดของทางลาดเชื่อมขนาดเล็กอยู่ที่ 836 คันต่อชั่วโมง ค่าความจุของทางลาดเชื่อมขนาดกลางอยู่ที่ 976 คันต่อชั่วโมง และค่าความจุของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่อยู่ที่ 1,055 คันต่อชั่วโมง ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทั้งหมด สามารถจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อม

ค่าความจุของทางลาดเชื่อมออกแบบ (คัน/ชั่วโมง)	ขนาดของความกว้างทางลาดเชื่อมแบบโค้งวง		
	ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 4.00 ม.)	ขนาดกลาง (4.0 ม. แต่ไม่เกิน 5.0 ม.)	ขนาดใหญ่ (5.0 ม.ขึ้นไป)
	836	976	1,055

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

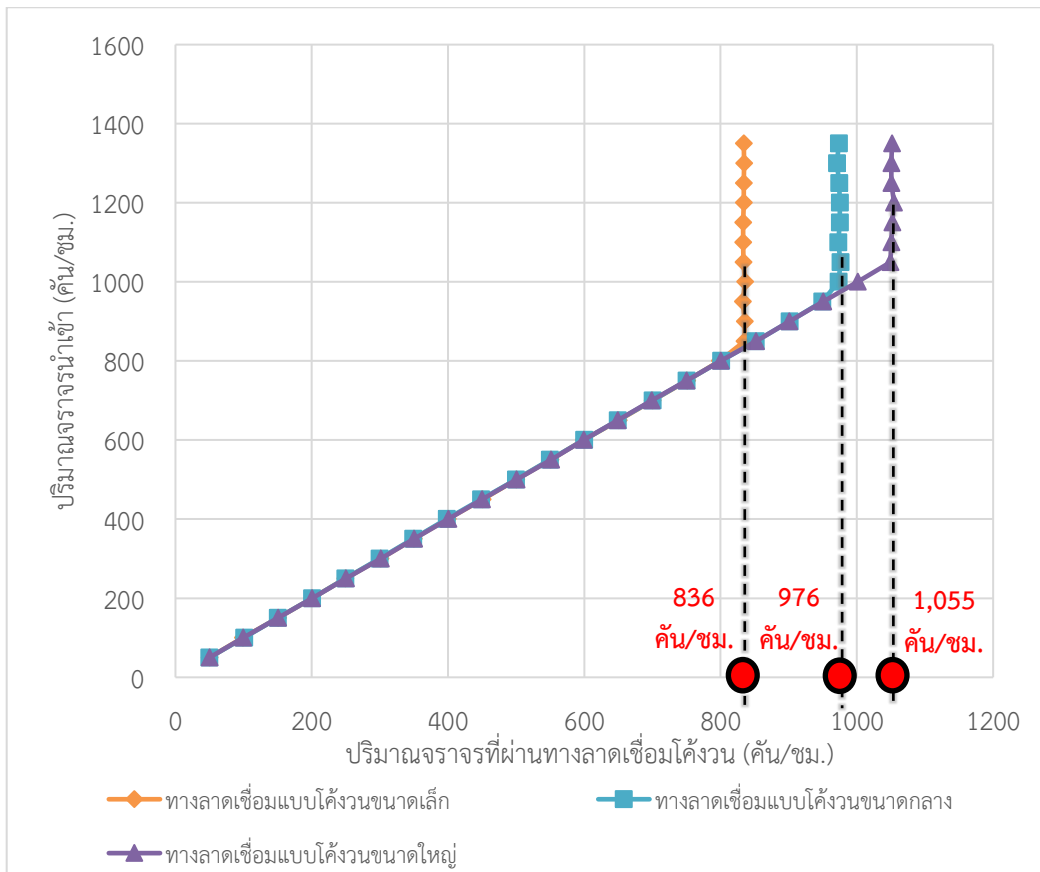
การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาค่าความจุของทางลาดเชื่อมโดยจำแนกทางลาดเชื่อมตามขนาดความกว้าง และจัดทำเกณฑ์สำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง โดยเนื้อหาในบทนี้จะทำการนำเสนอการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความเหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของอาคารจอดรถ โดยจากการทบทวนทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องพบว่า พฤติกรรมการขับขี่ (Driving Behavior) และระยะห่างระหว่างรถ (Headway) ส่งผลต่อค่าความจุซึ่งเป็นแนวคิดที่ส่งผลต่องานวิจัยนี้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการปรับแก้ตัวแปรต่างๆ ของพฤติกรรมการขับขี่ (Driving Behavior) ในแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค เพื่อให้แบบจำลองสภาพจราจรสามารถสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ภายในอาคารจอดรถของประเทศไทย และใช้แบบจำลองสภาพจราจรดังกล่าวในการประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน และสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกขนาดทางลาดเชื่อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น

ในขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาและเก็บข้อมูล ได้ทำการเลือกพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และสำรวจลักษณะทางกายภาพของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนของห้างสรรพสินค้า ซึ่งแบ่งประเภทของทางลาดเชื่อมตามลักษณะทางกายภาพตามขนาดความกว้างของทางลาดเชื่อม ซึ่งจำแนกทางลาดเชื่อมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างน้อยกว่า 4 เมตรให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ โดยได้ทำการเก็บข้อมูลความเร็วและปริมาณจราจรเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมาสร้างแบบจำลองตามสภาพจริงเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมและพารามิเตอร์ของแบบจำลอง จากนั้นจึงนำพารามิเตอร์ในแบบจำลองตามสภาพจริงไปพัฒนาเป็นแบบจำลองต่อไป ซึ่งหลังจากทำการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองแล้วจะเป็นการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณจราจรเข้าสู่แบบจำลอง

โดยจะเพิ่มปริมาณจราจรขึ้นเรื่อยๆ และเก็บข้อมูลปริมาณจราจรที่สามารถผ่านทางลาดเชื่อมได้ โดยทำการระบวนการนี้วนซ้ำไปจนกว่าปริมาณจราจรที่นำเข้าจะไม่ส่งผลให้ปริมาณจราจรที่ผ่านทางลาดเชื่อมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงขนาดเล็กอยู่ที่ 836 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง ค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงขนาดกลางอยู่ที่ 976 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง และค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงขนาดใหญ่อยู่ที่ 1,055 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมทั้ง 3 ขนาด

ซึ่งจากการจำแนกทางลาดเชื่อมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างน้อยกว่า 4 เมตรให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก ทางลาดเชื่อมที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 4.00 เมตรแต่น้อยกว่า 5.00 เมตร ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดกลาง และความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป ให้เป็นทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่ ประกอบกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวงขนาดต่างๆ จะพบว่าทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างแต่ละขนาดนั้นมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรได้แตกต่างกัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์

ทั้งหมด สามารถจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งได้ สามารถจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้งได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อม

ค่าความจุของ ทางลาดเชื่อม ออกแบบ (คัน/ชั่วโมง)	ขนาดของความกว้างทางลาดเชื่อมโค้ง		
	ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 4.00 ม.)	ขนาดกลาง (4.0 ม. แต่ไม่เกิน 5.0 ม.)	ขนาดใหญ่ (5.0 ม. ขึ้นไป)
	836	976	1,055

5.2 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับวิจัยอื่นๆ

ในการเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้ในครั้งนี้นี้กับการศึกษาอื่นในต่างประเทศ พบว่า ค่าความจุทางลาดเชื่อมของที่จอดรถกรณีไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจรมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจจะต่างกันด้วยวิธีการวิเคราะห์ โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง สถานที่และสภาพการจราจรและช่วงเวลาที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพอสรุปได้ดังนี้

Institute of Traffic Engineering (ITE) (2019) ได้ทำการศึกษาความจุของทางลาดเชื่อมของที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off - Site Parkings) พบว่า มีค่าความจุอยู่ที่ 1,050 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และจะลดลงเหลือ 400 - 650 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจรอย่างตัวรับตัวหรือจัดเก็บค่าใช้บริการ

CA O'Flaherty (2006) ได้ทำการศึกษาไว้ใน Transport Planning and Traffic Engineering พบว่ามีค่าความจุอยู่ที่ 970 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และลดลงเหลือ 350 - 450 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร

5.3 ประโยชน์ที่สามารถนำไปใช้ในอนาคต

สามารถนำทฤษฎี แนวความคิด และค่าความจุของทางเชื่อมแบบโค้งวน (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถไปใช้ในการออกแบบได้อย่างแม่นยำสอดคล้องกับความต้องการของการทำงานทางลาดขึ้นและลงอาคารจอดรถ ช่วยให้การออกแบบอาคารจอดรถในปัจจุบันมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งทำให้เกิดความประหยัดเวลาและงบประมาณในการก่อสร้าง ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ อีกทั้งยังสามารถประเมินการจัดเตรียมจำนวนทางลาดเชื่อมที่เหมาะสมกับปริมาณจราจรที่เข้าโครงการ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับรองรับจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นและเพื่อให้การสัญจรของกระแสจราจรภายในโครงการเป็นไปอย่างราบรื่น บรรเทาปัญหาการจราจรภายในอาคารจอดรถ

5.4 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อม โดยแบบจำลองระดับจุลภาคและแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์หาค่าความจุของทางลาดเชื่อมที่ได้พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ได้ผ่านการเปรียบเทียบและทวนสอบให้สะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ของคนไทยบนทางลาดเชื่อมขนาดต่างๆ และค่อนข้างมุ่งเน้นศึกษาไปในด้านตัวแปรของกายภาพความกว้างทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน พฤติกรรมการขับขี่ ระยะห่างระหว่างรถและความเร็ว แต่แท้จริงแล้วยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน เช่น ความเร่ง ความชัน สภาพผิวถนน หรือแม้แต่ทิศทางการขึ้นทางลาดเชื่อมหรือลงจากทางลาดเชื่อม เป็นต้น ซึ่งการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ทางด้านจราจรอื่นๆ หรือข้อมูลพื้นที่อื่นๆ เพิ่มเติมในอนาคต จะทำให้แบบจำลองสามารถสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ของคนไทยได้มากยิ่งขึ้น และมีความแม่นยำในการหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนมากยิ่งขึ้น

ความเร็วในการไหลอิสระ (Free-Flow Speed) และเวลาห่าง (Headway) นับเป็นข้อมูลสำรวจที่มีผลต่อความแม่นยำในการประมาณค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน ซึ่งต้องให้ความสำคัญอย่างมากในกระบวนการสำรวจข้อมูล

จากแนวทางในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวน สามารถใช้แนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้กับทางลาดเชื่อมแบบอื่นๆ หรือพื้นที่ศึกษาอื่นๆ ในอนาคตต่อไปได้ หรือในอนาคตหากทำการศึกษาในแง่คุณภาพความสะดวกสบายในการขับขี่ และความปลอดภัยในการขับขี่ของทางลาดเชื่อมแบบโค้งวนในแต่ละประเภทอาจช่วยให้สามารถประเมินและออกแบบอาคารจอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังว่าการวิจัยครั้งนี้จะมีประโยชน์ต่อการวิจัยด้านค่าความจุของทางลาดเชื่อมที่ถูกต้องต่อไป

บรรณานุกรม

- Barter, P. 2016. **On-Street Parking Management** : An International Toolkit, Sustainable Urban Transport Technical Document, 14 (1). : 1-2
- Land Transport Authority [Singapore], 2011. Code of Practice on Vehicle Parking Provision in Development Proposals.
- Institute of Traffic Engineering, 2009. Traffic Engineering Handbook, 6th Edition. : 534
- CA O'Flaherty, 2006. Transport Planning and Traffic Engineering. : 417
- วิรัช หิรัญ. 2558. **วิศวกรรมจราจร**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- รัตน์วงศ์ รัตน์วราห์ และสรารุช จริตงาม. 2554. **วิศวกรรมขนส่ง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา: ชานเมือง
- สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2551). **เอกสารประกอบการสอนวิชา 533371 วิศวกรรมขนส่ง**. ชลบุรี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- PTV Planung Transport Verkehr AG [PTV], 2015. Karlsruhe, Germany, PTV VISSIM 7 USER MANUAL.
- วุฒิไกร ไชยปัญญา และพนกฤษณ คลังบุญครอง. 2553. “การวิเคราะห์ทางเลือกของระบบจัดการจราจร ณ บริเวณห้าแยก (ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยโปรแกรม PARAMICS.” **เอกสารการประชุมวิชาการสมาคมวิทยาการวิจัยแห่งเอเชีย (ATRANS) ครั้งที่ 3**, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 27 สิงหาคม 2553. : 28-38.
- Kaseko,M S. 2002. COMPARATIVE EVALUATION OF SIMULATION SOFTWARE FOR TRAFFIC OPERATION, Traffic and Transport Planning. : 101-206,.
- Dowling,R., Skabardonis, Halkias, J., McHale, G. and Zammit, G., 2004 “Guidelines for Calibration of Microsimulation models” , **Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board 83th** ,Washington, D.C., USA, : 65
- เสกสรร บุญฉวี. 2553. “การวิเคราะห์ระยะห่างที่เหมาะสมของทางแยกแบบกระแสจราจรไหลต่อเนื่อง โดยใช้แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค” **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. : 7

M.Winkler W.D. Fan, 2011. Evaluating impacts on freeway capacity using VISSIM: accounting for truck lane restrictions, driver behavior, and interchange density. *Advances in Transportation Studies an international Journal Section A* 25. :15-28

ไกรสิทธิ์ สิงห์กาญจนโรจน์. 2555. “อิทธิพลของรัศมีความโค้งที่มีผลต่อความจุของทางเชื่อมโค้งต่างระดับ : กรณีศึกษาในกรุงเทพมหานคร”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณัฐกร กิตติธัญญ์. 2555. “การวิเคราะห์ความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุวิช เพชรชมพูพันธ์. 2556. “การวิเคราะห์ความจุบนถนนสายหลักโดยแบบจำลองระดับจุลภาค กรณีศึกษาถนนอ่อนนุช-ลาดกระบัง ช่วงทางด่วนหมายเลข 9 กับทางแยกแยกกิ่งแก้ว”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปิยวัฒน์ ทองเกรียว. 2555. “การพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาคเพื่อหาความจุและระดับการให้บริการของถนนกรณีศึกษาอำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น”. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วุฒิไกร ไชยปัญญา. 2560. “การประมาณค่าความจุของช่วงถนนโดยวิธี Indirect Empirical Methods Roadway Capacity Estimation by Indirect Empirical Methods”. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 37(2) :1686-9664

FHWA, 2004. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Micro simulation Modeling Software*, U.S. Department of Transportation FHWA

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการสำรวจปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 ปริมาณจราจรทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดเล็ก

เวลา	ห้างเซ็นทรัลแจ้งวัฒนะ	
	Ramp ขาขึ้น	Ramp ขาลง
10.00-11.00	187	41
11.00-12.00	301	33
12.00-13.00	245	65
13.00-14.00	295	119
14.00-15.00	173	189
15.00-16.00	200	191
16.00-17.00	174	198
17.00-18.00	176	158
18.00-19.00	126	138

ตารางที่ 2 ปริมาณจราจรทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดกลาง

เวลา	ห้างเซ็นทรัลอีสวิลล์ อาคาร 1	
	Rampขาขึ้น	Rampขาลง
10.00-11.00	116	31
11.00-12.00	140	44
12.00-13.00	171	63
13.00-14.00	164	78
14.00-15.00	163	86
15.00-16.00	133	82
16.00-17.00	141	65
17.00-18.00	93	89
18.00-19.00	45	68

ตารางที่ 3 ปริมาณจราจรทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดใหญ่ พื้นที่สำรวจ 1

เวลา	ห้างซีคอนสแควร์	
	Rampขาขึ้น	Rampขาลง
10.00-11.00	148	21
11.00-12.00	486	78
12.00-13.00	535	172
13.00-14.00	506	318
14.00-15.00	459	393
15.00-16.00	285	365
16.00-17.00	122	323
17.00-18.00	209	513
18.00-19.00	105	418

ตารางที่ 4 ปริมาณจราจรทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดใหญ่ พื้นที่สำรวจ 2

เวลา	ห้างเซ็นทรัลอีโอสวิลล์ อาคาร 2	
	Rampขาขึ้น	Rampขาลง
10.00-11.00	137	10
11.00-12.00	192	20
12.00-13.00	179	89
13.00-14.00	125	118
14.00-15.00	79	134
15.00-16.00	82	126
16.00-17.00	118	137
17.00-18.00	66	138
18.00-19.00	59	134

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่



Mahasarakham
University
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

กัลยกร ดินขุนทด

ได้นำเสนอบทความในหัวข้อ

การวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมของอาคารจตุรผก

โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24

ซึ่งจัดขึ้น ระหว่างวันที่ 10-12 กรกฎาคม 2562 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุดรธานี

ดร.ณัฐ

(รองศาสตราจารย์ เอก ศิริพานิชกร)

ประธานสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ดร.ณัฐ วีระศิริ

(ดร.ณัฐ วีระศิริ)

นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แจ่มแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham
University www.msu.ac.th

สาขาของการประชุม

1. วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering, STR)
2. วิศวกรรมวัสดุก่อสร้าง (Construction Material Engineering, MAT)
3. วิศวกรรมการบริหารงานก่อสร้าง (Construction Engineering and Management, CEM)
4. วิศวกรรมปฐพี (Geotechnical Engineering, GTE)
5. วิศวกรรมขนส่ง จราจรอัจฉริยะ และโลจิสติกส์ (Intelligent Transportation, Traffic and Logistics Engineering, TRL)
6. วิศวกรรมแหล่งน้ำ (Water Resource Engineering, WRE)
7. วิศวกรรมสำรวจและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Survey and Geographic Information System Engineering, SGI)
8. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงาน (Environmental and Energy Engineering, ENV)
9. วิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Engineering, INF)
10. วิศวกรรมโยธาและการศึกษา (Civil Engineering and Education, CEE)
11. วิศวกรรมและเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ (Defense Engineering and Technology, DET)



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24



การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ Proceedings of the Eighteenth National Convention on Civil Engineering ครั้งที่ 24



วิศวกรรมโยธากับการพัฒนาประเทศไทยยุค 4.0+
Civil Engineer's Contribution to Thailand 4.0+

ระหว่างวันที่ 10 - 12 กรกฎาคม 2562
ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี
จัดโดย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
และสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การวิเคราะห์ความจุทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมของอาคารจอดรถ
โดยใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค
SPIRAL RAMP CAPACITY ANALYSIS OF MULTI STOREY CAR PARKING
USING TRAFFIC MICRO SIMULATION MODELING TECHNIQUE

กัลยกร คินขุนทด^{1*} และ จัรัส พิทักษ์ศฤงคาร²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author, E-mail address: kanyakorns2r@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม (Spiral Ramp) ของอาคารจอดรถ ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความเหมาะสมและปลอดภัย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เป็นการใช้เทคนิคการจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมของอาคารจอดรถ ทั้งนี้การศึกษานี้ยังได้ทำการปรับแก้ตัวแปรต่าง ๆ ของพฤติกรรมการขับขี่ (Driving Behavior) ในแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค เพื่อให้แบบจำลองสภาพจราจรสามารถสะท้อนพฤติกรรมการขับขี่ภายในอาคารจอดรถของประเทศไทย และใช้แบบจำลองสภาพจราจรดังกล่าวในการประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม และยังสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกขนาดทางลาดเชื่อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น โดยผลการศึกษาพบว่าค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดเล็กอยู่ที่ 834 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง ส่วนค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลมขนาดกลางและขนาดใหญ่ อยู่ที่ 974 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง และ 1,051 คันต่อช่องจราจรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ: ทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม ความจุทางลาดเชื่อมแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

Abstract

This research is a study to quantify the capacity of a parking structure's spiral ramp type. This is a crucial element of proper building design in terms of its efficiency and safety. This study is to apply a microsimulation modeling analysis technique to quantify a spiral ramp capacity. This study has modified the variables of driving behavior in the traffic model to reflect driving behavior within the parking building of Thailand. This includes creating criteria for the ramp design to be more economical, safe

and effective. The results showed that the capacity of the small spiral ramp is 834 vph. As for the capacity of the medium and large spiral ramp is 974 vph and 1,051 vph respectively

Keywords: Spiral Ramp, Ramp Capacity, Traffic Micro Simulation

1. คำนำ

การเติบโตทางเศรษฐกิจและประชารัฐนั้นทำให้เกิดความเป็นเมืองและการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีโครงการพัฒนาพื้นที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นใหม่หรือการปรับปรุงและขยายโครงการที่มีอยู่เดิม เพื่อรองรับการเติบโตดังกล่าว อาทิ แหล่งพักอาศัย แหล่งจ้างงาน ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ ซึ่งพื้นที่เหล่านี้ส่วนก่อให้เกิดความต้องการในการเดินทางเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาห้างสรรพสินค้าซึ่งเป็นศูนย์กลางของกิจกรรมต่าง ๆ อาทิ ร้านอาหาร ศูนย์การค้า ธนาคาร โรงพยาบาล รวมอยู่ในที่เดียวกันย่อมดึงดูดปริมาณการเดินทางเป็นปริมาณมาก ส่งผลต่อความต้องการเพิ่มขึ้นของสิ่งอำนวยความสะดวกด้านคมนาคมและขนส่งต่าง ๆ เพื่อรองรับการพัฒนา เช่น อาคารจอดรถ เป็นต้น การบริหารจัดการพื้นที่จอดรถภายในโครงการพัฒนาจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับรองรับปริมาณการเดินทางที่จะเกิดขึ้น และเพื่อให้ส่งผลกระทบต่อจราจรทั้งในพื้นที่โครงการและพื้นที่โดยรอบน้อยที่สุด โดยทั่วไปห้างสรรพสินค้าส่วนใหญ่มักจะทำอาคารจอดรถหรือพื้นที่จอดรถที่มีจำนวนหลายชั้นเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการเดินทางได้มาก สิ่งหนึ่งที่สำคัญของการทำอาคารจอดรถที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้น คือการออกแบบทางลาดเชื่อม (Ramp) เนื่องจากทางลาดเชื่อมจะช่วยให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ระดับต่าง ๆ ของอาคารจอดรถ โดยบางโครงการอาจใช้ทางลาดเชื่อมในการเชื่อมโยงระหว่างโครงข่ายถนนและอาคารจอดรถอีกด้วย ดังนั้นในการออกแบบอาคารจอดรถจึงควรพิจารณารูปแบบและความสามารถของทางลาดเชื่อม เพื่อให้การอาคารจอดรถสามารถรองรับปริมาณการเดินทางได้อย่างเหมาะสม ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ รวมถึงส่งผลกระทบต่อพื้นที่โครงการและพื้นที่โดยรอบน้อยอย่างไรก็ตามในกระบวนการออกแบบและพัฒนาอาคารจอดรถของประเทศไทยยังไม่

การกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานที่เหมาะสมของประเทศ การออกแบบและพัฒนาอาคารจอดรถโดยใช้เกณฑ์หรือมาตรฐานของต่างประเทศนั้น อาจส่งผลให้การออกแบบและพัฒนาเกินความจำเป็น (Overestimation) หรือน้อยกว่าที่ต้องการ (Underestimation) โดยงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม เพื่อสร้างเกณฑ์และใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอาคารจอดรถให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากขึ้น

2. ระบบที่จอดรถ (Parking System)

2.1 ประเภทที่จอดรถ (Types of Parking)

ที่จอดรถแบ่งออกกว้าง ๆ ได้ 2 ประเภท ได้แก่ ที่จอดรถบนพื้นที่ถนน (On-Street Parking) หมายถึงการจอดรถไม่ว่าที่ใดก็ตามบนพื้นที่เขตทาง ในบางพื้นที่ที่กำหนดให้สามารถจอดรถบนพื้นที่ถนนได้เสมอ ในขณะที่บางพื้นที่ที่มีข้อหนด โดยส่วนใหญ่ข้อกำหนดต่าง ๆ จะแสดงโดยป้ายจราจรหรืออาจเป็นสัญลักษณ์ต่าง ๆ บริเวณคันทางของทางเดินเท้าเป็นต้น ในขณะที่อีกประเภทหนึ่งคือที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Street Parking) หมายถึงที่จอดรถทั้งหมดที่นอกเหนือจากการใช้พื้นที่บนถนน ซึ่งโดยส่วนมากจะมีลักษณะเป็นอาคารจอดรถหรือลานจอดรถ ทั้งนี้ที่จอดรถนอกพื้นที่ถนนสามารถเป็นได้ทั้งที่จอดรถในร่มและที่จอดรถกลางแจ้ง ซึ่งนอกจากการจำแนกที่จอดรถตามประเภทพื้นที่จอดแล้ว ยังสามารถจำแนกเป็นที่จอดรถสาธารณะ (Public Parking) และที่จอดรถส่วนบุคคล (Private Parking) ได้อีกด้วย [1]

ตารางที่ 1 ประเภทของที่จอดรถ [1]

ประเภทของที่จอดรถ	ที่จอดรถสาธารณะ (Public Parking)	ที่จอดรถส่วนบุคคล (Private Parking)
ที่จอดรถบนพื้นที่ถนน (On-Street Parking)	ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนสาธารณะ	ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนส่วนบุคคล <ul style="list-style-type: none"> ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนในพื้นที่อยู่อาศัย (ถนนโครงการ) ที่จอดรถบนพื้นที่ถนนในพื้นที่หวงห้ามส่วนบุคคล
ที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Street Parking)	ที่จอดรถสาธารณะนอกพื้นที่ถนน <ul style="list-style-type: none"> อาคารหรือลานจอดรถของสถานที่ราชการ อาคารหรือลานจอดรถของรัฐวิสาหกิจ เป็นต้น 	ที่จอดรถส่วนบุคคลนอกพื้นที่ถนน <ul style="list-style-type: none"> อาคารหรือลานจอดรถของห้างสรรพสินค้า อาคารหรือลานจอดรถสำหรับพนักงานบริษัท อาคารหรือลานจอดรถสำหรับที่พักอาศัย เป็นต้น

2.2 ทางลาดเชื่อม (Ramp)

2.2.1 ประเภทของทางลาดเชื่อม

ทางลาดเชื่อมแบบตรง (Straight Ramp)

ปกติแล้วทางลาดเชื่อมประเภทนี้จะมีรูปร่างลักษณะเป็นมุมฉากเหมาะกับพื้นที่ที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยมแคบและยาว ความชันของทางลาดเชื่อมต้องไม่เกินร้อยละ 15 ข้อดีของทางลาดเชื่อมแบบตรงคือประหยัดพื้นที่ เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย ง่ายต่อการก่อสร้าง ความลาดชันของพื้นค่อนข้างราบช่วยให้สะดวกสบายในการขับขี่ การจัดเส้นทาง

เดินรถแบบทิศทางเดียวทำได้ง่าย แต่ข้อเสียของทางลาดแบบตรงคือ มีความยากลำบากในการเข้าและออกทางลาดตรง กรณีนี้เดินรถสองทิศทางค่อนข้างอันตราย เนื่องจากจะเกิดจุดติด (Conflict) บ่อยระหว่างการไหลเวียนของการจราจรเข้าจอดและออกจากที่จอด อาจทำให้เกิดอุบัติเหตุติดภายในอาคารได้ง่าย ทางลาดเชื่อมแบบตรงเหมาะสำหรับอาคารจอดรถที่มีปริมาณจราจรไม่สูงมากนัก มีรอบการใช้งานของทางลาดเชื่อมบ่อย เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน เป็นต้น

ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง (Curve Ramp)

เป็นพื้นที่ที่ทำให้ยานพาหนะเดินทางขึ้นลานจอดได้อย่างต่อเนื่องระหว่างชั้นจอดรถ ความชันของทางลาดเชื่อมต้องไม่เกินร้อยละ 12 ข้อดีของทางลาดเชื่อมแบบโค้งคือ การใช้งานสะดวก คล่องตัว สามารถระบายรถออกจากลานจอดรถหรือชั้นจอดรถได้รวดเร็ว มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถสลับเป็น ทางลาดเชื่อมสำหรับขึ้นหรือลงได้ ไม่เกิดจุดติดบริเวณทางขึ้น-ลงทางลาด ส่วนข้อเสียของทางลาดเชื่อมแบบโค้งคือ ต้องใช้พื้นที่มาก ยากต่อการก่อสร้างและค่าก่อสร้างสูง ทางลาดเชื่อมแบบโค้งเหมาะสำหรับอาคารจอดรถที่มีปริมาณจราจรเข้า-ออกจำนวนมาก มีรอบการใช้งานของทางลาดเชื่อมหลายรอบ เช่น อาคารจอดรถสำหรับอาคารพาณิชย์หรือห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

2.2.2 การออกแบบทางลาดเชื่อม (Ramp Design)

ในประเทศไทยมีกฎหมายและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมทั้งในพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร และในข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร โดยใน พรบ.ควบคุมการก่อสร้างอาคารได้กำหนดไว้ว่าทางเข้าออกของรถยนต์ต้องกว้างไม่น้อยกว่า 6 เมตร ในกรณีที่ได้ให้รถยนต์วิ่งได้ทางเดียวทางเข้าและทางออกต้องกว้างไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร ส่วนในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องอาคารจอดรถยนต์ได้มีการเพิ่มข้อกำหนดเกี่ยวกับความลาดชันและรัศมีโค้งของขอบด้านใน ดังแสดงในตารางที่ 2 ในขณะที่ในต่างประเทศนอกจากจะมีข้อกำหนดและข้อบัญญัติต่าง ๆ ของแต่ละเมืองแล้ว ยังมีคู่มือหลักการปฏิบัติ (Code of Practice) หรือแนวทางการปฏิบัติที่ดี (Best Practice) สำหรับการออกแบบอาคารจอดรถ ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 กฎหมายและข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของประเทศไทย

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อม	พระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างอาคาร	ข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร
ความกว้างทางวิ่ง (กรณีจัดให้รถวิ่งได้ทางเดียว)	ไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร	ไม่น้อยกว่า 3.5 เมตร
ความกว้างทางวิ่ง (กรณีจัดให้รถวิ่งได้สองทิศทาง)	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร
รัศมีโค้งของขอบด้านใน (ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง)	-	ไม่น้อยกว่า 6.0 เมตร
ความลาดชัน (ทางลาดเชื่อมแบบตรง)	-	ไม่เกินร้อยละ 15
ความลาดชัน (ทางลาดเชื่อมแบบโค้ง)	-	ไม่เกินร้อยละ 12

ตารางที่ 3 หลักการปฏิบัติสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อมของถนนขนส่งทางบกประเทศสิงคโปร์ [2]

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบทางลาดเชื่อม	ทางลาดเชื่อม หนึ่งช่องจราจร	ทางลาดเชื่อม หลายช่องจราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมตรง	3.6 เมตร	3.0 เมตร/ช่องจราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมโค้งของวงใน	4.2 เมตร	3.6 เมตร/ช่องจราจร
ความกว้างทางวิ่งทางลาดเชื่อมโค้งของวงนอก	4.2 เมตร	3.3 เมตร/ช่องจราจร
รัศมีโค้งของขอบด้านใน	4.5 เมตร	
ความลาดเอียงของทางลาดเชื่อมโค้ง	ไม่เกิน 1:10 (10%) ที่แนะนำ	

2.2.3 ค่าความจุทางลาดเชื่อม (Ramp Capacity)

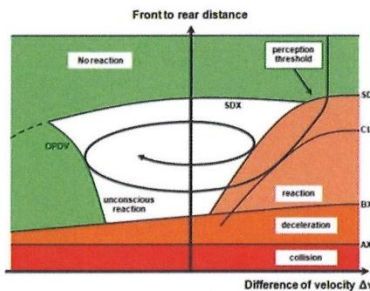
ความจุถนน คือ อัตราการไหลของปริมาณการจราจรสูงสุดรายชั่วโมง ซึ่งถนนสามารถรองรับได้ ภายใต้เงื่อนไขทางกายภาพของถนน, การจราจร, การควบคุมการจราจร นั่นคือ อัตราการไหลรายชั่วโมง (Hourly Rate) โดยค่าความจุของทางลาดเชื่อมในอาคารจอดรถจะมีค่าน้อยกว่าค่าความจุของถนนหรือทางลาดเชื่อมกลางแจ้ง ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมที่ซับซ้อนของยานพาหนะที่แตกต่างกันระหว่างในอาคารจอดรถและกลางแจ้ง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า Institute of Traffic Engineering (ITE) ได้ทำการศึกษาค่าความจุของทางลาดเชื่อมของที่จอดรถนอกพื้นที่ถนน (Off-Site Parking) [3] พบว่ามีค่าความจุอยู่ที่ 1,050 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และจะลดลงเหลือ 400-650 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจรอย่างตู้รับตั๋วหรือจัดเก็บค่าใช้บริการ ในขณะที่ CA O'Flaherty ได้ทำการศึกษาไว้ใน Transport Planning and Traffic Engineering [4] พบว่ามีค่าความจุอยู่ที่ 970 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่ไม่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร และลดลงเหลือ 350-450 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร กรณีที่มีสิ่งจำกัดกระแสจราจร

2.3 แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM

Verkehr in Städten – Simulations Modell (เทียบเท่ากับ Traffic in Cities- Simulation Model ในภาษาอังกฤษ) VISSIM ถูกพัฒนาครั้งแรกที่ University of Karlsruhe ประเทศเยอรมนีในช่วงต้นศตวรรษที่ 1970 และถูกพัฒนาต่อโดยบริษัท Planung Transport Verkehr โดยเป็นส่วนหนึ่ง PTV Vision ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่ใช้ในการวางแผนการคมนาคมขนส่งและงานด้านวิศวกรรมจราจร VISSIM เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทั้งบนโครงข่ายถนนในเขตเมืองและบนระบบทางด่วนแบบอนุกรมประสมค นอกจากนี้ความสามารถหลากหลายทั้งการจำลองและวิเคราะห์สภาพจราจรในเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น วงเวียน ทางแยกทางที่ถูกควบคุมและไม่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร ทางแยกต่างระดับ ด้านเก็บเงินค่าผ่านทาง (Troll Plaza) ทางลาดเชื่อม (Ramp) เป็นต้น ข้อมูลที่รายงานในผลการจำลองของโปรแกรมประกอบด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้งานด้านการจราจร เช่น ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย เวลาที่ใช้การเดินทาง ความล่าช้า ความยาวแถวคอย และจำนวนครั้งการหยุด เป็นต้น

2.3.1 แบบจำลองพฤติกรรมรถที่ขับของผู้ขับขี่ใน VISSIM

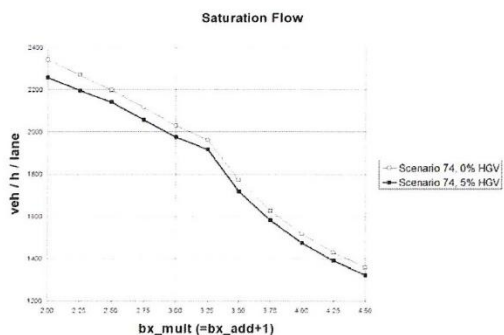
โปรแกรม VISSIM ใช้แบบจำลองจิตฟิสิกส์ของการขับที่ตามกัน (Psycho-Physical Car Following Model) ที่ถูกพัฒนาโดย Rainer Wiedemann เมื่อปีค.ศ. 1974 ในการจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Longitudinal) และใช้ Rules-Based Algorithm ในการจำลองพฤติกรรมรถเคลื่อนที่ด้านข้าง (Lateral) ของรถยนต์ในแบบจำลองได้รวมยานพาหนะ (Vehicle) และผู้ขับขี่ (Driver) เข้าเป็นหน่วยเดียวกันเรียกว่า Driver-Vehicle-Element [DVE] โดย Psycho-Physical Car Following Model เป็นแบบจำลองแบบ Discrete, Stochastic และ Time step ในระดับจุลภาค ที่ใช้แนวคิดพื้นฐานเรื่องค่าเริ่มต้น (น้อยที่สุดหรือมากที่สุด) ในการรับรู้ ของแต่ละบุคคล (Individual Perception Threshold) เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมรถที่ขับของผู้ขับขี่ในแบบจำลอง [5] โดยในแต่ละแบบจำลองจากกำหนดให้ผู้ขับขี่ยานยนต์คันที่แล่นตามหลังเริ่มเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมรถที่ขับ เช่น ลดความเร็ว เบรก เร่งความเร็ว หรือเปลี่ยนช่องจราจรหลังจากเข้าสู่ค่าการรับรู้ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งของการขับที่ตามกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสภาวะที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระยะห่าง (Distance) และความแตกต่างระหว่างความเร็ว (Speed Difference) ของรถยนต์ที่แล่นตามกัน



รูปที่ 2 แบบจำลองพฤติกรรมรถที่ขับที่ตามกัน Wiedemann 1974 [5]

ซึ่งจากรูปที่ 2 จะเห็นว่าความแตกต่างของความเร็วในการขับที่ตามกันแปรผันตรงต่อระยะห่างระหว่างรถที่ขับที่ตามกัน ซึ่งระยะห่างดังกล่าวแปรผันตรงต่อค่าความหนาแน่นของกระแสจราจร และจากทฤษฎีการไหลของกระแสจราจร (Traffic Flow Theory) กล่าวไว้ว่า ปริมาณจราจร (Q) เท่ากับผลพหุของความเร็ว (V) กับความหนาแน่น (K) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะห่างที่ขับที่ตามกันแปรผันตรงต่อปริมาณจราจร ซึ่งจากการทดสอบโดยแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM ที่ค่าความห่างของรถที่ขับที่ตามกันที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรมีค่าแตกต่างกัน [5] ดังแสดงในรูปที่ 3

TRL051



รูปที่ 3 ค่าความจุของกระแสจราจรที่แตกต่างกันตามระยะห่างของการขับที่ตามกัน [5]

2.3.2 การพัฒนาแบบจำลองระดับจุลภาค

การเก็บรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลทางด้านวิศวกรรมจราจร การเก็บและจัดเตรียมข้อมูลทางด้านวิศวกรรมจราจร มีขั้นตอนต่าง ๆ คือ การเก็บลักษณะทางกายภาพของอาคารจอดรถ การเก็บปริมาณจราจร การเก็บข้อมูลความเร็ว และข้อมูลอื่น ๆ ทางด้านวิศวกรรมจราจรที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

การปรับแก้แบบจำลองพฤติกรรมการขับที่

การปรับแก้แบบจำลองพฤติกรรมการขับที่ตามกัน Wiedemann 1974 ในแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM สามารถปรับแก้ได้ทั้งหมด 3 ค่าคงที่ด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับที่ตามกัน Wiedemann 74

ค่าคงที่	คำอธิบาย
Average standstill distance (ax)	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างรถสองคันเมื่อใกล้สภาวะหยุดนิ่ง
Additive part of safety distance (bx _{add})	ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยในการขับที่ตามกัน
Multiplicative part of safety distance (bx _{mult})	ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว

ซึ่งสามารถหาค่าคงที่ของแต่ละตัวแปรได้จากระยะห่างของการขับที่ตามกันดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$d = ax + bx \cdot v^{(1/2)}$$

$$bx = bx_{add} + (bx_{mult} \cdot z)$$

- โดย
- d = ระยะห่างของการขับที่ตามกัน
 - ax = ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างรถสองคันเมื่อหยุดนิ่ง
 - bx_{add} = ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยในการขับที่ตามกัน
 - bx_{mult} = ระยะห่างเพิ่มเติมเพื่อความปลอดภัยที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว
 - z = ค่าเบี่ยงเบนของการกระจายตัว
 - v = ความเร็วในการขับที่

ซึ่งจากข้อมูลระยะห่างของการขับที่ตามกันและข้อมูลความเร็วในการขับที่ของรถแต่ละคันขณะเคลื่อนที่บนทางลาดเชื่อม เมื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นตรงเพื่อหาค่าคงที่ของแต่ละตัวแปร พบว่าผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับที่ตามกันภายในอาคารจอดรถ

ค่าคงที่	ค่าอธิบาย
Average standstill distance (ax)	2.29
Additive part of safety distance (bx _{add})	2.00
Multiplicative part of safety distance (bx _{mult})	3.35

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.889899
R Square	0.79192
Adjusted R	0.791789
Standard Error	1.501326
Observations	1594

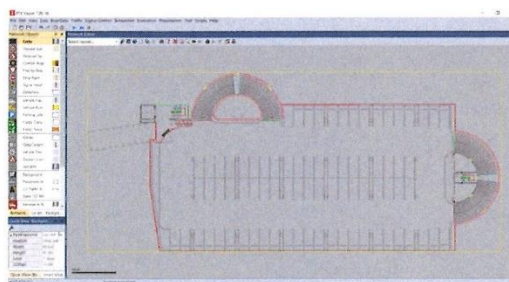
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	13656.6	13656.6	6058.886	0
Residual	1592	3588.335	2.253979		
Total	1593	17244.94			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	2.286967	0.254222	8.995949	6.49E-19	1.788322	2.785611	1.788322	2.785611
X Variable	5.351183	0.068747	77.83885	0	5.216339	5.486027	5.216339	5.486027

รูปที่ 4 รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าคงที่ของแบบจำลองการขับที่ตามกันภายในอาคารจอดรถ โดยสมารถดัดแปลงเชิงเส้น

การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM นั้นสามารถนำเข้ารูปพื้นหลังจากไฟล์ .dwg จากโปรแกรมเขียนแบบ Auto Cad ได้ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการจัดทำแบบแปลนของอาคารจอดรถและทางลาดเชื่อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการจัดทำแบบจำลองสามารถบอกถึงขนาดและความยาวต่างๆ ของลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ของอาคารจอดรถ ดังแสดงในรูปที่ 5

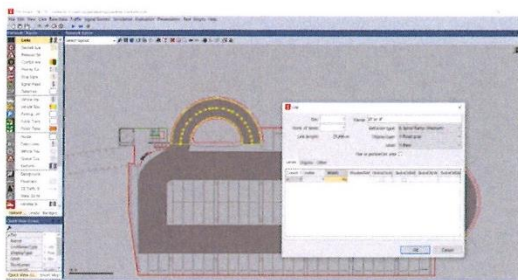


รูปที่ 5 การนำเข้าแบบแปลนรูปพื้นหลัง

การสร้าง Links และ Connectors

การสร้างลิงคั้นั้นเปรียบเสมือนการสร้างโครงข่ายทางสัญจรขึ้นมา โดยในแต่ละลิงคั้นั้นสามารถบอกถึงจำนวนช่องจราจร ความกว้างของ

ถนน ความชันของถนน ตลอดจนความยาวของถนน ซึ่งลิงก์แต่ละลิงก์จะถูกเชื่อมต่อกันโดยคอนเนคเตอร์ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6



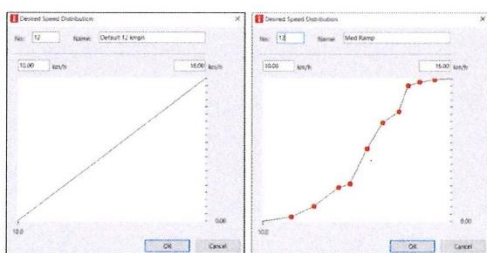
รูปที่ 6 ภาพแสดงการพัฒนา Links และ Connectors

● การใส่ปริมาณจราจรและทิศทางการจราจร

ปริมาณจราจรจะถูกใส่เข้าไปในแต่ละ Link โดยระบุว่ามีปริมาณจราจรเท่าไรในช่วงเวลานั้น และทิศทางการจราจรนั้นถูกใส่เข้าไปเพื่อระบุว่ามีปริมาณจราจรบน Link นั้นมีทิศทางการจราจรไปยังทิศทางต่างๆ ในปริมาณหรือว่าสัดส่วนเท่าใด

● การปรับเทียบแบบจำลองการทวนสอบแบบจำลอง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคนั้นจำเป็นต้องมีการปรับเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง เพื่อเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พฤติกรรมผู้ขับขี่ ความเร็วที่ปรารถนา ความเร็วขณะเฉื่อยและอื่นๆ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยในงานวิจัยนี้นอกจากการปรับแก้แบบจำลองพฤติกรรมผู้ขับขี่ที่แสดงไปก่อนหน้านี้ ยังมีการปรับแก้ค่าการกระจายตัวความเร็วดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 7 และเมื่อทำการปรับแก้ข้อมูลต่างๆ แล้ว งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทวนสอบแบบจำลองโดยการเทียบระหว่างปริมาณจราจรที่ผ่านทางลาดเชื่อมได้จากการสำรวจ กับที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง โดยผลการทวนสอบแสดงดังตารางที่ 6



รูปที่ 7 ตัวอย่างการปรับแก้ค่าการกระจายตัวของความเร็ว

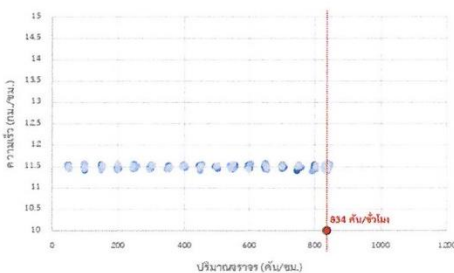
ตารางที่ 6 ผลการทวนสอบแบบจำลอง

ผลการทวนสอบ	ขนาดของความกว้างทางลาดเชื่อม		
	< 4.0 ม.	4.0 ม. – 5.0 ม.	> 5.0 ม.
ร้อยละความแตกต่างของปริมาณจราจร	-6.32	3.54	4.51

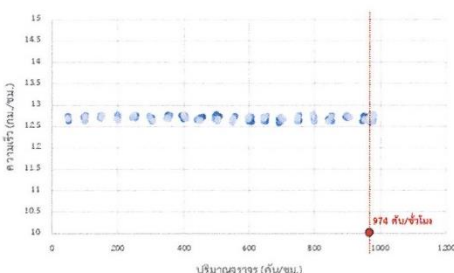
● การดำเนินการประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง การดำเนินการเพื่อหาผลลัพธ์ของแบบจำลองของงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งทางลาดเชื่อมออกเป็นสามขนาด ตามความกว้างของทางลาดเชื่อมเพื่อหาค่าความจุของทางลาดเชื่อมที่แตกต่างกัน

- ทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม (Spiral Ramp) ขนาดเล็ก โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดน้อยกว่า 4.00 เมตร
- ทางลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม (Spiral Ramp) ขนาดกลาง โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 4.00 เมตร แต่ไม่มากกว่า 5.00 เมตร
- ลาดเชื่อมแบบครึ่งวงกลม (Spiral Ramp) ขนาดใหญ่ โดยแบ่งตามลักษณะกายภาพของความกว้างทางวิ่งที่ขนาดเท่ากับ 5.00 เมตร หรือมากกว่าขึ้นไป

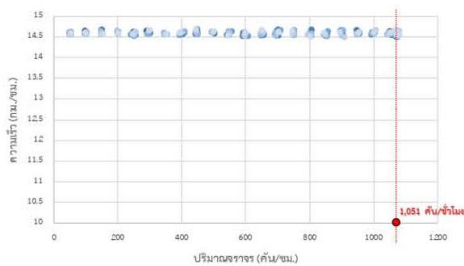
โดยทำการประมวลผลแบบจำลองโดยการเพิ่มปริมาณจราจรนำเข้าจากศูนย์ และเพิ่มขึ้นทีละ 50 คันต่อชั่วโมง จนถึง 1,350 คันต่อชั่วโมง และนำมาทำแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความจุความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาด เพื่อหาความจุของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาด โดยแผนภูมิแสดงการไหลของกระแสจราจรของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาดแสดงดังรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10



รูปที่ 8 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความจุความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดเล็ก



รูปที่ 9 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความจุความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดกลาง



รูปที่ 10 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรนำเข้ากับความสามารถในการรองรับของทางลาดเชื่อมขนาดใหญ่

2.4 การจัดทำเกณฑ์การออกแบบทางลาดเชื่อมแบบโค้ง

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของทางลาดเชื่อมแบบโค้งแต่ละขนาดพบว่าทางลาดเชื่อมที่มีความกว้างแต่ละขนาดมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรได้แตกต่างกัน โดยสามารถนำค่าความจุสูงสุดของทางลาดเชื่อมแต่ละขนาดมากำหนดเกณฑ์ในการออกแบบทางเชื่อมแบบโค้งสำหรับอาคารจอดรถได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความจุของทางลาดเชื่อม

ค่าความจุของทางลาดเชื่อม	ขนาดของความกว้างทางลาดเชื่อม		
	< 4.0 ม.	4.0 ม. – 5.0 ม.	> 5.0 ม.
	834	974	1,051

3. บทสรุป

จากการวิจัยพบว่าแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความจุของทางลาดเชื่อมได้ โดยการปรับแก้ค่าคงที่พฤติกรรมการขับขี่ตามกันและค่าความเร็วในการขับขี่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความจุของทางลาดเชื่อม ซึ่งทางลาดเชื่อมในอาคารจอดรถมีความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรที่น้อยกว่าโครงข่ายถนนทั่วไป อีกทั้งขนาดความกว้างของทางลาดเชื่อม ยังส่งผลต่อความจุของทางลาดเชื่อมโดยตรง โดยจากผลการวิจัยพบว่าความจุของทางลาดเชื่อมขนาดเล็กอยู่ที่ 834 คันต่อชั่วโมง ขณะที่ความจุของทางลาดเชื่อมขนาดกลางและขนาดใหญ่อยู่ที่ 974 คันต่อชั่วโมง และ 1,051 คันต่อชั่วโมง ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยฉบับนี้ขอขอบคุณ ผศ.ดร.จรัส พิทักษ์ศฤงคาร ผู้ให้คำปรึกษาและแนะนำ และ คุณบวรรัตน์ ศรีจันทร์ วิศวกรอาวุโส บริษัท เอส ทู อาร์ จำกัด และคุณสถาปนาก นามเมือง ผู้ให้คำปรึกษาในการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค VISSIM ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Barter, P. On-Street Parking Management : An International Toolkit, Sustainable Urban Transport Technical Document, 2016, 14 (1), PP.1-2
- [2] Land Transport Authority [Singapore], Code of Practice on Vehicle Parking Provision in Development Proposals, 2011, P. 20
- [3] Institute of Traffic Engineering, Traffic Engineering Handbook, 6th Edition, 2009, P.534
- [4] CA O'Flaherty, Transport Planning and Traffic Engineering, 2006, P.417
- [5] PTV AG, Karlsruhe, Germany, PTV VISSIM 7 USER MANUAL, 2015, P. 31

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกัลยกร คินขุนทด
วัน เดือน ปีเกิด	13 เมษายน 2531 เกิดที่จังหวัดนครราชสีมา
ที่อยู่	4/141 ลุมพินีวิลล์อ่อนนุช-พัฒนาการ ถนนอ่อนนุช แขวงประเวศ เขตประเวศ กรุงเทพฯ 10250
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสูงเนิน อ.สูงเนิน จ.นครราชสีมา พ.ศ.2549
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ.2553
ความชำนาญเฉพาะด้าน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ด้านวิศวกรรมจราจร 2. การออกแบบและจัดการพื้นที่จอดรถ 3. การวางแผนการขนส่ง 4. การวิเคราะห์สภาพจราจรโดยใช้แบบจำลองระดับจุลภาค 5. การเก็บข้อมูลจราจร
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2555 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรจราจรอาวุโส บริษัท เอส ทู อาร์ คอนซัลติ้ง จำกัด
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	กัลยกร คินขุนทด และ ผศ.ดร.จรัส พิทักษ์ศฤงคาร, 2562, “SPIRAL RAMP CAPACITY ANALYSIS OF MULTI STOREY CAR PARKING USING TRAFFIC MICRO SIMULATION MODELING TECHNIQUE” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 24