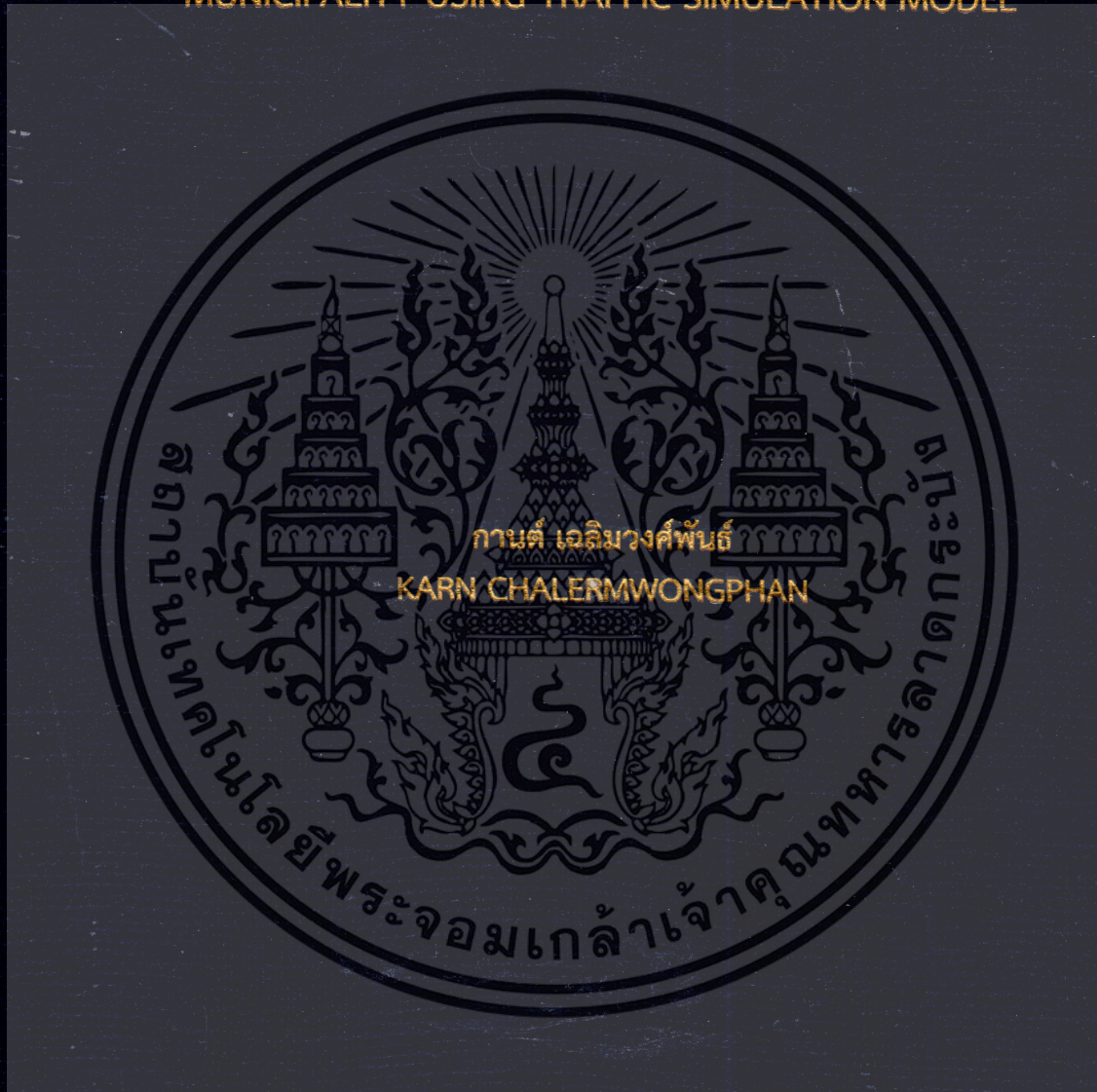


การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยานในเทศบาลนครสวรรค
โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง

A SUITABILITY ANALYSIS OF BIKEWAYS IN NAKHON SAWAN
MUNICIPALITY USING TRAFFIC SIMULATION MODEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AR-D-007-048

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยานในเทศบาลนครสวรรคต์
โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง

A SUITABILITY ANALYSIS OF BIKEWAYS IN NAKHON SAWAN
MUNICIPALITY USING TRAFFIC SIMULATION MODEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-AR-D-007-048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SUITABILITY ANALYSIS OF BIKEWAYS IN NAKHON SAWAN
MUNICIPALITY USING TRAFFIC SIMULATION MODEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ARCHITECTURE PROGRAM IN MULTIDISCIPLINARY DESIGN RESEARCH
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019
KMITL-2019-AR-D-007-048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยาน ในเทศบาลนครนครสวรรค์โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง
นักศึกษา	นายกานต์ เฉลิมวงศ์พันธ์
รหัสประจำตัว	57602063
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สถ.ด.)
สาขาวิชา	สหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์พงษ์ อุปลา

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการศึกษานี้มีเพื่อ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน 2) เพื่อสร้างและจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model แบ่งตามรูปแบบลักษณะกายภาพในการจัดวางช่องทางจักรยาน และ 3) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม จากการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงรูปแบบช่องทางจักรยานแบบปันส่วน (Share Bikeway) ระหว่างการจัดวางช่องทางจักรยานด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL) และการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL) จากการสร้างแบบจำลองการจราจรเสมือนจริงครอบคลุมถนนโครงข่ายเทศบาลนครนครสวรรค์ด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model จำนวน 712 ถนน (Link) และ 237 จุดตัดทางแยก (Node) และทำการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์หาค่าประมาณความต้องการในการเดินทางจากการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (O/D Matrix Adjustment) จำนวน 99 ชุดข้อมูล นำไปประเมินผลความถูกต้องด้วยหลักการทดสอบภาวะการสุปฐนิตี (Goodness of Fit Test) 9 วิธี โดยชุดข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงสุดจากการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method นำไปใช้เพื่อกำหนดสถานการณ์จำลองจำนวน 6 Scenarios ตามสัดส่วนการนำเข้าข้อมูลปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน

จากผลการวิจัย พบว่า ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลักมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างเส้นทางจักรยานบนโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยการกำหนดเป้าหมายของการรณรงค์ลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลอย่างน้อย 4,764 คัน/ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 31.87 ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั้งระบบโครงข่ายถนน ซึ่งจะส่งผลให้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลลดความล่าช้าในการเดินทางเท่ากับ 1.32 วินาที/กิโลเมตร ความเร็วในการขับขี่เพิ่มขึ้น 0.62 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางลดลง 187.08 ชั่วโมง ลดการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 1,084.10 ลิตร และลดมลพิษทางอากาศแบ่งเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 2,396,635.24 กรัม/กิโลเมตร ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 7,433.00 กรัม/กิโลเมตร ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 1,305.26 กรัม/กิโลเมตร และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 1,187.69 กรัม/กิโลเมตร

Thesis	A Suitability Analysis of Bikeways in Nakhon Sawan Municipality using Traffic Simulation Model
Student	Mr. Karn Chalermwongphan
Student ID	57602063
Degree	Doctor of Architecture (Arch D.)
Program	Multidisciplinary Design Research
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Prapatpong Upala

ABSTRACT

The objectives of this research were 1) to study the factors affecting the layout of bike lanes, 2) to create and simulate virtual traffic situations using the AIMSUN Microscopic Simulation Model according to the physical characteristics of each bike lane layout, and 3) to analyze the traffic, energy, and environmental impacts resulting from a change in transportation mode from private cars to bicycles. The study started by comparing and analyzing two forms of share bikeway, which were conventional bike lane (CBL) and median bike lane (MBL). The virtual road network and traffic conditions of Nakhon Sawan Municipality, comprising 712 roads (links) and 237 intersections (nodes), were simulated using the AIMSUN microscopic simulation model. The model calibration and validation methods were carried out to adjust the origin and destination survey data (O/D matrix) by running dynamic O/D adjustment. The 99 replication scenarios were statistically examined and assessed using the goodness-of-fit test, consisting of 9 measures. The most accurate data set resulting from the multi-factor scoring method was used to create 6 scenarios based on the input proportion of private cars and bicycles.

The research results showed that the conventional bike lane (CBL) was more suitable for Nakhon Sawan Municipality than the median bike lane (MBL). A campaign encouraging a change in transportation mode should focus on reducing 31.87 percent of all private cars in the road network (at least 4,764 veh/hr). This approach can minimize the delay time in the road network by 1.32 sec/km, increase operating speed by 0.62 km/hr, reduce total travel time by 187.09 hr, and reduce 1,084.10 liter of fuel consumption, 2,396,635.24 g/km of carbon dioxide, 7,433.00 g/km of nitrogen oxide, 1,305.26 g/km of particulate matter, and 1,187.69 g/km of volatile organic compounds.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เกิดจากความตั้งใจในการนำเสนอถึงแนวคิดและกระบวนการศึกษาความเหมาะสมของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบทางจักรยานที่มีประสิทธิภาพตรงตามความต้องการในการเดินทางของประชาชนทั่วไปและคุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการวิจัยที่เกี่ยวข้องและการศึกษาถึงความเหมาะสมใน การออกแบบทางจักรยานในพื้นที่อื่นของประเทศไทย

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์พงษ์ อุปลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มอบโอกาสในการเข้าศึกษาในสถาบันที่ทรงเกียรติ และเสียสละเวลาอันมีค่าในการดูแลเอาใจใส่ อย่างสม่ำเสมอและอบอุ่นเสมือนเป็นครอบครัวสหวิทยาการการวิจัยเพื่อการออกแบบ อาจารย์มีความ ทุ่มเทในการถ่ายทอดองค์ความรู้ แนวคิด ทศนคติ ประสบการณ์ และคอยเป็นกำลังใจกระตุ้นให้ลูก ศิษย์ทุกคนอยู่ในกรอบของความสำเร็จทั้งด้านการศึกษา การทำงาน และการดำรงชีวิตในสังคม

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ รองศาสตราจารย์ ดร.อมร กฤษณพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร บุญต่อ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ ชุมสาย ณ อยุธยา ที่ให้ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ชาโนะ คาซุชิ ที่ให้โอกาสในการศึกษาแลกเปลี่ยน ความรู้ที่มหาวิทยาลัยนาไกอาโอกะ ประเทศญี่ปุ่น ด้วยการดูแลเอาใจใส่อย่างอบอุ่นเสมือนเป็นบุตร หลาน

ท้ายที่สุดขอกราบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนสหวิทยาการการวิจัยเพื่อ การออกแบบ ที่มีแต่ความปรารถดี ให้คำปรึกษา คอยเป็นกำลังใจ อยู่ร่วมในทุกเหตุการณ์และความ ทรงจำที่สำคัญ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งใจไว้ครบทุกประการ

กานต์ เฉลิม่วงศ์พันธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของเนื้อหา.....	3
1.4.1 ตัวแปร.....	3
1.4.2 ขอบเขตของเนื้อหา.....	4
1.4.3 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 คำนิยามศัพท์.....	6
1.7 กรอบแนวคิด.....	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 แนวคิดการออกแบบเส้นทางจักรยาน.....	9
2.1.1 ความเป็นมาของจักรยาน.....	9
2.1.2 พฤติกรรมการขี่จักรยาน.....	10
2.1.3 ประเภทของทางจักรยาน.....	10
2.1.4 การเลือกรูปแบบทางจักรยาน.....	13
2.1.5 เกณฑ์การออกแบบทางจักรยาน.....	15
2.2 แนวคิดความต้องการและความพึงพอใจในการออกแบบเส้นทางจักรยาน.....	18
2.2.1 ความต้องการของผู้ขี่จักรยานก่อนใช้ทางจักรยาน.....	18
2.2.2 ความพึงพอใจของผู้ขี่จักรยานหลังใช้ทางจักรยาน.....	19
2.3 แนวคิดการส่งเสริมความปลอดภัยของทางจักรยาน.....	21
2.4 แนวคิดการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร.....	25
2.4.1 การสำรวจข้อมูลกายภาพของถนน.....	25
2.4.2 การสำรวจข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	25
2.4.3 การสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.4	การสำรวจข้อมูลการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง.....	26
2.4.5	การสำรวจข้อมูลความเร็วในการเดินทาง.....	28
2.4.6	การสำรวจข้อมูลบริหารจัดการจราจร.....	28
2.5	แนวคิดการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	28
2.5.1	โปรแกรมจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Simulation Software)	28
2.5.2	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	32
2.5.3	การนำเข้าข้อมูลด้านการจราจร.....	33
2.5.4	การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration Model)	33
2.5.5	การสอบทานแบบจำลอง (Validation Model)	35
2.6	แนวคิดการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	39
2.7	แนวคิดการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	40
2.7.1	ผลกระทบด้านการจราจร.....	40
2.7.2	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม.....	41
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
2.8.1	งานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้อง.....	42
2.8.2	งานวิจัยของต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง.....	45
2.9	สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม.....	47
บทที่ 3	วิธีและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	55
3.1	ขั้นตอนการวิจัย.....	55
3.1.1	ค้นคว้าข้อมูล.....	57
3.1.2	สำรวจข้อมูลด้านการจราจร.....	57
3.1.3	สร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model.....	57
3.1.4	สอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation).....	57
3.1.5	จำลองสถานการณ์จราจร AIMSUN Microscopic Simulation Model	57
3.1.6	การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์.....	57
3.1.7	สรุปผลการวิจัย	58
3.2	ข้อมูลวิจัย.....	58
3.2.1	ข้อมูลด้านการจราจร.....	58
3.3	ตัวแปรในงานวิจัย.....	59
3.3.1	ตัวแปรต้น (Independent Variable)	59
3.3.2	ตัวแปรตาม (Dependent Variable).....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร.....	61
3.4.1 การสำรวจข้อมูลด้านลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน.....	61
3.4.2 การสำรวจข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน	61
3.4.3 การสำรวจข้อมูลด้านปริมาณจราจร	62
3.4.4 การสำรวจข้อมูลด้านจุดต้นทางและปลายทาง.....	63
3.4.5 การสำรวจข้อมูลด้านความเร็วในการเดินทาง	65
3.4.6 การสำรวจข้อมูลด้านการบริหารจัดการจราจร.....	65
3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	65
3.5.1 เครื่องมือในการวิจัย	65
3.5.2 การสร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model.....	66
3.6 การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	71
3.6.1 การจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริง	71
3.6.2 การทดสอบสมมติฐานงานวิจัย	72
3.7 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	73
3.8 การสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย	73
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	74
4.1 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model.....	74
4.1.1 นำเข้าฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	74
4.1.2 สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	76
4.2 นำเข้าข้อมูลด้านการจราจร	77
4.2.1 การสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร	77
4.2.2 การสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (Origin-Destination Survey)....	79
4.2.3 การสำรวจความเร็วในการเดินทาง	81
4.2.4 การบริหารจัดการทางจราจร	82
4.3 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง.....	83
4.3.1 ปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (O/D Matrix Adjustment)	83
4.3.2 ประเมินผลการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง.....	87
4.3.3 คัดเลือกผลการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางปลายทาง.....	89
4.4 การกำหนดสถานการณ์จำลอง (Traffic Scenario)	91
บทที่ 5 ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	93
5.1 ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1 ผลการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงกรณีที่ 1 (NBL).....	93
5.1.2 ผลการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)...	94
5.2 เปรียบเทียบผลการจำลองปริมาณจราจรในสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	106
5.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	107
5.3.1 การวิเคราะห์ผลด้านจราจร	107
5.3.2 การวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม	111
5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมกับระยะทาง ในการเดินทาง	116
5.3.4 สรุปการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง	118
5.4 การวิเคราะห์จุดคุณภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง.....	118
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	121
6.1 ผลสรุปด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจราจร.....	121
6.2 ผลสรุปการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	122
6.3 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านการจราจร.....	123
6.4 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม.....	124
6.5 ผลสรุปการวิเคราะห์จุดคุณภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง.....	126
6.6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย	126
6.6.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย.....	126
6.6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต.....	128
บรรณานุกรม.....	130
ภาคผนวก ก เครื่องมือวิจัย.....	137
ภาคผนวก ข การทดสอบ Goodness of Fit Test จำนวน 9 วิธี	146
ภาคผนวก ค ภาพการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....	148
ประวัติผู้เขียน.....	152

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนที่แสดงเส้นทางจักรยานในพื้นที่เทศบาลนครนครสวรรค์ 2
1.2	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ 5
1.3	กรอบแนวคิดการวิจัย 7
2.1	กลุ่มผู้ใช้จักรยานกับความเร็วในการขี่ 10
2.2	เปรียบเทียบรูปแบบทางจักรยาน 12
2.3	ทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางของถนน 13
2.4	แนวทางการเลือกประเภทของทางจักรยาน 14
2.5	เกณฑ์การเลือกรูปแบบทางจักรยาน 14
2.6	พื้นที่ปฏิบัติการของนักขี่จักรยาน 15
2.7	ระยะปลอดภัยในการออกแบบเส้นทางจักรยาน 16
2.8	ระยะปลอดภัยระหว่างช่องจอดรถกับช่องทางจักรยาน 17
2.9	ช่องทางจักรยานผิวจราจรสีฟ้าข้ามทางแยก 22
2.10	การติดตั้ง Bike Box บริเวณทางแยก 23
2.11	ผิวช่องทางจักรยานสีเขียวบริเวณมีการสลับช่องทางการเดินทางรถ 23
2.12	รูปแบบการออกแบบแนวป้องกันและอุปกรณ์ป้องกันอันตราย 24
2.13	การจับคู่ป้ายทะเบียนระหว่างพื้นที่ย่อย 27
2.14	การสำรวจป้ายทะเบียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 27
2.15	ส่วนประกอบของโปรแกรม AIMSUN 31
2.16	ชั้นข้อมูลระบบคมนาคมและขนส่ง 32
2.17	แสดงพื้นที่ห้ามจอด (Yellow Boxes) บริเวณทางแยก 33
2.18	ส่วนประกอบ Integrated Traffic Emission Model (ITEM) 41
2.19	ข้อเสนอแนะการพัฒนาด้านต่างๆ 43
2.20	แผนที่แสดงเส้นทางจักรยานจากการสนทนากลุ่ม 44
2.21	ผลการวิเคราะห์กายภาพของทางแยก 45
2.22	กายภาพของทางแยก Standard (ขวา) และ Protected (ซ้าย) 46
3.1	ขั้นตอนในการดำเนินโครงการวิจัย 56
3.2	ตัวแปรต้น (Independent Variable) 60
3.3	ตัวแปรตาม (Dependent Variable) 61
3.4	การแบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน 62
3.5	ตำแหน่งการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร 63
3.6	แผนที่แสดงการแบ่งพื้นที่ย่อย 64
3.7	ตำแหน่งการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง 65
3.8	แผนที่โครงข่ายเส้นทางจักรยานในพื้นที่เขตเทศบาลนครนครสวรรค์ 66
3.9	รูปตัดขวางของถนนกรณี 1 Road Network with Non-Bike Lane (NBL) 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา VIII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10	รูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 2 Conventional Bike Lane (CBL) 68
3.11	รูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 3 Median Bike Lane (MBL) 69
3.12	ขั้นตอนการสอบทานแบบจำลอง (Validation Model)..... 70
3.13	เส้นทางจักรยานบริเวณพื้นที่ย่อยในเขตเมือง (Internal Zone) 71
4.1	ขั้นตอนการสร้างแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 75
4.2	แบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model 76
4.3	การจัดวางช่องทางจักรยานในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)..... 77
4.4	นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรในรูปแบบฐานข้อมูล Real Data Sets..... 79
4.5	ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ 22 พื้นที่ย่อย 80
4.6	ความเร็วในการขับเคลื่อนช่วงถนน (Operating Speed)..... 81
4.7	การนำเข้าความเร็วในการขับเคลื่อนพาหนะตามประเภทของถนน 82
4.8	แผนที่แสดงการเดินทางทางเดียว (One-way)..... 83
4.9	ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ของ Scenario 1..... 84
4.10	ผลลัพธ์การจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios 85
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรจากการสำรวจภาคสนามกับจากแบบจำลอง..... 86
4.12	ผลการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี 88
4.13	ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ของ Scenario 23..... 91
4.14	ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เดินทางภายในเขตเมือง 92
5.1	ปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรของกรณีที่ 1 (NBL) 94
5.2	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 1..... 95
5.3	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 2..... 97
5.4	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 3..... 99
5.5	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 4..... 101
5.6	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 5..... 103
5.7	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 6..... 105
5.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) 117
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง..... 119
5.10	เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 6..... 120
6.1	ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน 122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เกณฑ์สมรรถภาพของผู้ขับขี่จักรยาน (AASHTO. 2012)16
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องทางจักรยานกับปริมาณจักรยาน (NACTO. 2013).....17
2.3	ขนาดของช่องทางจักรยานและระยะปลอดภัยด้านข้าง (NACTO. 2013)17
2.4	การจำแนกยานพาหนะเพื่อการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร26
2.5	เปรียบเทียบการทำงานของโปรแกรม (Saidallah, El Fergougui and Elalaoui.2016)....30
2.6	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง.....34
2.7	สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง47
3.1	การสำรวจข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)58
3.2	การสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)59
3.3	สถานการณ์จราจรจำลอง (Traffic Scenarios) ตามร้อยละของปริมาณจราจร72
4.1	ผลการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Volume Survey) (หน่วย: PCU/ชั่วโมง).....78
4.2	ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (Origin-Destination Survey)80
4.3	ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios (หน่วย: PCU/ชม.)...85
4.4	ผลการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี.....87
4.5	ผลการคัดเลือกค่า Dynamic O/D Adjustment ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้.....89
4.6	ผลการคัดเลือกค่า O/D Matrix Adjustment ด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method...90
4.7	ร้อยละความต้องการในการเดินทางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike).....92
5.1	ผลการจำลองสถานการณ์จราจร 6 Scenarios ของทั้ง 3 กรณี106
5.2	ผลการทดสอบ Student's t-test ระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL).....107
5.3	ผลด้านการจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง108
5.4	ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง111
5.5	เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) (หน่วย: หน่วยต่อกิโลเมตร).....116

บทที่ 1

บทนำ

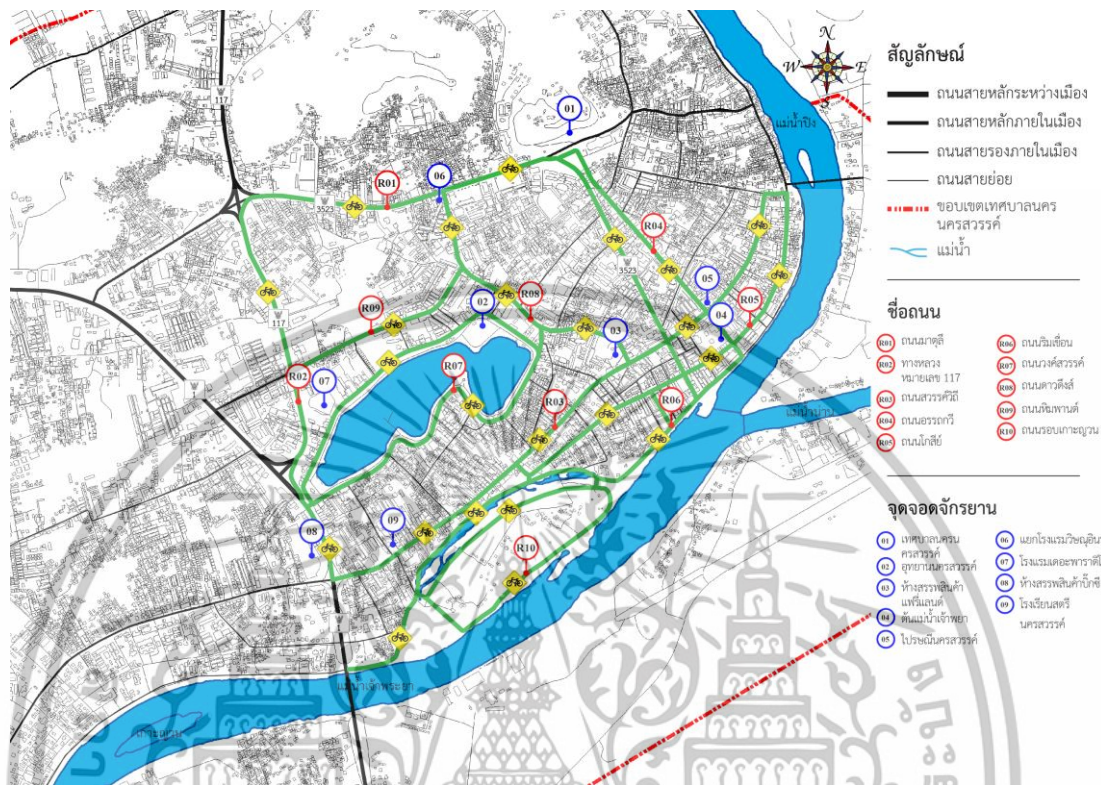
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันส่งผลให้พื้นที่เขตเมืองของประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนารูปแบบของที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยเปลี่ยนเป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นมากและย่านพาณิชย์กรรม ศูนย์กลางธุรกิจและการบริการ ซึ่งแหล่งที่อยู่อาศัยที่เกิดขึ้นใหม่มีแนวโน้มขยายตัวออกชานเมือง ในขณะที่ชีวิตประจำวันยังคงมีความต้องการในการเดินทางเข้าสู่เขตเมืองเพื่อทำงาน เรียน ติดต่อราชการ และจับจ่ายใช้สอย การเลือกใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลถือได้ว่าเป็นที่นิยมและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลจำนวนรถจดทะเบียนสะสมทั่วประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 พบว่า มีจำนวน 39,461,672 คัน คิดเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลสูงถึง 9,749,260 คัน หรือสัดส่วนรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นในรอบ 10 ปี เฉลี่ยปีละ 631,290 คัน/ปี (กรมการขนส่งทางบก. 2561) การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้ประเทศไทยถูกจัดลำดับให้เป็นประเทศที่มีสภาพการจราจรติดขัดสูงสุดเป็นลำดับที่ 1 ในปี พ.ศ.2559 และ พ.ศ.2560 ผู้ขับขี่ยานพาหนะเสียเวลากับการจราจรติดขัดในช่วงเวลาเร่งด่วนเฉลี่ย 56 ชั่วโมงและ 61 ชั่วโมง ตามลำดับ (INRIX. 2017) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนที่ต้องประสบปัญหาด้านฝุ่นละออง มลพิษทางอากาศ และมลภาวะทางเสียงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทางภาครัฐได้ตระหนักถึงความสำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าว และได้มีการกำหนดนโยบายส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transport: NMT) เพื่อการขนส่งที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. 2557) โดยการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของทางเท้าและทางจักรยานทั่วประเทศ

เทศบาลนครนครสวรรค์ถือได้ว่าเป็นเมืองหนึ่งที่ส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์เพื่อการแก้ปัญหาการจราจรติดขัดและลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมให้เกิดความยั่งยืน โดยรณรงค์อย่างจริงจังให้ประชาชนทั่วไปใช้จักรยานเพื่อการออกกำลังกายและการเดินทางในชีวิตประจำวัน เริ่มจากการสร้างเส้นทางจักรยานรอบอุทยานสวรรค์เพื่อการออกกำลังกายในปี พ.ศ.2556 (ประพัทธ์พงษ์ อุปลา. 2556) และมีนโยบายขยายโครงข่ายเส้นทางจักรยานให้ครอบคลุมรัศมีการเดินทางในชีวิตประจำวันจากศูนย์กลางเมืองประมาณ 20 กิโลเมตร (NACTO. 2016) กระตุ้นให้ผู้ที่ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนเป็นการขี่จักรยานในการเดินทางแทน โดยกำหนดเส้นทางจักรยานจากผลการวิจัยแบบเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ด้วยการจัดกลุ่มสนทนาเพื่อแสดงความคิดเห็นถึงแนวเส้นทางจักรยานที่เหมาะสมต่อการเดินทางในชีวิตประจำวัน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มผู้บริหาร 2) กลุ่มผู้ออกแบบ 3) กลุ่มผู้ใช้งาน และ 4) กลุ่มสื่อมวลชน ผลการศึกษาพบว่า เส้นทางจักรยานที่เหมาะสมควรออกแบบตามแนวโครงข่ายถนนในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์เดิม แบ่งช่องทางจักรยานจากช่องทางจราจรหลักหรือทางจักรยานแบบปันส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Share Bikeway) (ยุภาพร บุญประเสริฐ. 2552) ดังแสดงเส้นทางจักรยานจากผลการวิจัยในรูปแบบที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงเส้นทางจักรยานในพื้นที่เทศบาลนครนครสวรรค์

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยแบบเชิงคุณภาพดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นการออกแบบเฉพาะเส้นทางจักรยาน แต่ไม่ได้มีการกำหนดถึงรูปแบบลักษณะทางกายภาพของการจัดวางช่องทางจักรยาน และในปัจจุบันได้มีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Traffic Simulation Model) ประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ ลดข้อจำกัดด้านการใช้งบประมาณในการก่อสร้าง ไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รถและใช้ถนน และขจัดปัญหาด้านการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง ซึ่งภาพรวมของงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นเพียงการทดสอบผลการออกแบบลักษณะทางกายภาพของทางแยกใหม่ โดยสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ถึงรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานที่ส่งเสริมความปลอดภัยและลดความล่าช้าในการเดินทาง ในขณะที่งานวิจัยที่มีลักษณะการสร้างแบบจำลองที่ครอบคลุมโครงข่ายถนนและทางจักรยานระดับเมืองยังไม่มีผู้ใดได้ทำการวิจัยมาก่อน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นช่องว่างของงานวิจัย (Knowledge Gaps) มีแนวคิดที่ต้องการวิจัยถึงความเหมาะสมของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน โดยนำโปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เป็นที่ยอมรับในทางวิชาการ มีความสามารถในการวิเคราะห์และประมวลผลได้อย่างครอบคลุมตามหลักการด้านวิศวกรรมจราจร ใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงครอบคลุมโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ เพื่อการทดสอบแนวคิด วิเคราะห์ผลกระทบ และกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพ แบ่งการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL) กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL) และกรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL) โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่อด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เพื่อการเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน และสัดส่วนของยานพาหนะที่ใช้ในการกำหนดเป้าหมายการรณรงค์เพื่อการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Mode) จากขับขี้อยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนเป็นการขี่จักรยานในชีวิตประจำวันแทน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน

1.2.2 เพื่อสร้างและจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model แบ่งตามรูปแบบลักษณะกายภาพในการจัดวางช่องทางจักรยาน

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม จากการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยาน

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ค่าความล่าช้าในการเดินทาง ความเร็วในการขับขี่ ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ ยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานมีค่าที่แตกต่างกันตามรูปแบบลักษณะกายภาพการจัดวางช่องทางจักรยานที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ตัวแปร

1.4.1.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable) ประกอบด้วย 6 ตัวแปร คือ

- (1) รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน (Bike Lane Pattern)
- (2) ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน (Geometric of Road Network)
- (3) คุณสมบัติเฉพาะของถนน (Road Characteristics)
- (4) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ (Driver Behavior)
- (5) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car)
- (6) ปริมาณจราจรของจักรยาน (Bike)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) การบริหารจัดการจราจร (Traffic Management)

1.4.1.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ประกอบด้วย 8 ตัวแปร คือ

- (1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time)
- (2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed)
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time)
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption)
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂)
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x)
- (7) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM)
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC)

1.4.2 ขอบเขตของเนื้อหา

1.4.2.1 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model แบ่งตามรูปแบบลักษณะกายภาพในการจัดวางช่องทางจักรยาน เป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL)

กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL)

กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL)

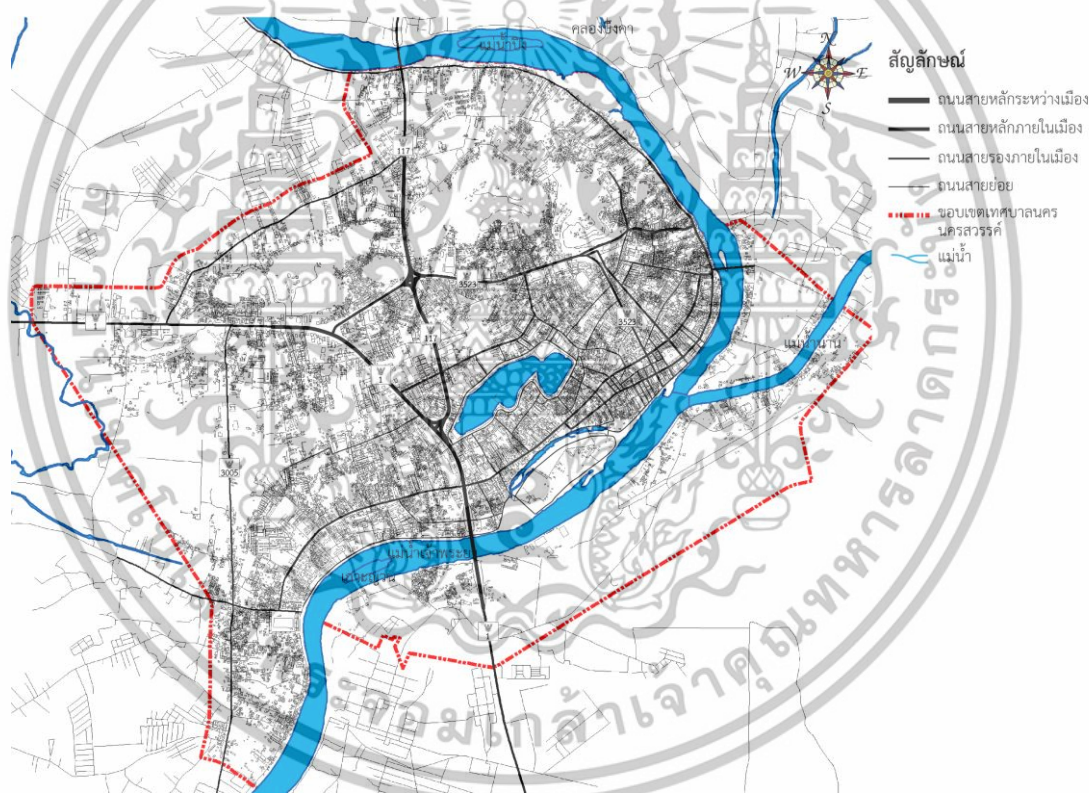
1.4.2.2 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) ด้วยวิธีการประมาณค่าความต้องการในการเดินทาง (O/D Estimation) จากการปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางที่สำรวจได้จากภาคสนาม (Origin and Destination Survey) หรือ O/D Matrix Adjustment

1.4.2.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง โดยแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 8 ตัวแปร ประกอบด้วย ตัวแปรด้านการจราจรจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง 2) ความเร็วในการขับขี่ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง และตัวแปรด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ 1) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง 2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 4) ฝุ่นละออง (PM) และ 5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

เทศบาลนครนครสวรรค์เป็นอำเภอหนึ่งของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งอยู่ทางตอนกลางของประเทศไทย เป็นศูนย์กลางด้านคมนาคมและขนส่งเสมือนประตูสู่ภาคเหนือตอนบน เป็นบริเวณที่แม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านไหลมาบรรจบกันที่ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมืองนครสวรรค์ กลายเป็นจุดกำเนิดของแม่น้ำสายสำคัญของประเทศ “เจ้าพระยา” พื้นที่เขตการปกครองของอำเภอเมืองนครสวรรค์รวม 27.87 ตารางกิโลเมตร จากข้อมูลสำนักงานสถิติจังหวัดนครสวรรค์ (NSO. 2018) พบว่า ประชากรของเทศบาลนครสวรรค์ในปี 2560 มีจำนวนประชากร 83,868 คน ที่อยู่อาศัย 41,766 หลังคาเรือน คิดเป็นความหนาแน่น (Population Density) 3,010 คน/ตารางกิโลเมตร จัดได้ว่าเป็นเมืองที่อยู่เกณฑ์ลำดับใหญ่มาก (กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2549) พื้นที่ครอบคลุม 5 ตำบล ได้แก่ 1) ตำบลปากน้ำโพ 2) ตำบลนครสวรรค์ตก 3) ตำบลนครสวรรค์ออก 4) ตำบลวัดไพร และ 5) ตำบลแควใหญ่ ดังแสดงแผนที่ขอบเขตเทศบาลนครสวรรค์ในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาเทศบาลนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เลือกใช้รูปแบบช่องทางจักรยานที่มีความเหมาะสมกับการก่อสร้าง
- 1.5.2 นำปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานใช้ในการออกแบบอย่างถูกต้อง
- 1.5.3 นำกระบวนการสร้าง การสอบเทียบ และสอบทานแบบจำลองประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.4 นำผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ใช้แสดงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้งานจักรยาน และใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยานที่เหมาะสม

1.5.5 นำผลการวิจัยใช้เป็นข้อมูลในการตั้งเป้าหมายการรณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปใช้จักรยานเพื่อการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน

1.5.6 นำกระบวนการวิจัยเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับเมืองอื่นๆ ในประเทศไทย เพื่อการรณรงค์การขี่จักรยานอย่างมีเป้าหมายและคุ้มค่าต่อการลงทุน

1.6 คำนิยามศัพท์

1.6.1 AIMSUN Microscopic Simulation Model คือ โปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model ใช้ในการจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริง โดยการสร้างแบบจำลองจากการนำเข้าข้อมูลด้านวิศวกรรมจราจร จำลองสถานการณ์จราจรแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่พิจารณา เพื่อเป็นเครื่องมือให้ผู้ออกแบบใช้ทดสอบทางเลือกในการออกแบบ ประกอบการตัดสินใจก่อนนำไปก่อสร้างหรือกำหนดมาตรการต่างๆ เพื่อบริหารจัดการจราจรจริงในพื้นที่ศึกษา

1.6.2 ช่องทางจักรยานแบบปันส่วน (Share Bikeway) คือ ช่องทางจักรยานที่ถูกแบ่งส่วนออกจากช่องทางจราจรสัญจรปกติของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยการตีเส้นจราจรหรือทำเครื่องหมายบนผิวทางเพื่อเป็นสัญลักษณ์ชี้เฉพาะว่าเป็นช่องทางสำหรับจักรยานใช้ในการสัญจรเท่านั้น

1.6.3 กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL) คือ สภาพการจราจรในปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยานถูกนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในกรณีที่ 1 (NBL)

1.6.4 กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL) คือ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงที่มีการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL)

1.6.5 กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL) คือ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงที่มีการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางของถนนในกรณีที่ 3 (MBL)

1.6.6 พื้นที่ย่อย (Zone) คือ การนำพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยตามเงื่อนไขปัจจัย เช่น ขอบเขตการปกครอง ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะภูมิประเทศ เพื่อการวิเคราะห์หาความต้องการในการเดินในแต่ละพื้นที่ย่อยโดยจะแบ่งเป็นการเกิดการเดินทาง (Trip Production) และการดึงดูดการเดินทาง (Trip Attraction)

1.6.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) คือ บริเวณที่มีกิจกรรมทุกชนิดที่มีการกระทำในลักษณะเป็นประจำ ไม่ว่าจะกิจกรรมนั้นจะประกอบอยู่บนพื้นที่ดิน เหนือพื้นดิน หรือใต้พื้นดินและไม่ได้อยู่ภายในอาคารหรือนอกอาคารที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ดินแปลงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.8 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) ก๊าซเรือนกระจกประเภทหนึ่งไม่มีสี และไม่มีกลิ่น เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ เมื่อร่างกายได้รับก๊าซชนิดนี้ในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้หรืออาเจียนได้

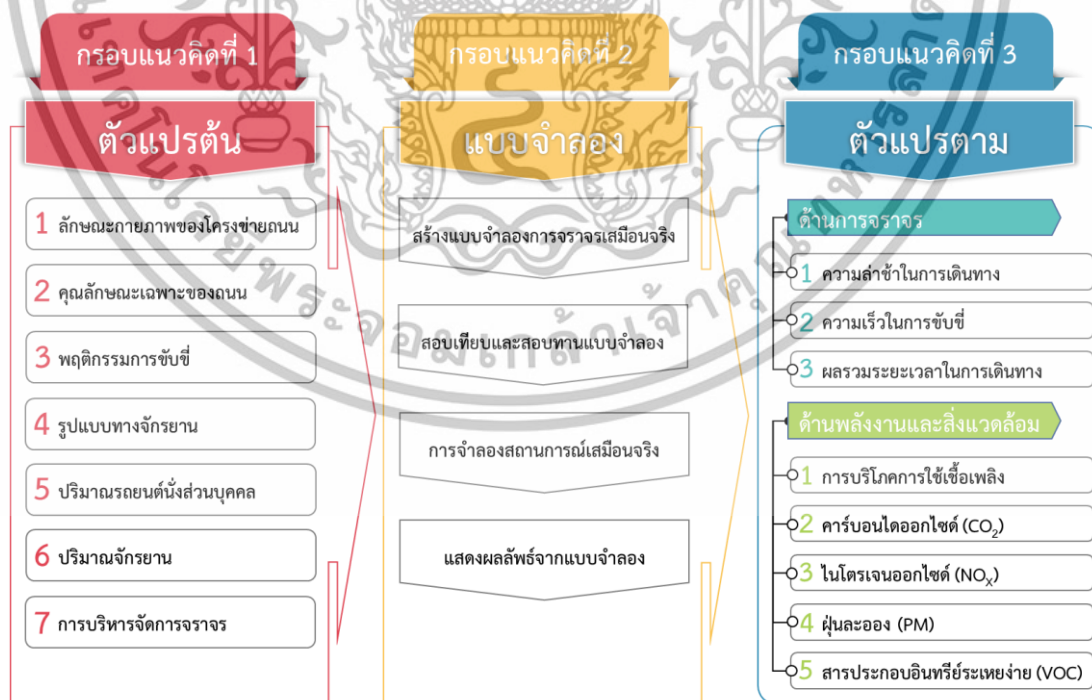
1.6.9 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซล น้ำมันปิโตรเลียม และถ่านหิน ก๊าซดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้เกิดหมอก ควีน และฝนกรด ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจถ้าหากได้รับในปริมาณที่มาก

1.6.10 ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) อนุภาคของแข็งหรือของเหลวแขวนลอยในบรรยากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 ไมครอน – 500 ไมครอน ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจและเมื่อสะสมในร่างกายอย่างต่อเนื่องจะก่อให้เกิดโรคหัวใจ โรคหลอดเลือด โรคทางสมอง และโรคมะเร็ง

1.6.11 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) สารระเหยจากน้ำมันปิโตรเลียมเป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่ตา จมูก และคอ หรืออาจส่งผลให้เกิดอาการปวดหัว วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ และระบบการทำงานของตับล้มเหลว

1.7 กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดถูกตั้งขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดขั้นตอนการวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ โดยกรอบแนวคิดการวิจัยแบ่งเป็น 3 กรอบย่อย ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.1 กรอบแนวคิดย่อยที่ 1 ตัวแปรต้น (Independent Variable)

ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมกระบวนการสร้างและนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัยที่ได้ตั้งไว้ แบ่งเป็น 6 ตัวแปร ได้แก่ 1) ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน 2) คุณลักษณะเฉพาะของถนน 3) พฤติกรรมการขับขี่ 4) รูปแบบทางจักรยาน 5) ปริมาณจราจร และ 6) การบริหารจัดการจราจร

1.7.2 กรอบแนวคิดย่อยที่ 2 การสร้างและจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (AIMSUN Microscopic Simulation Model)

แบบจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริงถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model นำเข้าตัวแปรต้นแบ่งตามรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL) กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL) และกรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL) โดยมีกระบวนการการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) จากการเปรียบเทียบข้อมูลด้านการจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนาม กับข้อมูลที่ได้จากผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนำไปสู่กระบวนการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (O/D Matrix Adjustment) โดยการประเมินผลการปรับแก้ด้วยการทดสอบ Goodness of Fit Test ซึ่งค่าการปรับแก้ที่มีความถูกต้องสูงสุดจากการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method จะถูกนำไปใช้เพื่อการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงของทั้ง 3 กรณี

1.7.3 กรอบแนวคิดย่อยที่ 3 ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ตัวแปรตามจากผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง โดยการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์เชิงตัวเลข โดยแบ่งผลการวิเคราะห์หรือตัวแปรตามออกเป็น 8 ตัวแปร ประกอบด้วย ตัวแปรตามด้านการจราจรจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง 2) ความเร็วในการขับขี่ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง และตัวแปรตามด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ 1) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง 2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 4) ฝุ่นละออง (PM) และ 5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) นอกจากนี้ การวิเคราะห์ยังรวมถึงการวิเคราะห์หาสัดส่วนปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน ที่ส่งผลให้ค่าผลรวมของระยะเวลาในการเดินทาง ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานมีค่าเท่ากันที่จุดดุลยภาพ (Equilibrium Point) เพื่อนำเสนอผลการวิจัยใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดเป้าหมายในการรณรงค์ให้ผู้ที่ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางเป็นการขี่จักรยานเพื่อการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมา ทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อการพัฒนาแนวคิดในการวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยานในเทศบาลนครนครสวรรค์โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง” โดยลำดับขั้นตอนรายละเอียดการนำเสนอแบ่งเป็น 9 หัวข้อประกอบด้วย

- 2.1 แนวคิดการออกแบบเส้นทางจักรยาน
- 2.2 แนวคิดความต้องการและความพึงพอใจในการออกแบบเส้นทางจักรยาน
- 2.3 แนวคิดการส่งเสริมความปลอดภัยของทางจักรยาน
- 2.4 แนวคิดการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร
- 2.5 แนวคิดการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 2.6 แนวคิดการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 2.7 แนวคิดการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.9 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม

2.1 แนวคิดการออกแบบเส้นทางจักรยาน

2.1.1 ความเป็นมาของจักรยาน

คำว่าจักรยานปรากฏครั้งแรกในภาษาอังกฤษ ถูกตีพิมพ์ในหนังสือ The Daily News ในปี พ.ศ.2411 เพื่ออธิบายความหมายระหว่าง “Bysicles และ Trysicles” ในบทความ “Champs Elysées and Bois de Boulogne” และถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ.2390 ในสิ่งพิมพ์ภาษาฝรั่งเศส เพื่ออธิบาย “สิ่งที่เรียกว่าพาหนะบรรทุกสองล้อที่ไม่สามารถให้คำจำกัดความได้” (สำนักงานสาธารณสุข. 2558)

“จักรยาน” ปรากฏตัวครั้งแรกในประเทศไทย ในช่วงปลายรัชกาลพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ในปี พ.ศ.2401 โดยเป็นการนำเข้ามาจากฝั่งทวีปยุโรปโดยท่านแรกที่เป็นผู้จุดประกายคือ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถได้รับแนวคิดการปั่นจักรยานหลังจากท่านเสด็จไปเยือนยุโรป และได้นำจักรยานมาทูลเกล้าต่อพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวและข้าราชการบริพาร วังบูรพาภิรมย์ (กรมอนาถยกระทรงสาธารณสุข. 2558) เริ่มมีการสั่งรถจักรยานเข้ามาขายครั้งแรกจำนวน 100 คัน โดยกรมพระนราธิปประพันธ์พงศ์ ปี พ.ศ.2446 และมีการจำหน่ายเป็นครั้งแรกในประเทศไทยโดยพระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระยานราธิปประพันธ์พงศ์ และพระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมหลวงราชบุรีดิเรกฤทธิ์ ทำให้สยามได้มีการใช้จักรยานกันอย่างกว้างขวางถึงกับมีการรวมตัวเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สโมสรรจักรยานขึ้นในวังพระบรมวงศ์เธอ นื่องพระยาเธอ กรมหลวงอดิศรอุดมเดชการ และมีปรากฏ
ป้ายประกาศโฆษณาขายจักรยานโดยผ่านประเทศสิงคโปร์ในยุคนั้น ปรากฏชื่อตราจักรยาน คือ
“โรยัล ไซโค” (Royal Rsycho)

2.1.2 พฤติกรรมการขี่จักรยาน

การออกแบบเส้นทางจักรยานเพื่อใช้งานในชีวิตประจำวัน ควรมีความสะดวกสบายในการ
เข้าถึงและเหมาะสมกับการใช้งานของทุกเพศทุกวัย (ช่วงอายุ 5 ปี ถึง 95 ปี) ความเร็วในการขี่จะ
แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง ความมั่นใจในการขี่ และ
สิ่งอำนวยความสะดวกของทางจักรยาน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 การออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกควร
มีความเหมาะสมกับผู้ขี่จักรยานที่ใช้ความเร็วที่ต่างกัน มีอุปกรณ์ป้องกันระหว่างจราจรบน
ท้องถนนและช่องทางจักรยานอย่างเพียงพอ รองรับความหลากหลายของประเภทและกลุ่มผู้ขี่
จักรยาน ผู้คนส่วนใหญ่มีความต้องการที่จะใช้งานจักรยานแต่ยังคงรู้สึกกังวลเมื่อต้องขี่จักรยานร่วม
ทางกับการจราจรบนท้องถนน โดยระดับความกังวลจะขึ้นอยู่กับอายุและประสบการณ์ในการขี่
จักรยาน (NACTO. 2016)



รูปที่ 2.1 กลุ่มผู้ขี่จักรยานกับความเร็วในการขี่ (NACTO. 2016)

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO. 2012) อธิบายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้จักรยาน แบ่งลักษณะเฉพาะออกเป็น 3 ลักษณะ
ได้แก่ 1) ระดับความสะดวกสบาย 2) ความสามารถทางกายภาพของเส้นทาง และ 3) วัตถุประสงค์
ของการเดินทาง ลักษณะเฉพาะดังกล่าวจะนำไปออกแบบแนวเส้นทางจักรยานเพื่อรองรับความ
ต้องการหลากหลายในการใช้งานโดยแบ่งปัจจัยในการพิจารณาเป็น 2 ปัจจัย ได้แก่ วัตถุประสงค์ใน
การเดินทางและระดับความสามารถในการขี่จักรยาน

ดังนั้น การกำหนดความเร็วในการออกแบบทางจักรยาน ควรพิจารณาให้ครอบคลุม
พฤติกรรมการขี่ของประชาชนทั่วไปที่เข้ามาใช้บริการ ซึ่งไม่ควรเกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง จึงจะ
ส่งเสริมความปลอดภัยและเหมาะสมกับการใช้ของทุกเพศทุกวัย

2.1.3 ประเภทของทางจักรยาน

National Association of City Transportation Officials (NACTO. 2016) นำเสนอ
รูปแบบทั่วไปของทางจักรยานออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ช่องทางจักรยาน (Cycle Lanes)

การแบ่งส่วนช่องทางจักรยานจากช่องทางจราจรหลัก โดยตีเส้นจราจรแบบขวางเป็นแถบ (Striping) หรือป้าย (Signage) หรือสัญลักษณ์บนพื้นทาง (Pavement Marking) หรือ ช่องทางพิเศษ โดยทั่วไปช่องทางจักรยานจะอยู่ริมนอกสุดและจัดทิศทางการเดินรถทิศทางเดียวกับกระแสจราจรหลัก หรือด้านซ้ายสุดของช่องทางการเดินทางเดียว การขี่จักรยานอาจต้องหลบออกจากช่องจราจร เพื่อแซง เลี้ยว และเลี้ยวสิ่งกีดขวาง

2.1.3.2 ทางจักรยาน (Cycle Tracks)

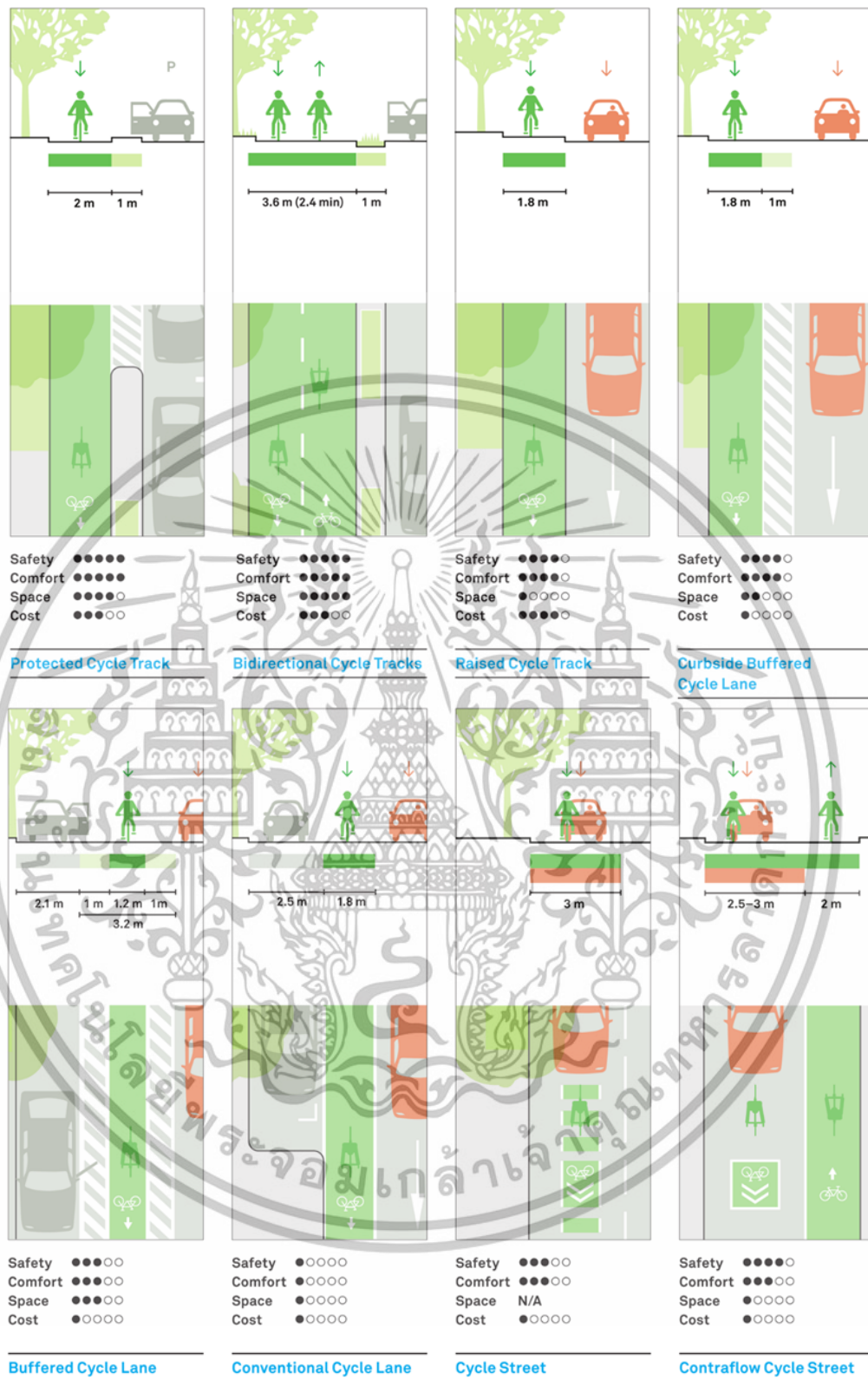
การจัดวางช่องจักรยานแบบช่องทางพิเศษแยกออกจากช่องทางการจราจรหลักและมีลักษณะแตกต่างจากทางเท้า ออกแบบให้มีความสะดวกสบายและปลอดภัยสำหรับผู้ขี่จักรยาน ถนนที่มีช่องทางจักรยานแบบช่องทางพิเศษจะมีอันตรายน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่องทางจักรยานแบบที่ไม่ได้ออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกไว้อย่างเฉพาะเจาะจง

2.1.3.3 ถนนจักรยาน (Cycle Streets)

ทางจักรยานที่ใช้งานร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นๆ โดยรถยนต์ถือว่าเป็นผู้เข้ามาใช้เส้นทาง ความเร็วในการขับขี่บนช่องทางจราจรนี้ไม่ควรเกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีการออกแบบการบริหารจัดการปริมาณจราจรและความเร็วโดยใช้แนวคิดการสงบการจราจร (Traffic Calming) หรือ จำกัดการจราจรที่สัญจรผ่านพื้นที่ เส้นทางจักรยานต้องเข้าใช้งานง่ายและเชื่อมโยงการเดินทางอย่างเป็นระบบโครงข่าย โดยแบ่งรูปแบบทางจักรยานตามลักษณะกายภาพออกเป็น 6 ประเภท ดังต่อไปนี้

- (1) ทางจักรยานแบบมีแนวป้องกัน (Protected Cycle Track)
- (2) ทางจักรยานแบบชีสวนทาง (Bidirectional Cycle Tracks)
- (3) ทางจักรยานแบบยกผิวทาง (Raised Cycle Track)
- (4) ทางจักรยานข้างทางเท้าแบบมีแนวป้องกัน (Curbside Buffered Cycle Lane)
- (5) ทางจักรยานแบบเว้นระยะจากช่องทางจราจรหลัก (Buffered Cycle Lane)
- (6) ทางจักรยานแบบเดิม (Conventional Cycle Lane)
- (7) ทางจักรยานแบบชีร่วมบนช่องทางจราจรหลัก (Cycle Street)
- (8) ทางจักรยานแบบสวนทางกระแสจราจร (Contraflow Cycle Street)

โดยผลการเปรียบเทียบรูปแบบทางจักรยานที่วิเคราะห์จาก 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) ด้านความปลอดภัย 2) ความสะดวกสบาย 3) การใช้พื้นที่ และ 4) ราคาในการก่อสร้าง เพื่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมต่อความต้องการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบรูปแบบทางจักรยาน (NACTO, 2016)

นอกจากนี้ รูปแบบของถนนจักรยาน Goodno et al. (Parks et al. 2012) นำเสนอการออกแบบทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางถนน (Center Median Cycle Lane) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เริ่มให้บริการบนถนน Pennsylvania Avenue NW Roadway เชื่อมโยงการเดินทางระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

White House และ Capitol Building ถนนดังกล่าวถือได้ว่าเป็นสายหลักขนาด 8 ช่องจราจร ปริมาณจราจรหนาแน่นและความเร็วในการขับขี่ค่อนข้างสูง มียานพาหนะขนาดใหญ่สัญจรผ่านไปมา ลักษณะกายภาพของทางจักรยานมีการออกแบบพื้นที่ปลอดภัย 2 ข้างทาง เพื่อให้ผู้ใช้จักรยานรู้สึกปลอดภัยและสะดวกสบายในการขี่



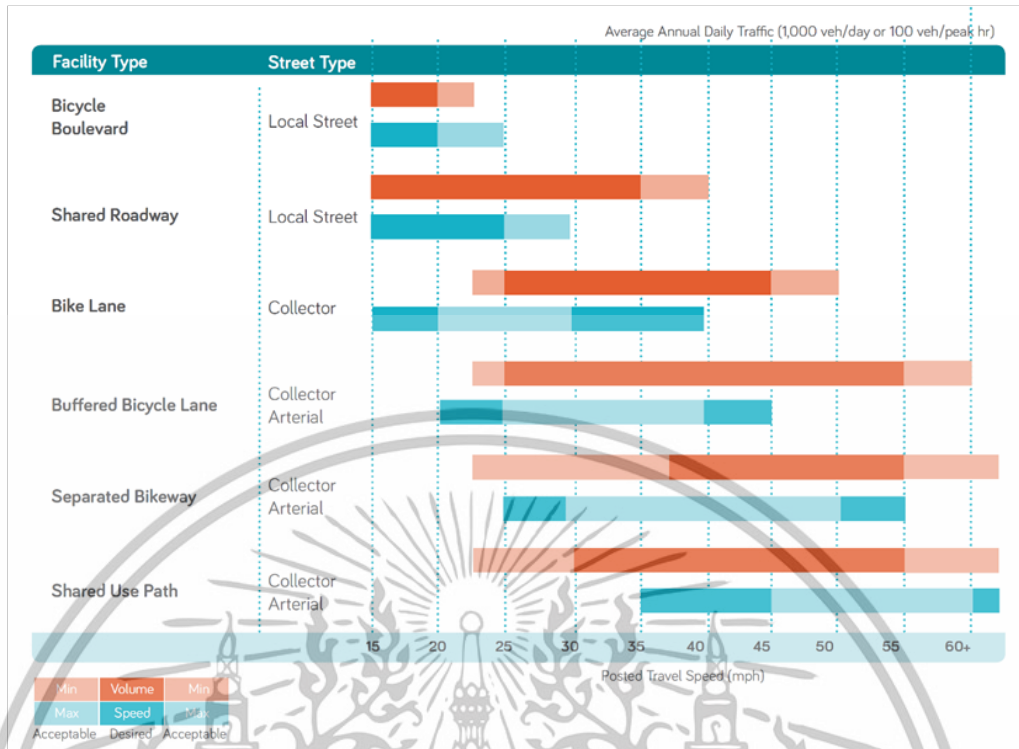
รูปที่ 2.3 ทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางของถนน (Parks et al. 2012)

ประเภทของทางจักรยานที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ส่วนใหญ่ประเทศไทยได้มีการนำมาใช้ อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะรูปแบบทางจักรยานที่จัดวางช่องจราจรไว้ด้านข้างของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Cycle Lane) ถือได้ว่าได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในขณะที่ทางจักรยานบริเวณ กึ่งกลางของถนน (Center Median Cycle Lane) ยังคงไม่มีการนำมาใช้ในประเทศไทยแต่อย่างใด จึงถือได้ว่าเป็นรูปแบบใหม่ที่ควรมีการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมกับระบบโครงข่ายถนน และพฤติกรรมการขี่จักรยานอย่างถี่ถ้วนก่อนการนำมาใช้จริง

2.1.4 การเลือกรูปแบบทางจักรยาน

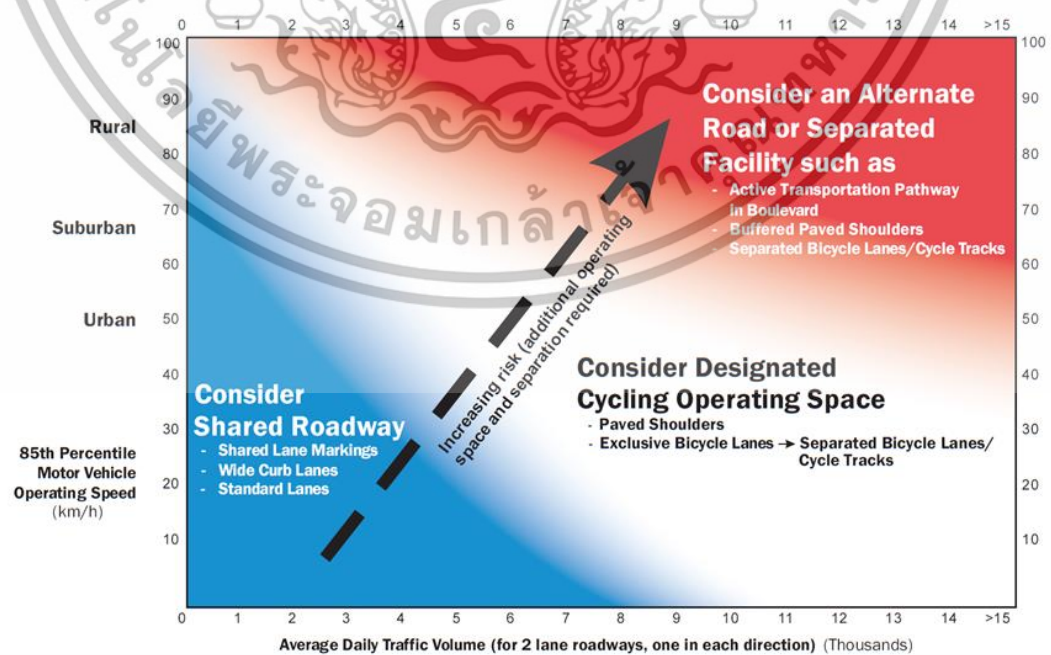
City of Long Beach (2016) เสนอแนวความคิดการเลือกประเภทของทางจักรยานกำหนดโดย ปัจจัยด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการใช้งาน โดยพิจารณาความสะดวกสบายจาก ความเร็วและปริมาณจราจรที่แตกต่างกันระหว่างทางขี่จักรยานและขั้บรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เสนอแนวทางการเริ่มต้นในการเลือกประเภทของทางจักรยาน พิจารณาจากความเร็วในการขับขี่และ ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันตลอดทั้งปี (Average Annual Daily Traffic, AADT) บนถนนที่ ต้องการออกแบบเส้นทางจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แนวทางการเลือกประเภทของทางจักรยาน (LONGBEACH. 2016)

Ontario (2014) นำเสนอแนวคิดเกณฑ์การเลือกรูปแบบทางจักรยานที่พิจารณาถึงสภาพแวดล้อมมากกว่าหลักเกณฑ์ของหน่วยงานอื่น โดยใช้แผนภูมิในรูปที่ 2.5 ประกอบด้วยแกนตั้งเป็นค่า 85th percentile (กม./ชม.) ของความเร็ว และแกนนอนเป็นปริมาณจราจรรายวัน (AADT) สำหรับถนนสองช่องจราจรในหน่วยพันคันต่อวัน



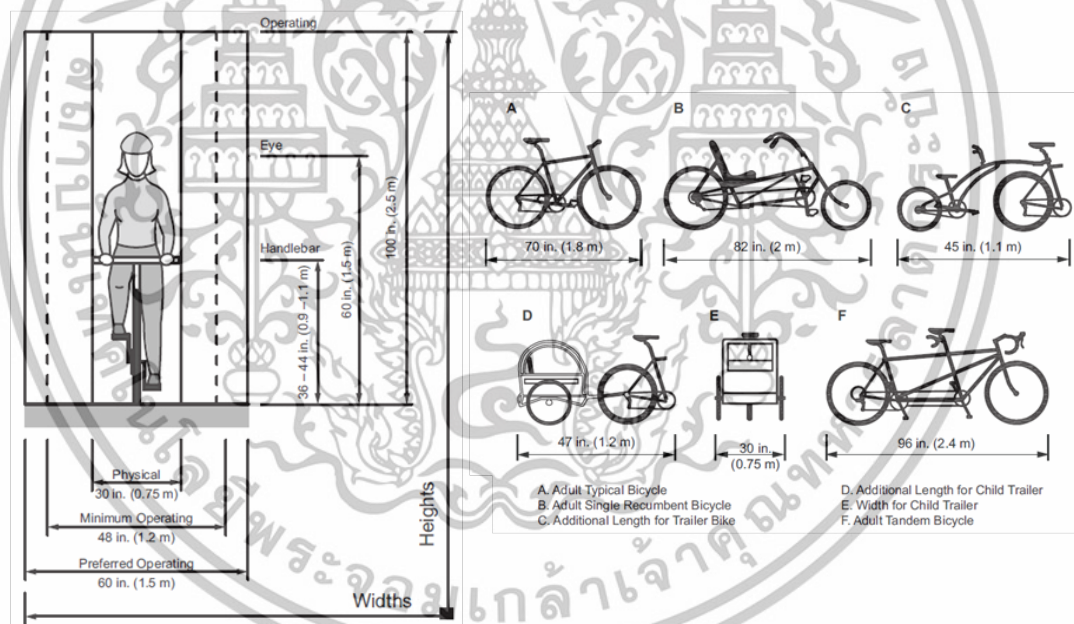
รูปที่ 2.5 เกณฑ์การเลือกรูปแบบทางจักรยาน (Ontario. 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับขี่ยานพาหนะบนถนนสายหลักในเขตเมือง ความเร็วในการขับขี่ส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในขณะที่ปริมาณจราจรต่อวัน (Average Daily Traffic Volume) จะแตกต่างกันตามประเภทของถนนและขนาดของเมือง การเลือกรูปแบบทางจักรยานควรพิจารณาให้สอดคล้องกับข้อมูลความเร็วในการขับขี่ที่สำรวจได้จากภาคสนาม จึงจะส่งเสริมให้การออกแบบมีความเหมาะสม ผู้เข้ามาใช้บริการมีความเชื่อมั่นในความปลอดภัยและความสะดวกสบาย

2.1.5 เกณฑ์การออกแบบทางจักรยาน

เกณฑ์การออกแบบทางจักรยานพิจารณาจากสรีระของคนขณะขี่จักรยาน ระยะวิกฤตใช้ในการออกแบบขนาดรูปร่างและส่วนประกอบของช่องทางจักรยานให้เหมาะสมกับจักรยานประเภทต่างๆ จากรูปที่ 2.6 ความกว้างของช่องทางจักรยานมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร เป็นระยะที่เพียงพอต่อการเคลื่อนที่ขณะขี่จักรยานอย่างอิสระ ความเร็วในการขับขี่ระหว่างรถยนต์และจักรยานร่วมกันบนถนนไม่แตกต่างกันมากนัก อาจมีระยะที่เพิ่มขึ้นในกรณีที่มีทางจักรยานมีทางลาดชัน อย่างไรก็ตามระยะดังกล่าวไม่รวมถึงกรณีด้านข้างมีสิ่งกีดขวาง เช่น รั้วเหล็ก ผนัง ขอบทางเท้า และช่องจอดรถ และระยะความสูงต่ำสุดในการออกแบบมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมตร (AASHTO. 2012)



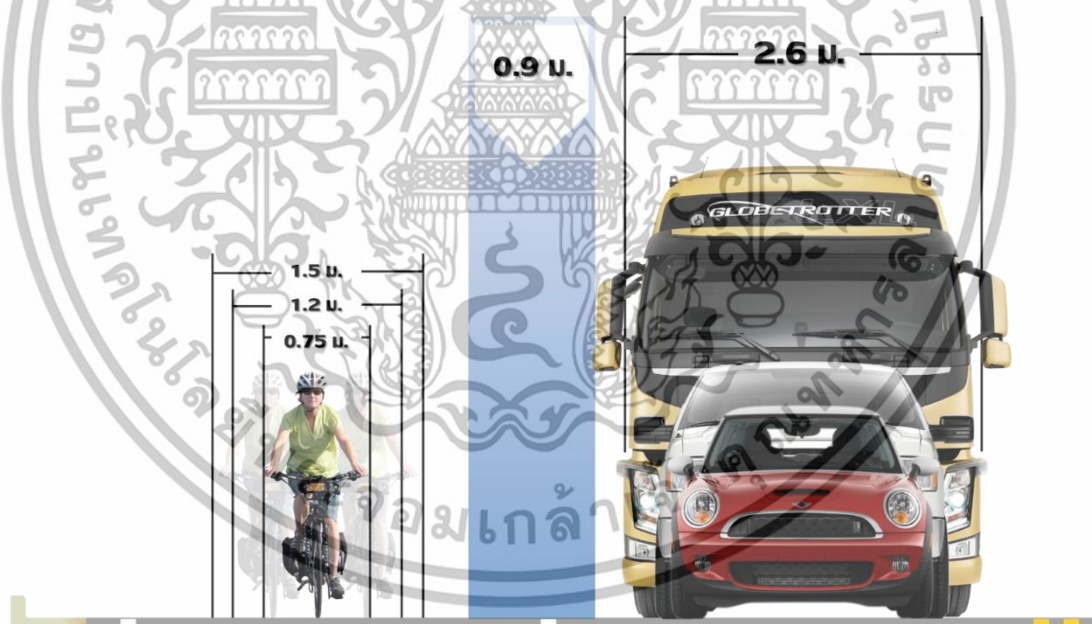
รูปที่ 2.6 พื้นที่ปฏิบัติการของนักขี่จักรยาน (AASHTO. 2012)

ความเร็วในการขี่จักรยานขึ้นอยู่กับอายุและความสามารถในการขี่ ได้แก่ ประสบการณ์ สรีระของผู้ขี่ ความสามารถในการรับรู้ ประเภทจักรยาน การจราจรบนท้องถนน ไฟฟ้าแสงสว่าง ความแรงลม การออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกและภูมิประเทศ โดยผู้ใหญ่ขี่จักรยานด้วยความเร็วประมาณ 13-24 กม./ชม. บนเส้นทางราบเรียบ ในขณะที่ผู้ขี่จักรยานที่มีร่างกายแข็งแรงจะสามารถขี่ด้วยความเร็วถึง 50 กม./ชม. ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์สมรรถภาพของผู้ขี่จักรยาน (AASHTO. 2012)

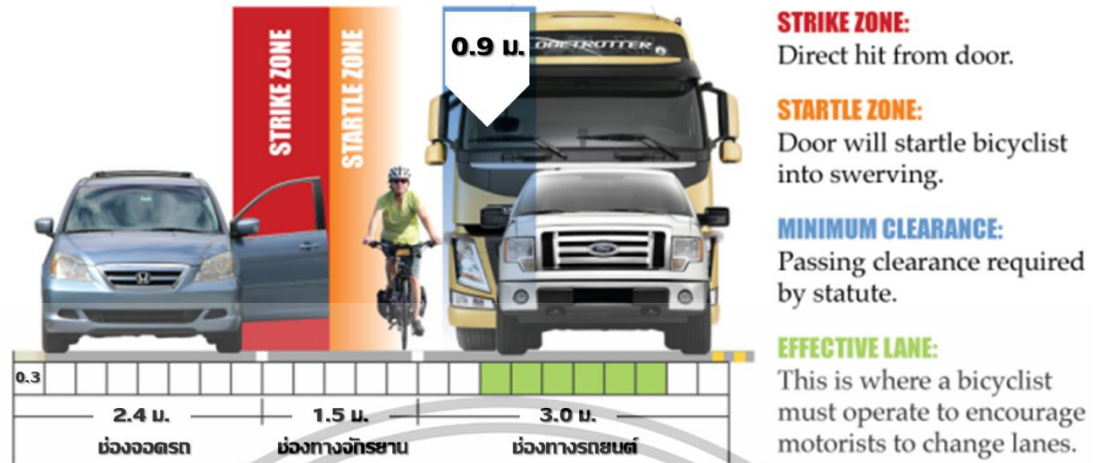
ประเภทการขี่จักรยาน	ลักษณะ	ค่า
จักรยานผู้ใหญ่นั่งปั่น	ความเร็ว ทางราบเรียบ	13-24 กม./ชม.
	ความเร็ว ทางลงเนิน	32-50 กม./ชม.
	ความเร็ว ทางขึ้นเนิน	8-19 กม./ชม.
	ระยะเวลาการรับรู้และตอบสนอง	1.0-2 วินาที
	อัตราเร่งความเร็ว	0.5-1.5 ม./วินาที ²
	ค่าแรงเสียดทานขณะหยุดผิวทางแห้งและราบเรียบ	0.30
	อัตราการลดความเร็วสภาวะผิวทางแห้งและราบเรียบ	4.8 ม./วินาที ²
	อัตราการลดความเร็วสภาวะผิวทางเปียก (ประสิทธิภาพลดลง 50-80%)	2.4-3.0 ม./วินาที ²

Metroplan Orlando (2014) เสนอมาตรฐานการออกแบบช่องทางจักรยานให้ความกว้างมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร พื้นที่การขี่จักรยาน 0.75 เมตร ความต้องการระยะปลอดภัยด้านข้างขึ้นอยู่กับประเภทของจักรยาน รวมแล้วความต้องการขนาดช่องทางจักรยานประมาณ 1.5 เมตร เพื่อให้เกิดความรู้สึกขี่จักรยานอย่างปลอดภัย และระยะปลอดภัยในการขับชี้ระหว่างช่องทางจักรยานและช่องทางรถยนต์ควรมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ระยะปลอดภัยในการออกแบบเส้นทางจักรยาน (Metroplan Orlando. 2014)

กรณีช่องทางจักรยานออกแบบให้อยู่ด้านข้างของช่องจราจรริมถนน อุบัติเหตุอาจเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์เปิดประตูกระแทกผู้ขี่จักรยาน ดังนั้น ระยะปลอดภัยด้านข้างระหว่างช่องจราจรกับช่องทางจักรยานควรเว้นระยะไว้ไม่น้อยกว่า 1.5 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระยะปลอดภัยระหว่างช่องจราจรกับช่องทางจักรยาน (Metroplan Orlando. 2014)

National Association of City Transportation Officials (NACTO. 2013) เสนอแนะขนาดของเส้นทางจักรยานแบบชีสวนทาง (Two-Way Cycle Track) ความกว้าง 3.7 เมตร หรือในพื้นที่จำกัดความกว้างต้องไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร และเสนอแนะขนาดความกว้างที่เหมาะสมจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจักรยานในชั่วโมงเร่งด่วนกับขนาดของทางจักรยานดังแสดงในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องทางจักรยานกับปริมาณจักรยาน (NACTO. 2013)

ปริมาณจักรยานในชั่วโมงเร่งด่วน (2 ทิศทาง , คัน/ชั่วโมง)	ความกว้างของทางจักรยาน (เมตร)
0 - 150	2.0
150 - 750	3.0
> 750	4.0

ตารางที่ 2.3 ขนาดของช่องทางจักรยานและระยะปลอดภัยด้านข้าง (NACTO. 2013)

	ระยะความกว้างเหมาะสม ต่ำสุด (ม.) (หมายเหตุ 1)	ระยะความกว้าง ต่ำสุด (ม.) (หมายเหตุ 1)	ระยะปลอดภัยด้านข้าง ต่ำสุด (ม.) (หมายเหตุ 2)
เดินรถทางเดียว	2.0	1.5	0.5
เดินรถ 2 ทาง	3.0	2.0	0.5

หมายเหตุ: 1) เพิ่มระยะด้านข้างช่องจักรยาน 0.5 ม. กรณีที่ด้านข้างมีสิ่งกีดขวาง เช่น รั้ว กำแพง และรั้วพุ่มไม้
2) เว้นระยะปลอดภัยด้านข้างช่องจักรยานไม่น้อยกว่า 1.0 ม. กรณีที่ด้านข้างเป็นช่องจราจรถนน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การออกแบบทางจักรยานในเขตเมือง ขนาดความกว้างของช่องทางจักรยานแบบเดินรถทางเดียวควรมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 – 2.00 เมตร หรือความกว้างขนาด 3.00 – 4.00 เมตร แบบเดินรถ 2 ทาง สามารถรองรับการใช้ความเร็วในการขี่จักรยานอย่างปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนช่องทางจักรยานด้านข้างถนนสายหลักที่ยานพาหนะขับเคลื่อนด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง (Taylor, Giang, Chau and Aumann. 2017)

2.2 แนวคิดความต้องการและความพึงพอใจในการออกแบบเส้นทางจักรยาน

แนวคิดการประเมินความต้องการและความพึงพอใจของประชาชนทั่วไปในการใช้งานทางจักรยาน เพื่อวิเคราะห์หาความเหมาะสมด้านกายภาพและสิ่งอำนวยความสะดวกของทางจักรยาน ที่จะส่งเสริมให้ผู้ขี่จักรยานพาหนะส่วนบุคคลเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Shift Mode) เป็นการใช้จักรยานในชีวิตประจำวันแทน การสำรวจข้อมูลแบ่งเป็นการสำรวจเชิงปริมาณ (Quantitative Data Collection) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Data Collection) โดยมีวัตถุประสงค์ของการสำรวจข้อมูลเป็น 2 วัตถุประสงค์หลัก ได้แก่ 1) ประเมินความต้องการของผู้ขี่จักรยานก่อนใช้ทางจักรยาน และ 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้ขี่จักรยานหลังใช้ทางจักรยาน

2.2.1 ความต้องการของผู้ขี่จักรยานก่อนใช้ทางจักรยาน

แนวคิดการประเมินความต้องการของประชาชนทั่วไปในการใช้ทางจักรยาน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลแบ่งเป็นวิธีการสัมภาษณ์ (Interview) และวิธีการแจกแบบสอบถาม (Questionnaire) ผลจากการสำรวจที่ได้ถูกนำไปข้อมูลพื้นฐานประกอบการออกแบบเส้นทางจักรยานที่จะถูกก่อสร้างขึ้นใหม่ โดยสรุปปัจจัยที่สำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดการใช้จักรยานในการเดินทางในชีวิตประจำวัน ได้แก่ รูปแบบของเส้นทางจักรยาน ความปลอดภัย ความน่าสนใจของแนวเส้นทาง จุดดึงดูดการเดินทาง ความสวยงามของบรรยากาศโดยรอบ ความสามารถเข้าถึงการใช้งานได้ง่าย ที่จอดจักรยาน การติดตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ความปลอดภัยที่เหมาะสม

Hunt and Abraham (2007) เสนอแนวคิดการศึกษาถึงปัจจัยสนับสนุนให้เกิดการใช้จักรยานด้วยวิธี Stated Preference Experiment ในประเทศแคนาดา ด้วยการใช้แบบสอบถามถึงทางเลือกในการเดินทางและข้อเสนอแนะของการใช้จักรยาน ผลการสำรวจข้อมูลพบว่า ผู้ขี่จักรยานมีความต้องการเส้นทางจักรยานมากกว่าขี่บนถนนร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นๆ ซึ่งระยะทางในการขี่จักรยานจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการขี่และจุดหมายปลายทางควรมีที่จอดรถจักรยานที่มีความปลอดภัย จึงจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการขี่จักรยานไปทำงานเพิ่มมากขึ้น

ศาสน์ สุขประเสริฐ (2556) ศึกษาแนวคิดการออกแบบเส้นทางจักรยานและรณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปใช้จักรยาน โดยแบ่งวัตถุประสงค์การใช้ทางจักรยานออกเป็นการเดินทางเพื่อประโยชน์ใช้สอย (Utilitarian Trip) และการเดินทางเพื่อนันทนาการ (Recreational Trip) ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการใช้จักรยานแบ่งออกเป็น 6 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) ความปลอดภัย 2) ระบบโครงข่ายเส้นทางจักรยานที่ไม่สามารถสนับสนุนให้เกิดการใช้จักรยาน 3) การขาดเส้นทางที่ดีทางโครงสร้าง 4)ทัศนคติที่ไม่ดีต่อการใช้จักรยาน 5) ขาดความร่วมมือกับหน่วยงานต่างๆ และ 6) ขาดแคลนแหล่งความรู้และการเผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลเดช เชาวรัตน์ และ เมธี พิริยการนนท์ (2556) ศึกษาถึงทัศนคติและพฤติกรรมการสัญจรของนิสิตและบุคลากรในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อการกำหนดนโยบายส่งเสริมการใช้จักรยาน พบว่า ทางจักรยานต้องมีความปลอดภัยและสะดวกสูง มีสิ่งอำนวยความสะดวกกันแดดกันฝน ที่จอดจักรยาน ป้ายบอกทาง ตกแต่งปรับปรุงภูมิทัศน์ให้สวยงาม ที่นั่งริมทาง ร้านจักรยาน ลานกิจกรรมจักรยาน แสงสว่างยามค่ำคืนและแผนที่เส้นทาง รูปแบบทางจักรยานที่ต้องการเป็นช่องทางจราจรสำหรับจักรยานโดยเฉพาะควบคุมความเร็วไม่เกิน 30 กม./ชม.

ณัฐชนันท์ ปลายเนตร และคณะ (2558) ศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบเบื้องต้นของการใช้จักรยานในจังหวัดนครพนมเพื่อเป็นข้อมูลนำไปสู่แนวทางการส่งเสริมให้เกิดการใช้จักรยานในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น โดยวิธีการแจกแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรม ผลการศึกษาพบว่า การใช้จักรยานในการเดินทางไปซื้อสินค้าระยะทางไม่เกิน 2 กิโลเมตร ในขณะที่เดินทางไปทำงานระยะทางไม่เกิน 5 กิโลเมตร รูปแบบวิธีการรณรงค์ที่เหมาะสมได้แก่ การจัดกิจกรรมอบรมให้ความรู้ควรทำอย่างต่อเนื่องและมีประชาสัมพันธ์ส่งเสริมให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้จักรยานอย่างปลอดภัย ส่งเสริมกิจกรรมการปั่นในวันสำคัญ ส่งเสริมการจัดระบบเส้นทางจักรยานให้มีมาตรฐานความปลอดภัย และจัดระบบการจัดการจราจรเพื่อความอุ่นใจในความปลอดภัยให้กับผู้ใช้จักรยาน

2.2.2 ความพึงพอใจของผู้ใช้จักรยานหลังใช้ทางจักรยาน

แนวคิดการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้จักรยานหลังจากได้ใช้ทางจักรยานด้วยวิธีการแจกแบบสอบถาม (Questionnaire) และการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-deep Interview) นำข้อมูลที่ได้ใช้ในการปรับปรุงแก้ไขทางจักรยานให้มีความเหมาะสมและจุดใจให้เกิดการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยภาพรวมของผลการสำรวจมักพบปัญหาและความกังวล ได้แก่ สภาพของถนน สภาพอากาศมลพิษทางอากาศ สิ่งแวดล้อมตลอดแนวเส้นทาง การเข้าถึงการใช้งาน ความต่อเนื่องของเส้นทาง การเชื่อมโยงเส้นทางกับยานพาหนะประเภทอื่น ที่จอดจักรยาน การติดตั้งป้ายจราจร การตีเส้นเครื่องหมายจราจร สิ่งกีดขวาง ไฟฟ้าส่องสว่างในตอนกลางคืน จุดบริการซ่อมบำรุงจักรยาน ความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากอุบัติเหตุและอาชญากรรม

Lott et al. (1978) ประเมินผลทั้งก่อนและหลังการก่อสร้างเส้นทางจักรยาน เพื่อวิเคราะห์ผลการสำรวจผู้ที่เข้ามาใช้บริการเส้นทางจักรยานที่ถูกสร้างขึ้น จากการศึกษาพบว่า ผู้ใช้จักรยานเปลี่ยนเส้นทางมาใช้เส้นทางจักรยานที่ก่อสร้างขึ้น ด้วยเหตุผลจากความมั่นใจในความปลอดภัยในการขี่และความสะดวกสบายที่ได้รับ ซึ่งการตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอายุของผู้ใช้จักรยาน ผู้ใช้จักรยานช่วงอายุตั้งแต่ 25 ปี ขึ้นไปรับรู้ถึงความสำคัญและจุดใจให้เปลี่ยนเส้นทางมาใช้เส้นทางจักรยานในระดับความเชื่อมั่นที่สูงมาก ในขณะที่ผู้ใช้จักรยานในช่วงอายุ 18 – 24 ปี ไม่รู้สึกสนใจและยังคงเลือกใช้เส้นทางเดิม

ศราวุธ สุวรรณสังข์ และคณะ (2551) สำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ทางจักรยานเลียบบคลองรังสิต (คลอง 3 - คลอง 5) โครงการทางจักรยานเลียบบคลองรังสิตประยูรศักดิ์ฝั่งเหนือ พบว่า กลุ่มผู้ใช้จักรยานส่วนใหญ่เป็นนักเรียนและนักศึกษา ช่วงเวลาที่ใช้เส้นทางจักรยานอยู่ระหว่าง 6.00 – 9.00 น. โดยเส้นทางจักรยานทำกิจกรรมในการเดินมากที่สุด ความถี่ในการใช้ทางจักรยานคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานๆ ครั้ง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้เส้นทางจักรยาน ได้แก่ ความปลอดภัยในการขี่ ความสะดวกในการขี่จักรยาน ความต่อเนื่องของเส้นทาง ที่จอดจักรยานปลอดภัย ความกว้างของทางจักรยาน ไม่มีสิ่งกีดขวางเส้นทาง ทักษะสภาพริมทางจักรยานสวยงาม แสงสว่างตอนกลางคืนเพียงพอ โดยภาพรวมประชาชนมีความมั่นใจในการใช้เส้นทางจักรยานเพื่อการเดินเท้ามากกว่าการขี่จักรยาน

วรลักษณ์ คงอ้วน และ สาธิตา สกุรัตน์กุลชัย (2556) ศึกษาถึงความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการเดินทางด้วยจักรยานในมหาวิทยาลัย พบว่า ปัญหาและอุปสรรคของการเดินทางด้วยจักรยาน ได้แก่ ความไม่ปลอดภัยในการขี่จักรยาน โครงข่ายทางจักรยานไม่เชื่อมโยง เส้นทางจักรยานไม่สนับสนุนให้เกิดการใช้งาน ขาดแคลนจุดจอดที่มีประสิทธิภาพ และขาดการสนับสนุนจากหน่วยงาน

วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์ (2556) ศึกษาแนวคิดความต้องการของผู้ใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน ด้วยวิธีการสัมภาษณ์ประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่ถนนประชานุทิศ พบว่า ปัญหาที่สำคัญในการขี่จักรยานบนถนน ได้แก่ ปัญหาความไม่ปลอดภัยจากการจราจรบนท้องถนน ถนนมีความกว้างที่จำกัด มีรถยนต์จอดกีดขวางในช่องทางซ้ายจึงไม่ปลอดภัยสำหรับผู้ขี่จักรยานบนถนน ผู้ใช้จักรยานต้องการให้ดำเนินการจัดช่องทางจักรยานแยกจากรถยนต์และคนเดินเท้า เส้นทางจักรยานต้องมีการเชื่อมโยงโครงข่ายการเดินทางแบบต่อเนื่อง มีป้ายแสดงเส้นทาง สร้างทัศนคติที่ดีให้กับประชาชน การให้สิทธิพิเศษแก่ผู้ที่ขี่จักรยานมาทำงาน และสร้างจุดจอดจักรยานที่ปลอดภัย

กฤษณา ถาวร (2557) ทำการวิจัยแบบมีส่วนร่วมโดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 1) ผู้บริหารเทศบาลเมืองพนัสนิคม 2) ผู้บริหารสถานศึกษา 3) ครู 4) ผู้ปกครองนักเรียน 5) นักเรียน 6) ตำรวจจราจร 7) ผู้นำชุมชน และ 8) ประชาชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการนำจักรยานมาใช้ในชีวิตประจำวัน ผลการวิจัยพบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ในครอบครัวมีจักรยาน 1 – 3 คัน เหตุผลในการใช้จักรยานเพื่อการออกกำลังกาย ปัญหาและอุปสรรคการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน ได้แก่ 1) กลัวเกิดอุบัติเหตุ 2) แดดร้อนและฝนตก 3) มีมลพิษมาก 4) ไม่มีทางสำหรับจักรยาน 5) ถนนชำรุดขรุขระ 6) กลัวสุนัขกัด 7) รถชนิดอื่นไม่มีวินัย 8) มีสิ่งกีดขวางจากหาบเร่/แผงลอย/ร้านค้า/สิ่งของบนถนน 9) ปัญหาจราจรติดขัด 10) กลางคืนไฟส่องสว่างไม่เพียงพอ 11) ไม่มีเพื่อในการปั่นจักรยาน 12) ส่วนสาธารณะที่มีทางจักรยานอยู่ไกลบ้าน 13) ถนนแคบและขอยแคบ และ 14) มิจฉาชีพชิงทรัพย์

จักรรัฐ ฆาลา และ มนสิชา เพชรานนท์ (2559) ศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของผู้ใช้จักรยานในเมืองขอนแก่น พบว่า การเดินทางโดยจักรยานของประชาชนจะเป็นการเดินทางระยะสั้นอยู่ระหว่าง 4 – 6 กิโลเมตร โดยมีวัตถุประสงค์ เป็นการเดินทางไปร้านค้า ตลาดในชุมชน และสวนสาธารณะเป็นหลัก ซึ่งสาเหตุที่ใช้จักรยานในการเดินทางเพราะมีจุดหมายปลายทางไม่ไกลมากนัก และการปั่นจักรยานเป็นการออกกำลังกายมีผลดีต่อสุขภาพ แต่ด้วยสภาพภูมิอากาศ สภาพเส้นทางที่ไม่เหมาะกับการใช้จักรยาน ความหนาแน่นของการจราจรในช่วงโมงเร่งด่วน และความเร็วของรถบนถนนทำให้ไม่ปลอดภัยในการใช้จักรยานร่วมกับยานพาหนะชนิดอื่น รวมถึงระยะเวลาที่ต้องใช้มากกว่าการเดินทางด้วยยานพาหนะชนิดอื่น ทำให้ประชาชนในเมืองขอนแก่นส่วนใหญ่ไม่นิยมใช้จักรยานในการเดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปยุตนุช รุธิรโก (2561) ศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่มีต่อการขี่จักรยานในชีวิตประจำวันของประชาชนในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลเมืองคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมในการขี่จักรยานในชีวิตประจำวันของประชาชนมีเพียงร้อยละ 32.5 ของกลุ่มตัวอย่าง มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกกำลังกาย โดยมีความถี่ในการปั่นจักรยาน 1 – 2 วันต่อสัปดาห์ ระยะทางในการขี่จักรยานแต่ละครั้งอยู่ระหว่าง 1.1 – 3.0 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาในการขี่จักรยานครั้งละประมาณ 15 – 30 นาที ปัญหาและอุปสรรคในการขี่จักรยาน ได้แก่ ความรู้สึกไม่ปลอดภัยในชีวิตถลารถชนมากที่สุด รองลงมาไม่มีช่องทางจักรยานและไม่มีที่จอดจักรยานที่ปลอดภัย

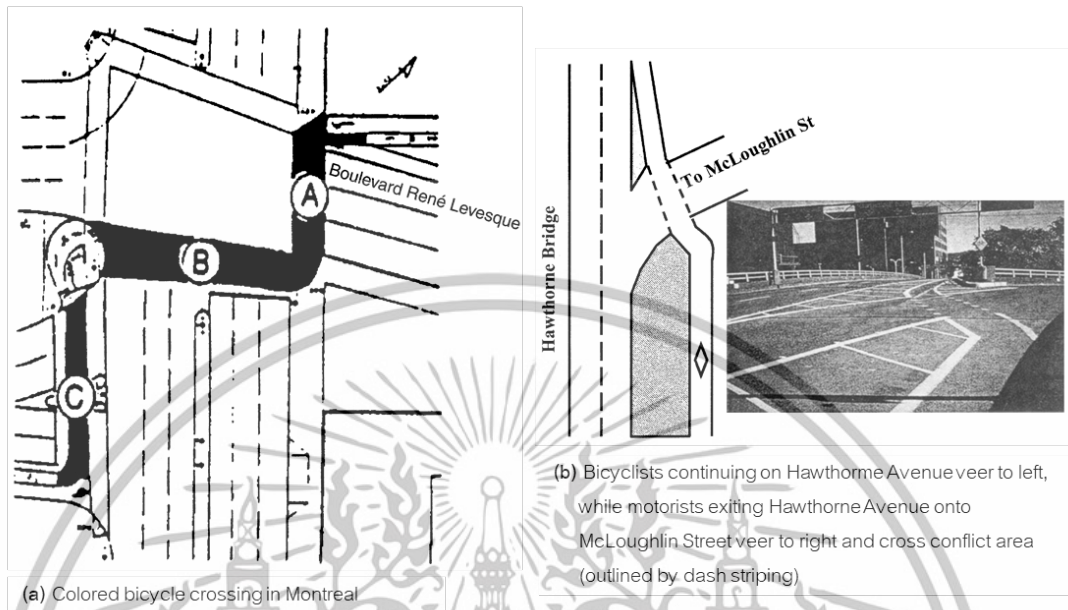
บวร ทรัพย์สิงห์ และ วิชยา โกมินทร์ (2560) ศึกษาพฤติกรรมการใช้จักรยานบนเกาะสี่ซึ่งพบว่า ประชาชนและนักท่องเที่ยวมีวัตถุประสงค์ในการใช้จักรยานที่ต่างกัน โดยประชาชนส่วนมากเป็นเด็กและเยาวชนที่ใช้จักรยานในระยะสั้นๆ เพื่อกิจกรรมในชีวิตประจำวัน แต่กลุ่มนักท่องเที่ยวส่วนมากอยู่ในวัยทำงานใช้เพื่อการท่องเที่ยวและออกกำลังกายเป็นหลัก ทั้งสองกลุ่มต่างมีความกังวลเรื่องสภาพของถนนและสิ่งแวดล้อมรอบๆ ถนน ด้านความพึงพอใจของทั้งสองกลุ่มอยู่ในระดับปานกลาง ประเด็นที่แตกต่างตามพฤติกรรมการใช้งานจักรยาน โดยประชาชนพึงพอใจเรื่องมีรูปภาพและความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ในขณะที่นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจสถานที่ท่องเที่ยวและจุดสนใจ แนวทางการส่งเสริมการขี่จักรยานประชาชนเห็นว่าควรพัฒนาถนนหรือเส้นทาง การพัฒนาแผนที่สถานที่ท่องเที่ยวและจุดสนใจ ในขณะที่นักท่องเที่ยวมีความเห็นว่าการสร้างกลุ่มสร้างเครือข่ายผู้ใช้จักรยาน มีการช่วยเหลือฉุกเฉิน และมีบริการยืมจักรยาน

2.3 แนวคิดการส่งเสริมความปลอดภัยของทางจักรยาน

การศึกษาถึงแนวคิดการออกแบบลักษณะกายภาพและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกของทางจักรยานที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการขี่จักรยาน โดยทำการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) สุ่มข้อมูลแบบเชิงปริมาณ จากการสุ่มกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้จักรยานที่ไม่ใช่ความน่าจะเป็น (Non-probability sampling) คัดเลือกแบบบังเอิญ (Accidental Selection) ข้อมูลที่สำรวจได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประกอบการออกแบบทางจากจักรยานและสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีความปลอดภัยเหมาะสมกับการใช้งานของกลุ่มเป้าหมายอย่างแท้จริง

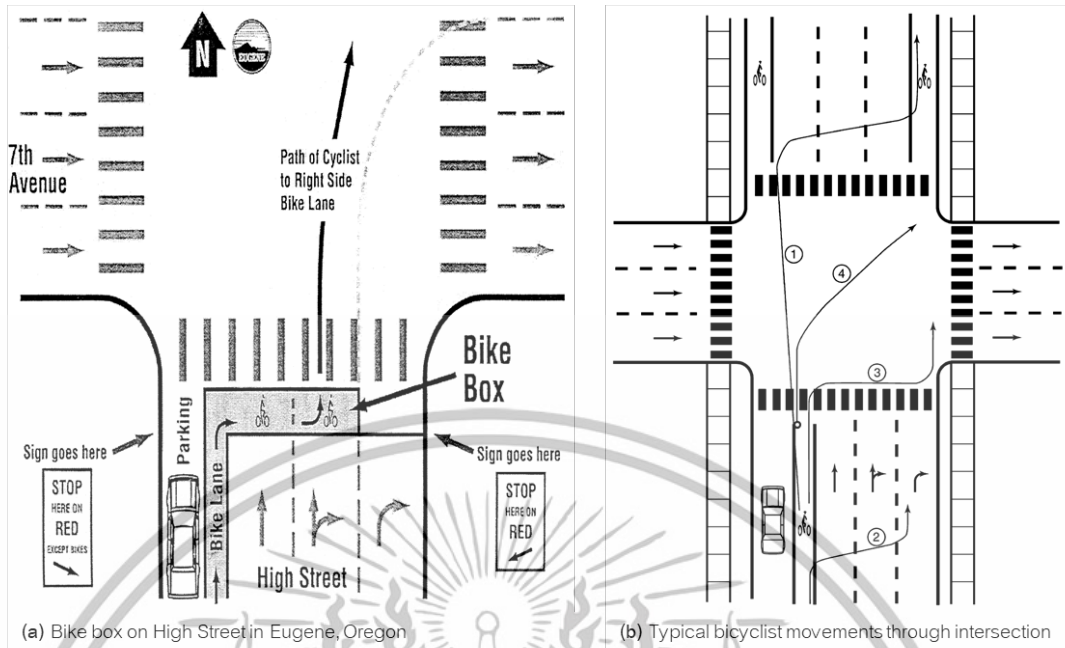
Hunter et al. (2000a) เสนอแนวคิดการตีพื้นสีฟ้าและสัญลักษณ์บนพื้นทางเส้นทางจักรยานในบริเวณที่มีจุดขัดแย้งกระแสรถจักรยาน (Conflict Area) ทำการศึกษา 10 พื้นที่ โดยตีสีฟ้าบนพื้นทางและเครื่องหมาย “Yield to Cyclist” ให้ทางผู้ใช้จักรยาน เส้นทางจักรยานมีลักษณะตรงและมีรถยนต์ต้องการสัญจรตัดข้ามทางจักรยานเพื่อออกทางร่วมหรือทางแยกดังแสดงในรูปที่ 2.9 การสำรวจข้อมูลโดยการบันทึกพฤติกรรมระหว่างการขี่จักรยานและการขับยานพาหนะด้วยกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวแบบต่อเนื่อง ผลของงานวิจัยพบว่า พฤติกรรมการขี่เปลี่ยนไปในทางที่ดี ผู้ขับรถยนต์ชะลอความเร็วให้ผู้ใช้จักรยานหรือหยุดก่อนข้ามผิวจราจรสีฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ขี่

จักรยานขี่ตามแนวช่องจราจรผิวสีฟ้าส่งผลให้ผู้ขี่จักรยานส่วนหนึ่งระมัดระวังหันไปมองรถยนต์หรือใช้สัญญาณมือขอทางก่อนขี่ผ่านบริเวณดังกล่าว ผู้ขี่จักรยานและรถยนต์รู้สึกปลอดภัยมากขึ้น



รูปที่ 2.9 ช่องทางจักรยานผิวจราจรสีฟ้าข้ามทางแยก

Hunter (2000b) ทดลองนวัตกรรมใหม่ด้วยการติดตั้ง “Bike Box” พื้นที่จอดจักรยานเพื่อรอเลี้ยวบริเวณทางแยกที่บริหารจัดการด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบ 2 ช่องจราจร สภาพการจราจรไม่หนาแน่นมากในเมือง Eugene รัฐ Oregon การทดลองด้วยการติดตั้งกล่องจอดจักรยานที่กวดัดการณ์และลักษณะการขัดแย้ง (Conflict) ของกระแสจราจรของผู้ขี่จักรยาน ผู้ขี่จักรยานยนต์ และคนข้ามถนน ทั้งก่อนและหลังติดตั้ง Bike Box ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จากการศึกษาพบว่า ผู้ขี่จักรยานส่วนมากจอดรอเลี้ยวในพื้นที่ Bike Box ปัญหาของผู้ขี่จักรยานยนต์จอดทับ Bike Box มีแนวโน้มที่ลดเมื่อขี่ผ่านทางแยกบ่อยครั้ง อัตราการเกิดของกระแสจราจรขัดแย้งระหว่างจักรยานและรถยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้ง Bike Box เปลี่ยนไปเล็กน้อย โดยไม่พบกระแสจราจรขัดแย้งหลังเริ่มมีการใช้งาน Bike Box



รูปที่ 2.10 การติดตั้ง Bike Box บริเวณทางแยก

Hunter et al. (2008) ศึกษาถึงการใส่สีเขียวและสัญลักษณ์บนพื้นทางจักรยานบนถนน Petersburg Florida บริเวณพื้นที่ช่องทางจักรยานมีการสลับช่องทางเดินรถ (Weaving Area) โดยลักษณะการขับรถยนต์ตัดสลับช่องทางจักรยานบริเวณใกล้ทางแยกดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยวัตถุประสงค์จะศึกษาเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการขับขี่จักรยานและรถยนต์ทั้งก่อนและหลังการทาสีและใส่สัญลักษณ์ จากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวในขณะที่ขี่ผ่านพื้นที่ดังกล่าว ผู้ขับขี่รถยนต์มีร้อยละที่สูงในการชะลอให้ทางผู้ขี่จักรยานอย่างมีนัยสำคัญหลังจากตีผิวทางสีเขียวและใส่สัญลักษณ์บนพื้นช่องทางจักรยาน และมีร้อยละที่ให้สัญญาณแสดงเจตนาที่จะเลี้ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ขี่จักรยานมีร้อยละที่สูงในการหันมองรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ร้อยละจุดขัดแย้งลดลงจากการลดความเร็วในการขับขี้อย่างทันทีทันใด แถวคอยรถตัดสลับช่องทางจักรยานเพื่อเลี้ยวเพิ่มขึ้น.



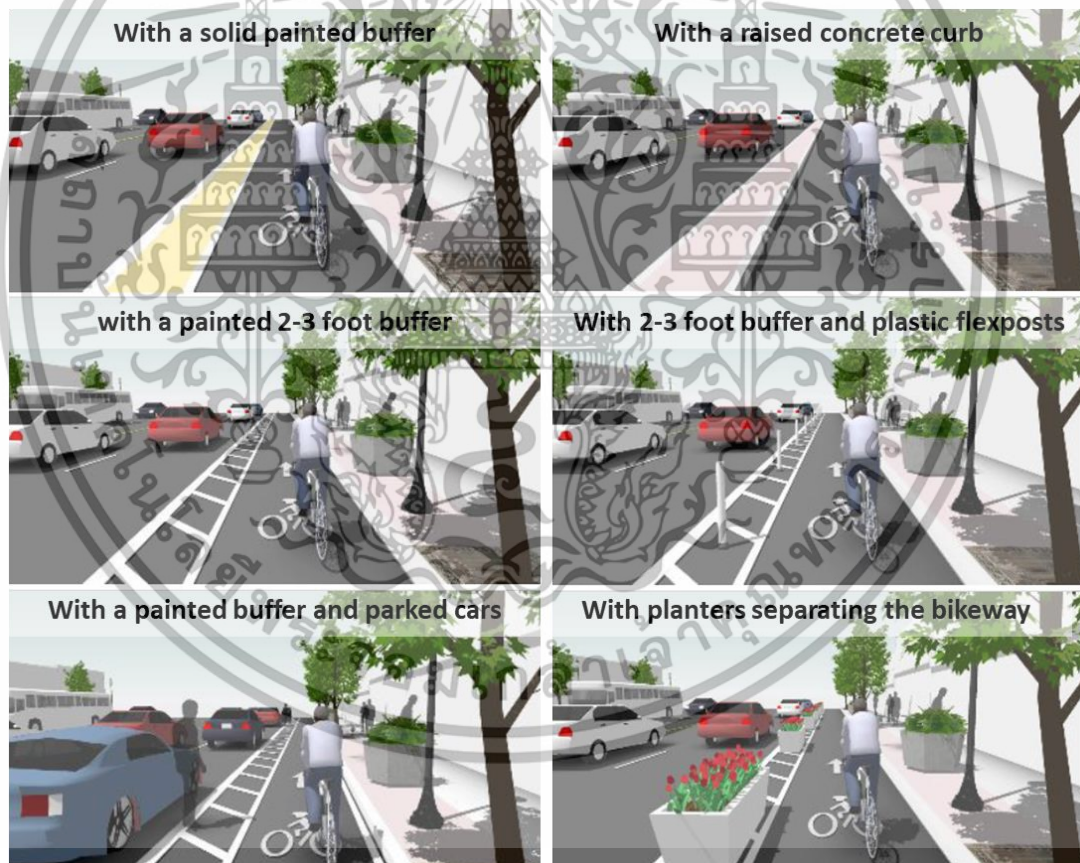
(a) Cross-section and "before" condition. (b) First "after" condition for green bike lane weaving area.

รูปที่ 2.11 ผิวช่องทางจักรยานสีเขียวบริเวณมีการสลับช่องทางเดินรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Li et al. (2015) ตรวจสอบการไหลของการจราจรบนเส้นทางจักรยาน โดยสำรวจข้อมูลจาก 4 เส้นทาง บริเวณใกล้เคียงที่มีลักษณะเป็นคอขวด (Bottlenecks) ในเมือง Nanjing China ทั้ง 1 และ 2 ช่องจราจร ด้วยวิธี Cumulative Curve Method วิเคราะห์ข้อมูลการไหลของกระแสจราจร เช่น ความเร็วของการขี่จักรยาน และความหนาแน่น บันทึกภาพเคลื่อนไหว เพื่อสร้างกราฟการไหลของกระแสจราจรและการจราจรติดขัด จากการสำรวจจากภาคสนาม ผลวิเคราะห์พบว่า ความจุของการไหลของการจราจรจักรยาน 1 และ 2 ช่องจราจร เท่ากับ 3,960 คัน/ชั่วโมง และ 8,100 คัน/ชั่วโมง ตามลำดับ ความหนาแน่นวิกฤตประมาณ 100 คันต่อกิโลเมตรต่อช่องจราจร ค่าเฉลี่ยของความเร็วและความแปรผันของความเร็วในการขี่จักรยานลดลงเมื่อความหนาแน่นของจักรยานเพิ่มขึ้น โอกาสที่มีการแซงสูงเมื่อการจราจรติดขัดไม่มาก ซึ่งการศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจถึงลักษณะของการไหลของการจราจรจักรยานและนำเสนอในการปรับปรุงการใช้งานจักรยานต่อไป

McNeil et al. (2015) ศึกษาแนวทางการออกแบบแนวป้องกัน (Buffered) และอุปกรณ์ป้องกันอันตราย (Protected) ของช่องทางจักรยานเพื่อลดความกังวลและส่งเสริมการใช้จักรยานในการเดินทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รูปแบบการออกแบบแนวป้องกันและอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ขี่จักรยานบนเส้นทางจักรยานแบบเดิม (Traditional Bike Lanes) จากการศึกษาพบว่า ร้อยละ 71 ของผู้ขี่จักรยานรับรู้ถึงการเพิ่มความสะดวกสบายในการขี่จักรยานจากการออกแบบแนวป้องกันด้านข้างด้วยการตีเส้นจราจรเว้นพื้นที่ว่าง ขณะที่แนวป้องกันที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวัตถุป้องกัน เช่น เสาียงหรือพลาสติกล้มลุก เพิ่มความรู้ด้านความรู้สึกปลอดภัยในขณะที่จักรยาน อย่างไรก็ตาม ร้อยละ 88 ของผู้ที่รับรู้ยังคงกังวลโดยให้ความเห็นว่าจะเป็นการดีอย่างมากถ้าเส้นทางจักรยานถูกแยกออกจากเส้นทางสัญจรหลักอย่างชัดเจนโดยการติดตั้งราวหรือแผงกั้น (Barrier)

2.4 แนวคิดการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร

การสำรวจข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical Research) ใช้ในการกำหนดตัวแปรต้น (Independent Variable) เพื่อควบคุมการสร้างแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรประกอบด้วย 1) ลักษณะกายภาพของถนน 2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน 3) ปริมาณจราจร 4) ความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง 5) ความเร็วในการขับขี่ และ 6) การบริหารจัดการจราจร

2.4.1 การสำรวจข้อมูลกายภาพของถนน

ลักษณะทางกายภาพของถนนแบ่งเป็นแนวเส้นทาง ขนาด รูปร่าง ประเภท และลำดับคีย์ของถนน (AASHTO. 2011; NCHRP. 2012) เพื่อปรับแต่งระบบโครงสร้างถนนในแบบจำลองให้มีความเสมือนจริง รวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความจุ (Capacity) และความสามารถในการให้บริการ (Level of Service) ของถนน อ้างอิงวิธีการคำนวณจาก Highway Capacity Manual (Transportation Research Board. 2010) นอกจากนี้ Prastacos (Prastacos. 1991) นำเสนอแนวคิดในการนำแผนที่ดาวเทียมมาตราส่วน 1:4000 นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการสร้างฐานข้อมูลระบบโครงข่ายถนนสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างระบบโครงข่ายถนนที่มีความถูกต้องและนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม AIMSUN Microsimulation Model ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

2.4.2 การสำรวจข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ นำเสนอโดย Von Quintus et al. (2012) แบ่งพื้นที่เป็น 1) ที่อยู่อาศัย (Residential Area) 2) สถานศึกษา (School Area) 3) ย่านพาณิชยกรรม (Commercial Area) 4) ย่านธุรกิจ (Business Area) 5) สถานที่ราชการ (Government Officer Area) และ 6) พื้นที่นันทนาการ (Recreation Area) เพื่อการจัดกลุ่มและแบ่งพื้นที่ย่อย (Zone) ให้สอดคล้องกับความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดกำเนิดและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (Trip Production and Trip Attraction) (NCHRP. 2012)

2.4.3 การสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร

Austroroads (Han and Luk. 2013) และ Smith et al. (2002) เสนอขั้นตอนการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามโดยใช้ผู้สำรวจในการจดบันทึกและการประยุกต์ใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในการนับ โดยแบ่งตำแหน่งการสำรวจออกเป็น 1) การสำรวจบริเวณทางแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Turning Movement Count, TMC) และ 2) การสำรวจแบบช่วงถนน (Mid-block Count, MB) ตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยแยกปริมาณจราจรตามทิศทางทางการเดินทาง แฉกนับทุก 15 นาที แบ่งประเภทยานพาหนะ 11 ประเภท อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการนำข้อมูลปริมาณจราจรในแบบจำลองเป็นหน่วยเดียวกัน จำนวนยานพาหนะแต่ละประเภทที่สำรวจได้ต้องแปลงเป็นจำนวนเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) จากการใช้ค่าตัวคูณ (Passenger Car Equivalent, PCE) ก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป (สำนักอำนวยการความปลอดภัย. 2560) ดังแสดงค่าตัวคูณ (Passenger Car Equivalent, PCE) ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การจำแนกยานพาหนะเพื่อการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร

ประเภท	ชนิดของยานพาหนะ	PCE Factor	รูปประกอบ
ประเภทที่ 1	รถจักรยานยนต์ (Motorcycle, MC)	0.33	
ประเภทที่ 2	รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน (Car<7P, PC)	1.00	
ประเภทที่ 3	รถยนต์นั่งเกิน 7 คน (Car>7P, PC-L)	1.00	
ประเภทที่ 4	รถบรรทุกเล็ก 4 ล้อ (Light Truck, LT)	1.00	
ประเภทที่ 5	รถโดยสารขนาดเล็ก (Light Bus, LB)	1.50	
ประเภทที่ 6	รถโดยสารขนาดกลาง (Medium Bus, MB)	1.50	
ประเภทที่ 7	รถบรรทุกกลาง 6 ล้อ (Medium Truck, MT)	2.10	
ประเภทที่ 8	รถโดยสารขนาดใหญ่ (Heavy Bus, HB)	2.10	
ประเภทที่ 9	รถบรรทุก 10 ล้อ (Heavy Truck, HT)	2.50	
ประเภทที่ 10	รถบรรทุกพ่วง (Full Trailer, FT)	2.50	
ประเภทที่ 11	รถบรรทุกกึ่งพ่วง (SemiTrailer, ST)	2.50	

2.4.4 การสำรวจข้อมูลการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง

Schaefer (1988) และ Gury and Fricker (2005) อธิบายแนวคิดการสำรวจข้อมูลการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง (Origin-Destination Survey) ด้วยวิธี License Plate Matching Technique จากการกำหนดตำแหน่งการสำรวจบนโครงข่ายถนนที่มีลักษณะเส้นทางเชื่อมโยงพื้นที่ย่อย (Zone) ครอบคลุมพื้นที่โครงข่ายถนนที่พิจารณา ข้อมูลป้ายทะเบียนและเวลาถูกบันทึก และนำมาจับคู่ในแต่ละตำแหน่งการสำรวจเพื่อหาปริมาณพาหนะแต่ละคันที่เดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยและระยะเวลาในการเดินทางดังแสดงในรูปที่ 2.13 เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางระหว่างจุดกำหนด (Origin) และจุดสิ้นสุด (Destination) ตามพื้นที่ย่อยที่กำหนดไว้

2.4.5 การสำรวจข้อมูลความเร็วในการเดินทาง

Turner et al. (1998) นำอุปกรณ์บอกตำแหน่งที่อยู่บนพื้นโลกด้วยระบบ GPS (Global Positioning System, GPS) ติดตั้งบนรถทดสอบเพื่อการสำรวจความเร็วในการเดินทางด้วยวิธี Test Vehicle Techniques ข้อมูลที่สำรวจได้ในแต่ละช่วงถนนประกอบด้วย 1) ความเร็วในการขับขี่ 2) ระยะเวลาในการเดินทาง และ 3) ระยะเวลาหยุดรถ ใช้ในการนำเข้าสู่ข้อมูลด้านความเร็วในแบบจำลองและการสอบเทียบความล่าช้าในการเดินทาง ต่อมา Stevanovic and Zlatkovic (2013) นำเสนออุปกรณ์กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวระบบ GPS (GPS Car Video Recorder) ใช้ในการติดตั้งหน้ารถทดสอบแทน ข้อมูลที่สำรวจเป็นภาพเคลื่อนไหวระบุตำแหน่งของภาพจากระบบ GPS ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์สภาพการจราจร การใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 ข้างถนน ปัญหาและอุปสรรคในการเดินทาง

2.4.6 การสำรวจข้อมูลบริหารจัดการจราจร

การสำรวจภาคสนามและสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การบริหารจัดการจราจรบริเวณโดยรอบพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 1) การบริหารจัดการควบคุมทางแยก 2) การจัดการเดินรถ 3) พื้นที่จอดรถ 4) ตำแหน่งจุดกลับรถ และ 5) การจัดการทางเข้าออกพื้นที่ ข้อมูลที่สำรวจได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างและสอบเทียบแบบจำลองให้มีการบริหารจัดการจราจรเสมือนกับสภาพการจราจรจริง (AIMSUN, 2014; DPTI, 2013)

2.5 แนวคิดการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

2.5.1 โปรแกรมจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Simulation Software)

2.5.1.1 ประเภทของโปรแกรมจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการยอมรับในการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงบนถนนโครงข่าย เพื่อการทดสอบสมมติฐานของงานวิจัยและวิเคราะห์ความเหมาะสมของการออกแบบด้านวิศวกรรมจราจร เช่น AIMSUN, Paramics, CORSIM, SUMO, VISSIM, TRANSIMS และ TransModeler

AIMSUN Next Models พัฒนาขึ้นโดย AIMSUN เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายใช้เป็นเครื่องมือในงานวิจัยเชิงทดสอบ (Experimental Research) สมมติฐานของงานวิจัย จากการสร้างแบบจำลองระบบโครงข่ายถนน นำเข้าสู่ข้อมูลด้านการจราจร กำหนดพฤติกรรมในการขับขี่ และเลือกรูปแบบในการเดินทาง เช่น รถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยสารประจำทาง รถบรรทุก รถรางไฟฟ้า จักรยาน และคนเดินเท้า กระบวนการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงประมวลผลบนพื้นฐานอ้างอิงตามทฤษฎีด้านวิศวกรรมจราจร แสดงสถานการณ์จราจรในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ พร้อมกับแสดงผลเชิงตัวเลขและกราฟเมื่อการจำลองสถานการณ์การจราจรสิ้นสุด ส่วนประกอบหลักของโปรแกรมแบ่งเป็น 4 โมดูลหลัก ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Dynamic Simulations 2) Microscopic Simulator 3) Mesoscopic Simulator และ 4) Hybrid Simulator ครอบคลุมการบริหารจัดการระบบโครงข่ายถนนในทุกกระดับ

Paramics (Parallel Microscopic Simulation) จำหน่ายโดย Quadstone Paramics (UK) โปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองการจราจรในระดับการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรบริเวณทางแยกถึงการวิเคราะห์โครงข่ายถนนระดับเมือง แสดงผลระหว่างการจำลองทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ จำลองการเดินทางได้ทั้งรถยนต์ รถโดยสาร รถราง และคนเดินเท้า องค์ประกอบของการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย โหนด (Node) และลิงค์ (Link) เชื่อมโยงการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยจุดต้นทาง (Origin Zone) และปลายทาง (Destination Zone) ตามพฤติกรรมทางการเดินทางในแบบจำลอง Micro Simulation

CORSIM (CORridor SIMulation) สนับสนุนการพัฒนาโดย The Federal Highway Administration (FHWA) ใช้สำหรับจำลองสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก ระบบโครงข่ายถนนในเมืองและทางหลวง ประกอบด้วย Micro Simulation จำนวน 2 โมดูล ได้แก่ 1) NETSIM จำลองระบบโครงข่ายถนนในเมือง และ 2) FRESIM จำลองระบบโครงข่ายถนนทางหลวง การจำลองสถานการณ์จราจรของยานพาหนะพิจารณาเฉพาะคันตามลักษณะทางกายภาพของถนน พฤติกรรมการขับขี่ และค่าพารามิเตอร์ควบคุม สามารถสรุปผลการจำลองใน Excel Workbook รูปแบบ Comma Separated File

SUMO (Simulation of Urban Mobility) โปรแกรมลักษณะ Open Source พัฒนาโดย German Aerospace Centre ได้รับความนิยมในการจำลองลักษณะการชนของยานพาหนะในการเกิดอุบัติเหตุตามพฤติกรรมการขับขี่ เช่น การเปลี่ยนช่องจราจรและการขับขี่ผ่านทางแยก ลักษณะของยานพาหนะสามารถจำลองได้ประเภทเดียว ร่วมกับระบบขนส่งสาธารณะและคนเดินเท้า การควบคุมการจำลองสถานการณ์จราจร เปิดให้พัฒนากระบวนการวิเคราะห์ผ่าน APIs ที่เตรียมไว้เพื่อการพัฒนาโปรแกรม SUMO

VISSIM พัฒนาโดย PTV (Planung Transport Verkehr AG) เมืองคาลส์รูเออ ประเทศเยอรมนี โปรแกรมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) PTV Visum วิเคราะห์และคาดการณ์จราจร และ 2) PTV Vistro วิเคราะห์รอบสัญญาณไฟและผลกระทบด้านการจราจร โปรแกรม VISSIM ได้รับความนิยมในการจำลองสถานการณ์จราจรเพื่อการตรวจสอบและประเมินผลนโยบายด้านการจราจร รูปแบบใหม่ สามารถจำลองยานพาหนะพร้อมกันหลายรูปแบบ ได้แก่ ยานพาหนะส่วนบุคคล รถโดยสาร รถบรรทุก รถไฟ และรถไฟรางเบา พร้อมกับคนเดินเท้าและจักรยาน โปรแกรม VISSIM ส่วนของ Component Object Model (COM) ยอมให้ผู้ใช้งานสามารถพัฒนาประยุกต์กระบวนการจำลอง เช่น การควบคุมสัญญาณไฟจราจร เส้นทางการเดินทาง และพฤติกรรมการขับขี่ด้วยภาษา C++, Visual Basic และ Python

TRANSIMS (TRAnspOrtation ANalysis and SIMulaiton System) พัฒนาโดย Los Alamos National Laboratory (USA) โปรแกรมประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องมือ Cellular Automation ในการวิเคราะห์ระบบคมนาคมและขนส่งระดับภูมิภาค จากการขนส่งเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางอย่างน้อย 2 รูปแบบ ในแต่ละเที่ยวการเดินทาง เช่น ทางถนน ทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ โปรแกรม TRANSIMS มีกระบวนการคาดการณ์การเดินทางโดยวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะบุคคลจากระยะเวลาในการเดินทาง ข้อมูลส่วนบุคคล การเลือกใช้เส้นทาง และการจำลองพฤติกรรมการขับขี่เฉพาะบุคคล

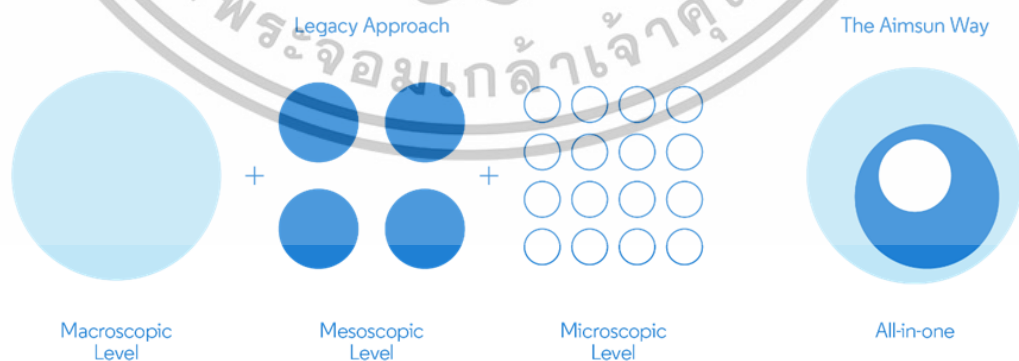
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Actuated) การบริหารจัดการระบบขนส่งสาธารณะ การประยุกต์การบริหารจัดการจราจร เช่น ป้ายเปลี่ยนข้อความ (Variable Message Sign, VMS) การสงบการจราจร (Traffic Calming) และการจัดการทางเข้าออกทาง (Ramp Metering Policies) และการประมาณผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ (Pollutant Emissions) และการใช้พลังงาน (Energy Consumption)

Microscopic Simulator เป็นการจำลองพฤติกรรมรถที่ขับขึ้นยานพาหนะแต่ละคันบนโครงข่ายถนนต่อเนื่องในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยจำลองจากความหลากหลายของพฤติกรรมรถที่ขับขึ้น เช่น การขับขึ้นยานพาหนะตามกัน (Car Following) และการขับขึ้นเปลี่ยนช่องจราจร (Lane Change) รวมถึงการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Models) เช่น Fuel Consumption Model และ Panis et al. Emission Model ทั้งนี้ Microscopic Simulator ยังสามารถผสมผสานการจำลองเหตุการณ์จราจรทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยการจำลองแบบต่อเนื่อง เช่น การเคลื่อนตัวของยานพาหนะ (Vehicles) และการตรวจวัดยานพาหนะ (Detectors) การจำลองสถานการณ์จะต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่กำหนดหรือแบ่งช่วงระยะเวลาสั้นๆ ตามการจำลองแบบวงรอบหรือตามลำดับขั้น ส่วนการจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น สัญญาณไฟจราจร (Traffic Signal) และตำแหน่งทางเข้า (Entrance Points) การจำลองสถานการณ์จะเปลี่ยนไปตามเวลาที่กำหนดระหว่างการจำลองสถานการณ์แบบต่อเนื่อง นอกจากนี้ Microscopic Simulator ยังสามารถจำลองการเคลื่อนของยานพาหนะ (Vehicles) พร้อมกับจำลองคนเดินเท้า (Pedestrians) ในช่วงเวลาเดียวกันโดยใช้โมดูล Legion Pedestrian Simulator เพื่อให้การสร้างแบบจำลองมีสถานการณ์ที่สมจริงตามพฤติกรรมการเดินทางของผู้ใช้รถใช้ถนน

Mesoscopic Simulator ภาพรวมจะมีลักษณะการจำลองแบบ Microscopic Simulation แต่พฤติกรรมของการจำลองจะสูญเสียความสมจริงไปเล็กน้อย เช่น การขับขึ้นยานพาหนะตามกันและการขับขึ้นเปลี่ยนช่องจราจรจากการตัดพื้นที่ย่อยส่วนที่สนใจเพื่อจำลองสถานการณ์แบบเฉพาะเจาะจง

Hybrid Simulator การสร้างแบบจำลองครอบคลุมโครงข่ายถนนในบริเวณพื้นที่ขนาดใหญ่สามารถจำลองร่วมกับ Microscopic Simulator ในการนำเข้าสู่ข้อมูลอย่างละเอียดเพื่อจำลองพื้นที่ย่อย และ Mesoscopic Simulator ในการจำลองตัดพื้นที่ย่อยที่สนใจบางส่วนเพื่อให้สถานการณ์จำลองมีความน่าเชื่อถือและลดระยะเวลาในการประมวลผล



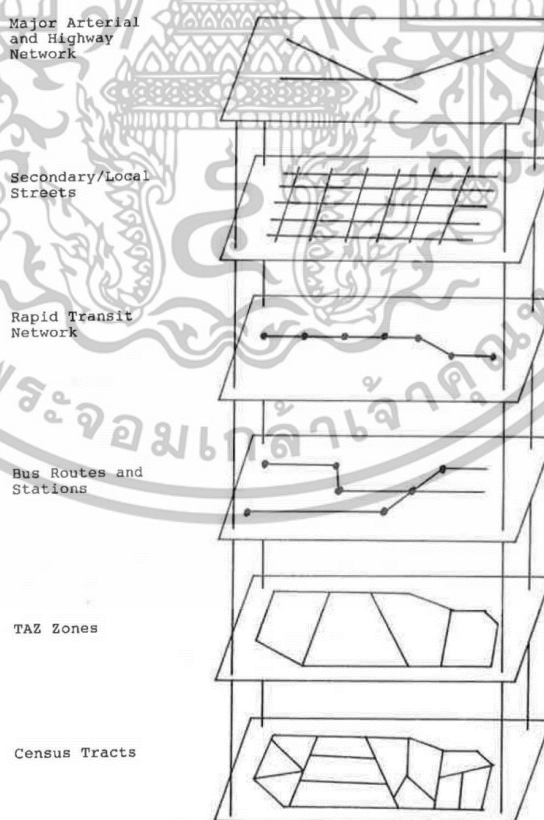
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของโปรแกรม AIMSUN (AIMSUN. 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม AIMSUN Microsimulation Model แบ่งขั้นตอนเป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสร้างโครงข่ายถนน 2) นำเข้าข้อมูลด้านการจราจร 3) เติมเต็มข้อมูลที่ขาดหาย 4) ประมาณค่าปริมาณจราจรบนถนน 5) ประเมินสภาพการจราจรจริง 6) กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ในการนำเข้าแบบจำลอง และ 7) ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ผลการจำลองมีความเสมือนข้อมูลที่สำรวจได้จากภาคสนาม (Wu, Lu, Horowitz and Shladover. 2016)

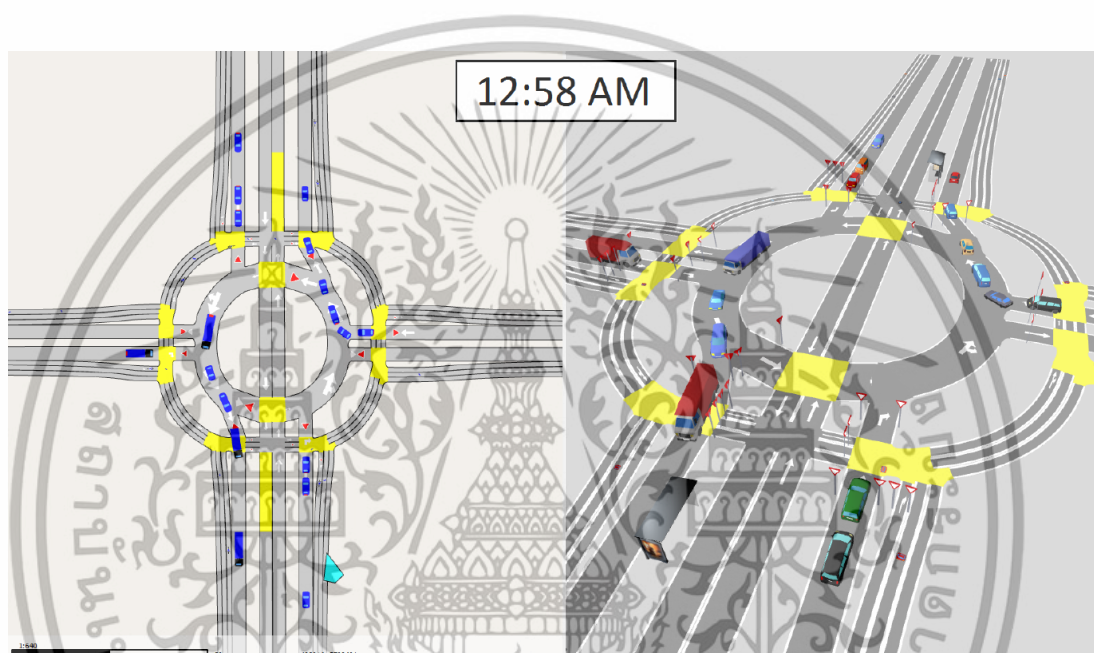
นอกจากนี้ โปรแกรม AIMSUN Microsimulation Model มีความสามารถในการสร้างระบบโครงข่ายถนนจากการนำเข้าฐานข้อมูลระบบโครงข่ายถนนสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ประกอบด้วย ถนน (Link) และทางแยก (Node) เชื่อมโยงรายละเอียดข้อมูลด้านกายภาพ คุณลักษณะเฉพาะและลำดับคีย์ของถนน (AASHTO. 2011; Transportation Research Board. 2010) ซึ่งสามารถลดขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองและเพิ่มศักยภาพการนำเข้าข้อมูลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การจัดเตรียมฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้มีความสมบูรณ์ Prastacos (Prastacos. 1991) นำเสนอชั้นข้อมูล (Data Layers) ที่ควรมีการนำเข้าเพื่อการวางแผนและออกแบบงานคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 1) ระบบโครงข่ายถนนสายหลัก 2) ระบบโครงข่ายถนนสายรอง 3) โครงข่ายเส้นทางระบบรถไฟฟ้า 4) เส้นทางเดินรถโดยสารประจำทาง 5) การแบ่งขอบเขตเมือง และ 6) พื้นที่ย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ชั้นข้อมูลระบบคมนาคมและขนส่ง (Prastacos. 1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดการบริหารจัดการจราจรในแบบจำลองเบื้องต้น กรณีที่ระบบโครงข่ายถนนที่มีขนาดใหญ่ การบริหารจัดการทางแยกควบคุมด้วยป้ายให้ทาง (Give Way Signs) บนทางสายรอง (Minor Road) เพื่อหลีกเลี่ยงตัวแปรแทรกซ้อน (Extraneous Variable) ด้านความล่าช้าในการเดินทางจากการควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร (Levasseur et al. 2013) และพื้นที่กลางทางแยกควรกำหนดให้เป็นพื้นที่ห้ามจอด (Yellow Boxes) เพื่อป้องกันการเกิดแถวคอยขวางกระแสจราจรในทิศทางตรงข้ามซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการจราจรติดขัดแบบงูพันทาง (Gridlock Phenomena) ในขณะการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 2.17 (Doniec, Mandiau, Piechowiak and Espié. 2008; Høsser. 2017)



รูปที่ 2.17 แสดงพื้นที่ห้ามจอด (Yellow Boxes) บริเวณทางแยก (Høsser. 2017)

2.5.3 การนำเข้าข้อมูลด้านการจราจร

การนำเข้าข้อมูลด้านการจราจรเพื่อการสร้างและการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองให้มีความเสมือนจริง โดยแบ่งเป็นข้อมูลด้านการจราจรออกเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ประกอบด้วย 1) ลักษณะกายภาพของถนน 2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน 3) ปริมาณจราจร 4) ความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง 5) ความเร็วในการขับขี่ และ 6) การบริหารจัดการจราจร (AIMSUN. 2014)

2.5.4 การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration Model)

การนำเข้าค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง เช่น ลักษณะของการจราจร พฤติกรรมการขับขี่ สมรรถนะของยานพาหนะ การบริโภคพลังงาน และการปล่อยมลพิษทางอากาศ เพื่อสอบเทียบแบบจำลองให้มีความเสมือนจริงตามข้อมูลที่สำรวจได้จากภาคสนามและข้อมูลที่ทบทวนได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยประเภทของโมเดลที่ใช้ในการประมวลผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงมีความหลากหลาย ครอบคลุมทั้งพฤติกรรมการขับขี่ การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ผลลัพธ์ได้มีความถูกต้องตามทฤษฎีที่อ้างอิงไว้ เช่น Car-following Model, Lane Changing Model, Queue Discharge, Gap Acceptance Model Giveaway Model, Fuel Consumption Model และ Panis et al. Emission Model โดยสรุปค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

พารามิเตอร์คุณลักษณะเฉพาะด้านการจราจร										
CAR	Mean	Deviation	Minimum	Maximum	Reference					
Max Desired Speed	89 km/h	5 km/h	85 km/h	95 km/h	(AIMSUN. 2014; Anya, Roupail, Frey and Schroeder. 2014; DPTI. 2013; Lu et al. 2014)					
Max Acceleration	2.70 m/s ²	0.20 m/s ²	2.20 m/s ²	3.50 m/s ²						
Normal Deceleration	3.5 m/s ²	0.20 m/s ²	3.00 m/s ²	4.00 m/s ²						
Max. Deceleration	6.00 m/s ²	0.50 m/s ²	5.00 m/s ²	7.00 m/s ²						
BIKE	Mean	Deviation	Minimum	Maximum	Reference					
Max Desired Speed	25 km/h	10 km/h	20 km/h	30 km/h	(AASHTO. 2012; AIMSUN. 2014; DPTI. 2013; Lenorzer et al. 2015; NACTO. 2016)					
Max Acceleration	1.50 m/s ²	0.20 m/s ²	1.00 m/s ²	2.00 m/s ²						
Normal Deceleration	2.20 m/s ²	0.20 m/s ²	1.40 m/s ²	3.00 m/s ²						
Max. Deceleration	3.00 m/s ²	0.25 m/s ²	2.00 m/s ²	4.00 m/s ²						
พารามิเตอร์การบริโภคพลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car)										
Fi (Idling)	F1 (at 90 km/h)	F2 (at 120 km/h)	C1 (Accelerating)	C2 (Accelerating)	Fd (Decelerating)	Minimum Consumption Speed: Vm	Reference			
0.330 (ml/s)	4.700 (l/100 km)	6.500 (l/100 km)	0.420 (ml/s)	0.260 (ml/s)	0.537 (ml/s)	50.000 (km/h)	(AIMSUN. 2014; Ferreira. 1982; Sutandi. 2007; Swidan. 2011)			
พารามิเตอร์การปล่อยมลพิษของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car)										
Pollutant	Fuel Type	Acceleration	Lower Limit	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Reference
CO ₂	Petrol	-	0	5.53e-01	1.61e-01	-2.89e-03	2.66e-01	5.11e-01	1.83e-01	(AIMSUN. 2014; Nejad, Noory and Dehnad. 2012; Panis, Broekx and Liu. 2006)
	Petrol	a ≥ -0.5 m/s ²	0	6.19e-01	8.00e-05	-4.03e-06	-4.13e-04	3.80e-04	1.77e-04	
NO _x	Petrol	a < -0.5 m/s ²	0	2.17e-04	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	
	Petrol	a ≥ -0.5 m/s ²	0	4.47e-03	7.32e-07	-2.87e-08	-3.41e-06	4.94e-06	1.66e-06	
VOC	Petrol	a < -0.5 m/s ²	0	2.63e-03	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	
	Petrol	a ≥ -0.5 m/s ²	0	2.63e-03	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	
PM	Petrol	-	0	0.00e+00	1.57e-05	-9.21e-07	0.00e+00	3.75e-05	1.89e-05	

นอกจากนี้ การสอบเทียบแบบจำลองยังรวมถึงวิธีการประมาณความต้องการในการเดินทาง (Origin-Destination Estimation) จากการปรับข้อมูลการสำรวจจุดต้นทางและปลายทาง (Origin – Destination Survey) โดยการนำเข้าความต้องการในการเดินทาง (Traffic Demand) ในรูปแบบตารางการเดินทาง วิเคราะห์ค่าประมาณความต้องการในการเดินทาง (Origin-Destination Estimation) ด้วยการจำลองซ้ำจนกว่าผลการเปรียบเทียบการจราจรที่จำลองได้จากโปรแกรม (Traffic Simulation Model) และการจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนามมีค่าใกล้เคียงผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Chalermwongphan and Upala. 2018; Oketch and Carrick. 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การสอบทานแบบจำลอง (Validation Model)

การตรวจสอบผลการจำลองปริมาณจราจรในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้สำรวจได้จากภาคสนาม ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้บนโครงข่ายถนน ว่ามีความเท่ากันหรือแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยนำทฤษฎีทางสถิติด้วยการทดสอบภาวะสุพรรณิทธิ (Goodness of Fit Test) เป็นเครื่องมือในการทดสอบ กำหนดให้ค่า Y_i คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจ และค่า X_i คือ ปริมาณจราจรที่ได้จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง: Y_1, Y_2, \dots, Y_n และ X_1, X_2, \dots, X_n , เมื่อ n คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

UK Highways Agency (1966) นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองในขั้นตอนการสอบทานแบบจำลอง (Validation Model) ด้วยการประยุกต์วิธีทางสถิติ 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธี The GEH Statistic (GEH) ที่มีรูปแบบประยุกต์มาจากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธีสถิติไคสแควร์ (Chi-Squared Statistic) ที่รวมเข้าด้วยกันระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) ดังแสดงในสมการที่ 2.1

2.5.5.1 The GEH Statistic (GEH)

$$GEH = \sqrt{\frac{2(Y_i - X_i)^2}{(Y_i + X_i)}} \quad (2.1)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

$GEH < 5$ = ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทรูปกับข้อมูลเชิงประจักษ์
 $5 < GEH < 10$ = ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทรูปปานกลางกับข้อมูลเชิงประจักษ์
 $10 > GEH$ = ผลการจำลองไม่มีความกลมกลืนสนิทรูปกับข้อมูลเชิงประจักษ์

และ 2) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ให้ผลการตรวจวัดภาวะสุพรรณิทธิ (Goodness of Fit Test) และการสร้างกราฟการวิเคราะห์เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ 1) วิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R) วัดค่าความสอดคล้องกลมกลืนของแบบจำลอง (Goodness of Model Fit) และ 2) วิเคราะห์ความลาดชันของเส้นถดถอย (Best Fit Regression Line) อธิบายผลที่ได้จากแบบจำลองว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าประมาณ ค่าที่ยอมรับได้ต้องมีค่าสูงกว่า 0.95 ระหว่างช่วง 0.9 – 1.10 โดยที่ค่า 1.0 แสดงถึงมีความกลมกลืนอย่างสมบูรณ์ดังแสดงในสมการที่ 2.2

2.5.5.2 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (2.2)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

$R^2 = 0$ คือ ผลการจำลองไม่มีความกลมกลืนสนิทรูปกับข้อมูลเชิงประจักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R^2 = 1$ คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนของ R^2 เท่ากับ $0 \leq R^2 \leq 1$

Theil (Blimel. 1973; Theil. 1966) นำเสนอวิธีการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Theil's U Statistic: URFORM (Theil's U) วิเคราะห์ค่าความถูกต้องของแบบจำลองด้วยอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ที่มีลักษณะข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา (Time Series) โดยการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลจากการคาดการณ์ในแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ดังแสดงในสมการที่ 2.3

2.5.5.3 Thiel's U Statistic: URFORM (Theil's U)

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i)^2}} \quad (2.3)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

$U = 0$ คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทระดับสูงกับข้อมูลเชิงประจักษ์

$U = 1$ คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทระดับต่ำกับข้อมูลเชิงประจักษ์

โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนของ U เท่ากับ $0 \leq U \leq 1$

Toledo and Koutsopoulod (2004) ได้กล่าวถึงวิธีการทดสอบด้วยการตรวจวัดภาวะรูปสมมติ (Goodness of Fit Test) ที่นิยมในงานวิจัยประกอบด้วย 4 วิธี ได้แก่ 1) รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) 2) เปอร์เซนต์ของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Percentage Error, RMSPE%) 3) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error, MBE) และ 4) เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Percentage Error, MPE%) ดังแสดงในสมการที่ 2.4 - 2.7

2.5.5.4 รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (2.4)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

$RMSE = 0$ คือ แบบจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์

2.5.5.5 เปอร์เซ็นต์ของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Percentage Error, RMSPE%)

$$RMSPE\% = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - X_i)^2}{Y_i}} \quad (2.5)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

RMSPE% = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์
โดยค่า RMSPE% มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100%

2.5.5.6 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error, MBE)

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i) \quad (2.6)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

MBE < 0 คือ ผลการจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์

MBE > 0 คือ ผลการจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์

2.5.5.7 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Percentage Error, MPE%)

$$MPE\% = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right)^2} \times 100 \quad (2.7)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

MPW = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์

โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของ MPW เท่ากับ $-10\% < MPW < 10\%$

Ni et al. (2004) นำเสนอวิธีการทดสอบด้วยการตรวจวัดภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness of Fit Test) เพิ่มเติม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE%) ดังแสดงในสมการที่ 2.8

2.5.5.8 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE%)

$$MAPE\% = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \left(\frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right) \times 100 \right|} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

MAPE% = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์
โดยค่า MAPE% มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100%

Annan et al. (2015) ได้กล่าวถึงค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation, MAD) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการจำลองกับข้อมูลที่สำรวจได้จากภาคสนามที่มีลักษณะข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา (Time Series) ดังแสดงในสมการที่ 2.9

2.5.5.9 ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation, MAD)

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (2.9)$$

ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้:

MBE < 0 คือ ผลการจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์

MBE > 0 คือ ผลการจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์

อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการสอบทานแบบจำลอง (Validation Model) ด้วยการทดสอบ ภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness of Fit Test) ทำได้หลายวิธี ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะเลือกใช้เพียงบางวิธี เพื่อแสดงผลวิเคราะห์เชิงพรรณนาประกอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสภาพการณ์การจราจร เสมือนจริง (Traffic Simulation Model) โดยกรณี que เลือกใช้วิธีการทดสอบภาวะสารูปสนิทธิมากกว่า 1 วิธี การประยุกต์ใช้หลักการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method ดังแสดงสูตรการ คำนวณในสมการที่ 2.10 และ 2.12 (Chalermwongphan and Upala. 2018) จึงเป็นวิธีหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลายในการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ด้านการ ประเมินโครงการ ที่มีกระบวนการให้คะแนนที่มีความชัดเจน เหมาะสมกับการพิจารณาทางเลือกและ การจัดลำดับความสำคัญที่มีหลายปัจจัยในการพิจารณาอ้างอิงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ (Kipper, Nara, Siluk and Mendes. 2014; Mitchell, Phaal and Athanassopoulou. 2018; Renkema and Berghout. 1997)

$$\varepsilon_i = |Ai_k - Vm_i| \quad (2.10)$$

$$Con_i = \left(1 - \frac{\varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n \varepsilon}\right) \quad or \quad Con_i = \frac{\varepsilon_i}{\sum_{i=1}^n \varepsilon} \quad for R^2 \quad (2.11)$$

เมื่อ:

- ε_i = ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) i
- Ai_k = ตัวชี้วัดที่ยอมรับได้ของวิธี k
- Vm_i = ค่าการวัดของวิธี i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าน้ำหนักคะแนน (Scoring Weight) กำหนดจากการตั้งสมมติฐานความสำคัญของวิธีการทดสอบ โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าผลรวมคะแนนการทดสอบ Goodness of Fit Test ดังแสดงสูตรการคำนวณในสมการที่ 3.3

$$Score = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n Con_i \times Scoring Weight_k \quad (2.12)$$

เมื่อ:

Con_i	=	ค่าการแปลงของวิธี i
$Scoring Weight_k$	=	น้ำหนักคะแนนของวิธี k
Score	=	ผลรวมคะแนนการทดสอบ Goodness of Fit Test ทั้ง 9 วิธี

2.6 แนวคิดการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การนำเข้าตัวแปรต้น (Independent Variable) จากการจัดกลุ่ม Scenario แบ่งตามสถานการณ์ที่ต้องการทดสอบในแบบจำลอง Stanek and Alexander (2016) แบ่งกลุ่มสถานการณ์จราจรตามจำนวนปริมาณยานพาหนะ ในขณะที่ Silva et al. (2015) แบ่งตามสัดส่วนร้อยละของปริมาณจราจรที่กำหนดไว้ การกระจายตัวของปริมาณจราจรในแบบจำลองในโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model (AIMSUN, 2014) สามารถสั่งการได้หลายรูปแบบตามผลการจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนามโดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) แบ่งเป็น 1) แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) 2) แบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) 3) แบบปกติ (Normal Distribution) 4) แบบคงที่ (Constant Distribution) 5) แบบภายนอก (External) และ 6) แบบ ASAP

กรณีที่งานวิจัยต้องการเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario เดียวกันระหว่าง 2 กรณีศึกษา เช่น เปรียบเทียบระหว่างกรณีช่องทางจราจรจัดวางด้านซ้ายของถนนกับกรณีช่องทางจราจรจัดวางกึ่งกลางของถนน ปริมาณจราจรที่ได้จากการจำลองของทั้ง 2 กรณี ต้องมีการทดสอบความเท่ากันด้วยการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการจำลองก่อนนำไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง Gosset (1908) หรือ Student นำเสนอการทดสอบด้วยการแจกแจง t หรือที่รู้จักในชื่อการทดสอบ Student's t-test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 กลุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยหลักการตั้งสมมติฐาน Neyman and Pearson (1928) เสนอการตรวจสอบสมมติฐานโดยใช้ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval, CI) และพื้นที่วิกฤต (Critical Region, CR) เพื่อการทดสอบนัยสำคัญของสมมติฐานงานวิจัยประกอบด้วยสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) และสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis, H_a) การกำหนดเกณฑ์การยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักบนพื้นที่วิกฤตจะอ้างอิงค่านัยสำคัญ (Significance Level, α) ซึ่ง Fisher (1950) เสนอหลักการเปรียบเทียบค่านัยสำคัญกับค่า P-Value ที่คำนวณได้เพื่อแสดงว่าค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดย Hubbard and Bayarri (2003) อธิบายเกณฑ์ในการวิเคราะห์ระดับนัยสำคัญจากค่า P-Value แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) $p < 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“มีนัยสำคัญ” (Significant) 2) $p < 0.01$ “มีนัยสำคัญระดับสูงมาก” (Very Significant) และ 3) $p < 0.001$ “มีนัยสำคัญระดับสูงมาก” (Extremely Significant) อย่างไรก็ตาม เพื่อการพิสูจน์ว่ากลุ่มตัวอย่างมีการแจกแจงแบบปกติ Pierre Simon Laplace (Gillispie and Grattan-Guinness. 2000) นำเสนอทฤษฎีแนวโน้มนำเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรในกลุ่มตัวอย่างกับการแจกแจงแบบปกติ โดยหลักการของการนำทฤษฎีไปใช้อธิบายไว้ว่า เมื่อไหร่ก็ตามที่ประชากรของกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนมากกว่า 30 ตัวอย่าง ($n \geq 30$) การกระจายค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (\bar{X}) จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งถือได้ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของการทดสอบ Student's t-test ได้กำหนดไว้

2.7 แนวคิดการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวแปรตาม (Dependent Variable) จากการนำเข้าตัวแปรต้น (Independent Variable) ในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง เพื่อการทดสอบผลกระทบด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อมตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้ตั้งไว้

2.7.1 ผลกระทบด้านการจราจร

ตัวแปรตามที่แสดงถึงผลกระทบด้านการจราจรจากการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของระบบโครงข่ายถนนหรือการบริหารจัดการจราจรรูปแบบใหม่ เพื่อการแก้ปัญหาด้านการจราจรที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและส่งเสริมความปลอดภัยในการเดินทาง จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอแนวคิดในการนำตัวแปรตามที่สะท้อนถึงผลกระทบด้านการจราจรใช้เป็นตัวแทนในการประเมินผลของการปรับปรุง ได้แก่

Kaisar et al. (2011) นำเสนอตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการเดินทาง (Average Delay Time) ใช้ในการเปรียบเทียบผลการออกแบบทางแยก 3 รูปแบบ ในโปรแกรม AIMSUN และ VISSIM ผลลัพธ์ที่ได้ของทั้ง 2 โปรแกรม ถูกนำไปทดสอบด้วยวิธี The Paired t-test ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (Level of Significant; $\alpha=0.05$) หรือระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (Confidence Level; $1-\alpha=0.95$) เพื่อการสรุปผลของการเปรียบเทียบให้มีความถูกต้องตามทฤษฎีทางสถิติ

LIN et al. (2013) ประเมินผลการบริหารจัดการจราจรบนถนนหลักจำนวน 4 สาย โดยการสร้างระบบโครงข่ายถนนครอบคลุมศูนย์กลางย่านธุรกิจของเมือง Beijing Central Business District (CBD) ในโปรแกรม VISSIM ผลการจำลองถูกวิเคราะห์ด้วยตัวแปรตาม 4 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความยาวแถวคอย (Queue Length) 2) ระยะเวลาในการเดินทาง (Travel Time) 3) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) 4) ความเร็วในการเดินทาง (Travel Speed)

Tu and Sano (2014) เปรียบเทียบลักษณะของทางข้ามคนเดินเท้าระหว่าง Normal Crossings และ Scramble Crossing จากการนำเข้าปริมาณจราจรของยานพาหนะและคนเดินเท้าที่แตกต่างกันตามสถานการณ์จราจร (Scenario) ในโปรแกรม PARAMICS ผลลัพธ์ที่ได้แสดงการ

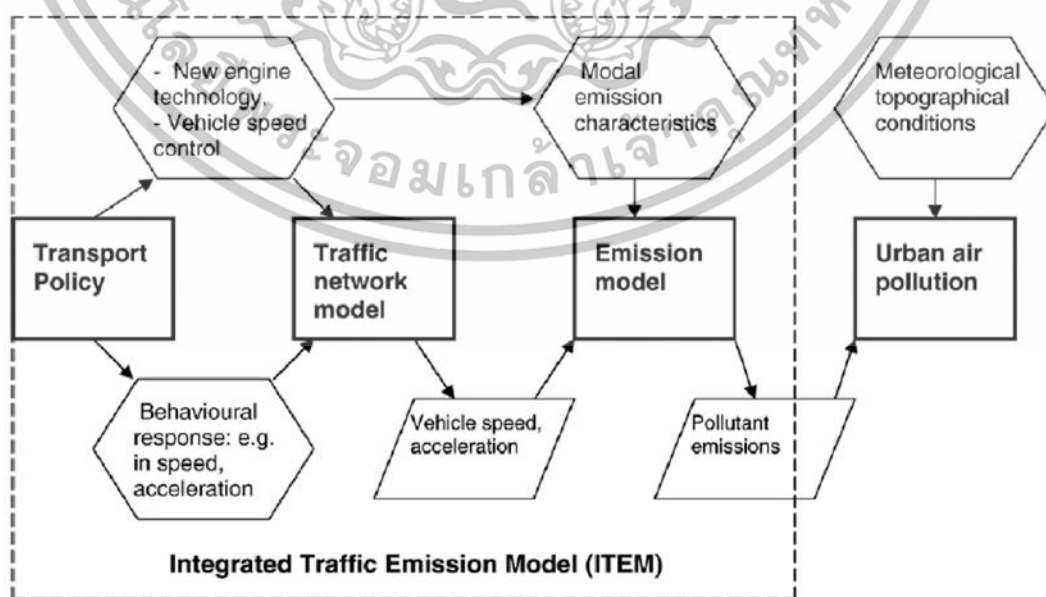
เปรียบเทียบตัวแปรตามที่ได้จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ได้แก่ ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) และจุดขัดแย้งที่เกิดขึ้น (Conflict Point)

Staneek and Alexander (2016) วิเคราะห์ผลกระทบด้านการจราจรจากการออกแบบทางจักรยานและทางข้ามของคนเดินเท้าบริเวณทางแยก แบ่งรูปแบบการเดินทางที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) รถยนต์ 2) จักรยาน และ 3) คนเดินเท้า ด้วยโปรแกรม VISSIM Traffic Analysis Software ผลการวิจัยนำไปปัจจัยด้านความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยก (Average Intersection Delay) ในแต่ละทิศทางการเดินรถใช้เป็นตัวแปรตามเพื่อการประเมินผลการออกแบบ

2.7.2 ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

ตัวแปรตามที่แสดงผลการปล่อยมลพิษของยานพาหนะ จากการทดสอบแนวทางการปรับปรุงโครงสร้างการบริหารจัดการจราจรแบบใหม่เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประหยัดพลังงานในการเดินทางและลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จากการทบทวนแนวคิดของงานวิจัยที่ผ่านมาตัวแปรตามที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ได้แก่

Nejad et al. (2012) วิเคราะห์มลพิษทางอากาศจากการเปรียบเทียบนโยบายการบริหารจัดการจราจรของภาครัฐแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพปัจจุบัน กรณีที่ 2 กำจัดความเร็วของยานพาหนะเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิง และ กรณีที่ 3 การอนุญาตให้ใช้ยานพาหนะเฉพาะวันคู่และวันคี่แบ่งกลุ่มจากเลขตัวสุดท้ายของป้ายทะเบียน โดยการจำลอง Traffic Micro-simulation และ Pollutant Emission ในโปรแกรม AIMSUN ผลลัพธ์ที่ได้แบ่งตัวแปรตามที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 4 ตัวแปร ได้แก่ 1) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) 2) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x) 3) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) และ 4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM)



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบ Integrated Traffic Emission Model (ITEM) (Nejad et al. 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stevanovic and Zlatkovic (2013) ประเมินผลการทำงานของสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Adaptive Traffic Control System, ATCS) จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในโปรแกรม VISSIM กรณีศึกษาถนน SR 421 Road ในเมือง Port Orange ผลการจำลองแสดงตัวแปรตามที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ 5 ตัวแปร ได้แก่ 1) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) 2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) 3) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC) 4) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x) และ 5) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption)

Anya et al. (2014) จำลองการปล่อยมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์โดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์การปล่อยมลพิษของยานพาหนะในแบบจำลอง Microscopic Simulation Model ด้วยโปรแกรม AIMSUN เปรียบเทียบกับมลพิษทางอากาศที่สำรวจได้จากภาคสนามแบ่งเป็น 4 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) ไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide, NO) 2) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC) 3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) และ 4) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂)

Silva et al. (2015) ประเมินผลการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของยานพาหนะ การเกิดฝุ่นละออง และการปล่อยมลพิษทางอากาศ ในซับซ้อนยานพาหนะผ่านวงเวียนที่ออกแบบใหม่ Turbo-roundabouts สร้างในแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง โดยสรุปผลการเปลี่ยนแปลงจาก 6 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption) 2) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) 3) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) 4) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) 5) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x) และ 6) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

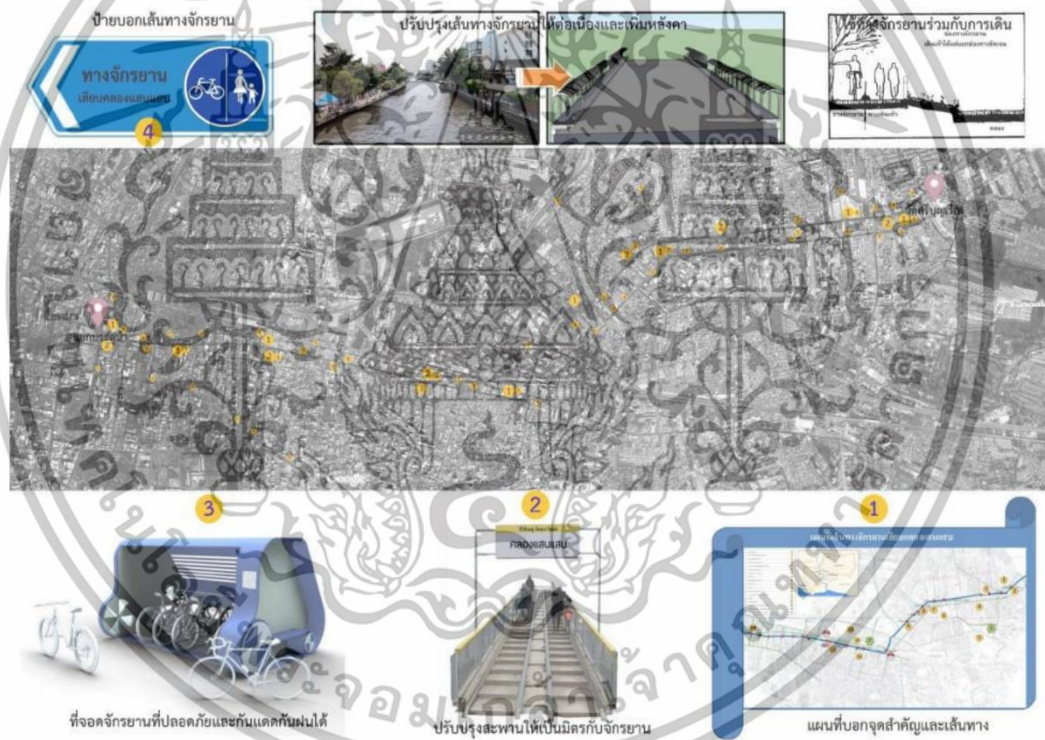
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาออกแบบความเหมาะสมของทางจักรยาน โดยภาพรวมของงานวิจัยเป็นการศึกษาลักษณะกายภาพของเส้นทางและความต้องการของผู้ใช้จักรยาน นำมาวิเคราะห์เพื่อการออกแบบเชิงกายภาพ เช่น ประเภทของทางจักรยาน แนวเส้นทาง รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน การติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและส่งเสริมความปลอดภัย โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ การสำรวจข้อมูลภาคสนามและการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.8.1 งานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้อง

สมภาพ สุวรรณวิการ และ สุภาพร แก้วก้อ เว็วไฟโรจน์ (2557) ศึกษาแนวทางการส่งเสริมให้นักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยใช้จักรยานกันมากขึ้น โดยการสอบถามความต้องการทั้งผู้ใช้และไม่ใช้จักรยาน พบว่า ผู้ใช้จักรยานในการเดินทางน้อยเนื่องจากระยะทางไกล เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ อากาศร้อน/เปียกฝน สภาพทางไม่ดี ไม่มีเส้นทางจักรยาน ไม่สะดวกในการเข้าถึงที่หมาย มีสัมภาระที่ต้องบรรทุก และความล่าช้าในการเดินทาง แนวคิดในการส่งเสริมการ

เดินทางโดยการใช้จักรยานจากการปรับปรุงถนนเดิมด้วยการแบ่งช่องจราจรใหม่ ลดความกว้างของช่องทางจราจร ยกเลิกการจอดรถยนต์ด้านหนึ่งของถนน เพิ่มโครงข่ายทางจักรยานที่ปลอดภัย ติดตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสม และพัฒนาระบบการให้บริการจักรยานสาธารณะ

เพ็ญญา สุขบุญพันธ์ และ ประพัทธ์พงษ์ อุปลา (2557) ศึกษาแนวทางการกำหนดเป้าหมายลดปัญหาการจราจรและปัญหาพลังงาน โดยส่งเสริมให้ประชาชนในเมืองปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการเดินทางหันมาใช้จักรยาน ด้วยการพัฒนาระบบจักรยานเลียบบลอสในเมืองพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบ ผลการวิจัยเชิงสำรวจพบว่า ด้านที่จอดจักรยานควรเพิ่มจุดจอดจักรยานในสถานที่สำคัญ ปรับปรุงเรื่องความปลอดภัยต่อการสูญหาย และควรมีป้ายบอกจุดจอดเพื่อสะดวกในการใช้งาน ด้านเส้นทางจักรยานควรปรับปรุงเรื่องความต่อเนื่องของเส้นทาง เส้นทางเข้าออก และทางลาดชันให้สม่ำเสมอ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ ควรเร่งปรับปรุงสะพานข้ามคลอง อุปกรณ์แสงสว่าง ร้านซ่อมจักรยาน ร้านปั๊มลมยาง แผนที่แสดงเส้นทางจักรยาน และป้ายสัญลักษณ์ที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ข้อเสนอแนะการพัฒนา (เพ็ญญา สุขบุญพันธ์ และ ประพัทธ์พงษ์ อุปลา. 2557)

ประพัทธ์พงษ์ อุปลา (2556) และ ยุภาพร บุญประเสริฐ (2552) ศึกษาแนวทางการออกแบบเส้นทางจักรยาน โดยการมีส่วนร่วมของประชาชน กรณีศึกษาเทศบาลนครนครสวรรค์ ด้วยการวิจัยแบบเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ด้วยการจัดกลุ่มสนทนาเพื่อแสดงความคิดเห็นถึงแนวเส้นทางจักรยานที่เหมาะสมต่อการเดินทางในชีวิตประจำวัน ซึ่งแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มผู้บริหาร 2) กลุ่มผู้ออกแบบ 3) กลุ่มผู้ใช้งาน และ 4) กลุ่มสื่อมวลชน ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้จักรยานของประชาชนในพื้นที่มี 2 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยด้านการณรงค์การใช้จักรยานเพื่อให้ประชาชนในพื้นที่เกิดความสนใจในการใช้จักรยาน 2) ปัจจัยด้านสิ่งอำนวยความสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

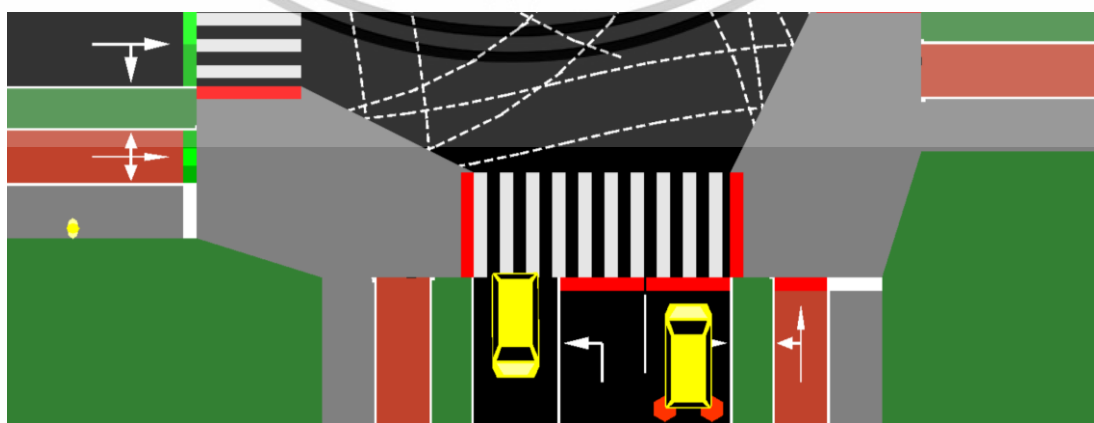
ติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง และเพิ่มจุดซ่อมบำรุงจักรยาน ควบคู่กับการณรงค์ให้นักศึกษาและบุคลากรหันมาใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน

2.8.2 งานวิจัยของต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง

Moritz (1997) นำเสนอผลการศึกษา จากแนวคิดที่ว่า การขี่จักรยานในเขตเมืองจะส่งเสริมให้เกิดคุณภาพอากาศที่ดีและลดการเดินทางด้วยรถยนต์ โดยการสำรวจข้อมูลด้วยวิธีการส่งแบบสอบถามแบบ (Questionnaire) จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) กระจายทั้งประเทศ สหรัฐอเมริกาและประเทศแคนาดา จดหมายตอบกลับ 2,374 ฉบับ จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของผู้ขี่จักรยานอายุ 39 ปี ขี่จักรยาน 10.6 เดือนต่อปี รวมทุกวัตถุประสงค์ของการเดินทาง ความถี่ของการเกิดอุบัติเหตุจะสัมพันธ์กับระยะทางในการเดินทาง การติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและส่งเสริมความปลอดภัย การขี่จักรยานร่วมกับยานพาหนะประเภทอื่นบนถนนสายหลักพบการเกิดอุบัติเหตุสูงสุด

Goodno et al. (2013) ประเมินความเหมาะสมของการออกรูปแบบทางจักรยานที่เปิดให้บริการไว้แล้วที่เมือง Washington, D.C. (USA) เปรียบเทียบระหว่างทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางถนน (Center Median Cycle Lane) ติดตั้งบนถนน Pennsylvania Avenue, NW. กับทางจักรยานบริเวณด้านข้างถนน (Two-way Cycle Track) บนถนน 15th Street, NW. ทางจักรยานทั้ง 2 รูปแบบมีการออกแบบพื้นที่ปลอดภัยด้วยการตีเส้นจราจรเว้นระยะด้านข้าง ควบคุมการจราจรด้วยสัญญาณไฟจราจร ป้ายจราจรและเส้นจราจร ติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกเพื่อส่งเสริมความสะดวกสบายในการขี่จักรยาน จากการศึกษา พบว่า ทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางถนน (Center Median Cycle Lane) ใช้ระยะเวลาในการเดินทางมากกว่าทางจักรยานบริเวณด้านข้างถนน (Two-way Cycle Track) และมีสถิติการเกิดอุบัติเหตุสูงโดยเฉพาะบริเวณตำแหน่งจุดกลับรถตัดผ่านทางจักรยาน

Blokpoel and Joueiai (2016) ปรับปรุงทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร โดยการเพิ่มเส้นทางจักรยานและลดลักษณะกายภาพที่เป็นคอขวด (Bottlenecks) จำลองการไหลของการขี่จักรยานในโปรแกรม SUMO – Microscopic Modelling ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงทางแยกส่งผลให้ผู้ขี่จักรยานสามารถเดินทางได้คล่องตัวไม่เกิดจุดขัดแย้งกับคนเดินเท้า และความล่าช้า (Delay Time) ของทั้งทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 2.21 ผลการวิเคราะห์กายภาพของทางแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stanek and Alexander (2016) ตรวจสอบแนวคิดการออกแบบเส้นทางจักรยานบริเวณทางแยกอ้างอิงจาก Dutch legacy เพื่อช่วยให้วิศวกรและนักวางแผนมีข้อมูลในการพิจารณาก่อนการนำไปใช้ในการก่อสร้างจริง โดยการจำลองในโปรแกรม Vissim Traffic Analysis ดังแสดงในรูปที่ 2.22 เพื่อการจำลองบริหารจัดการจุดขัดแย้ง (Conflict) ที่เกิดจากการเลี้ยวระหว่างการขับขี่จักรยานกับรถยนต์บริเวณทางแยก นำมาวิเคราะห์ความล่าช้าของการขับขี่รถยนต์ จักรยาน และคนเดินเท้าที่เปลี่ยนแปลงไป ความล่าช้าของรถยนต์ลดลงจากสัญญาณไฟจราจรเฟสแรกเนื่องจากผู้ใช้จักรยานเข้าถูกย้ายออกจากช่องทางจักรยานและทางข้ามถนนสั้นลง เพิ่มสัญญาณไฟจราจรสำหรับช่องทางจักรยานลดจุดขัดแย้งที่เกิดขึ้นแต่ส่งผลให้ความล่าช้าของรถยนต์เพิ่มขึ้น Scramble เฟสสำหรับผู้ใช้จักรยานและคนเดินเท้าส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทางเพิ่มขึ้นทั้งระบบ เหมาะสมสำหรับทางแยกที่มีปริมาณผู้ใช้จักรยานค่อนข้างมากและยอมให้ความล่าช้าเกิดขึ้นกับรถยนต์



รูปที่ 2.22 ภาพภาพของทางแยก Standard (ขวา) และ Protected (ซ้าย)

ในขณะที่งานวิจัยประเภทการทดสอบและประเมินผลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทางจักรยานโดยการสร้างสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ยังคงมีเป็นเพียงส่วนน้อย โดยเกือบทั้งหมดของงานวิจัยประเภทนี้ เป็นการออกแบบรูปแบบลักษณะกายภาพของทางแยกขึ้นมาใหม่เพื่อส่งเสริมความปลอดภัยและลดความล่าช้าในการเดินทางของผู้ขี่จักรยาน ดังนั้น จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นช่องว่างของงานวิจัย (Knowledge Gaps) ในการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงรูปแบบของช่องทางจักรยานแบบปันส่วน (Share Bikeway) ที่เหมาะสม โดยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายเส้นทางจักรยานตามผลการวิจัยแบบเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) (ประพัทธ์พงษ์ อุปลา. 2556; ยุภาพร บุญประเสริฐ. 2552) บนโครงข่ายถนนทั้งระบบในเขตเมืองของเทศบาลนครนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model เพื่อการจำลองสถานการณ์จราจรและนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการคัดเลือกรูปแบบของช่องทางจักรยานที่เหมาะสม รวมถึงนำไปใช้เป็นข้อมูลหลักในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุน และกำหนดเป้าหมายของการรณรงค์ให้ผู้ใช้ขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางเป็นการขี่จักรยานในการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน เพื่อการแก้ปัญหาการจราจรติดขัดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เกิดความยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งประเด็นสรุปออกเป็น 9 ประเด็น ได้แก่
 1) การออกแบบเส้นทางจักรยาน 2) ความต้องการและความพึงพอใจ 3) การกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม 4) การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร 5) การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร 6) ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง 7) การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง 8) ผลกระทบด้านการจราจร และ 9) ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย					สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลกระทบวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย	กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
กรมทางหลวง	รายงานปริมาณจราจรบนทางหลวงสายหลัก	2560					●	●				
กุสุมา ถาวร	การวิจัยแบบมีส่วนร่วมในการนำจักรยานมาใช้ในชีวิตประจำวันของประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่เขตความรับผิดชอบเทศบาลเมืองพนสนิมคม	2557	●	●	●	●	●					
กรมโยธาธิการและผังเมือง	เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม พ.ศ. 2549	2549					●					
กรมโยธาธิการและผังเมือง	รายงานการประเมินผลผังเมืองรวมเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์	2560					●					
ศราวุธ สุวรรณสังข์ และคณะ	การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ทางจักรยานเลียบคลองรังสิต (คลอง 3-คลอง 5)	2551	●	●	●	●	●					
จักรรัฐ ฆาลา และ มนสิชา เพชรานนท์	การศึกษาพฤติกรรมเดินทางของผู้ใช้จักรยานเพื่อหาแนวทางสนับสนุนให้เลือกใช้จักรยานในเขตเมืองขอนแก่น	2559	●	●	●	●	●					
ณัฐชนันท์ ปลายเนตร และคณะ	การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน กรณีศึกษา: จังหวัดนครพนม	2558	●	●	●	●	●				●	
บวร ทรัพย์สิงห์ และ วิชยา โกมินทร์	พฤติกรรมการใช้จักรยานและแนวทางการส่งเสริมการใช้จักรยานบนเกาะสี่ซิ่ง จังหวัดชลบุรี	2560	●	●	●	●	●					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสร้างข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
ปณณช รุธิรโก	ปัญหาและอุปสรรคในการปั่นจักรยานในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลเมืองคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา	2561	●	●	●	●	●					
พลเดช เขาวรัตน์ และ เมธีพิริยการนนท์	การส่งเสริมการเดินเท้าและการใช้จักรยาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตขามเริญ	2557	●	●	●	●	●				●	
เพ็ญนภา สุขบุญพันธ์ และ ประพัทธ์พงษ์อุปลา	แนวทางการพัฒนาระบบจักรยานเลียบคลองในเมือง กรณีศึกษา คลองแสนแสบ	2557	●	●	●	●	●					
ยูภาพร บุญประเสริฐ	Design Guideline of Bikeways from Public Participation: A Case Study of Nakhon Sawan Municipality	2552	●	●	●	●	●					
วราลักษณ์ คงอ้วน และ สาศิตา สุกฤต นกุลชัย	แนวทางการส่งเสริมการใช้จักรยานภายในมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยบูรพาและมหาวิทยาลัย ศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์	2556	●	●	●	●	●					
วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์	วิธีส่งเสริมการขี่จักรยานในกรุงเทพมหานคร	2556	●	●	●	●	●					
วีรวัฒน์ วรายน และ คณະ	โครงการแนวทางการออกแบบระบบเส้นทางจักรยานที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการใช้งานจักรยานในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	2561	●	●	●	●	●					
ศาสน์ สุขประเสริฐ	การศึกษาและพัฒนามาตรฐานการออกแบบทางจักรยาน	2556	●	●	●	●	●					
สมภาพ สุวรรณวิการ และ สุภาพร แก้วกอ เว็วไฟโรจน์	การส่งเสริมการใช้จักรยานสำหรับนักศึกษาและบุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด	2557	●	●	●	●	●					
AASHTO	A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011	2011			●	●	●		●		●	
AASHTO	Guide for the Development of Bicycle Facilities	2012	●	●	●	●	●				●	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
AIMSUN	Aimsun's Macroscopic Modelling Manual	2008				●	●	●	●	●	●	●
AIMSUN	Aimsun 8 Dynamic Simulators Users' Manual	2014				●	●	●	●	●	●	●
Annan et al.	Modelling Transport Energy Demand in Ghana: The Policy Implication on Ghanaian Economy	2015				●				●		
Anya et al.	Application of AIMSUN microsimulation model to estimate emissions on signalized arterial	2014				●	●	●	●	●		
Austrroads	Guide to traffic management part 3: traffic studies and analysis	2017				●	●		●		●	
Bliemel	Theil's forecast accuracy coefficient: A clarification	1973				●				●		
Chalemwongphan and Upala	The Analysis of Dynamic O/D Adjustment for Bicycle Traffic Demand Estimation with AIMSUN Simulation Model: A Case Study of Nakhon Sawan Municipality in Thailand	2018				●	●	●	●	●	●	
City of Long Beach	Bicycle master plan	2016	●	●	●		●				●	
DDOT's	Evaluation of innovative bicycle facilities in Washington, DC: Pennsylvania avenue median lanes and 15th street cycle track	2013	●	●	●	●	●				●	
Doniec et al.	A behavioral multi-agent model for road traffic simulation	2008				●	●	●	●	●	●	
DPTI	Aimsun Traffic Simulation Model Development Manual	2013				●	●	●	●	●	●	●
Ferreira	Car Fuel Consumption in Urban Traffic. The Results of a Survey in Leeds using Instrumented Vehicles	1982				●		●	●	●		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสร้างข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Fisher	Contributions to mathematical statistics	1950										
Gillispie and Grattan-Guinness	Pierre-Simon Laplace, 1749-1827: a life in exact science	2000										
Goodno et al.	Evaluation of innovative bicycle facilities in Washington, DC: Pennsylvania avenue median lanes and 15th street cycle track	2013	●		●	●	●					
Gösset	The probable error of a mean	1908									●	●
Gury and Fricker	Guidelines for Data Collection Techniques and Methods for Roadside Station Origin-Destination Studies	2005					●					
Høsser	Prioritizing bicycles and public transport at intersections	2017					●	●	●	●	●	●
Hubbard and Bayarri	P values are not error probabilities	2003									●	●
Hunt and Abraham	Influences on bicycle use	2007	●	●	●	●	●					
Hunter	Evaluation of innovative bike-box application in Eugene, Oregon	2007	●		●	●	●					●
Hunter et al.	Evaluation of blue bike-lane treatment in Portland, Oregon	2000	●		●	●	●					●
Hunter et al.	Evaluation of a Green Bike Lane Weaving Area in St. Petersburg, Florida	2008	●		●	●	●					●
Kaisar et al.	A Comparison of Non-Traditional Intersection Designs using Microscopic Simulation	2011					●	●	●	●	●	●
Kipper et al.	The use of scoring method for prioritizing the project portfolio	2014					●				●	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสร้างข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Lenorzer et al.	Modelling and simulation of mixed traffic	2015				●	●	●	●			
Levasseur et al.	Guide to traffic management part 6: intersections, interchanges and crossings	2013				●	●	●	●	●		
Li et al.	Operational Features in Bicycle Traffic Flow: An Observational Study 2	2015	●		●	●	●				●	
LIN et al.	VISSIM-based simulation analysis on road network of CBD in Beijing, China	2013				●	●	●	●	●		●
Lott et al.	Evaluation by Experienced Riders of a New Bicycle Lane 1n an Established Bikeway System	1978	●	●	●	●	●					
Lu et al.	Freeway micro-simulation calibration: Case study using aimsun and VISSIM with detailed field data	2014				●	●	●	●			
McNeil et al.	Influence of bike lane buffer types on perceived comfort and safety of bicyclists and potential bicyclists	2015	●	●	●	●						
Metroplan-Orlando	Enforcement for Bicyclist Safety	2014	●	●	●	●						●
Mitchell et al.	Scoring methods for evaluating and selecting early stage technology and innovation projects	2018				●				●		
Moritz	Survey of North American bicycle commuters: design and aggregate results	1997	●	●	●	●	●					●
NACTO	Urban street design guide	2013	●	●	●	●	●					●
NACTO	Global Street Design Guide	2016	●	●	●	●	●					●
NCHRP	Inc. NCHRP Report 716: Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques	2012					●					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสร้างข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Nejad et al.	Using the Micro-Simulation Software in Estimation of Pollutants in an Urban Highway	2012				●	●	●	●			
Neyman and Pearson	On the use and interpretation of certain test criteria for purposes of statistical inference: Part I	1976								●	●	●
Ni et al.	Systematic approach for validating traffic simulation models	2004				●				●		
Oketch and Carrick	Calibration and validation of a micro-simulation model in network analysis	2005				●	●	●	●	●		
Ontario	Cycling Facilities	2014	●	●	●	●					●	
Panis et al.	Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits	2006				●	●	●	●			
Prastacos	Integrating GIS technology in urban transportation planning and modeling	1991					●	●				
Renkema and Berghout	Methodologies for information systems investment evaluation at the proposal stage: a comparative review	1997				●				●		
Saidallah et al.	A comparative study of urban road traffic simulators	2016				●	●	●	●	●	●	●
Schaefer	License plate matching surveys: Practical issues and statistical considerations	1988					●					
Silva et al.	Performance assessment of turbo-roundabouts in corridors	2013				●	●	●	●	●		●
Smith et al.	Handbook of simplified practice for traffic studies	2002				●	●		●		●	
Stanek and Alexander	Simulation Analysis of Intersection Treatments for Cycle Tracks	2016				●	●	●	●	●	●	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Stevanovic and Zlatkovic	Evaluation of InSync adaptive traffic signal control in microsimulation environment	2013				•	•	•	•			
Sutandi	Advanced Traffic Control System Impacts on Environmental Quality in A Large City in A Developing Country	2007				•	•	•	•			
Swidan	Integrating AIMSUN Micro Simulation Model with Portable Emissions Measurement System (PEMS): Calibration and Validation Case Study	2011				•	•	•	•			
Taylor et al.	Cycling aspects of Austroads guides	2017			•	•	•	•	•	•		
Theil	Applied economic forecasting	1966				•			•			
Toledo and Koutsopoulou	Statistical validation of traffic simulation models	2004				•			•			
Transportation Research Board (TRB)	Highway Capacity Manual (HCM2010)	2010			•	•	•	•	•	•		
Tu and Sano	Simulation based analysis of scramble crossings at signalized intersections	2014				•	•	•	•	•	•	
Turner et al.	Travel time data collection handbook	1998				•	•					
UK Highways Agency (1966)	Design Manual for Roads and Bridges	1966				•			•			
Von Quintus et al.	NCHRP Report 719: Calibration of Rutting Models for Structural and Mix Design	2012				•	•	•	•	•		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ผู้วิจัย	เรื่อง	ปี (ค.ศ./พ.ศ.)	แนวคิดการวิจัย			กำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร	สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง			วิเคราะห์ผลการวิจัย	
			การออกแบบเส้นทางจักรยาน	ความต้องการและความพึงพอใจ	การส่งเสริมความปลอดภัย			การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจร	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง	การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง	ผลกระทบด้านการจราจร	ผลกระทบด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
Watanachaturaporn et al.	Empirical experiment on origin destination estimation using automatic licence plate matching on a rural road of Thailand	2017				●	●					
Wu et al.	Microsimulation of Congested Freeway with Multiple Vehicle Classes Using AIMSUN: A Case Study on SR-99N	2016						●	●	●		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

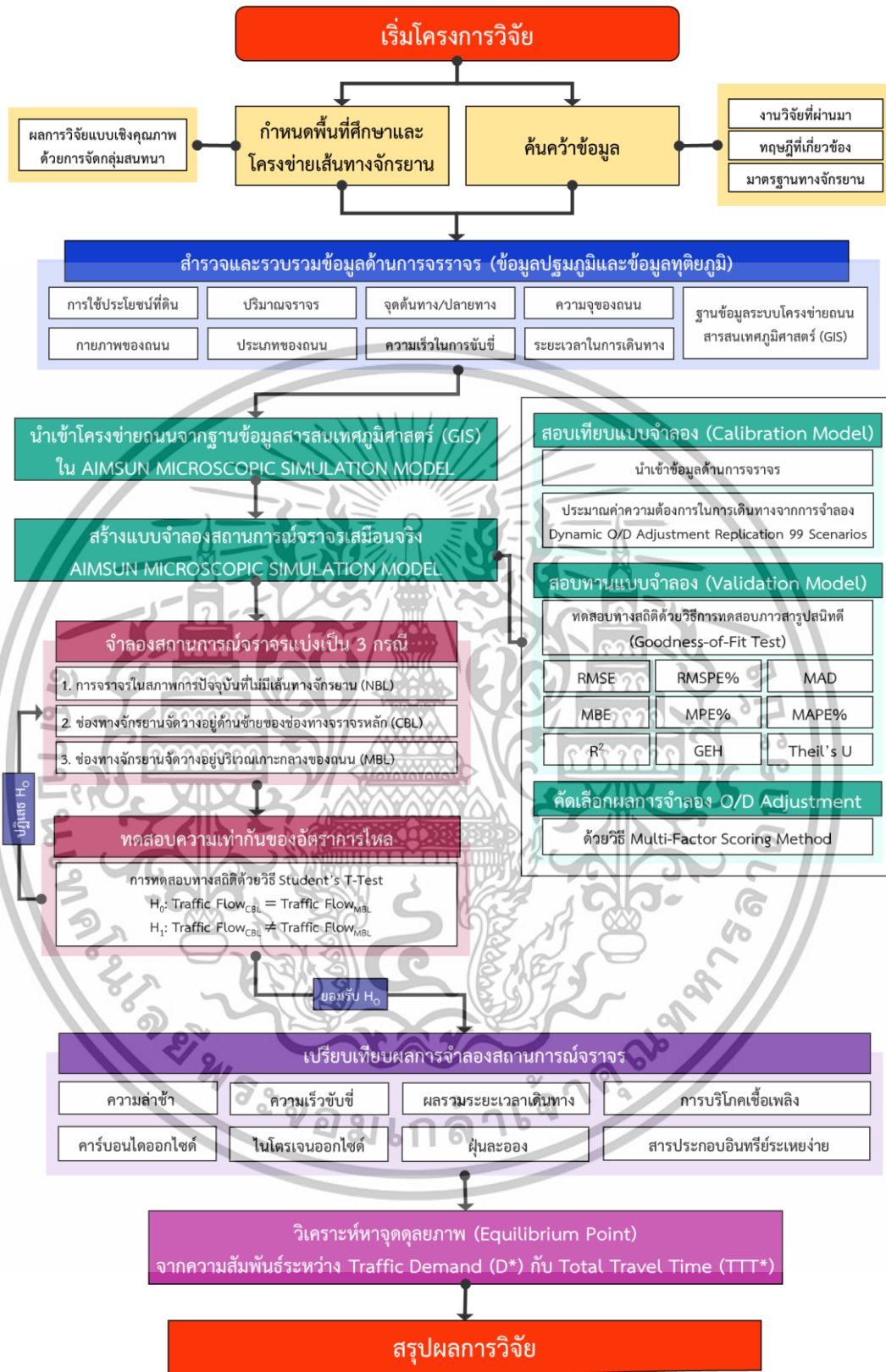
วิธีและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยานในเทศบาลนครนครสวรรค์โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง” โดยลำดับขั้นตอนการนำเสนอแบ่งเป็น 6 หัวข้อ ประกอบด้วย

- 3.1 รูปแบบการวิจัยและขั้นตอนการวิจัย
- 3.2 ข้อมูลและขอบเขตของการวิจัย
- 3.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลด้านการจราจร
- 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย วิธีการสร้าง การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง
- 3.5 การจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริงและการวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 การสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model เป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพการจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ในระบบคอมพิวเตอร์ โดยขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย

- (1) ทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา
- (2) สำรวจข้อมูลด้านการจราจร
- (3) สร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model
- (4) สอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation)
- (5) จำลองสถานการณ์การจราจร AIMSUN Microscopic Simulation Model
- (6) วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริง
- (7) สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ค้นคว้าข้อมูล

ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงการศึกษาวิจัย รวมถึงนำศาสตร์ความรู้ที่ได้ นำมาพัฒนาส่วนต่อขยายเพื่อเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัย (Knowledge Gaps) ให้เกิดความสมบูรณ์และเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอื่นที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยการศึกษาค้นคว้าแบ่งประเด็นหัวข้องานวิจัยออกเป็น 6 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1) การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร 2) การสร้างแบบจำลอง 3) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ควบคุมในแบบจำลอง 4) การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง 5) การกำหนดสถานการณ์จราจรและการจำลองผล และ 6) การวิเคราะห์ผล

3.1.2 สำรวจข้อมูลด้านการจราจร

การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาถึงระบบโครงข่ายถนน พฤติกรรมการขับขี่ และความต้องการในการเดินทาง แบ่งเป็น 6 ข้อมูล ได้แก่ 1) ลักษณะกายภาพของถนน 2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน 3) ปริมาณจราจร 4) จุดต้นทางและปลายทาง 5) ความเร็ว และ 6) การบริหารจัดการจราจร

3.1.3 สร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model

การนำเข้าข้อมูลด้านการจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนาม เพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในโปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model

3.1.4 สอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation)

การปรับแต่งแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นให้มีความเสมือนจริง จากการเปรียบเทียบระหว่างสภาพการจราจรจริงในพื้นที่ศึกษากับผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model โดยอ้างอิงหลักการประเมินผลด้วยวิธีทางสถิติ

3.1.5 จำลองสถานการณ์จราจร AIMSUN Microscopic Simulation Model

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

3.1.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาจากการพิจารณา 8 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง 2) ความเร็วในการขับขี่ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง 4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง 5) คาร์บอนไดออกไซด์ 6) ไนโตรเจนออกไซด์ 7) ฝุ่นละออง และ 8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย รวมถึงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน ที่ส่งผลให้ค่าผลรวมของระยะเวลาในการเดินทาง ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน มีค่าเท่ากันที่จุดดุลยภาพ (Equilibrium Point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งเป็น 3 กรณี โดยนำเสนอทั้งรูปแบบคำบรรยาย รูปแบบตาราง และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

3.2 ข้อมูลวิจัย

3.2.1 ข้อมูลด้านการจราจร

การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรครอบคลุมโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และการสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1.1 การสำรวจข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรในภาคสนาม (Field Data) แบบเชิงปริมาณ (Quantitative Data) โดยอ้างอิงช่วงเวลาทำการสำรวจตามแนวคิดการณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปที่ต้องการเดินทางในเขตเมืองเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยานเพื่อการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน โดยกิจกรรมการรณรงค์การปั่นจักรยานเกิดขึ้นในช่วงเวลาเช้าของวันหยุด ดังนั้น เพื่อให้การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรมีความสอดคล้องกับกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริง การสำรวจข้อมูลด้านการจราจรจึงทำการสำรวจตามพฤติกรรมการเดินทางในวันหยุด ตั้งแต่เวลา 6:00 – 18:00 น. โดยแบ่งการสำรวจข้อมูลเป็น 1) ลักษณะกายภาพของถนน 2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน 3) ปริมาณจราจร 4) ปริมาณการเดินทางจุดต้นทางและจุดปลายทาง 5) ความเร็วในการขับขี่ 6) พฤติกรรมในการขับขี่ยานพาหนะ และ 7) การบริหารจัดการจราจรโดยรอบพื้นที่ศึกษา ดังรายละเอียดและวิธีการในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การสำรวจข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

ข้อมูล	รายละเอียด	วิธีการ
ลักษณะกายภาพของถนน	- ตรวจสอบวัดองค์ประกอบของถนน	การสำรวจภาคสนาม
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	- สำรวจการใช้ที่ดินแบ่งตามประเภทการใช้งาน - สำรวจแหล่งกิจกรรมดึงดูดการเดินทาง	การสำรวจภาคสนาม
ปริมาณจราจร	- ตรวจสอบนับจำนวนยานพาหนะบนโครงข่ายถนน	การสำรวจภาคสนาม
จุดต้นทางและจุดปลายทาง	- ตรวจสอบนับปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย	การสำรวจภาคสนาม
ความเร็วในการขับขี่	- บันทึกความเร็วในการขับขี่แต่ละช่วงถนน	การสำรวจภาคสนาม
พฤติกรรมในการขับขี่ยานพาหนะ	- สังเกตพฤติกรรมการขับขี่ยานพาหนะ	การสำรวจภาคสนาม
การบริหารจัดการจราจร	- สำรวจการจัดการจราจรบนโครงข่ายถนน	การสำรวจภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 การสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

การทบทวนข้อมูลด้านการจราจรที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายถนนในพื้นที่ศึกษา นำมาประกอบการนำเข้าสู่ข้อมูลร่วมกับข้อมูลปฐมภูมิ เพื่อเพิ่มเติมข้อมูลที่ขาดหายในกระบวนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง แบ่งประเภทของข้อมูลที่ได้จากการทบทวนออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) ฐานข้อมูลโครงข่ายถนนในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) 2) ปริมาณจราจรรอบนอกเขตเมือง 3) ปริมาณการเดินทางจุดต้นทางและจุดปลายทางระหว่างเมือง และ 4) ข้อมูลลักษณะเฉพาะของโครงข่ายถนนทางหลวง ดังแสดงแหล่งที่มาของข้อมูลในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data)

ข้อมูล	แหล่งที่มา
ฐานข้อมูลโครงข่ายถนนในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	กรมโยธาธิการและผังเมือง
ข้อมูลลักษณะเฉพาะของโครงข่ายถนนทางหลวง	กรมทางหลวง
ปริมาณจราจรบริเวณรอบนอกเขตเมืองบนถนนทางหลวง	กรมทางหลวง
ปริมาณการเดินทางจุดต้นทางและจุดปลายทางระหว่างเมือง	กรมโยธาธิการและผังเมือง

3.3 ตัวแปรในงานวิจัย

3.3.1 ตัวแปรต้น (Independent Variable)

ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงประกอบด้วย 6 ตัวแปร ได้แก่

(1) ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน (Geometric of Road Network) ประกอบด้วย 1) ถนน 2) ทางแยก 3) แนวเส้นทาง 4) ความลาดชัน 5) มุมโค้ง 6) มุมเลี้ยว 7) ทางเชื่อม 8) จุดกลับรถ 9) ช่องจราจร 10) ไหล่ทาง และ 11) เกาะกลาง

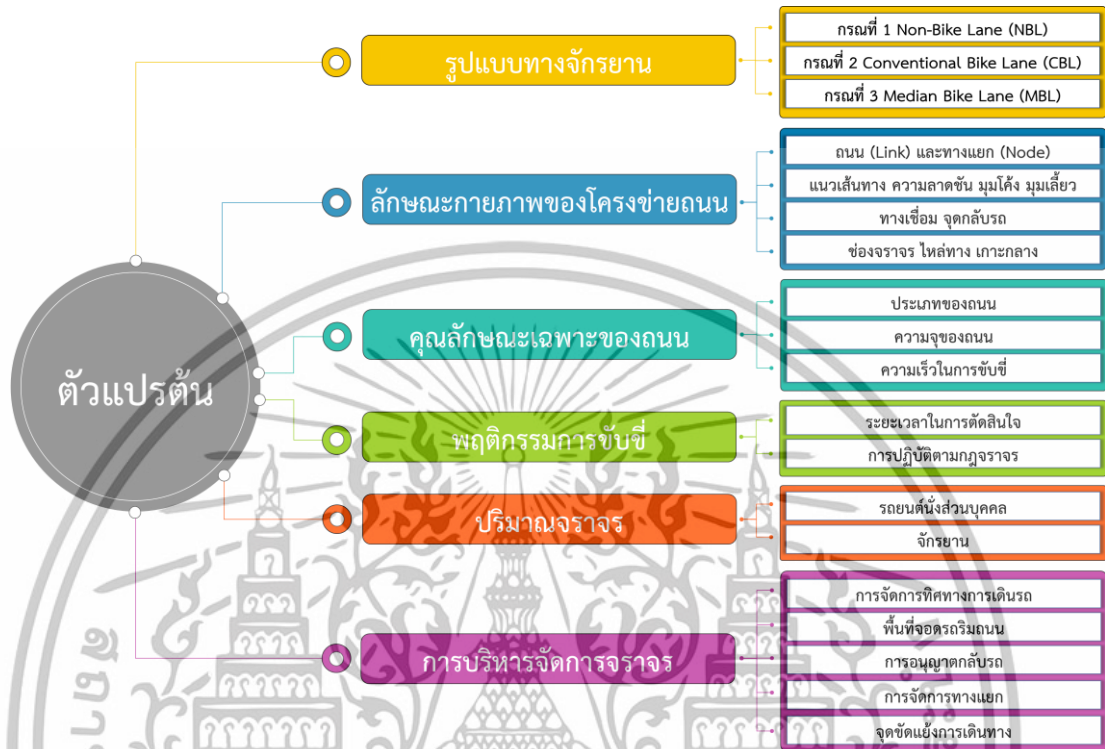
(2) คุณลักษณะเฉพาะของถนน (Road Characteristics) ประกอบด้วย 1) ประเภทของถนน 2) ความจุของถนน และ 3) ความเร็วในการขับขี่

(3) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ (Driver Behavior) ประกอบด้วย 1) ระยะเวลาในการตัดสินใจ และ 2) การปฏิบัติตามกฎจราจร

(4) รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน (Bike Lane Pattern) แบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และ กรณีที่ 3 (MBL)

(5) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน การนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณจราจรในรูปแบบของปริมาณความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางในแต่ละพื้นที่ย่อย (Zone) หรือ O/D Matric แบ่งเป็นปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน

(6) การบริหารจัดการจราจร (Traffic Management) ประกอบด้วย 1) การจัดการทิศทางการเดินรถ 2) พื้นที่จอดรถริมถนน 3) การอนุญาตกลับรถ 4) การจัดการทางแยก และ 5) จุดขัดแย้งการเดินทาง



รูปที่ 3.2 ตัวแปรต้น (Independent Variable)

3.3.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ตัวแปรตามที่ได้จากผลจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงรวมทั้งสิ้น 8 ตัวแปร แบ่งเป็นตัวแปรตามด้านการจราจรจำนวน 3 ตัวแปร และตัวแปรตามด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่

- (1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time)
- (2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed)
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time)
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption)
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)
- (7) ฝุ่นละออง (PM)
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

3.4 การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร

การสำรวจข้อมูลเชิงประจักษ์ (Empirical Research) เพื่อศึกษาข้อมูลด้านการจราจรบนระบบโครงข่ายถนนในพื้นที่เทศบาลนครสวรรค์ เพื่อประกอบการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Traffic Simulation Model) และการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) ให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ แบ่งข้อมูลด้านการจราจรออกเป็น 6 ข้อมูล ได้แก่

- (1) ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน (Geometric of Road Network)
- (2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)
- (3) ปริมาณจราจร (Traffic Volume Survey)
- (4) จุดต้นทางและจุดปลายทาง (Origin-Destination Survey)
- (5) ความเร็วในการเดินทาง (Operating Speed Survey)
- (6) การบริหารจัดการจราจร (Traffic Management)

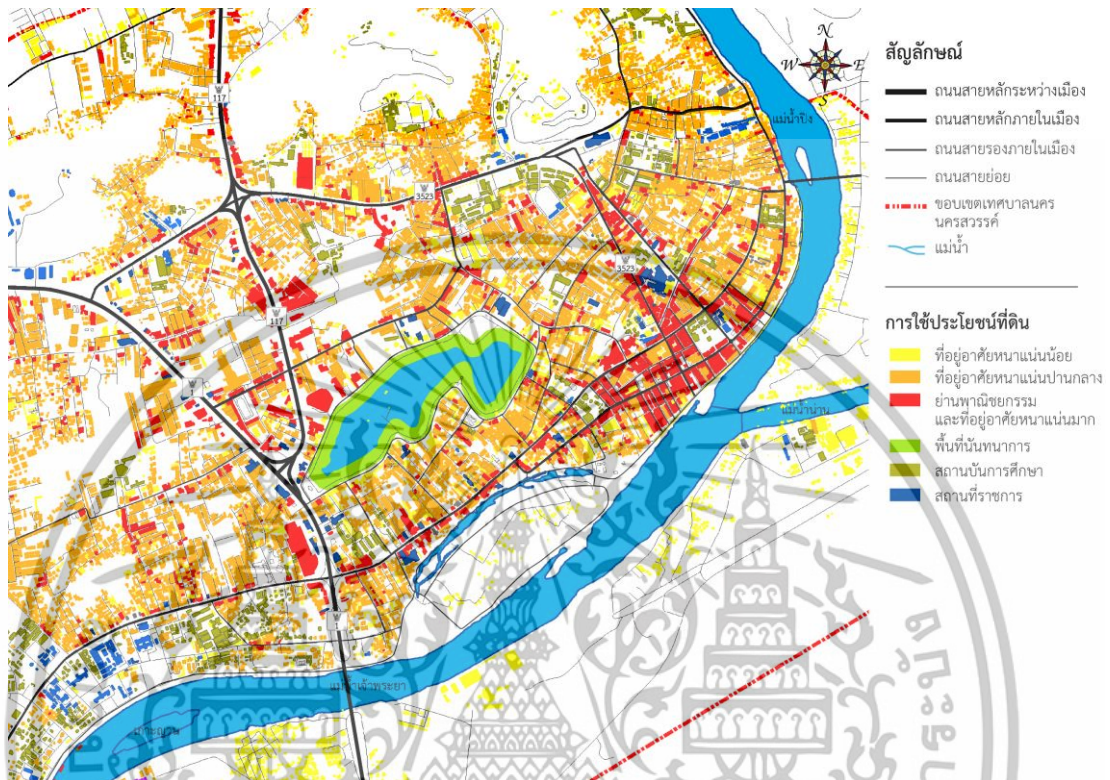
3.4.1 การสำรวจข้อมูลด้านลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน

สำรวจถึงองค์ประกอบ ขนาด รูปทรง และลำดับศักระยะของถนน (Hierarchy of Movement) เพื่อการจัดประเภทของถนน (Functional Classification) แบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) ถนนสายหลักระหว่างเมือง (Highway) 2) ถนนสายหลักภายในเมือง (Arterial) 3) ถนนสายรองภายในเมือง (Collector Road) และ 4) ถนนสายย่อย (Local Road) และวิเคราะห์ความจุของถนน (Capacity) แทนค่าในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

3.4.2 การสำรวจข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินและการประกอบกิจกรรมตามแนวสองข้างถนน เพื่อนำข้อมูลมาจัดกลุ่มพื้นที่ที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินใกล้เคียงกันเพื่อแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย (Zone) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย 1) ที่อยู่อาศัย (Residential Area) 2) สถานศึกษา (School Area) 3) ย่านพาณิชยกรรม (Commercial Area) 4) ย่านธุรกิจ (Business Area) 5) สถานที่ราชการ (Government Officer Area) และ 6) พื้นที่นันทนาการ (Recreation Area)



รูปที่ 3.4 การแบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.4.3 การสำรวจข้อมูลด้านปริมาณจราจร

สำรวจข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามแบบช่วงถนน (Mid-Block Counts, MB) จำนวน 55 ตำแหน่ง ครอบคลุมโครงข่ายถนนในพื้นที่เขตเมือง (Urban Area) ของเทศบาลนครนครสวรรค์ แฉงนับทุก 15 นาที แบ่งประเภทของยานพาหนะออกเป็น 11 ประเภท ตามทิศทางการเดินทาง และนำผลการสำรวจแปลงให้เป็นยานพาหนะในหน่วยเดียวกันเทียบเท่ารถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit, PCU) โดยใช้ค่าตัวคูณ (Factor) ด้วยค่า Passenger Car Equivalent (PCE) ตำแหน่งการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรดังแสดงในรูปที่ 3.5

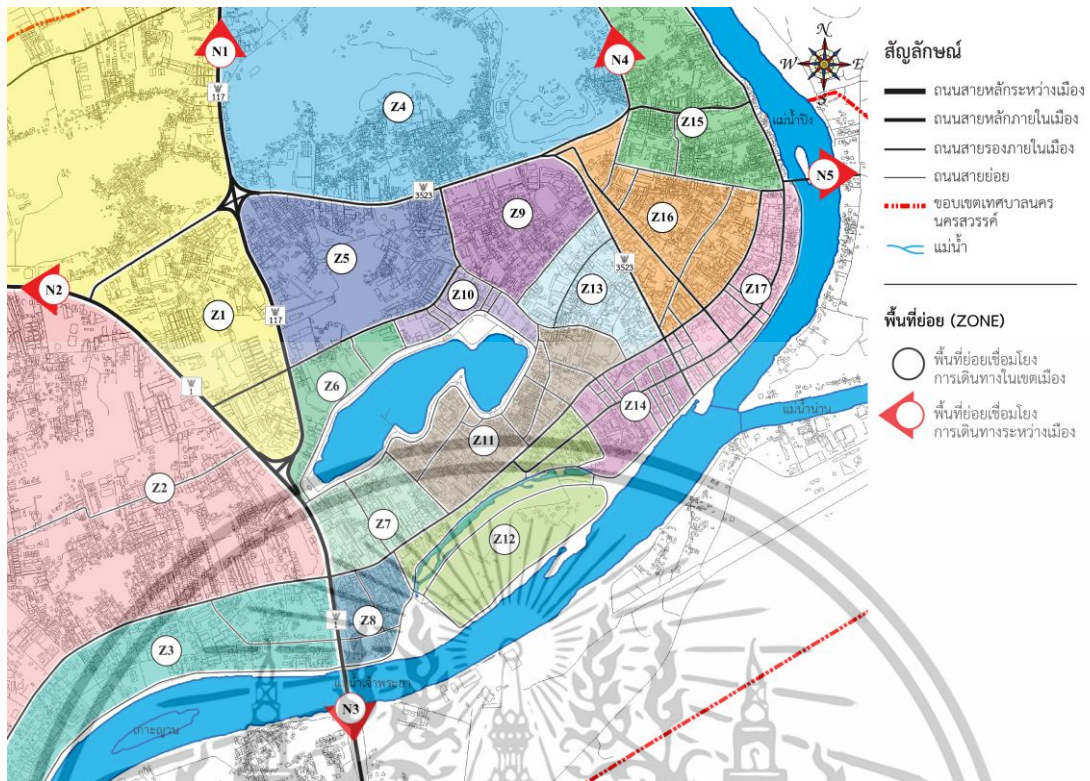
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร

3.4.4 การสำรวจข้อมูลด้านจุดต้นทางและปลายทาง

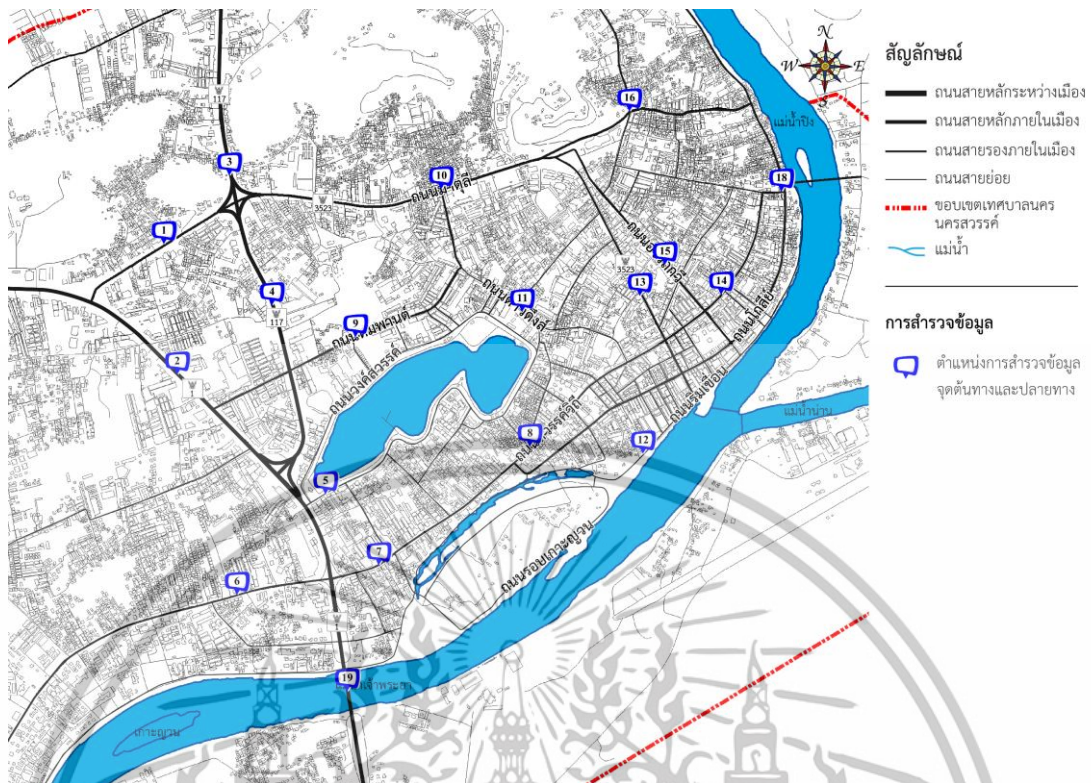
นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจัดกลุ่มแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย (Zone) รวมทั้งสิ้น 22 พื้นที่ย่อย แยกเป็นพื้นที่ย่อยเชื่อมโยงการเดินทางในเขตเมือง (Internal Zone) จำนวน 17 พื้นที่ย่อย และพื้นที่ย่อยเชื่อมโยงการเดินทางระหว่างเมือง (External Zone) จำนวน 5 พื้นที่ย่อย ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนที่แสดงการแบ่งพื้นที่ย่อย

การสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (Origin – Destination Survey) เป็นการสำรวจถึงปริมาณความต้องการในการเดินทางจากพื้นที่ย่อยไปยังพื้นที่ย่อยอื่น (Trip Production) และการเดินทางจากพื้นที่ย่อยอื่นดึงดูดมายังพื้นที่ย่อย (Trip Attraction) ที่พิจารณา ด้วยวิธี License Plate Matching Techniques โดยกำหนดตำแหน่งการสำรวจบนช่วงถนนที่มีลักษณะโครงข่ายเชื่อมโยงการเดินทางเข้าสู่พื้นที่ย่อยต่างๆ รวมทั้งสิ้น 18 ตำแหน่ง ดังแสดงตำแหน่งการสำรวจในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง

3.4.5 การสำรวจข้อมูลด้านความเร็วในการเดินทาง

การสำรวจข้อมูลความเร็วและระยะเวลาในการเดินทาง ด้วยวิธี Test Vehicle Techniques ใช้ร่วมกับกล้องหน้ารถทดสอบระบบ GPS (GPS Car Video Recorder) เพื่อบันทึกภาพเคลื่อนไหวและบันทึกข้อมูลการเดินทางผ่านช่วงถนนต่างๆ ด้วยระบบ GPS ได้แก่ 1) ความเร็วในการขับขี่ 2) ระยะเวลาในการเดินทาง และ 3) ระยะเวลาหยุดรถ

3.4.6 การสำรวจข้อมูลด้านการบริหารจัดการจราจร

การสำรวจข้อมูลการบริหารจัดการจราจรด้วยการสำรวจภาคสนามและสัมภาษณ์หน่วยงานที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 1) การบริหารจัดการทางแยก 2) การจัดการทิศทางการเดินทาง 3) พื้นที่จอดรถริมถนน 4) การอนุญาตจุดกลับรถ และ 5) จุดขัดแย้งการเดินทาง

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

3.5.1 เครื่องมือในการวิจัย

โปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model ใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัย โดยการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งโมดูลที่ใช้ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 โมดูลด้านพฤติกรรมการจราจร ประกอบด้วย 1) Driver Behavior Model 2) Car-following Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

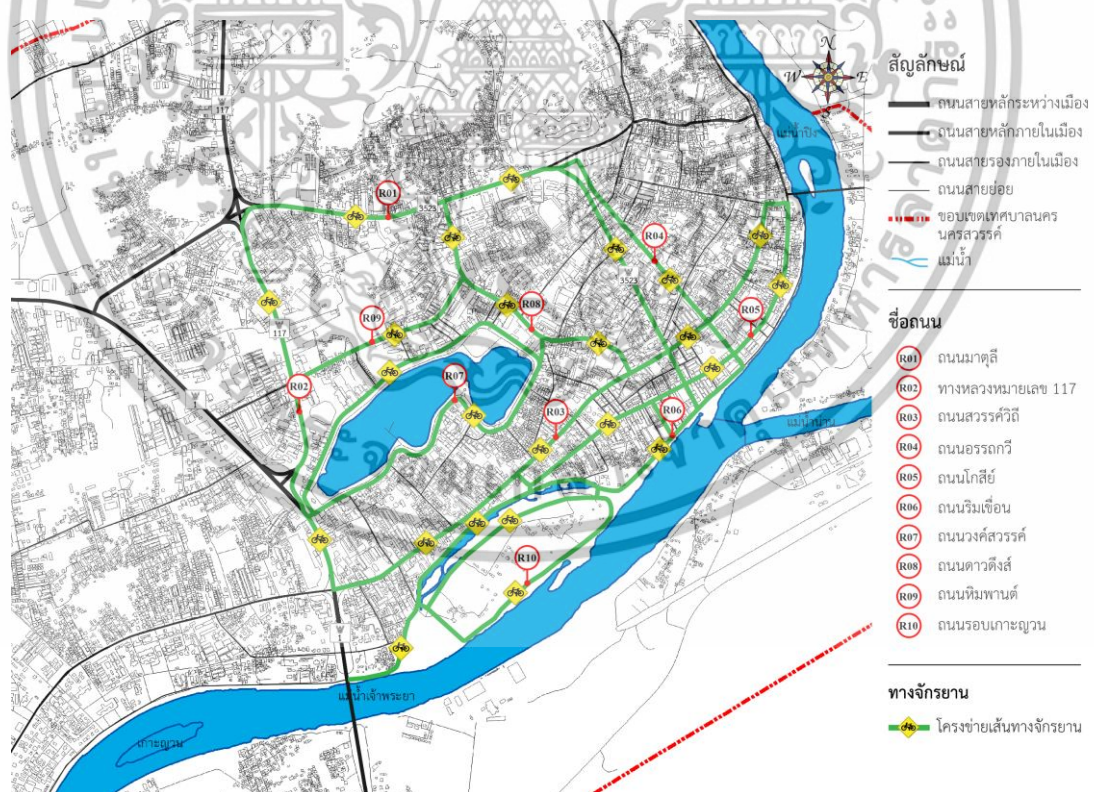
3) Lane Changing Model 4) Queue Discharge และ 5) Gap Acceptance Model Giveway Model และส่วนที่ 2 โมดูลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 1) Fuel Consumption Model และ 2) Panis et al. Emission Model

3.5.2 การสร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model

กระบวนการสร้างแบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) รูปแบบและเส้นทางจักรยาน 2) การสร้างแบบจำลอง และ 3) การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

3.5.2.1 รูปแบบและเส้นทางจักรยาน

รูปแบบทางจักรยานแบบปันส่วน (Share Bikeway) จากการปรับปรุงลักษณะกายภาพของถนนใหม่ ด้วยการเพิ่มช่องทางจักรยานเข้าไปแทนพื้นที่จอดรถริมทาง (Roadside Parking) ควบคุมรูปตัดถนนให้มีขนาดความกว้างเท่ากับเขตทางเดิม เคลื่อนย้ายสิ่งกีดขวางบริเวณหัวมุมถนน ปรับลักษณะทางกายภาพของทางแยกให้มีมุมเลี้ยวเป็นไปตามมาตรฐาน แนวเส้นทางจักรยานกำหนดให้เป็นแนวเดียวกับถนนสายหลักสำคัญในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยมีจุดเริ่มต้นที่เทศบาลนครนครสวรรค์เข้าสู่ถนนมาตุลี ถนนพหลโยธิน ถนนสวรรค์วิถี ถนนอรรถกวี ถนนโกสีย์ ถนนริมเขื่อน ถนนวงศ์สวรรค์ ถนนดาวดิงส์ ถนนทิมพานต์ และถนนรอบเกาะญวน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



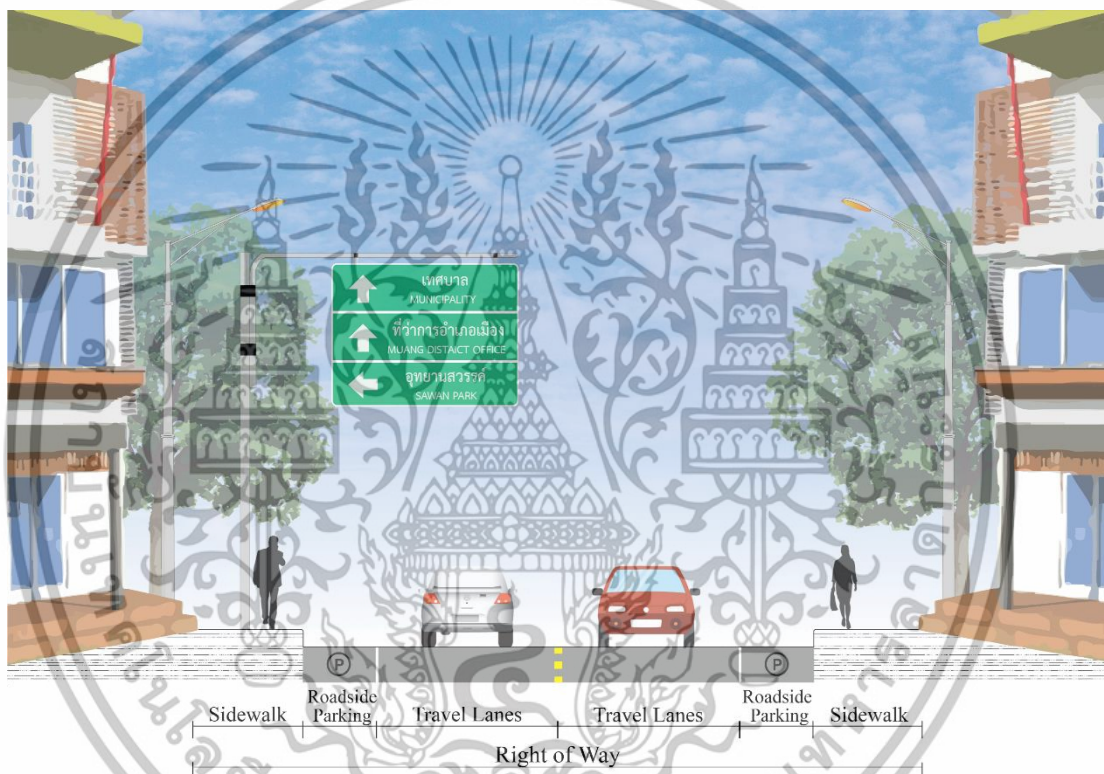
รูปที่ 3.8 แผนที่โครงข่ายเส้นทางจักรยานในพื้นที่เขตเทศบาลนครนครสวรรค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของช่องทางจักรยานถูกปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมกับขนาดเขตทาง (Right of Way) ของถนนแต่ละเส้น กำหนดให้ความกว้างของช่องทางจักรยานมีขนาดระหว่าง 1.50 - 2.00 เมตร ต่อช่องทางจักรยาน ความเร็วในการออกแบบ 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยแบ่งการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงออกเป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL)

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในสภาพปัจจุบันแบบไม่มีช่องทางจักรยาน ดังแสดงรูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 1 ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 รูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 1 Road Network with Non-Bike Lane (NBL)

กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL)

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในกรณีที่จัดวางช่องทางจักรยานด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลักหรือบริเวณขอบด้านนอกของถนน โดยมีทิศทางการเดินทางทิศทางเดียวกับกระแสการจราจรบนถนนสายหลัก ดังแสดงรูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 2 ในรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

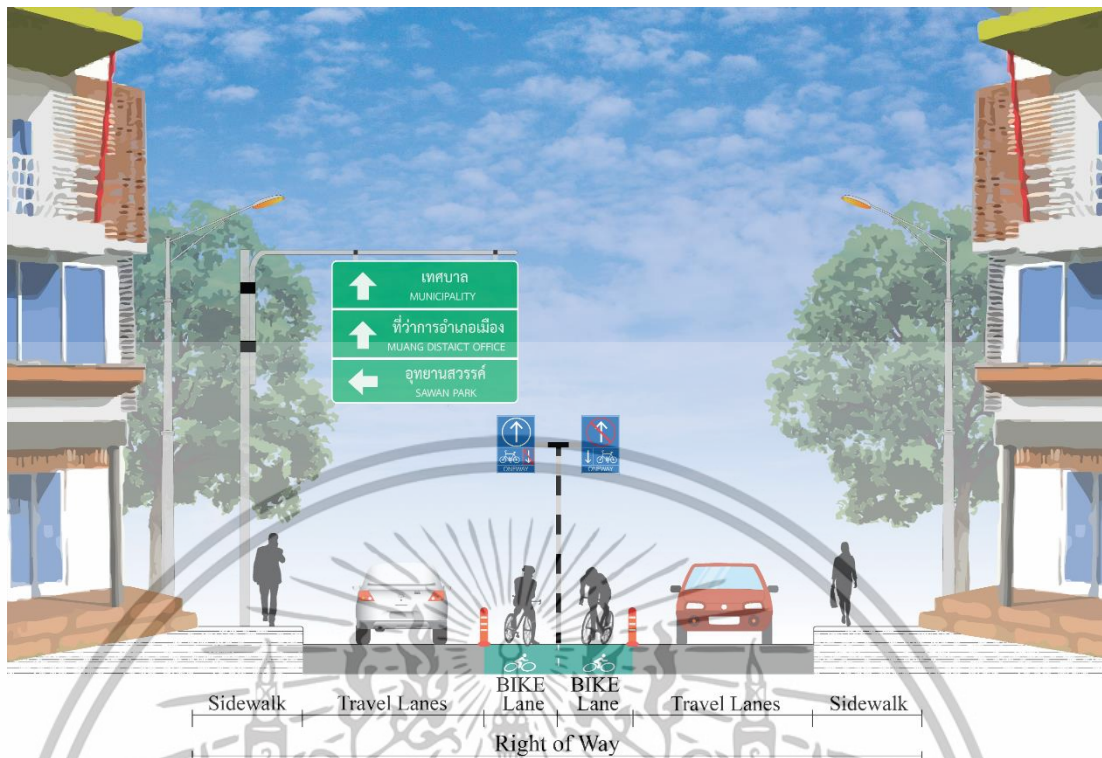


รูปที่ 3.10 รูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 2 Conventional Bike Lane (CBL)

กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL)

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในกรณีที่จัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางของถนน โดยมีทิศทางการเดินรถแบบ 2 ทาง ดังแสดงรูปตัดขวางของถนนกรณีที่ 3 ในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปตัดขวางของถนนกรณี 3 Median Bike Lane (MBL)

3.5.2.2 การสร้างแบบจำลอง

สร้างแผนที่ระบบโครงข่ายถนนปัจจุบันในรูปแบบของข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) จากการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมมาตรฐานส่วน 1:4,000 และทำการดิจิทัล (Digitize) ระบบโครงข่ายถนนประกอบด้วย ถนน (Link) และจุดตัดทางแยก (Node) แบ่งประเภทของถนนตามลำดับคีย์ 4 ประเภท ได้แก่ 1) ถนนสายหลักระหว่างเมือง 2) ถนนสายหลักภายในเมือง 3) ถนนสายรองภายในเมือง และ 4) ถนนสายย่อย เชื่อมโยงข้อมูลตัวแปรต้นประกอบด้วย 1) ลักษณะทางกายของถนน 2) คุณลักษณะเฉพาะของถนน 3) พฤติกรรมในการขับขี่ และ 4) การบริหารจัดการจราจร ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สร้างขึ้นถูกนำเข้า (Import Data) ในโปรแกรม AIMSUN ในส่วนของ Microscopic Simulation Model เพื่อสร้างระบบโครงข่ายถนน (Roads Network Model) โดยกำหนดให้การบริหารจัดการทางแยกด้วยป้ายให้ทาง (Give Way Signs) บนทางสายรอง (Minor Road) และบริเวณกลางแยกกำหนดให้เป็นพื้นที่ห้ามจอด (Yellow Boxes) ซึ่งแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงที่ถูกสร้างขึ้นนี้ใช้ในการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองและกำหนดให้เป็นแบบจำลองกรณี 1 (NBL)

3.5.2.3 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration Model) จากการนำเข้าตัวแปรต้นที่ได้จากการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรในแบบจำลองกรณี 1 (NBL) ข้อมูลปริมาณจราจรถูกนำเข้าใน AIMSUN Microscopic Simulator Model ด้วยรูปแบบฐานข้อมูล Real Data Sets (ISO Format YYYY-MM-DDTHH:MM:SS) เชื่อมโยงกับอุปกรณ์ตรวจนับยานพาหนะ (Detector) พร้อมกับข้อมูลปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเดินทางระหว่างจุดต้นทาง (Origin) และจุดปลายทาง (Destination) ในรูปแบบของตารางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย หรือ O/D Matrix Table โดยสมมติฐานการจำลอง Dynamic Scenario ส่วนของ Dynamic OD Adjustment พิจารณาจากการกระจายตัวของปริมาณจราจรที่วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การปรับแต่งแบบจำลองด้วยค่าพารามิเตอร์อ้างอิงจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา ประกอบด้วย 1) พารามิเตอร์คุณลักษณะเฉพาะด้านการจราจร 2) พารามิเตอร์การบริโภคพลังงานของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล และ 3) พารามิเตอร์การปล่อยมลพิษของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

การสอบทานแบบจำลอง (Validation Model) โดยทดสอบการจำลองผลเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจภาคสนามกับปริมาณจราจรที่ได้จากผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นต้องมีการปรับแก้ด้วยวิธีการประมาณค่าความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทาง (O/D Estimation) จากการปรับแก้ข้อมูลตารางการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (O/D Matrix Adjustment) จำลอง Dynamic O/D Adjustment แทนค่า Maximum Number of Iterations จำนวน 99 ชุดข้อมูล ผลการปรับแก้ในแต่ละชุดข้อมูลถูกนำไปประเมินความถูกต้องโดยใช้ทฤษฎีทางสถิติด้วยหลักการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี ได้แก่ 1) Root Mean Square Error (RMSE) 2) Root Mean Square Percentage Error (RMSPE%) 3) Mean Absolute Deviation (MAD) 4) Mean Bias Error (MBE) 5) Mean Percentage Error (MPE%) 6) Mean Absolute Percentage Error (MAPE%) 7) Coefficient of Determination (R^2) 8) GEH Statistic (GEH) และ 9) Thiel's U Statistic (Theil's U) และคัดเลือกผลที่ถูกต้องสูงสุดจากการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method กำหนดให้ค่าน้ำหนักคะแนน (Scoring Weight) จากการตั้งสมมติฐานว่าในทุกวิธีการทดสอบมีความสำคัญที่เท่าเทียมกันที่ 10 คะแนน จึงทำให้ผลการปรับแก้ O/D Matrix Adjustment ในแต่ละชุดข้อมูลมีคะแนนเต็ม 90 คะแนน ซึ่งชุดข้อมูลที่ได้คะแนนสูงสุดถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงสุด จึงถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางในขั้นตอนการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในแบบจำลองกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ดังแสดงขั้นตอนในการสอบทานแบบจำลองในรูปที่ 3.12



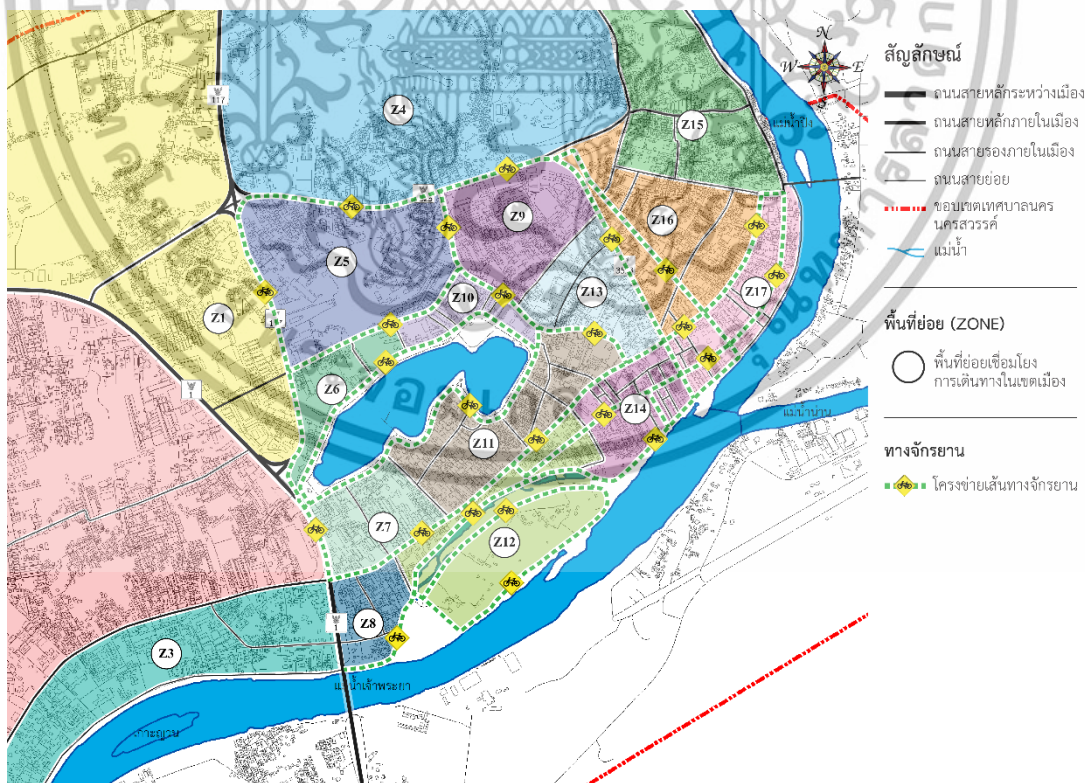
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการสอบทานแบบจำลอง (Validation Model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

3.6.1 การจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริง

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงจากการนำข้อมูล O/D Matrix Adjustment หรือ ข้อมูลการปรับแก้ความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางที่ได้จากขั้นตอนการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) ใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดปริมาณความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย (Zones) บนโครงข่ายถนนในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง โดยแบ่งพื้นที่เทศบาลนครนครสวรรค์ออกเป็นพื้นที่ย่อยรวมทั้งสิ้น 22 พื้นที่ย่อย แยกเป็นพื้นที่ย่อยเชื่อมโยงการเดินทางในเขตเมือง (Internal Zone) จำนวน 17 พื้นที่ย่อย ได้แก่ Z1 ถึง Z17 และพื้นที่ย่อยเชื่อมโยงการเดินทางระหว่างเมือง (External Zone) จำนวน 5 พื้นที่ย่อย ได้แก่ N1 ถึง N6 อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงมีความสอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมายในการณรงค์ให้ประชาชนทั่วไปที่อาศัยในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์และพื้นที่เชื่อมโยง เปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนเป็นการใช้จักรยานในการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน ค่า O/D Matrix Adjustment จึงถูกคัดเลือกเฉพาะข้อมูลความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในเขตเมือง หรือพื้นที่ย่อย Z1 ถึง Z17 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงทั้ง 3 กรณี



รูปที่ 3.13 เส้นทางจักรยานบริเวณพื้นที่ย่อยในเขตเมือง (Internal Zone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำเข้าข้อมูลความต้องการในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทาง (O/D Matrix Adjustment) ของพื้นที่ย่อย Z1 ถึง Z17 เพื่อการทดสอบสมมติฐานงานวิจัยจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานที่แตกต่างกัน โดยให้ข้อมูล O/D Matrix Adjustment ที่ได้จากระบวนการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Validation) เป็นข้อมูลความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในรูปแบบของปริมาณจราจรเฉพาะยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล นำไปใช้ในการกำหนดสัดส่วนร้อยละการทดลองการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยานในการเดินทางแทน โดยแบ่งสถานการณ์จำลอง (Traffic Scenarios) ตามร้อยละของปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) เป็น 6 Scenarios ได้แก่

- Scenario 1 สัดส่วนปริมาณจราจรเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 100%
- Scenario 2 สัดส่วนปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 90% และจักรยานเท่ากับ 10%
- Scenario 3 สัดส่วนปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 80% และจักรยานเท่ากับ 20%
- Scenario 4 สัดส่วนปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 70% และจักรยานเท่ากับ 30%
- Scenario 5 สัดส่วนปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 60% และจักรยานเท่ากับ 40%
- Scenario 6 สัดส่วนปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 50% และจักรยานเท่ากับ 50%

ตารางสรุปแสดงรายละเอียดร้อยละของปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สถานการณ์จราจรจำลอง (Traffic Scenarios) ตามร้อยละของปริมาณจราจร

ประเภทของ ยานพาหนะ	ร้อยละของปริมาณจราจรรวม ที่มีความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย					
	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario
	1	2	3	4	5	6
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car)	100%	90%	80%	70%	60%	50%
จักรยาน (Bike)	0%	10%	20%	30%	40%	50%

3.6.2 การทดสอบสมมติฐานงานวิจัย

การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วย Microscopic Simulator ส่วนของ Stochastic Route Choice Experiments ควบคุมปัจจัยด้านพฤติกรรมทางเลือกใช้เส้นทางของผู้ขับขี่ยานพาหนะแบบคงที่ (Path Assignment) จากผลการจำลอง Microscopic Simulator ส่วนของ Dynamic User Equilibrium จำลองซ้ำ (Replications) ในแต่ละ Scenario ไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Replication) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลการจำลอง ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์เสมือนจริง กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ค่าปริมาณจราจรที่ได้จากผลการจำลอง (Traffic Flow Simulation) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน ใน Scenario เดียวกัน ต้องมีค่าเท่ากันโดยผ่านกระบวนการทดสอบด้วยวิธี Student's t-test กำหนดการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing) แบบสมมติฐาน 2 ทาง (Two-Tailed Test) ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 (Level of Significant; $\alpha=0.05$) หรือระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (Confidence Level; $1-\alpha=0.95$) โดยตั้งสมมติฐานการทดสอบไว้ดังนี้

$$H_0: \text{Traffic Flow}_{\text{CBL}} = \text{Traffic Flow}_{\text{MBL}}$$

$$H_1: \text{Traffic Flow}_{\text{CBL}} \neq \text{Traffic Flow}_{\text{MBL}}$$

H_0 = ปริมาณจราจรรวมทั้งระบบโครงข่ายของยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) กรณีที่ 2 (CBL) เท่ากับกรณีที่ 3 (MBL)

H_1 = ปริมาณจราจรรวมทั้งระบบโครงข่ายของยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) กรณีที่ 2 (CBL) ไม่เท่ากับกรณีที่ 3 (MBL)

อย่างไรก็ตาม ถ้าผลการทดสอบ Student's t-test ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ผลการจำลองที่ได้ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์จึงต้องมีการจำลองใหม่จนกว่าจะผ่านการทดสอบที่ยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 และปฏิเสธสมมติฐานรอง H_1 จึงจะสามารถนำผลลัพธ์การจำลองทั้งหมดไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยต่อไป

3.7 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์การจราจรเสมือนจริงแบ่งการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และ กรณีที่ 3 (MBL) แบ่งสถานการณ์จำลอง (Traffic Scenarios) ตามร้อยละของปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน เป็น 6 Scenarios โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบจากการพิจารณา 8 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง 2) ความเร็วในการขับขี่ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง 4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง 5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 7) ฝุ่นละออง (PM) และ 8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)

3.8 การสรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลและอภิปรายถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน ที่ส่งผลให้ค่าผลรวมของระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานมีค่าเท่ากันที่จุดดุลยภาพ (Equilibrium Point) เพื่อการนำเสนอสัดส่วนที่เหมาะสมของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินทางจากปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยาน

บทที่ 4

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

จากการนำข้อมูลด้านการจราจรที่สำรวจได้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) จัดสร้างแบบจำลองการจราจรเสมือนจริงในโปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model และทำการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลองให้มีความถูกต้องตามเกณฑ์การวิจัยที่กำหนดไว้ โดยลำดับขั้นตอนการนำเสนอการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งเป็น 4 หัวข้อประกอบด้วย

- 4.1 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model
- 4.2 นำเข้าข้อมูลด้านการจราจร
- 4.3 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง
- 4.4 การกำหนดสถานการณ์จำลอง (Traffic Scenarios)

4.1 การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model

4.1.1 นำเข้าฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

แผนที่โครงข่ายถนนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม ArcGIS ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แบ่งประเภทของถนนตามลำดับศักระยะ 4 ประเภท ได้แก่ 1) ถนนสายหลักระหว่างเมือง 2) ถนนสายหลักภายในเมือง 3) ถนนสายรองภายในเมือง และ 4) ถนนสายย่อย เชื่อมโยงข้อมูลด้านกายภาพและคุณลักษณะเฉพาะของถนนที่สำรวจได้จากภาคสนาม ได้แก่ องค์ประกอบด้านกายภาพของถนน จำนวนช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจร ไหล่ทาง เกาะกลาง ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ ความจุของถนน พฤติกรรมการขับขี่ และการบริหารจัดการจราจร

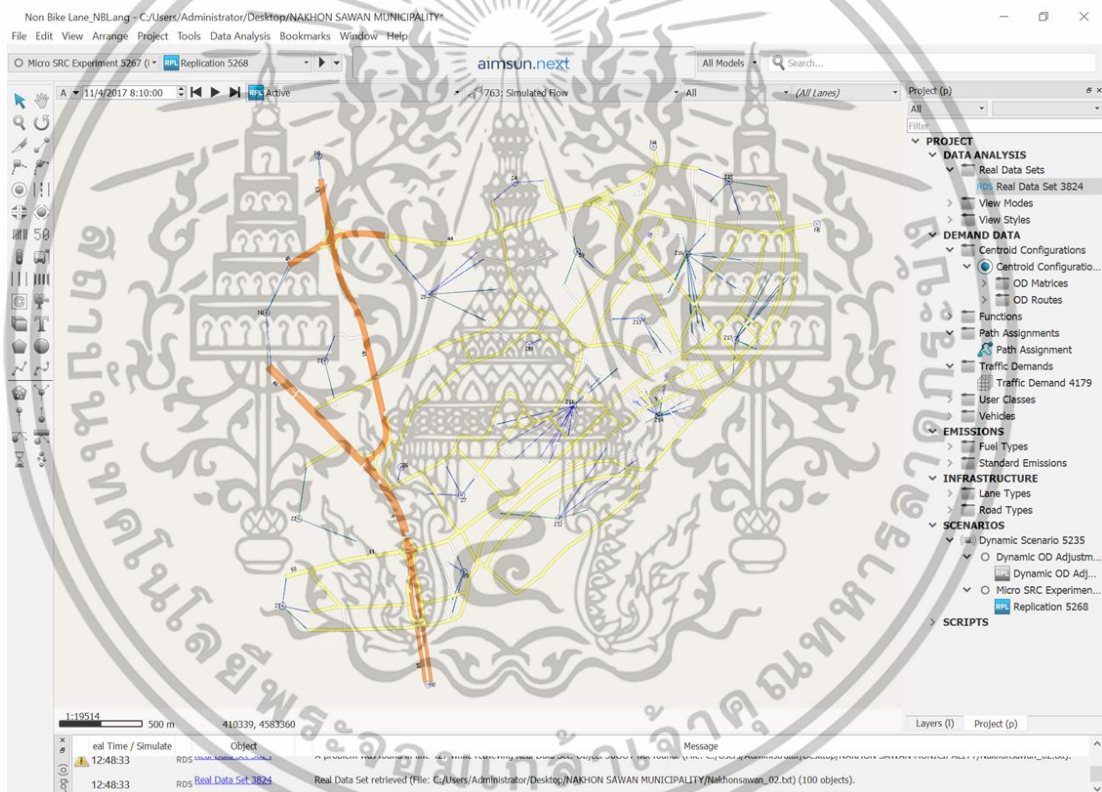


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการสร้างแผนที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 สร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

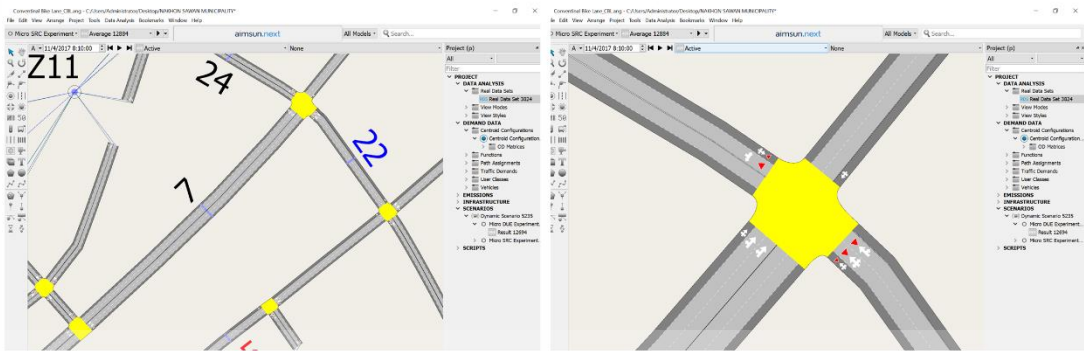
ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่สร้างขึ้นถูกนำเข้า (Import Data) ในโปรแกรม AIMSUN ในส่วนของ Microscopic Simulation Model เพื่อสร้างระบบโครงข่ายถนน (Roads Network Model) แนวเส้นทางของถนน (Alignment of Road) ถูกปรับแต่งให้มีความเสมือนกับพื้นที่จริงแบ่งเป็น 712 ถนน (Link) และ 237 จุดตัดทางแยก (Node) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 บริหารจัดการทางแยกด้วยป้ายให้ทาง (Give Way Signs) บนทางสายรอง (Minor Road) เพื่อให้ทางสายหลัก (Main Road) ได้ไปก่อน และบริเวณกลางแยกกำหนดให้เป็นพื้นที่ห้ามจอด (Yellow Boxes) เพื่อป้องกันการเกิดแถวคอยขวางกระแสจราจรบริเวณกึ่งกลางทางแยก โครงข่ายถนนและสภาพการจราจรในปัจจุบันที่ถูกสร้างขึ้นในแบบจำลองกรณีที่ 1 (NBL) และนำไปใช้เป็นตัวแบบในการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation Model)



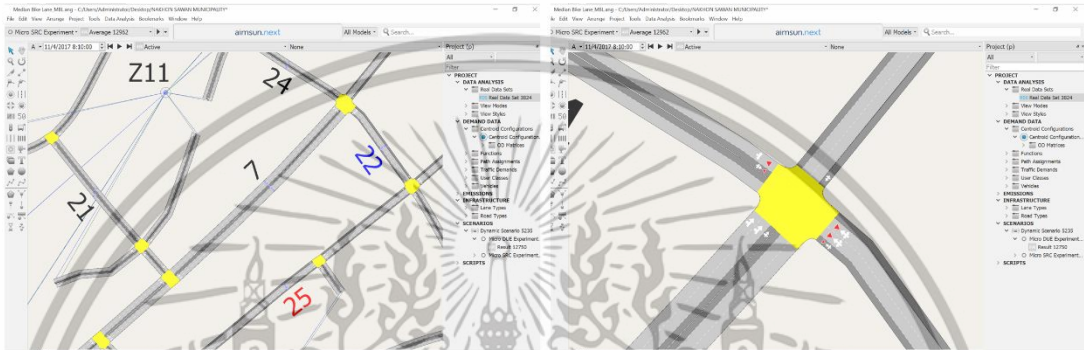
รูปที่ 4.2 แบบจำลอง AIMSUN Microscopic Simulation Model

การสร้างแบบจำลองกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ถูกสร้างขึ้น โดยนำแบบจำลองกรณีที่ 1 (NBL) ปรับลักษณะทางกายภาพของรูปตัดถนนใหม่ เพิ่มช่องทางจักรยานแทนที่พื้นที่จอดรถริมข้างทาง (Roadside Parking) กำหนดให้ความกว้างของช่องทางจักรยานมีขนาด 1.50 – 2.00 เมตร ตามความเหมาะสมกับความกว้างของเขตทาง (Right of Way) ที่มีอยู่เดิม นำเข้าความเร็วในการออกแบบช่องทางจักรยานในแต่ละช่วงถนนไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังแสดงรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL)



(ข) กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านขวาของช่องทางจราจรหลักหรือบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL)

รูปที่ 4.3 การจัดวางช่องทางจักรยานในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

4.2 นำเข้าข้อมูลด้านการจราจร

4.2.1 การสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร

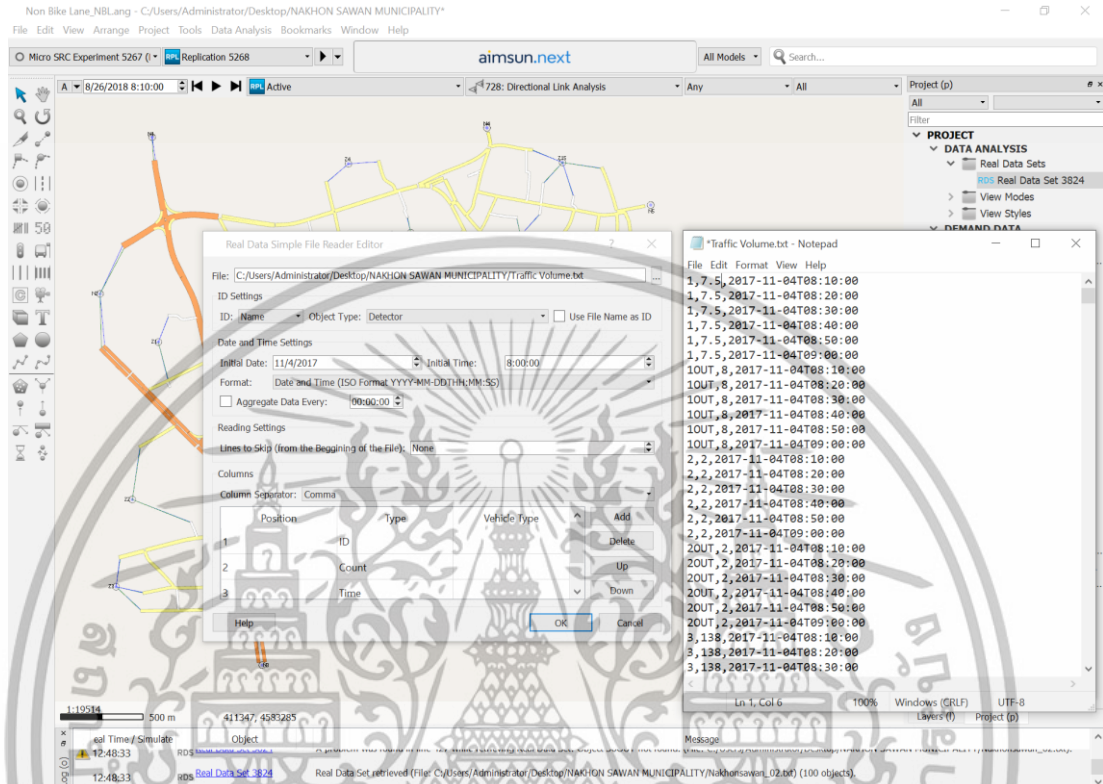
ผลการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามจำนวน 55 ตำแหน่ง แสดงในหน่วยของ PCU/ชั่วโมง ดังแสดงรายละเอียดผลการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจรในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Volume Survey) (หน่วย: PCU/ชั่วโมง)

ตำแหน่ง	เข้าเมือง	ออกเมือง	ปริมาณจราจรรวม	ตำแหน่ง	เข้าเมือง	ออกเมือง	ปริมาณจราจรรวม
1	45	48	93	28	79	-	79
2	13	13	26	29	20	88	108
3	832	-	832	30	81	163	244
4	35	16	51	31	66	127	193
5	192	176	368	32	2	-	2
6	130	121	251	33	55	93	148
7	1151	758	1909	34	187	175	362
8	186	239	425	35	138	151	289
9	2529	1302	3831	36	65	-	65
10	2400	603	3003	37	5	169	174
11	338	589	927	38	36	9	45
12	67	20	87	39	111	207	318
13	40	53	93	40	71	45	116
14	89	139	228	41	1978	1212	3190
15	54	7	61	42	4	91	95
16	18	11	29	43	306	520	826
17	184	179	363	44	698	484	1182
18	169	288	457	45	320	536	856
19	112	104	216	46	91	206	297
20	27	96	123	47	245	128	373
21	149	233	382	48	540	319	859
22	808	-	808	49	158	190	348
23	165	197	362	50	125	190	315
24	303	281	584	51	42	55	97
25	102	-	102	52	104	343	447
26	103	-	103	53	1235	1100	2335
27	270	211	481	54	425	88	513
				55	22	3	25

ผลการสำรวจปริมาณจราจร พบว่า ในช่วงเวลาเร่งด่วนปริมาณจราจรมีการกระจายตัวแจกแจงแบบปกติ ปริมาณจราจรรวม 2 ทิศทางการเดินทางบนถนนทางหลวงที่มีปริมาณสูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ลำดับที่ 1 ทางหลวงหมายเลข 1 บริเวณตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 9 ปริมาณจราจรเท่ากับ 3,831 PCU/ชั่วโมง ลำดับที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 117 ตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 41 ปริมาณจราจรเท่ากับ 3,190 PCU/ชั่วโมง และลำดับที่ 3 ทางหลวงหมายเลข 1 ตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 10 ปริมาณจราจรเท่ากับ 3,003 PCU/ชั่วโมง ในขณะที่ถนนในเขตเมืองที่มีปริมาณจราจรสูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ลำดับที่ 1 ถนนสวรรคคีติบริเวณตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 7 ปริมาณจราจรเท่ากับ 1,909 PCU/ชั่วโมง ลำดับที่ 2 ถนนสวรรคคีติตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 11 ปริมาณจราจรเท่ากับ 927 PCU/ชั่วโมง และลำดับที่ 3 ถนนโกสีย์ ตำแหน่งการสำรวจหมายเลข 3 ปริมาณจราจรเท่ากับ 832 PCU/ชั่วโมง

นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามทั้งหมดใน AIMSUN Microscopic Simulator Model ด้วยรูปแบบฐานข้อมูล Real Data Sets (ISO Format YYYY-MM-DDTHH:MM:SS) เชื่อมโยงกับอุปกรณ์ตรวจนับยานพาหนะ (Detector) ดังแสดงในรูปที่ 4.4



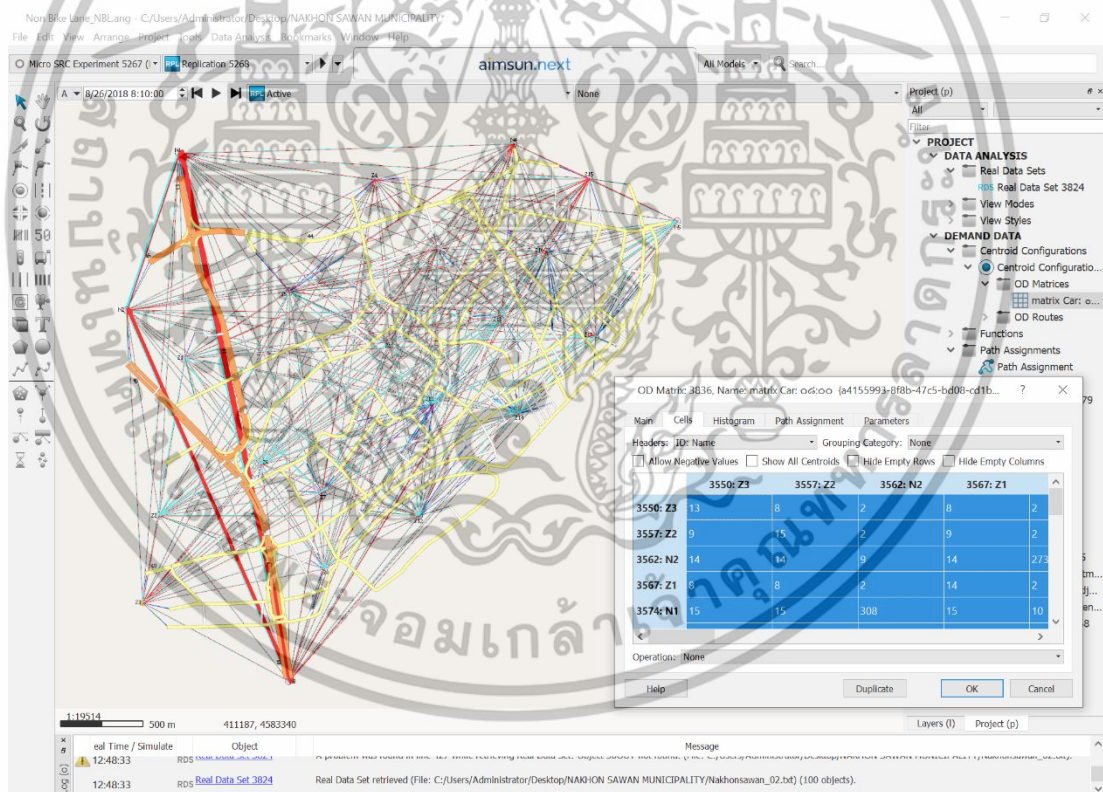
รูปที่ 4.4 นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรในรูปแบบฐานข้อมูล Real Data Sets

4.2.2 การสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (Origin-Destination Survey)

ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทางจากการบันทึกป้ายทะเบียนรถยนต์บริเวณตำแหน่งการสำรวจข้อมูล 18 ตำแหน่ง นำมาวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการในการเดินทางระหว่าง 22 พื้นที่ย่อย แยกเป็นพื้นที่ย่อยเชื่อมโยงการเดินทางในเขตเมือง (Internal Zone) จำนวน 17 พื้นที่ย่อย และระหว่างเมือง (External Zone) จำนวน 5 พื้นที่ย่อย ดังแสดงรายละเอียดปริมาณความต้องการในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยในตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (Origin-Destination Survey)

id:name	3550: Z3	3557: Z2	3562: N2	3567: Z1	3574: N1	3577: Z4	3582: Z5	3593: Z6	3596: Z7	3605: Z8	3614: Z9	3629: Z10	3632: Z11	3649: Z12	3654: Z13	3661: Z14	3686: Z15	3695: Z16	3726: N4	3754: Z17	3787: N5	3790: N3	Total
3550: Z3	13	8	2	8	2	5	8	3	20	8	13	5	38	8	8	20	5	15	2	10	2	2	205
3557: Z2	9	15	2	9	2	6	9	3	24	9	15	3	46	9	9	24	6	18	2	12	2	2	236
3562: N2	14	14	9	14	273	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	14	14	182	734
3567: Z1	8	8	2	14	2	6	8	3	22	8	14	3	42	8	17	22	6	17	2	11	2	2	227
3574: N1	15	15	308	15	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	21	15	15	308	917
3577: Z4	6	6	2	6	2	14	8	3	22	8	14	3	42	8	17	22	6	17	2	11	2	2	223
3582: Z5	12	12	3	12	3	12	20	4	32	12	20	4	59	12	24	32	8	24	3	16	3	3	330
3593: Z6	1	1	1	1	1	1	1	1	7	10	4	7	1	20	4	8	10	3	8	1	5	1	97
3596: Z7	43	43	4	43	4	43	43	43	27	16	27	5	81	16	32	43	11	32	4	22	4	4	590
3605: Z8	11	11	3	11	3	11	11	11	11	19	19	4	57	11	23	30	8	23	3	15	3	3	301
3614: Z9	45	45	7	45	7	45	45	45	45	45	45	9	135	27	54	72	18	54	7	36	7	7	845
3629: Z10	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	19	4	8	10	3	8	1	5	1	1	79
3632: Z11	83	83	4	83	4	83	83	83	83	83	83	83	28	17	33	44	11	33	4	22	4	4	1038
3649: Z12	14	14	4	14	4	14	14	14	14	14	14	14	14	23	27	36	9	27	4	18	4	4	314
3654: Z13	21	21	5	21	5	21	21	21	21	21	21	21	21	21	34	27	7	21	5	14	5	5	380
3661: Z14	11	11	3	6	3	34	34	34	34	11	34	34	34	34	34	21	21	26	3	17	3	3	445
3686: Z15	11	11	4	11	4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	28	28	34	4	22	4	4	275
3695: Z16	33	33	4	33	4	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	27	4	22	4	4	564
3726: N4	21	21	28	21	28	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	69	21	14	28	524
3754: Z17	11	11	2	11	2	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	2	14	2	2	200
3787: N5	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	7	11	7	7	230
3790: N3	52	52	688	52	1032	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	69	52	34	34	2741
Total	448	447	1097	442	1407	464	474	443	534	427	495	363	804	370	496	598	307	508	237	385	137	612	11495



รูปที่ 4.5 ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ 22 พื้นที่ย่อย

ผลการสำรวจจุดต้นทางและปลายทาง พบว่า ปริมาณความต้องการในการเดินทางเชื่อมโยงระหว่างเมือง (External Zone) หรือ โหนด (Node) สูงสุด ได้แก่ N1 และ N3 จำนวน 1,340 Trips และรองลงมา ได้แก่ N2 และ N3 จำนวน 870 Trips ในขณะที่ปริมาณความต้องการในการเดินทางในเขตเมือง (Internal Zone) มีการกระจายตัวระหว่างจุดกำเนิดการเดินทาง (Trip Production)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจุดดึงดูดการเดินทาง (Trip Attraction) ที่สำคัญ ได้แก่ แหล่งที่อยู่อาศัย ย่านค้าขาย ตลาด และสวนสาธารณะ

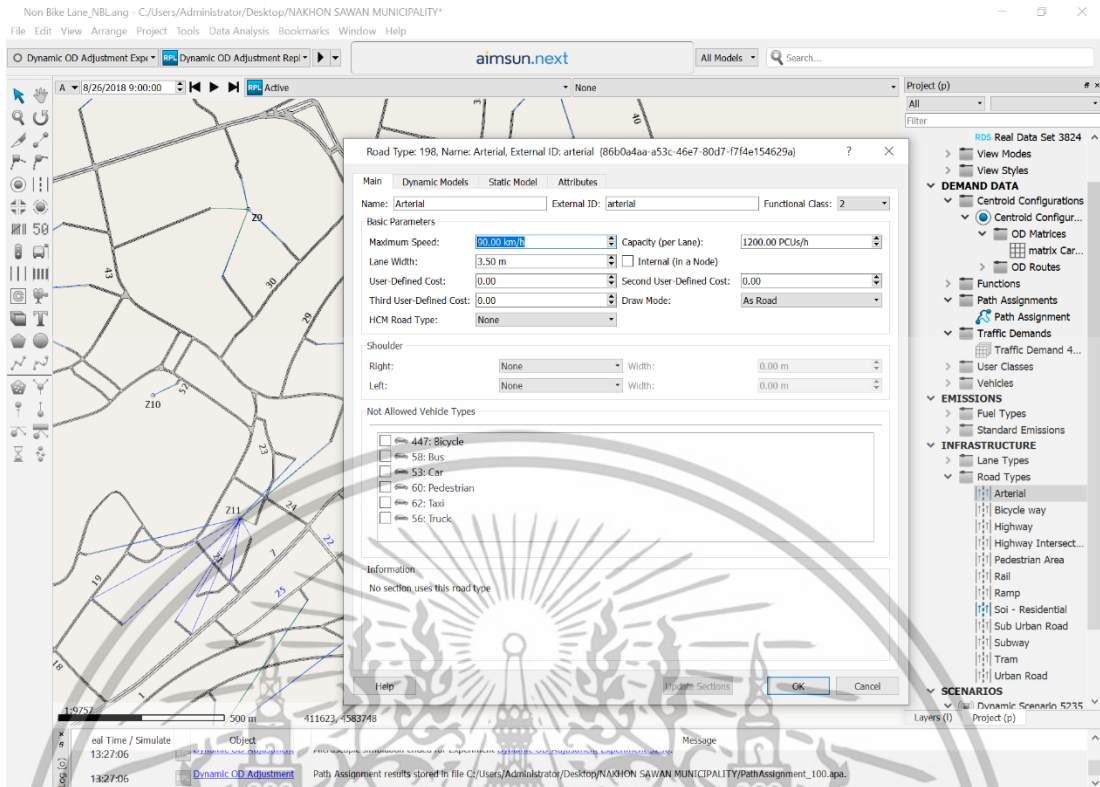
4.2.3 การสำรวจความเร็วในการเดินทาง

ผลการสำรวจความเร็วในการขับขี่และระยะเวลาในการเดินทางของแต่ละช่วงถนนในช่วงเวลาเร่งด่วน ดังแสดงผลการสำรวจข้อมูลความเร็วในการเดินทางในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความเร็วในการขับขี่บนช่วงถนน (Operating Speed)

การสำรวจความเร็วในการเดินทาง พบว่า ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่ยานพาหนะในเขตเมือง ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถใช้ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินสองข้างถนนและการจราจรทาง โดยบริเวณทางแยกมักพบการชะลอตัวหรือหยุดนิ่งของความเร็ว เนื่องจากการบริหารจัดการทางแยกด้วยสัญญาณไฟจราจร อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงถนนที่มีลักษณะทางกายภาพของถนนที่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น บริเวณมุมเหลี่ยมหรือมุมโค้งที่แคบและมีขนาดช่องจราจรต่ำกว่า 3.00 เมตร มักพบว่าความเร็วในการขับขี่จะลดลงเหลือเพียง 20 – 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปสรรคต่อการไหลลื่นของกระแสจราจรเป็นอย่างมาก โดยการนำเข้าความเร็วในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงดังแสดงในรูปที่ 4.7

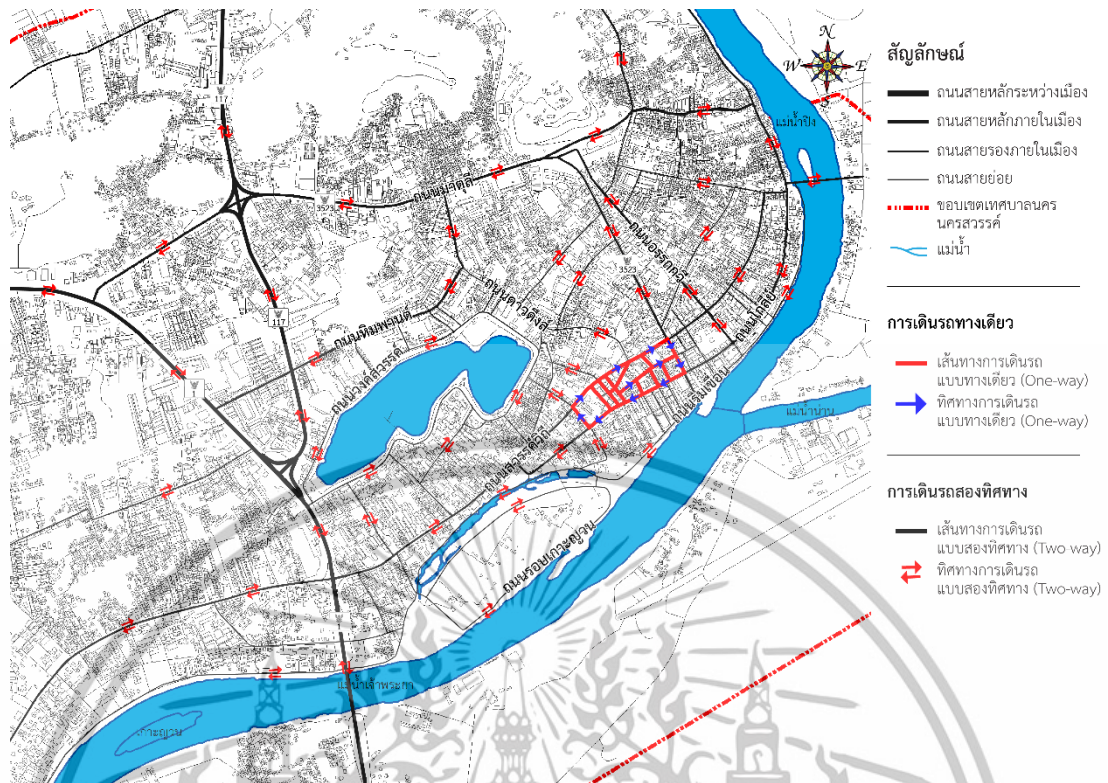


รูปที่ 4.7 การนำเข้าความเร็วในการขับขี่ยานพาหนะตามประเภทของถนน

4.2.4 การบริหารจัดการทางจราจร

การบริหารจัดการการเดินรถในพื้นที่เทศบาลนครนครสวรรค์มีทั้งแบบการเดินรถทางเดียว (One-way) และสองทาง (Two-way) โดยส่วนใหญ่เป็นการจัดการเดินรถแบบ 2 ทาง นอกจากนี้บริเวณย่านการค้าและพาณิชย์กรรมที่สำคัญมีการจัดการเดินรถแบบทางเดียวแบบกระแสรอบแบบวนกลับ (Loop) เริ่มจากบริเวณทางแยกวัดนครสวรรค์ แนวเส้นทางตามถนนสวรรค์วิถีถึงทางแยกตัดกับถนนมาตุลี (ทางหลวงหมายเลข 3523) วนขวาไปตามแนวถนนมาตุลี ถนนโกสีย์ ถนนลูกเสือ กลับมาบรรจบที่ทางแยกวัดนครสวรรค์ โดยมีโครงข่ายถนนสุชาติและซอยย่อยของถนนสวรรค์วิถี และถนนโกสีย์เชื่อมต่ออย่างเป็นระบบโครงข่ายการเดินรถแบบทางเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงการเดินรถทางเดียว (One-way)

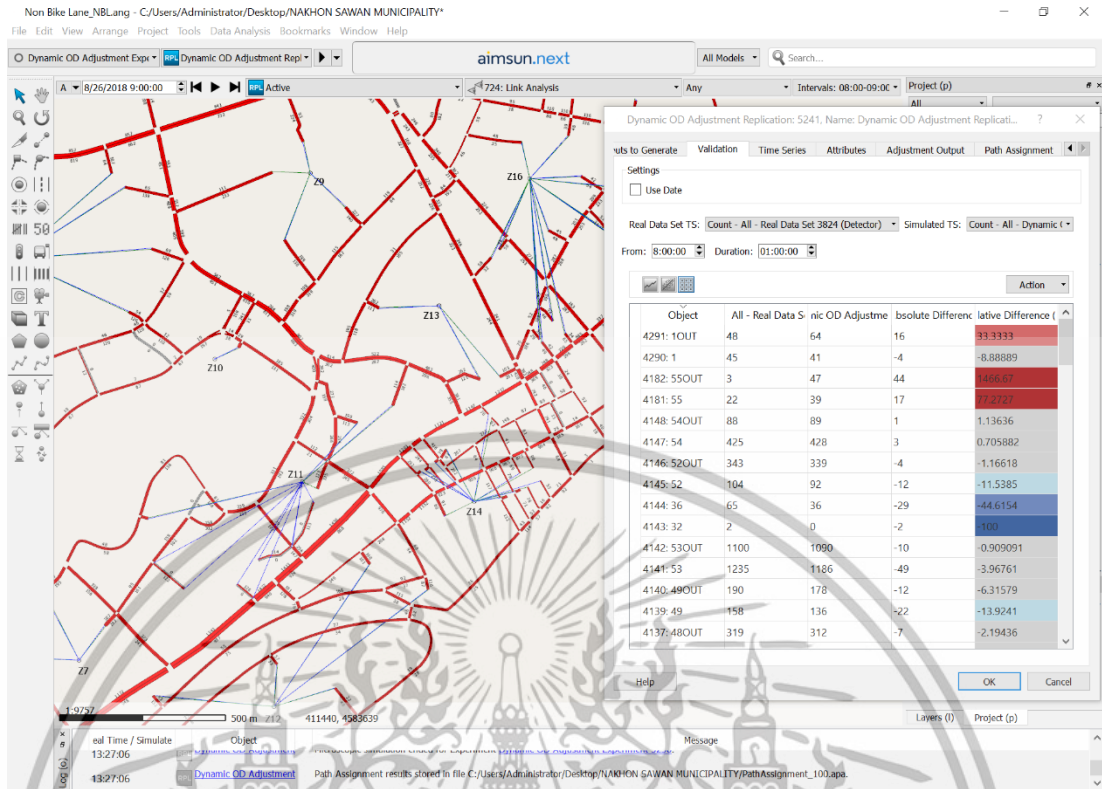
การบริหารจัดการจราจรทางแยกและช่วงถนนโดยการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรเพื่อควบคุมทางแยกแบบตั้งเวลา (Fixed-time Signals) แบ่งระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรบนทางสายหลักและสายรอง และบริเวณช่วงถนนจัดให้มีป้ายหยุดรถประจำทางและพื้นที่จอดรถแบบริมทางขนานทางเท้า (Parallel Parking) แยกตามประเภทยานพาหนะแบ่งเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานยนต์

4.3 การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

4.3.1 ปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง (O/D Matrix Adjustment)

การปรับแก้ผลการสำรวจข้อมูลจุดต้นทางปลายทางจากภาคสนาม หรือข้อมูลตาราง O/D Matrix (Origin and Destination Matrix) ด้วยการจำลอง Dynamic O/D Adjustment แทนค่า Maximum Number of Iterations จำนวน 99 Scenarios ดังแสดงผลการจำลองใน Scenario 1 ในรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

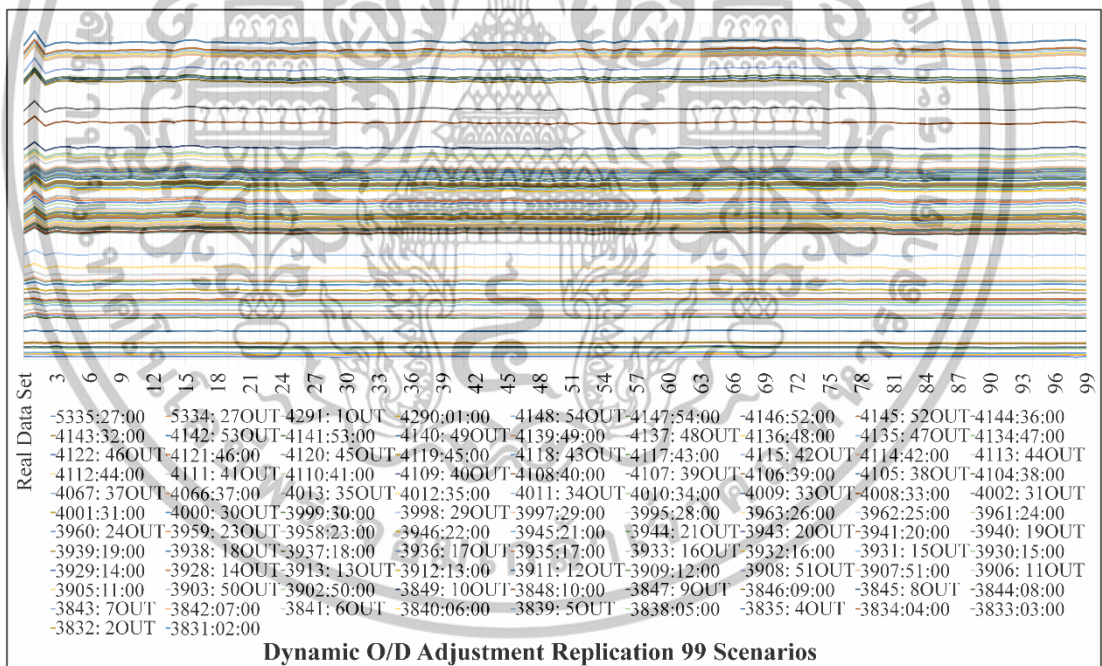


รูปที่ 4.9 ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ของ Scenario 1

การจำลอง Dynamic O/D Adjustment ในแต่ละ Scenario ผลลัพธ์ที่ได้นอกจากจะแสดงค่าตารางปรับแก้ O/D Matrix Adjustment ผลลัพธ์ยังแสดงถึงปริมาณจราจรในหน่วย PCU/ชั่วโมง ในแต่ละช่วงถนนจากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร (Detector) ณ ตำแหน่งเดียวกับการสำรวจข้อมูลปริมาณจราจร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนาม (Real Data Sets หรือ Traffic Volume Observed) เพื่อการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยผลลัพธ์การจำลอง Dynamic O/D Adjustment ทั้ง 99 Scenarios ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios (หน่วย: PCU/ชม.)

ลำดับ	ช่วงถนน	ปริมาณจราจร ภาคสนาม (Real Data Set)	การจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios ปริมาณจราจรจากแบบจำลอง (Modelled Counts Data)												
			1	2	3	4	5	6	...	94	95	96	97	98	99
1	5335:27:00	270	238	242	269	255	249	260	...	260	261	261	275	230	262
2	5334: 27OUT	211	253	246	240	203	217	226	...	156	162	162	176	203	169
3	4291: 1OUT	48	46	49	49	52	39	33	...	50	44	44	40	46	48
4	4290:01:00	45	45	38	48	33	38	40	...	53	54	54	52	45	52
5	4148: 54OUT	88	87	86	90	84	87	92	...	90	90	90	87	86	90
6	5335:27:00	270	238	242	269	255	249	260	...	437	437	437	434	446	437
.
96	3838:05:00	192	217	190	194	203	208	201	...	185	203	203	195	207	187
97	3835: 4OUT	16	19	17	31	25	31	31	...	35	38	38	41	40	41
98	3834:04:00	35	20	22	22	26	23	18	...	32	35	35	39	41	40
99	3833:03:00	693	786	711	774	730	728	745	...	713	690	690	685	718	680
100	3832: 2OUT	13	7	12	14	12	14	17	...	25	23	23	21	23	20
101	3831:02:00	13	4	5	9	10	9	9	...	9	10	10	10	17	11

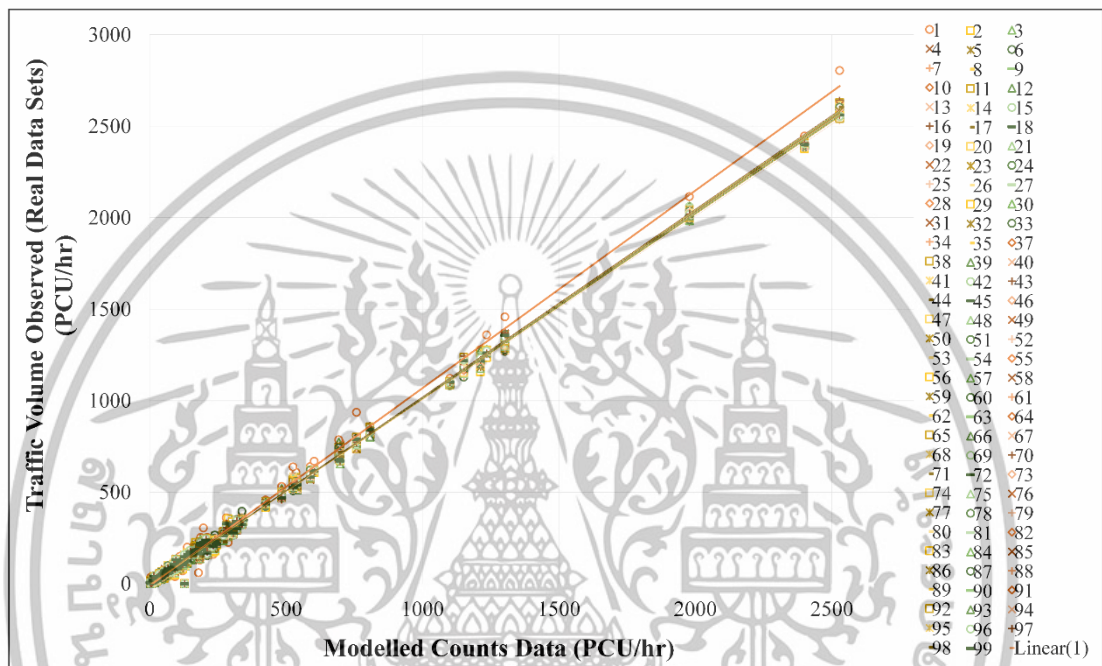


รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรจริงที่สำรวจได้จากภาคสนาม (Real Data Sets) กับปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Modelled Counts Data) พบว่า การจำลอง Dynamic O/D Adjustment ใน Scenario 1 และ Scenario 2 มีรูปแบบของเส้นกราฟปริมาณจราจรของทุกช่วงถนนที่คล้ายกัน โดยช่วงถนนที่มีปริมาณจราจรมากจะแสดงรูปแบบของเส้นกราฟที่ชัดเจน กล่าวคือ ใน Scenario 1 เส้นกราฟปริมาณจราจรจากแบบจำลองจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่สูงกว่าปริมาณจราจรที่สำรวจได้จากภาคสนามที่จุดสูงสุด ก่อนที่จะลดลงที่ Scenario 2 จากนั้น Scenario 3 to 99 รูปแบบของเส้นกราฟมีความผันผวนเล็กน้อยมีแนวโน้มไม่ชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.11 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรจากการสำรวจภาคสนาม (Real Data Sets) กับแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Modelled Counts Data) เส้นแนวโน้มของ Scenario 1 มีรูปแบบแยกออกจากกลุ่มได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ Scenario 2 – Scenario 99 เส้นแนวโน้มมีลักษณะจับกลุ่มไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรจากการสำรวจภาคสนามกับจากแบบจำลอง

อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ค่า Mean Absolute Percentage Error พบว่า 5 ลำดับ เรียงจากค่ามากที่สุดไปน้อย ได้แก่ Scenario 1 เท่ากับ 28.98% Scenario 2 เท่ากับ 19.88% Scenario 3 เท่ากับ 17.49% Scenario 84 เท่ากับ 17.41% และ Scenario 87 เท่ากับ 16.92% ตามลำดับ ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ตั้งแต่ Scenario 3 เริ่มมีแนวโน้มค่า Mean Absolute Percentage Error ที่แตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น จากจำลอง Dynamic O/D Adjustment สรุปได้ว่าค่า Maximum Number of Iteration ควรแทนค่ามากกว่า 2 (Scenario 2) เพื่อตัดผลการจำลองของ Scenario ที่มีความผันผวนมากออก ในขณะที่การแทนค่า Maximum Number of Iteration ที่มีความถูกต้องมากที่สุดยังคงสรุปไม่ได้ในขั้นตอนนี้ เนื่องจากเส้นกราฟตั้งแต่ Scenario 3 – Scenario 99 ยังคงมีความผันผวนเล็กน้อย โดยมีรูปแบบแนวโน้มเข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดไม่ชัดเจน ดังนั้น จึงนำไปสู่ขั้นตอนการประเมินผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment จำนวน 99 Scenarios โดยวิธีทางสถิติด้วยการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี ในขั้นตอนต่อไป

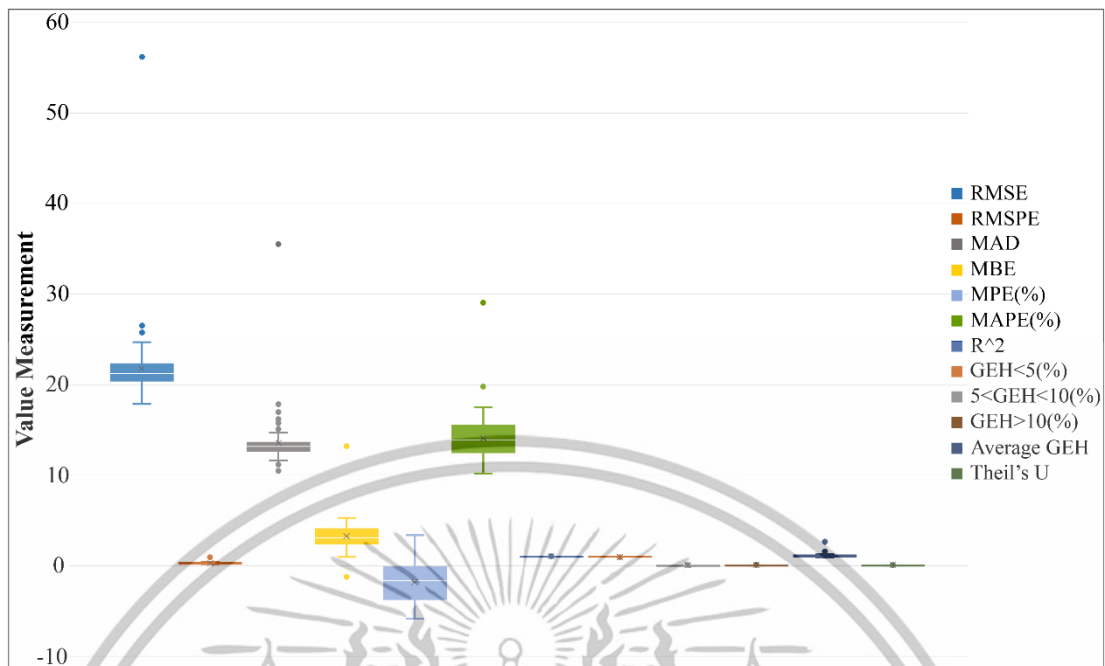
4.3.2 ประเมินผลการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง

การประเมินผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment แทนค่า Maximum Number of Iterations จำนวน 99 Scenarios ข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (Modelled Counts Data) ในแต่ละช่วงถนน ถูกนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณจราจรจริงที่สำรวจได้จากภาคสนาม (Real Data Sets) โดยการประเมินความถูกต้องจากการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในแต่ละ Scenario โดยอ้างอิงทฤษฎีทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี ได้แก่ 1) Root Mean Square Error (RMSE) 2) Root Mean Square Percentage Error (RMSPE%) 3) Mean Absolute Deviation (MAD) 4) Mean Bias Error (MBE) 5) Mean Percentage Error (MPE%) 6) Mean Absolute Percentage Error (MAPE%) 7) Coefficient of Determination (R^2) 8) GEH Statistic (GEH) และ 9) Thiel's U Statistic (Theil's U) โดยผลการคำนวณจากวิธีการทดสอบทั้ง 9 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี

Iteration	RMSE	RMSPE	MAD	MBE	MPE (%)	MAPE (%)	R^2	GEH<5 (%)	5<GEH<10 (%)	GHE>10 (%)	Average GEH	Theil's U
1	56.27356	0.82652	35.54125	13.30363	-1.99691	28.98209	0.99287	0.91089	0.06931	0.01980	2.43221	0.05030
2	26.63581	0.43061	17.91749	-1.23102	3.39253	19.87539	0.99680	0.98020	0.00990	0.00990	1.59107	0.02455
3	25.81371	0.35427	16.85809	2.28383	1.16910	17.48607	0.99722	0.99010	0.00000	0.00990	1.40336	0.02371
4	23.75961	0.38449	16.00660	3.03630	-2.46783	16.39529	0.99761	0.99010	0.00000	0.00990	1.32339	0.02184
5	23.10089	0.33575	14.88779	1.81848	0.29052	16.78911	0.99784	0.99010	0.00000	0.00990	1.28977	0.02122
6	23.84551	0.25975	16.11551	2.25413	0.09146	15.63311	0.99748	0.99010	0.00000	0.00990	1.32805	0.02194
.
.
.
94	22.82950	0.38031	14.69967	3.23432	-3.60479	16.17351	0.99781	0.99010	0.00000	0.00990	1.20617	0.02098
95	22.37509	0.38471	14.58746	4.24422	-5.31930	16.56427	0.99789	0.99010	0.00000	0.00990	1.21526	0.02057
96	22.37509	0.38471	14.58746	4.24422	-5.31930	16.56427	0.99789	0.99010	0.00000	0.00990	1.21526	0.02057
97	23.20495	0.38871	14.89439	4.80858	-5.28401	16.69742	0.99780	0.99010	0.00000	0.00990	1.22211	0.02131
98	22.82530	0.24648	14.16502	5.29373	-2.79429	13.11781	0.99810	0.99010	0.00000	0.00990	1.11961	0.02092
99	22.26767	0.38752	14.22112	3.66007	-4.68115	15.99498	0.99787	0.99010	0.00000	0.00990	1.16267	0.02048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี

กราฟ The Box-and-Whisker Plot ในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ผลการทดสอบด้วยวิธี MPE(%) ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีการกระจายตัวสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น และรองลงมาได้ MAPE(%) และ RMSE ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบด้วยวิธี MAD แสดงค่า an Outliers มากที่สุด กล่าวคือ ผลการคำนวณบาง Scenario มีค่าแตกต่างออกจากกลุ่มข้อมูลทั้งทิศทาง Upper Extreme และ Lower Extreme ในลักษณะแบบสุ่ม (Random Sample) อย่างไรก็ตาม การจำลอง Dynamic O/D Adjustment แทนค่า Maximum Number of Iteration ตั้งแต่ 4 (Scenario 4) สามารถกำจัดค่า Outliers จากการทดสอบทุกวิธียกเว้นการทดสอบวิธี MAD ที่แสดงผลข้อมูล an Outliers ลักษณะแบบสุ่มยากต่อการสรุปผลการแทนค่าอย่างชัดเจน

ผลการทดสอบ Goodness of Fit Test ถูกนำมาเทียบกับค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้ (Acceptable Indicators of Statistical Measurement) ของแต่ละวิธี เพื่อใช้อ้างอิงในการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกผลการคำนวณ โดยค่าที่ใกล้เคียงกับค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้มากที่สุดของแต่ละวิธี ถูกคัดเลือกเพื่อกำหนดเป็นค่า Upper Limit Value และค่าที่ใกล้เคียงน้อยที่สุดที่ยอมรับได้กำหนดเป็นค่า Lower Limit Value ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์หาช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Acceptable Range) จากผลการวิเคราะห์พบว่า ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ของ 99 Scenarios มีเพียง 8 Scenarios ที่แสดงผลอยู่ในช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการคัดเลือกค่า Dynamic O/D Adjustment ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้

วิธีการทดสอบ	ผลการคำนวณด้วยวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test								ช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
	Scenario 23	Scenario 25	Scenario 31	Scenario 42	Scenario 43	Scenario 47	Scenario 48	Scenario 49	
RMSE	17.87538**	19.07181	19.59906	20.80701*	19.27852	19.27595	19.64607	20.27381	2.93163
RMSPE(%)	0.27900*	0.26386	0.24281	0.18500**	0.20114	0.22284	0.20225	0.23467	0.09400
MAD	10.66007**	11.68977	12.28383*	12.28053	11.67657	11.22112	11.72607	11.97360	1.62376
MBE	1.55116	0.97690**	2.66007	2.66997*	2.02640	2.06601	2.33333	1.90759	1.69307
MPE(%)	0.04017	0.20849	0.11628	0.03044**	0.06985	0.29876	0.48677*	0.40055	0.45633
MAPE(%)	12.43642	13.27112*	12.67264	10.52426	10.67913	10.98155	10.16968**	11.67832	3.10144
R ²	0.99857**	0.99826*	0.99837	0.99831	0.99837	0.99843	0.99841	0.99826	0.00031
Average GEH	0.94410	1.04202*	1.03765	0.98174	0.96512	0.94904	0.93759**	0.99000	0.10443
Theil's U	0.01648**	0.01762	0.01803	0.01911*	0.01775	0.01774	0.01807	0.01865	0.00263

หมายเหตุ: ** ค่า Upper Limit Value และ * ค่า Lower Limit Value

ผลการคัดเลือกในตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า Scenario 23 มีค่า Upper Limit Value ถึง 4 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ RMSE MAD R² และ Theil's U และที่มีค่า Lower Limit Value 1 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ RMSPE(%) ในทางกลับกัน Scenario 25 วิธีการทดสอบ MBE มีค่า Upper Limit Value เพียงค่าเดียว แต่มีค่า Lower Limit Value ถึง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ MAPE(%) R² และ Average GEH มีค่า Lower Limit Value ในขณะที่ Scenario 43 47 และ 48 ไม่มีทั้งค่า Upper Limit Value และค่า Lower Limit Value แต่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Acceptable Range) ด้วยเหตุดังกล่าว การคัดเลือก Scenario ที่มีความถูกต้องมากที่สุดจากการวิเคราะห์ค่าที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจึงมีความไม่ชัดเจนและยากต่อการตัดสินใจ ดังนั้น วิธี Multi-Factor Scoring Method จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างกระบวนการคัดเลือกแบบจากการวิเคราะห์ปัจจัยหลายตัวแปร

4.3.3 คัดเลือกผลการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางปลายทาง

ผลการคัดเลือกค่า Dynamic O/D Adjustment ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทั้ง 8 Scenarios โดยการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method กำหนดให้คะแนนในแต่ละวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test มีคะแนนเต็ม 10 คะแนน ซึ่งในแต่ละ Scenario มีคะแนนเต็ม 90 คะแนน อย่างไรก็ตาม ก่อนการให้คะแนนค่าที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Goodness of Fit Test ทั้ง 9 วิธี จะถูกแปลงด้วยค่า Conversion Value เพื่อการปรับฐานค่าที่คำนวณได้ให้มีความเท่ากันจากช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกัน อ้างอิงจากค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้ของวิธีการทดสอบในแต่ละวิธี โดยผลการคำนวณดังกล่าวแสดงตารางการคำนวณในตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณคะแนนและการจัดลำดับ Scenario ที่ได้คะแนนสูงสุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ Scenario 23 (คะแนน 80.192) Scenario 43 (คะแนน 79.869) Scenario 42 (คะแนน 79.488) Scenario 25 (คะแนน 78.890) และ Scenario 31 (คะแนน 78.554) ตามลำดับ โดยอันดับที่ 1 คือ Scenario 23 จากผลการคำนวณตารางที่ 4.5 พบว่า มีค่า Upper Limit Value หรือค่าที่ใกล้เคียงค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้มากที่สุด

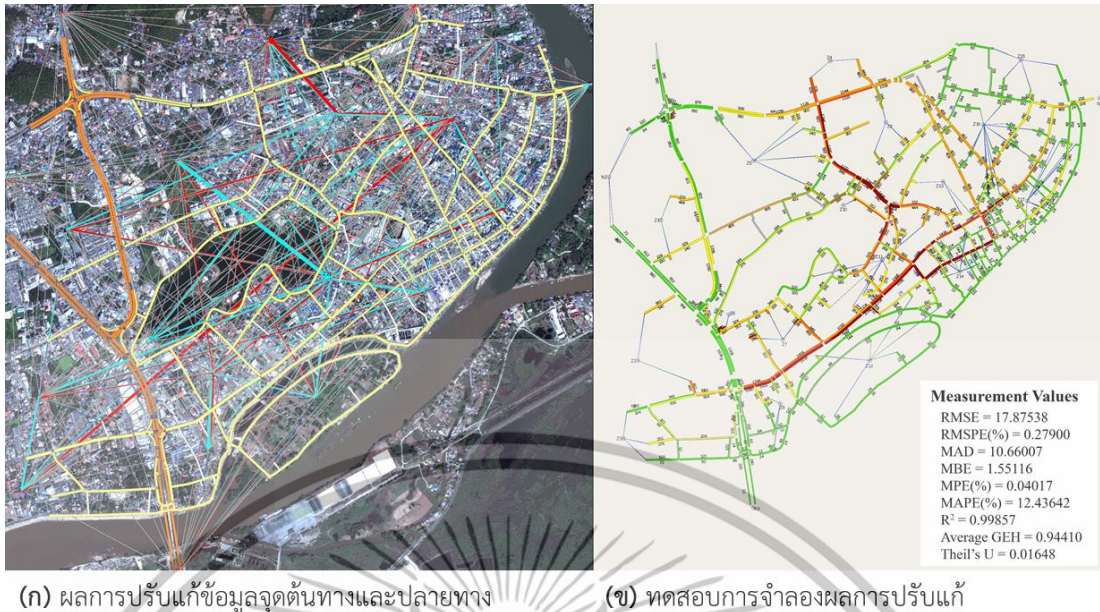
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 4 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ RMSE MAD R² และ Theil's U และมีค่า Lower Limit Value หรือ ค่าที่ใกล้เคียงค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้น้อยที่สุด จำนวน 1 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ RMSPE(%) ในขณะที่ Scenario 43 มีคะแนนเป็นลำดับที่ 2 แต่ผลการคำนวณไม่มีทั้งค่า Upper Limit Value และค่า Lower Limit Value แต่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Acceptable Range) เพียงเท่านั้น ดังแสดงผลในรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.6 ผลการคัดเลือกค่า O/D Matrix Adjustment ด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method

วิธีการทดสอบ	น้ำหนักคะแนน	Multi-Factor Scoring Method															
		Scenario 23		Scenario 25		Scenario 31		Scenario 42		Scenario 43		Scenario 47		Scenario 48		Scenario 49	
		Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score	Conversion Value	Factor Score
RMSE	10	0.885	8.853	0.878	8.776	0.874	8.742	0.866	8.665	0.876	8.763	0.876	8.763	0.874	8.739	0.870	8.699
RMSPE(%)	10	0.848	8.477	0.856	8.559	0.867	8.674	0.899	8.990	0.890	8.902	0.878	8.783	0.890	8.896	0.872	8.719
MAD	10	0.886	8.860	0.875	8.750	0.869	8.686	0.869	8.687	0.875	8.751	0.880	8.800	0.875	8.746	0.872	8.720
MBE	10	0.904	9.042	0.940	9.397	0.836	8.357	0.835	8.351	0.875	8.748	0.872	8.724	0.856	8.559	0.882	8.822
MPE(%)	10	0.976	9.757	0.874	8.737	0.930	9.296	0.982	9.816	0.958	9.577	0.819	8.191	0.705	7.052	0.757	7.574
MAPE(%)	10	0.865	8.654	0.856	8.564	0.863	8.629	0.886	8.861	0.884	8.844	0.881	8.812	0.890	8.900	0.874	8.736
R ²	10	0.890	8.901	0.866	8.662	0.875	8.749	0.870	8.702	0.875	8.750	0.879	8.792	0.878	8.781	0.866	8.662
Average GEH	10	0.880	8.797	0.867	8.672	0.868	8.678	0.875	8.749	0.877	8.770	0.879	8.791	0.881	8.805	0.874	8.738
Theil's U	10	0.885	8.851	0.877	8.772	0.874	8.743	0.867	8.668	0.876	8.762	0.876	8.763	0.874	8.741	0.870	8.700
คะแนน		80.192		78.890		78.554		79.488		79.869		78.419		77.219		77.370	
จัดลำดับที่		- 1 -		- 4 -		- 5 -		- 3 -		- 2 -		- 6 -		- 8 -		- 7 -	

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากค่า Upper Limit Value ของแต่ละวิธีการทดสอบ พบว่า Scenario 25 มีโอกาสได้คะแนนที่น้อยและถูกจัดลำดับท้าย เนื่องจากมีค่า Lower Limit Value ถึง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ MAPE(%) R² และ Average AGE แต่ปรากฏกว่าเป็นลำดับที่ 4 ซึ่งแตกต่างจาก Scenario 48 ได้คะแนนเท่ากับ 77.219 มีค่า Upper Limit Value ถึง 2 วิธี ได้แก่ วิธีการทดสอบ MAPE(%) และ Average GEH แต่ผลการจัดลำดับ (Ranking Score) เป็นลำดับสุดท้ายที่ลำดับ 8 ดังนั้น กระบวนการคัดเลือกโดยการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method จึงมีความสำคัญในการแสดงผลการให้คะแนนแบบเชิงตัวเลข ซึ่งมีความชัดเจนต่อการคัดเลือกและการจัดลำดับได้อย่างถูกต้อง



(ก) ผลการปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางและปลายทาง

(ข) ทดสอบการจำลองผลการปรับแก้

รูปที่ 4.13 ผลการจำลอง Dynamic O/D Adjustment ของ Scenario 23

4.4 การกำหนดสถานการณ์จำลอง (Traffic Scenario)

ผลการวิเคราะห์การปรับแก้ข้อมูลจุดต้นทางปลายทางจากการจำลองกรณีที่ 1 (NBL) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงค่าความต้องการในการเดินทาง (Traffic Demand) หรือปริมาณจราจรของผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เดินทางระหว่าง 17 พื้นที่ย่อย (Zones) ภายในเขตเทศบาลนครนครสวรรค์มีปริมาณรวม 15,384 คัน/ชั่วโมง ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้จะเรียกปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) ว่าเป็นร้อยละของความต้องการในการเดินทางบนโครงข่ายถนนที่ 100% ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นเพื่อกำหนดสมมติฐานการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนสัดส่วนการขับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยานแทน ในแบบจำลองกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ด้วยการจำลอง Microscopic Simulator ส่วนของ Stochastic Route Choice Experiments จากการนำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) ที่แตกต่างกันตามสัดส่วนร้อยละเทียบกับปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนโครงข่ายถนนที่ 100% (15,384 คัน/ชั่วโมง) โดยแบ่งสถานการณ์จราจรจำลอง (Traffic Scenarios) เป็น 6 Scenarios โดยมีรายละเอียดดังนี้

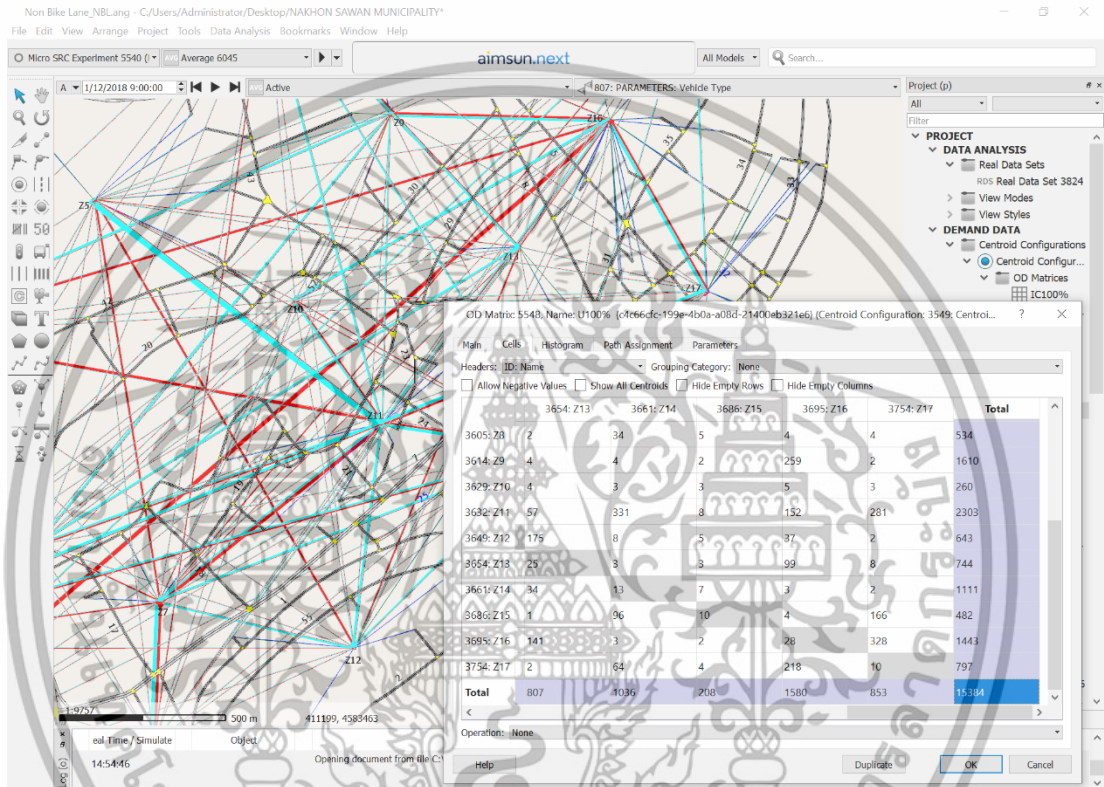
- Scenario 1 ปริมาณจราจรเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 15,384 คัน/ชั่วโมง
- Scenario 2 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,867 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 1,682 คัน/ชั่วโมง
- Scenario 3 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 12,328 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 3,182 คัน/ชั่วโมง
- Scenario 4 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10,824 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 4,696 คัน/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scenario 5 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9,294 คัน/ชั่วโมง และ จักรยานเท่ากับ 6,203 คัน/ชั่วโมง

Scenario 6 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 7,787 คัน/ชั่วโมง และ จักรยานเท่ากับ 7,787 คัน/ชั่วโมง

และสรุปในรูปแบบของตารางแสดงร้อยละความต้องการในการเดินทางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) ดังแสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.14 ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่เดินทางภายในเขตเมือง

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความต้องการในการเดินทางรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike)

ประเภทของยานพาหนะ	สัดส่วนร้อยละของปริมาณจราจร (คัน/ชั่วโมง)					
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	1	2	3	4	5	6
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car)	15,384 (100%)	13,867 (90%)	12,328 (80%)	10,824 (70%)	9,294 (60%)	7,787 (50%)
จักรยาน (Bike)	- (0%)	1,682 (10%)	3,182 (20%)	4,696 (30%)	6,203 (40%)	7,787 (50%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

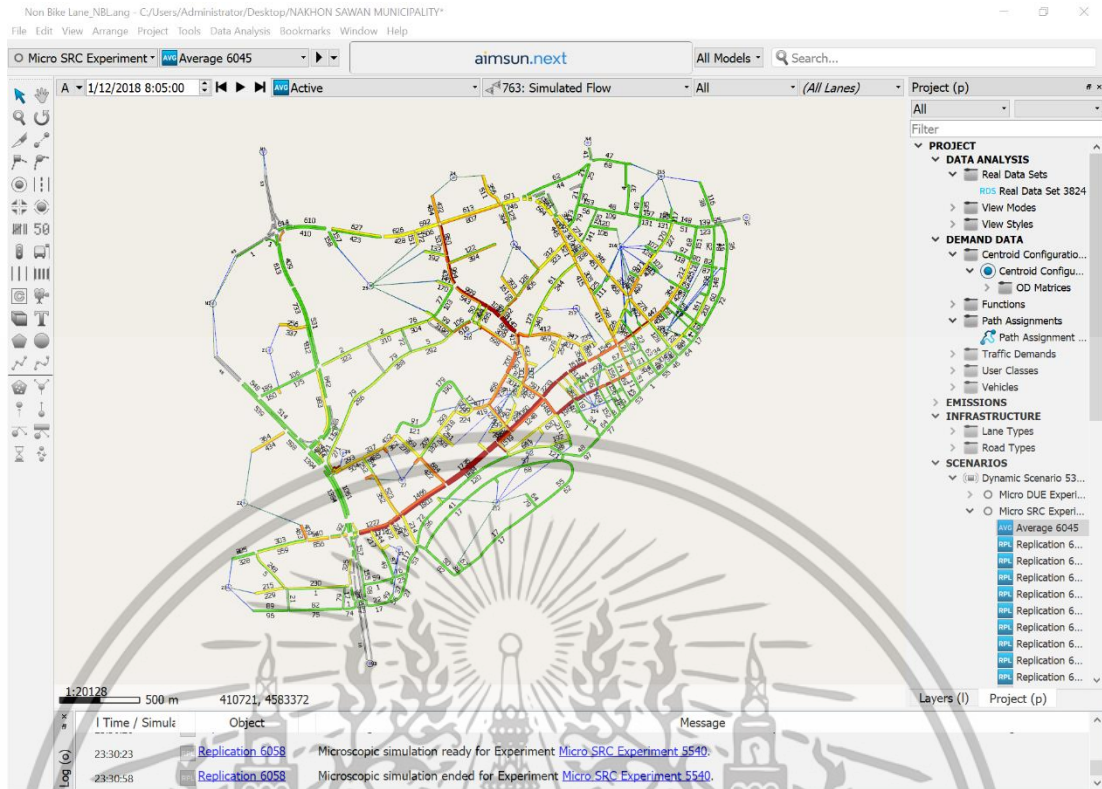
การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL) กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL) และกรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน (Median Bike Lane, MBL) โดยลำดับขั้นตอนแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 4 หัวข้อประกอบด้วย

- 5.1 ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 5.2 เปรียบเทียบผลการจำลองปริมาณจราจรในสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 5.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 5.4 การวิเคราะห์จุดด้อยภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง

5.1 ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

5.1.1 ผลการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงกรณีที่ 1 (NBL) (Scenario CAR 100%)

แบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงกรณีที่ 1 (NBL) ใช้เป็นตัวแทนของผลการจำลองสภาพการจราจรปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน โดยการนำเข้าปริมาณจราจรในแบบจำลองเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลแบบคงที่ในทุกสถานการณ์จำลอง (Scenario) เท่ากับ 15,384 คัน/ชั่วโมง โดยผลลัพธ์ของการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 15,137.54 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.55 ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ปริมาณจลาจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรของกรณีที่ 1 (NBL)

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงของกรณีที่ 1 (NBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 11.18 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.10 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.17
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 599.42 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.35
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3,195.66 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.69
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 7,466,825.84 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 23,355.96 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 3,744.00 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,854.78 กรัม

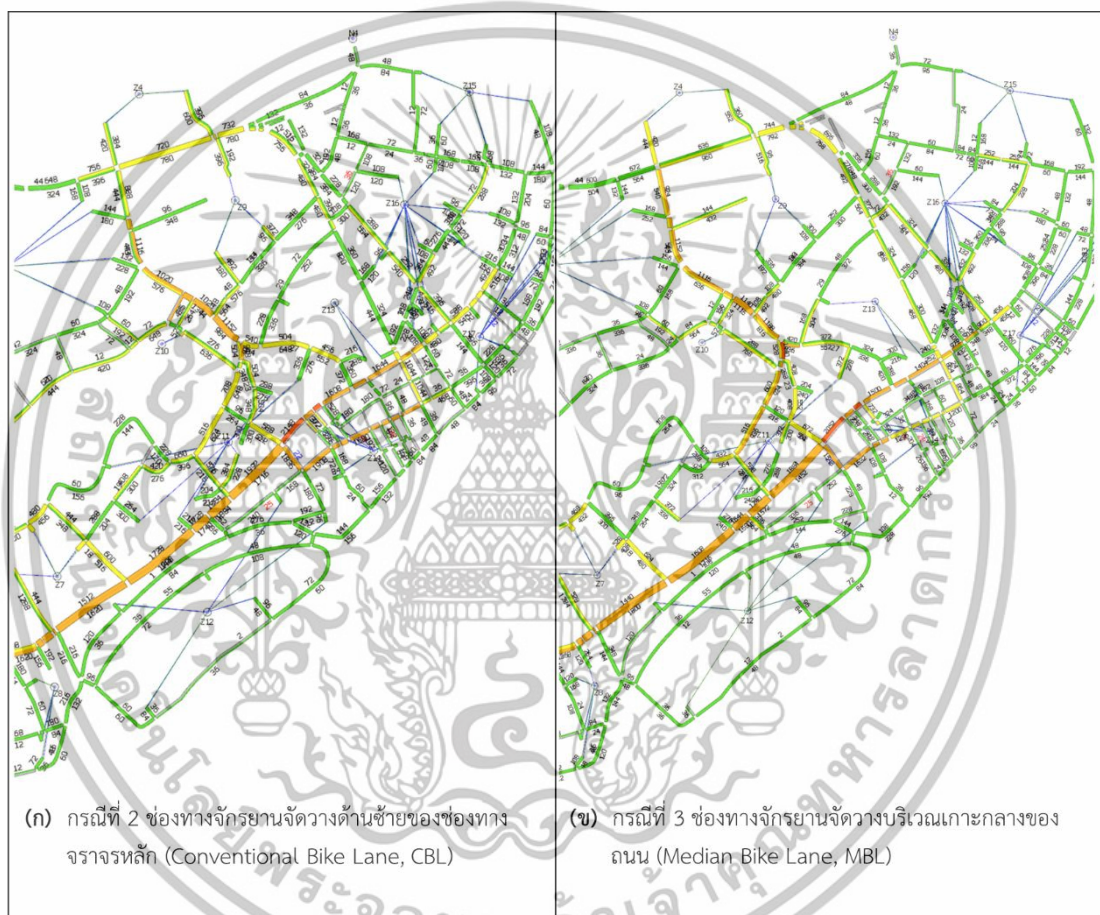
5.1.2 ผลการจำลองสถานการณ์เสมือนจริงกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

แบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) โดยการนำเข้าปริมาณจราจรแบ่งตามประเภทยานพาหนะเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) แบ่งเป็น 6 Scenarios

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.1 สถานการณ์จำลอง Scenario 1 (Scenario CAR 100%)

นำเข้าปริมาณจราจรเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 15,384 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคล กรณีที่ 2 (CBL) เท่ากับ 15,137.60 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.80 และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 15,137.60 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.87 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 1

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 1 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.85 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.85 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

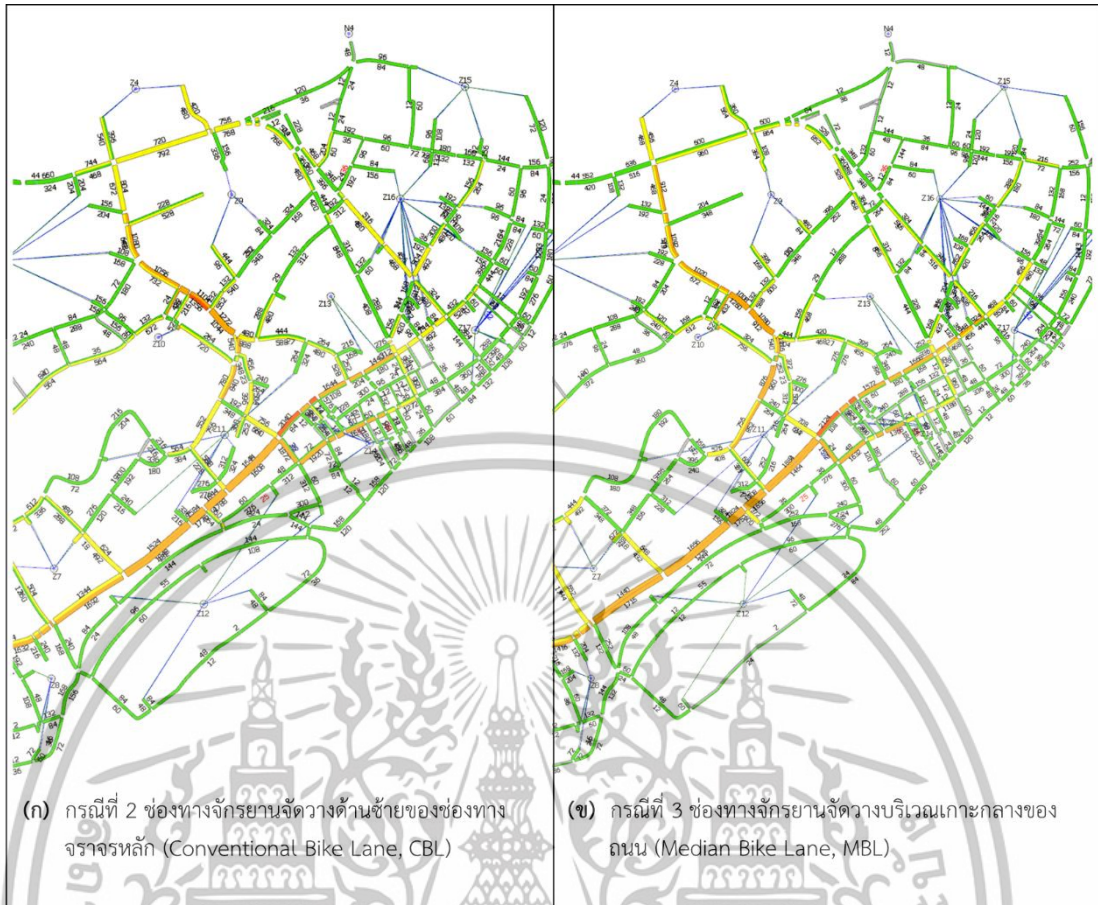
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 593.66 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.26
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3,058.63 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 43.82
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 7,335,318.35 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 22,924.91 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 3,565.90 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,833.94 กรัม

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 1 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.84 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.89
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.43 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.37
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 594.32 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.06
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3,025.40 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 22.63
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 7,219,963.02 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 22,617.88 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 3,505.60 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,823.66 กรัม

5.1.2.2 สถานการณ์จำลอง Scenario 2 (Scenario CAR 90% และ BIKE 10%)

นำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,867 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 1,682 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนแบ่งเป็นกรณีที่ 2 (CBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,638.60 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.65 และจักรยานเท่ากับ 1,632.70 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.99 และกรณีที่ 3 (MBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,638.60 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.28 และจักรยานเท่ากับ 1,638.70 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.40 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 2

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 2 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

(1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.28 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 14.20 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.34

(2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 49.07 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.07 และจักรยานเท่ากับ 26.35 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 531.54 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.14 และจักรยานเท่ากับ 124.22 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.52

(4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,723.97 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.5

(5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 6,552,181.03 กรัม

(6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 20,578.94 กรัม

(7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 3,105.05 กรัม

(8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,425.66 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 2 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

(1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.92 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 และจักรยานเท่ากับ 14.22 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.30

(2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.73 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.04 และจักรยานเท่ากับ 26.28 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.30

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทางเท่ากับ 530.09 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 และจักรยานเท่ากับ 124.89 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.95

(4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,730.54 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.67

(5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 6,503,285.82 กรัม

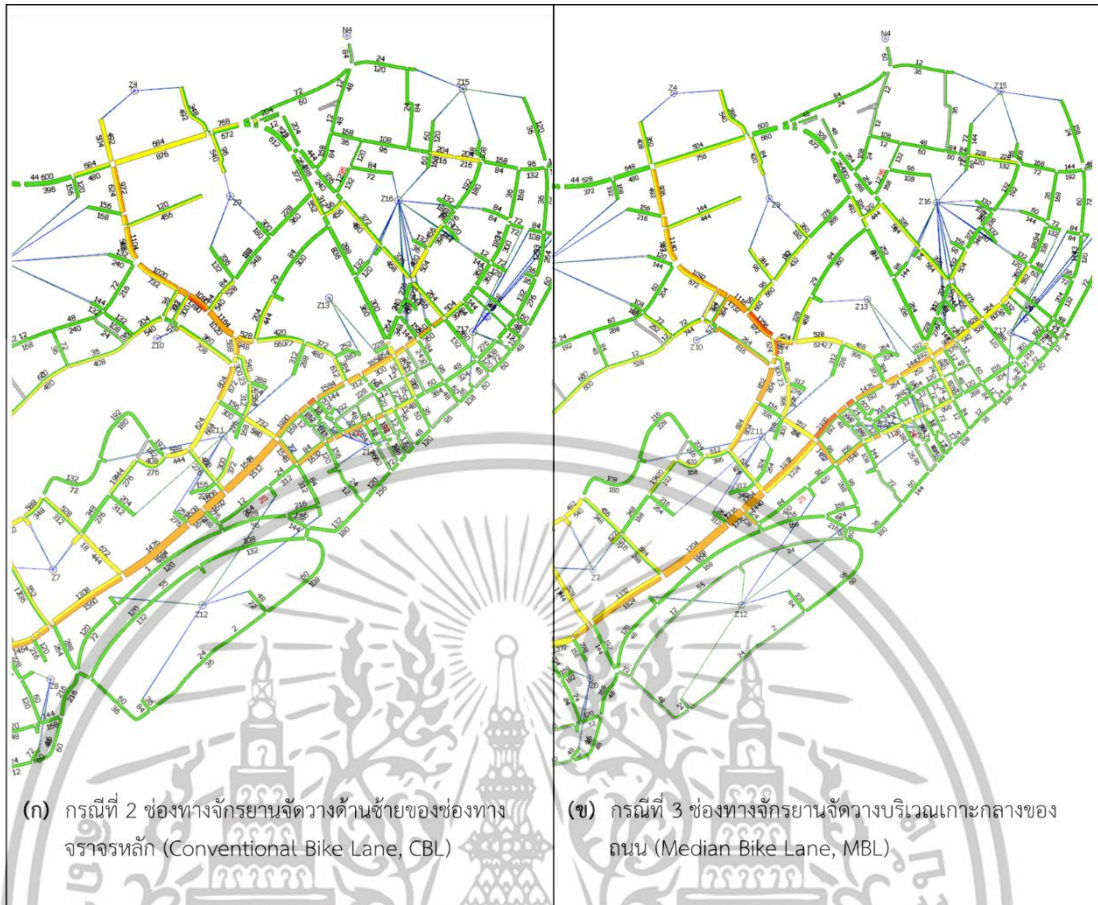
(6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 20,309.76 กรัม

(7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 3,138.24 กรัม

(8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,439.11 กรัม

5.1.2.3 สถานการณ์จำลอง Scenario 3 (Scenario CAR 80% และ BIKE 20%)

นำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,867 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 1,682 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนแบ่งเป็นกรณีที่ 2 (CBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 12,137.50 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.49 และจักรยานเท่ากับ 3,111.10 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.86 และกรณีที่ 3 (MBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 12,137.46 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 17.03 และจักรยานเท่ากับ 3,109.00 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.40 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 3

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 3 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.54 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 และจักรยานเท่ากับ 24.19 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.38
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.89 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 และจักรยานเท่ากับ 24.52 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.18
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 474.94 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.63 และจักรยานเท่ากับ 254.74 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.60
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,429.60 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.99
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 5,840,660.79 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 18,293.23 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,802.15 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,077.81 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 3 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

(1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.21 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 24.11 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.87

(2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.55 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 24.47 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 474.46 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.20 และจักรยานเท่ากับ 254.68 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.01

(4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,450.71 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.45

(5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 5,827,160.92 กรัม

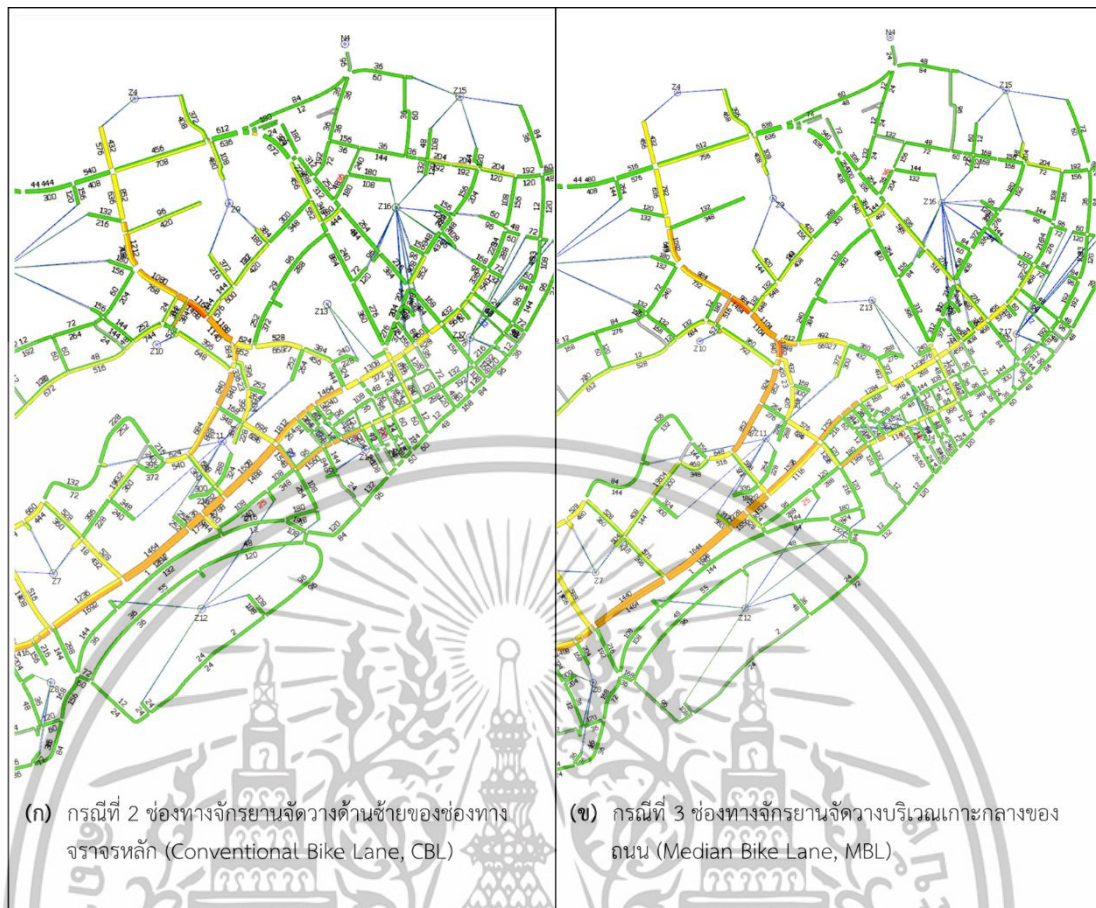
(6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 18,231.72 กรัม

(7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,844.52 กรัม

(8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 3,059.35 กรัม

5.1.2.4 สถานการณ์จำลอง Scenario 4 (Scenario CAR 70% และ BIKE 30%)

นำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,867 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 1,682 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนแบ่งเป็นกรณีที่ 2 (CBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10,641.08 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.81 และจักรยานเท่ากับ 4,605.62 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 27.73 และกรณีที่ 3 (MBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10,641.06 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.45 และจักรยานเท่ากับ 4,595.75 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.17 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 4

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 4 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.84 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 และจักรยานเท่ากับ 32.14 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.08
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.73 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 และจักรยานเท่ากับ 23.33 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.20
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 419.27 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.58 และจักรยานเท่ากับ 398.12 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.55
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,143.41 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.45
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 5,146,902.28 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 16,168.16 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,475.89 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 2,705.87 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 4 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

(1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.48 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14 และจักรยานเท่ากับ 31.76 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.32

(2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.39 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.09 และจักรยานเท่ากับ 23.26 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.22

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 418.40 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.60 และจักรยานเท่ากับ 395.33 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.55

(4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,166.64 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.86

(5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 5,145,879.81 กรัม

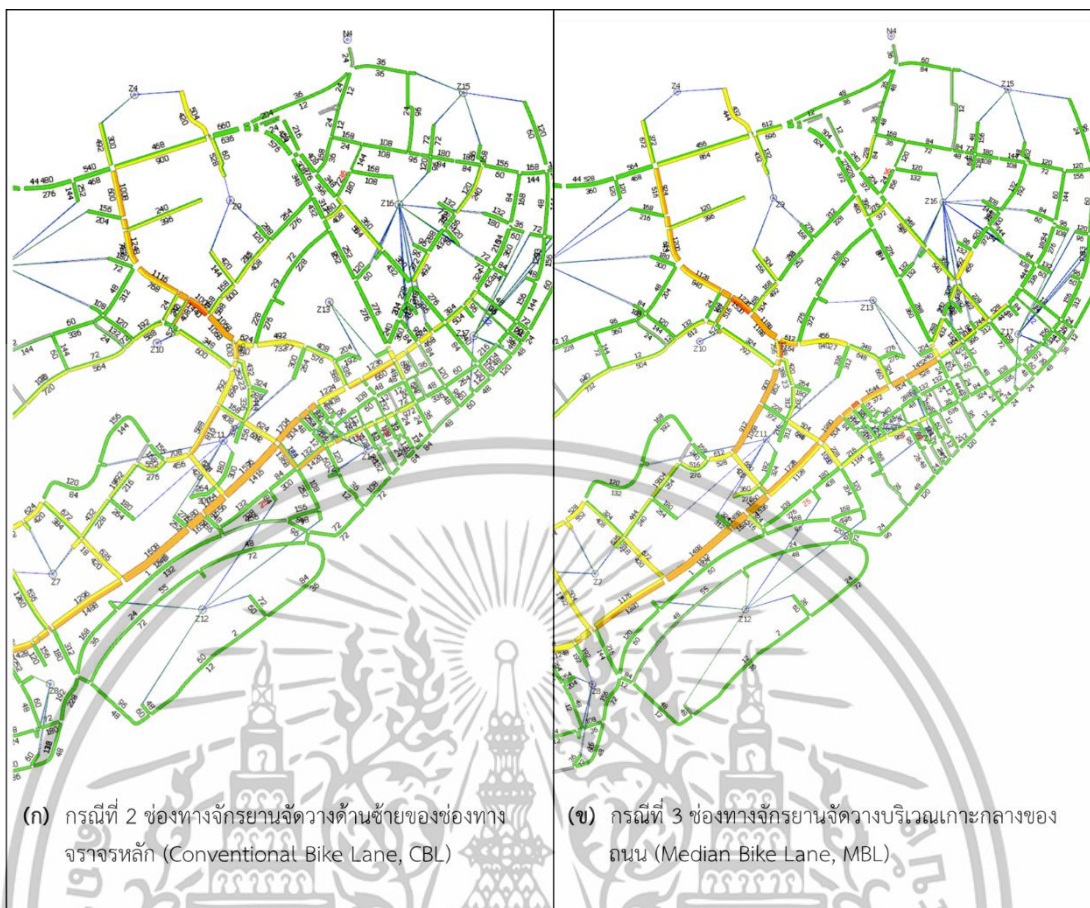
(6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 16,073.42 กรัม

(7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,520.34 กรัม

(8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 2,699.65 กรัม

5.1.2.5 สถานการณ์จำลอง Scenario 5 (Scenario CAR 60% และ BIKE 40%)

นำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 13,867 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 1,682 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนแบ่งเป็นกรณีที่ 2 (CBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9,138.21 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.47 และจักรยานเท่ากับ 6,095.36 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 32.10 และกรณีที่ 3 (MBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9,138.17 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.71 และจักรยานเท่ากับ 6,088.42 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 21.89 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 5

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 5 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.07 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.17 และจักรยานเท่ากับ 38.50 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.30
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.62 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 และจักรยานเท่ากับ 22.38 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 360.61 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.29 และจักรยานเท่ากับ 545.92 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.21
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 1,844.39 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.82
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 4,426,682.50 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 13,866.09 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,127.10 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 2,341.81 กรัม

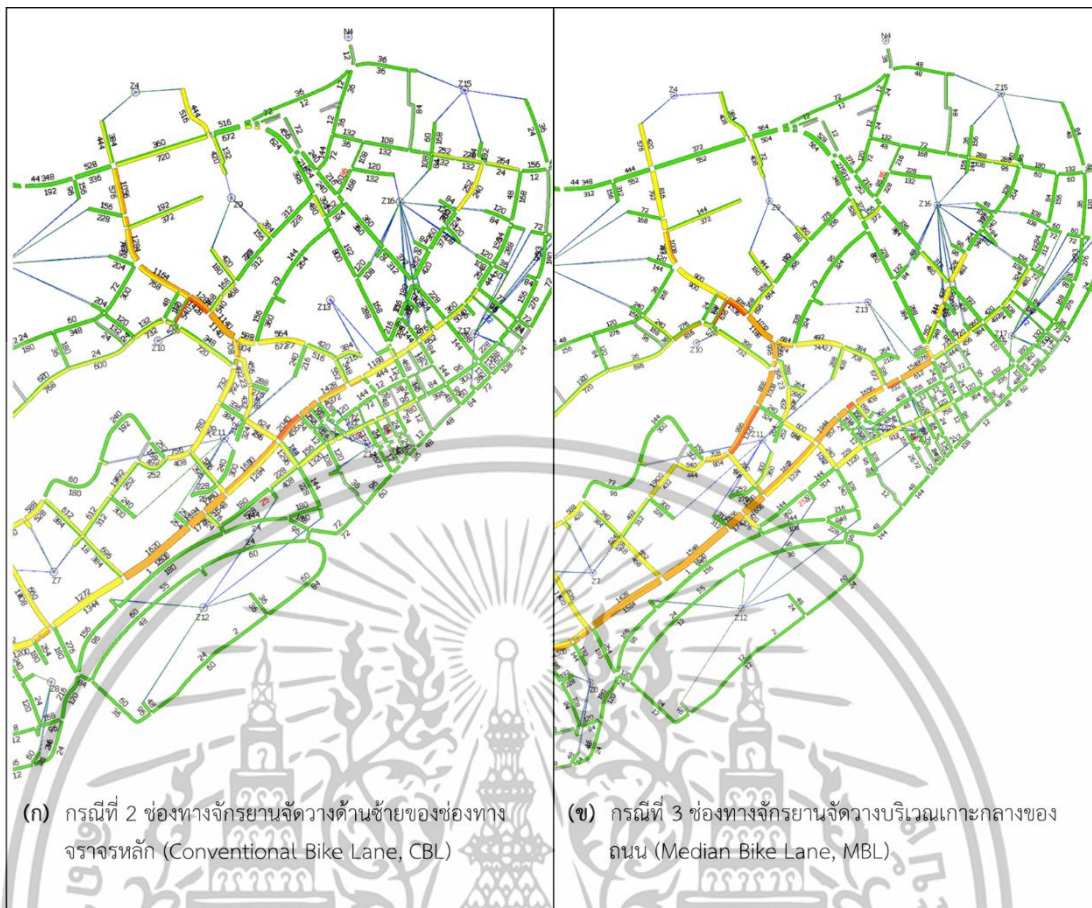
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 5 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.66 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.25 และจักรยานเท่ากับ 39.05 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.08
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14 และจักรยานเท่ากับ 22.29 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 360.42 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.80 และจักรยานเท่ากับ 547.23 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.75
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 1,872.00 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.03
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 4,444,426.41 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 13,883.61 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,181.14 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 2,329.94 กรัม

5.1.2.6 สถานการณ์จำลอง Scenario 6 (Scenario CAR 50% และ BIKE 50%)

นำเข้าปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 7,787 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 7,787 คัน/ชั่วโมง โดยผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแสดงค่าปริมาณจราจรของทั้งระบบโครงข่ายถนนแบ่งเป็นกรณีที่ 2 (CBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 7,648.73 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 17.49 และจักรยานเท่ากับ 7,592.45 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.81 และกรณีที่ 3 (MBL) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 7,648.80 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.76 และจักรยานเท่ากับ 7,580.80 คัน/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 18.61 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรใน Scenario 6

ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 6 ของกรณีที่ 2 (CBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.27 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14 และจักรยานเท่ากับ 44.26 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.34
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.48 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 21.63 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.21
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 303.81 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.54 และจักรยานเท่ากับ 703.04 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.82
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 1,551.51 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.04
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 3,722,692.32 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 11,654.81 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 1,786.65 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 1,975.98 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงใน Scenario 6 ของกรณีที่ 3 (MBL) ประกอบด้วย 8 ตัวแปรตาม ดังต่อไปนี้

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10.98 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 45.32 วินาที/กิโลเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.09
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.15 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 และจักรยานเท่ากับ 21.41 กิโลเมตร/ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.18
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 303.84 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.99 และจักรยานเท่ากับ 709.99 ชั่วโมง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.67
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 1,587.40 ลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.09
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เท่ากับ 3,756,228.49 กรัม
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 11,695.26 กรัม
- (7) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 1,847.67 กรัม
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 1,967.61 กรัม

5.2 เปรียบเทียบผลการจำลองปริมาณจราจรในสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

ปริมาณจราจรที่ได้จากผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงของกรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) แบ่งตามประเภทของยานพาหนะได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) และจักรยาน (BIKE) ของแต่ละสถานการณ์จำลองรวม 6 Scenarios ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการจำลองสถานการณ์จราจร 6 Scenarios ของทั้ง 3 กรณี

Traffic Scenario	ปริมาณจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง (คัน/ชั่วโมง)				
	กรณีที่ 1 (NBL)	กรณีที่ 2 (CBL)		กรณีที่ 3 (MBL)	
	CAR	CAR	BIKE	CAR	BIKE
Scenario 1	15137.57	15137.60	-	15137.60	-
Scenario 2	15137.57	13638.60	1632.70	13638.60	1638.70
Scenario 3	15137.57	12137.50	3111.10	12137.46	3109.00
Scenario 4	15137.57	10641.08	4605.62	10641.06	4595.75
Scenario 5	15137.57	9138.21	6095.36	9138.17	6088.42
Scenario 6	15137.57	7648.73	7592.45	7648.80	7580.80

หมายเหตุ: (NBL) คือ ผลการจำลองสถานการณ์จราจรกรณีที่ 1 Road Network with Non-Bike Lane (NBL)

(CBL) คือ ผลการจำลองสถานการณ์จราจรกรณีที่ 2 Conventional Bike Lane (CBL)

(MBL) คือ ผลการจำลองสถานการณ์จราจรกรณีที่ 3 Median Bike Lane (MBL)

ผลลัพธ์ที่ได้ค่าปริมาณจราจรในแต่ละ Scenario ถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงความเท่ากันระหว่างผลการจำลองปริมาณจราจรของกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เพื่อทดสอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องของผลลัพธ์ว่าเป็นไปตามสมมติฐานการทดสอบที่ตั้งไว้ ด้วยวิธีการทดสอบ Student's t-test ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบ Student's t-test ระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

เปรียบเทียบ ปริมาณจราจร จากผลของแบบจำลอง	Paired t-test (Difference Value)				t	df	Pr(T > t)
	Mean	Std. Err.	Std. Dev.	95% Conf. Interval			
CAR(CBL) - CAR(MBL)	0.005	0.017	0.409	-0.377 0.048	0.307	5	0.771
BIKE(CBL) - BIKE(MBL)	4.912	3.171	7.090	-3.891 13.716	1.549	4	0.196

ผลการทดสอบ Student's t-test พบว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ปฏิเสธสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงกรณีที่ 2 (Traffic Flow_{CBL}) มีค่าเท่ากับกรณีที่ 3 (Traffic Flow_{MBL}) (อย่างมีนัยสำคัญที่ $\alpha=0.05$, รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) = Mean Difference 0.005%; 95%CI -0.377 ถึง 0.048, P-value = 0.771 และ จักรยาน (Bike) = Mean Difference 4.912%; 95% CI -3.891 ถึง 13.716, P-value = 0.196) ซึ่ง เป็นไปตามสมมติฐานการทดสอบเพื่อการควบคุมตัวแปรต้น (Independent Variable)

5.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ผลด้านการจราจร และ 2) การวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.1 การวิเคราะห์ผลด้านการจราจร

การวิเคราะห์ผลด้านการจราจรแบ่งเป็น 3 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) 2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) และ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ดังแสดงผลในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลด้านการจราจรจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

Traffic Scenario	ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time)					ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed)					ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time)				
	Car (sec/km)			Bike (sec/km)		Car (km/h)			Bike (km/h)		Car (h)			Bike (h)	
	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(CBL)	(MBL)
Scenario 1 (CAR 15,384 veh/hr)	11.18	9.85	10.84	-	-	48.10	48.85	48.43	-	-	599.42	593.66	594.32	-	-
Diff.*		1.33 (11.90%)	0.34 (3.04%)				-0.75 (-1.56%)	-0.33 (-0.69%)				5.76 (0.96%)	5.10 (0.85%)		
Scenario 2 (CAR 13,867 veh/hr) (BIKE 1,682 veh/hr)	11.18	9.28	9.92	14.20	14.22	48.10	49.07	48.73	26.35	26.28	599.42	531.54	530.09	124.22	124.89
Diff.*		1.90 (16.99%)	1.26 (11.27%)				-0.97 (-2.02%)	-0.63 (-1.31%)				67.88 (11.32%)	69.33 (11.57%)		
Scenario 3 (CAR 12,328 veh/hr) (BIKE 3,182 veh/hr)	11.18	9.54	10.21	24.19	24.11	48.10	48.89	48.55	24.52	24.47	599.42	474.95	474.46	254.74	254.68
Diff.*		1.64 (14.67%)	0.97 (8.68%)				-0.79 (-1.64%)	-0.45 (-0.94%)				124.47 (20.77%)	124.96 (20.85%)		
Scenario 4 (CAR 10,824 veh/hr) (BIKE 4,696 veh/hr)	11.18	9.84	10.48	32.14	31.76	48.10	48.73	48.39	23.33	23.26	599.42	419.27	418.40	398.12	395.33
Diff.*		1.34 (11.99%)	0.70 (6.26%)				-0.63 (-1.31%)	-0.29 (-0.60%)				180.15 (30.05%)	181.02 (30.20%)		
Scenario 5 (CAR 9,294 veh/hr) (BIKE 6,203 veh/hr)	11.18	10.07	10.66	38.5	39.05	48.10	48.62	48.3	22.38	22.29	599.42	360.61	360.42	545.92	547.23
Diff.*		1.11 (9.93%)	0.52 (4.65%)				-0.52 (-1.08%)	-0.20 (-0.42%)				238.81 (39.84%)	239.00 (39.87%)		
Scenario 6 (CAR 7,787 veh/hr) (BIKE 7,787 veh/hr)	11.18	10.27	10.98	44.26	45.32	48.10	48.48	48.15	21.63	21.41	599.42	303.81	303.84	703.04	709.99
Diff.*		0.91 (8.14%)	0.20 (1.79%)				-0.38 (-0.79%)	-0.05 (-0.10%)				295.61 (49.32%)	295.58 (49.31%)		

หมายเหตุ: Diff.* ค่าผลต่างจากการคำนวณระหว่าง:

- กรณีที่ 1 (NBL) และกรณีที่ 2 (CBL): $\text{Diff.}*(\text{CBL}) = (\text{NBL}) - (\text{CBL})$
- กรณีที่ 1 (NBL) และกรณีที่ 3 (MBL): $\text{Diff.}*(\text{MBL}) = (\text{NBL}) - (\text{MBL})$

จากตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงกรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) แบ่งเป็นสถานการณ์จำลอง Scenario 1 ถึง Scenario 6 ตามประเภทของยานพาหนะได้แก่ 1) รถยนต์ส่วนบุคคล (CAR) และ 2) จักรยาน (BIKE)

5.3.1.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร (Scenario 1)

(1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ของรถยนต์ส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 1.33 (11.90%) วินาที/กิโลเมตร และ 0.34 (3.04%) วินาที/กิโลเมตร ตามลำดับ โดยความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.99 (10.05%) วินาที/กิโลเมตร

(2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) รถยนต์ส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 0.75 (1.56%) กิโลเมตร/ชั่วโมง

และ 0.33 (0.69%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) ความเร็วในการขับขี่มีค่ามากกว่า กรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.42 (0.86%) กิโลเมตร/ชั่วโมง

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 5.76 (0.96%) ชั่วโมง และ 5.10 (0.85%) ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.66 (0.11%) ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า โครงข่ายถนนเมื่อมีการปรับลักษณะทางกายภาพใหม่โดยเพิ่มช่องทางจักรยานแทนที่พื้นที่จอดรถริมข้างทางทั้งกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ส่งผลให้วงเลี้ยวบริเวณจุดตัดทางแยกจะมีลักษณะที่กว้างขึ้น ส่งเสริมให้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) สามารถขับขี่ด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น จึงลดความล่าช้าและผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง เมื่อเปรียบเทียบถึงผลการจัดวางช่องทางจักรยานที่แตกต่างกัน พบว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL) ลักษณะทางกายภาพของวงเลี้ยวจะมีความกว้างที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทางลดลง 1.33 (11.90%) วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) ลักษณะทางกายภาพของวงเลี้ยวมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย จึงลดความล่าช้าในการเดินทางได้เพียง 0.34 (3.04%) วินาที/กิโลเมตร

5.3.1.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร (Scenario 2)

(1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 1.90 (16.99%) วินาที/กิโลเมตร และ 1.26 (11.27%) วินาที/กิโลเมตร ตามลำดับ โดยความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.64 (6.90%) วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่ความล่าช้าในการเดินทางของจักรยาน (BIKE) ในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.02 (0.14%) วินาที/กิโลเมตร

(2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 0.97 (2.02%) กิโลเมตร/ชั่วโมง และ 0.63 (1.31%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) ความเร็วในการขับขี่มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.34 (0.69%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วในการขี่จักรยาน (BIKE) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.07 (0.27%) กิโลเมตร/ชั่วโมง

(3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 67.88 (11.32%) ชั่วโมง และ 69.33 (11.57%) ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ากว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 1.45 (0.27%) ชั่วโมง ในขณะที่ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางด้วยจักรยาน (BIKE) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.67 (0.54%) ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า เมื่อลดสัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ที่ 90% (13,867 คัน/ชั่วโมง) และเริ่มนำเข้าสู่สัดส่วนของจักรยาน (BIKE) ที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลัก ในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่าการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.64 (6.90%) วินาที/กิโลเมตร สัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามกับความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.34 (0.69%) กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) กรณีที่ 2 (CBL) เริ่มมีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.38 วินาที/คัน เนื่องจากปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางการเดินทางและจุดขัดแย้ง (Conflict Point) ที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกมีค่าที่แตกต่างกัน

5.3.1.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร (Scenario 3 ถึง Scenario 6)

(1) ผลการจำลองสถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 6 รูปแบบการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) และผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ของทั้งรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) และจักรยาน (BIKE) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

(2) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) และจักรยาน (BIKE) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 ที่ค่าความล่าช้าในการเดินทางด้วยรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ของกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (MBL) เท่ากับ 0.91 วินาที/กิโลเมตร และ 0.20 วินาที/กิโลเมตร ตามลำดับ โดยความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.71 (6.91%) วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่ความล่าช้าในการเดินทางของจักรยาน (BIKE) ของแบบจำลองกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่าแบบจำลองกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 1.06 (2.39%) วินาที/กิโลเมตร

(3) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) และจักรยาน (BIKE) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 ที่ค่าความเร็วในการขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ของกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 0.38 กิโลเมตร/ชั่วโมง และ 0.05 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) ความเร็วในการขับขี่มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.33 (0.68%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ในขณะที่ความเร็วในการขี่จักรยาน (BIKE) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.22 (1.02%) กิโลเมตร/ชั่วโมง

(4) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) จากสถานการณ์จำลอง Scenario 2 ถึง Scenario 6 รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามกับจักรยาน (BIKE) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) เท่ากับ 295.61 (49.32%) ชั่วโมง และ 295.58 (49.31%) ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.03 (0.01%) ชั่วโมง ในขณะที่ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางด้วยจักรยาน (BIKE) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 6.95 (0.99%) ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 6 พบว่า เมื่อระบบโครงข่ายถนนมีปริมาณจักรยานเพิ่มมากขึ้นในแต่ละสถานการณ์จำลอง ส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์ส่วนบุคคล (CAR) มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 ที่ความล่าช้าในการเดินทางกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าใกล้เคียงกับสภาพการจราจรในปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยานในกรณีที่ 1 (NBL) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL) กับรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า ความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) โดยมีรูปแบบแนวโน้มของข้อมูลเดียวกันตั้งแต่สถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 6 ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 วินาที/กิโลเมตร สัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามกับความเร็วในการขับขี่ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ในขณะที่ความล่าช้าและผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของจักรยาน (BIKE) มีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณจักรยาน สัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามกับความเร็วที่มีแนวโน้มที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า ในสถานการณ์จำลอง Scenario 5 ถึง Scenario 6 ความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 3 (MBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) เห็นได้อย่างเด่นชัด ซึ่งสรุปได้ว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) เมื่อมีปริมาณจักรยานเข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ประสิทธิภาพในการให้บริการจะมีแนวโน้มที่ลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 2 (CBL)

5.3.2 การวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมแบ่งเป็น 5 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) 2) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) 4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) และ 5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) ดังแสดงผลในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

Traffic Scenario	การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ (Fuel Consumption and Pollutant Emission Rate)														
	Fuel Consumption (l)			CO ₂ (g)			NO _x (g)			PM (g)			VOC (g)		
	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)
Scenario 1 (CAR 15,384 veh/hr)	3,195.66	3,058.63	3,025.40	7,466,825.84	7,335,318.35	7,219,963.02	23,355.96	22,924.91	22,617.88	3,744.00	3,565.90	3,505.60	3,854.78	3,833.94	3,823.66
Diff.*		137.03 (4.29%)	170.26 (5.33%)		131,507.49 (1.76%)	246,862.82 (3.31%)		431.05 (1.85%)	738.08 (3.16%)		178.10 (4.76%)	238.40 (6.37%)		20.84 (0.54%)	31.12 (0.81%)
Scenario 2 (CAR 13,867 veh/hr) (BIKE 1,682 veh/hr)	3,195.66	2,723.97	2,730.54	7,466,825.84	6,552,181.03	6,503,285.82	23,355.96	20,578.94	20,309.76	3,744.00	3,150.05	3,138.24	3,854.78	3,425.66	3,439.11
Diff.*		471.69 (14.76%)	465.12 (14.55%)		914,644.81 (12.25%)	963,540.02 (12.90%)		2,777.02 (11.89%)	3,046.20 (13.04%)		593.95 (15.86%)	605.76 (16.18%)		429.12 (11.13%)	415.67 (10.78%)
Scenario 3 (CAR 12,328 veh/hr) (BIKE 3,182 veh/hr)	3,195.66	2,429.60	2,450.71	7,466,825.84	5,840,660.79	5,827,160.92	23,355.96	18,293.23	18,231.72	3,744.00	2,802.15	2,844.52	3,854.78	3,077.81	3,059.35
Diff.*		766.06 (23.97%)	744.95 (23.31%)		1,626,165.05 (21.78%)	1,639,664.92 (21.96%)		5,062.73 (21.68%)	5,124.24 (21.94%)		941.85 (25.16%)	899.48 (24.02%)		776.97 (20.16%)	795.43 (20.63%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

Traffic Scenario	การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ (Fuel Consumption and Pollutant Emission Rate)														
	Fuel Consumption (l)			CO ₂ (g)			NO _x (g)			PM (g)			VOC (g)		
	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)	(NBL)	(CBL)	(MBL)
Scenario 4 (CAR 10,824 veh/hr) (BIKE 4,696 veh/hr)	3,195.66	2,143.41	2,166.64	7,466,825.84	5,146,902.28	5,145,879.81	23,355.96	16,168.16	16,073.42	3,744.00	2,475.89	2,520.34	3,854.78	2,705.87	2,699.65
Diff.*		1,052.25 (32.93%)	1,029.02 (32.20%)		2,319,923.56 (31.07%)	2,320,946.03 (31.08%)		7,187.80 (30.78%)	7,282.54 (31.18%)		1,268.11 (33.87%)	1,223.66 (32.68%)		1,148.91 (29.80%)	1,155.13 (29.97%)
Scenario 5 (CAR 9,294 veh/hr) (BIKE 6,203 veh/hr)	3,195.66	1,844.39	1,872.00	7,466,825.84	4,426,682.50	4,444,426.41	23,355.96	13,866.09	13,883.61	3,744.00	2,127.10	2,181.14	3,854.78	2,341.81	2,329.94
Diff.*		1,351.27 (42.28%)	1,323.66 (41.42%)		3,040,143.34 (40.72%)	3,022,399.43 (40.48%)		9,489.87 (40.63%)	9,472.35 (40.56%)		1,616.90 (43.19%)	1,562.86 (41.74%)		1,512.97 (39.25%)	1,524.84 (39.56%)
Scenario 6 (CAR 7,787 veh/hr) (BIKE 7,787 veh/hr)	3,195.66	1,551.51	1,587.40	7,466,825.84	3,722,692.32	3,756,228.49	23,355.96	11,654.81	11,695.26	3,744.00	1,786.65	1,847.67	3,854.78	1,975.98	1,967.61
Diff.*		1,644.15 (51.45%)	1,608.26 (50.33%)		3,744,133.52 (50.14%)	3,710,597.35 (49.69%)		11,701.15 (50.10%)	11,660.70 (49.93%)		1,957.35 (52.28%)	1,896.33 (50.65%)		1,878.80 (48.74%)	1,887.17 (48.96%)

หมายเหตุ: Diff.* ค่าผลต่างจากการคำนวณระหว่าง:

- กรณีที่ 1 (NBL)_{CAR} และกรณีที่ 2 (CBL)_{CAR} : Diff.*(CBL)_{CAR} = (NBL)_{CAR} - (CBL)_{CAR}
- กรณีที่ 1 (NBL)_{CAR} และกรณีที่ 3 (MBL)_{CAR} : Diff.*(MBL)_{CAR} = (NBL)_{CAR} - (MBL)_{CAR}

จากตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ยานพาหนะประเภทรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) จากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงกรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) แบ่งเป็นสถานการณ์จำลอง Scenario 1 ถึง Scenario 6

5.3.2.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Scenario 1)

(1) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 137.03 (4.29%) ลิตร และ 107.26 (5.33%) ลิตร ตามลำดับ โดยการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 33.23 (1.09%) ลิตร

(2) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 131,507.49 (1.76%) กรัม และ 246,862.82 (3.31%) กรัม ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) คาร์บอนไดออกไซด์มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 115,355.33 (1.57%) กรัม

(3) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 431.05 (1.85%) กรัม และ 738.08 (3.16%) กรัม ตามลำดับ โดยค่าไนโตรเจนออกไซด์ในกรณีที่ 2 (CBL) มากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 307.03 (1.34%) กรัม

(4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 178.10 (4.76%) กรัม และ 238.40 (6.37%) กรัม ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าฝุ่นละอองมากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 60.30 (1.34%) กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 20.84 (0.54%) กรัม และ 31.12 (0.81%) กรัม โดยค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 10.28 (0.27%) กรัม

จักรยานส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ของทั้งกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีแนวโน้มที่ลดลง จึงเป็นเหตุให้การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์มีแนวโน้มที่ลดลงตาม และเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลัก ค่าการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์มีค่ามากกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนประมาณ 1% – 2% เนื่องจากความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.42 (0.86%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ในสภาพการจราจรปัจจุบันที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น

5.3.2.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Scenario 2)

(1) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 471.69 (14.76%) ลิตร และ 465.12 (14.55%) ลิตร ตามลำดับ โดยการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 6.57 (0.24%) ลิตร

(2) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 914,644.81 (12.25%) กรัม และ 963,540.02 (12.90%) กรัม ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) คาร์บอนไดออกไซด์มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 48,895.21 (0.75%) กรัม

(3) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 2,777.02 (11.89%) กรัม และ 3,046.20 (13.04%) กรัม ตามลำดับ โดยค่าไนโตรเจนออกไซด์ในกรณีที่ 2 (CBL) มากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 26.18 (1.31%) กรัม

(4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 593.95 (15.86%) กรัม และ 605.76 (16.18%) กรัม ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าฝุ่นละอองมากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 11.81 (0.37%) กรัม

(5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 429.12 (11.13%) กรัม และ 415.67 (10.78%) กรัม โดยค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 13.45 (0.39%) กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า เมื่อการนำเข้าสู่สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ลดลงที่ 90% (13,867 คัน/ชั่วโมง) และเพิ่มสัดส่วนของจักรยาน (BIKE) เพิ่มขึ้นที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยค่าเฉลี่ยระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ลดลงเท่ากับ 468.41 (14.66%) ลิตร ในขณะที่การปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน โดยเฉลี่ยค่าที่ลดลงแบ่งเป็น 1) คาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 939,092.42 (12.58%) 2) ไนโตรเจนออกไซด์ เท่ากับ 2,911.61 (12.47%) 3) ฝุ่นละออง เท่ากับ 599.86 (16.02%) และ 4) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เท่ากับ 422.40 (10.96%) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการที่ลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) สัดส่วน 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) ของปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนสามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ถึง 14.66% ส่งผลให้ฝุ่นละอองลดลง 16.02%

และเมื่อเปรียบเทียบผลของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) กับรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า ความเร็วในการขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าแตกต่างกับ 3 (MBL) ไม่มากนัก ในขณะที่บนโครงข่ายถนนในแบบจำลองเริ่มมีการจราจรของจักรยาน (BIKE) ที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) ในกรณีที่ 3 (MBL) จักรยานเริ่มมีการตัดกระแสจราจรเพื่อเข้าไปใช้เส้นทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเริ่มมีการชะลอความเร็วบริเวณจุดตัดทางแยก โดยเฉพาะสี่แยก จึงส่งผลให้การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีที่ 3 (MBL) มีปริมาณที่มากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเกิดจุดขัดแย้ง (Conflict Point) จากปริมาณความต้องการในการเดินทางบริเวณทางสามแยกของกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 (CBL) จึงส่งผลให้ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 (CBL) ด้วยเหตุนี้ ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละออง ของกรณีที่ 3 (MBL) จึงมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 (CBL) ประมาณไม่เกิน 1.30%

5.3.2.3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Scenario 3 ถึง Scenario 6)

เนื่องจากผลสถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 6 มีรูปแบบของผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์การบริโภคน้ำมันและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์ของกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 1 (NBL) ตั้งแต่สถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 6 อย่างต่อเนื่อง โดยผลของการนำเข้าสู่สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล 50% (7,787 คัน/ชั่วโมง) และจักรยาน 50% (7,787 คัน/ชั่วโมง) ในสถานการณ์จำลอง Scenario 6 พบว่า

- (1) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 1,644.15 (54.45%) ลิตร และ 1,608.26 (50.33%) ลิตร
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ โดยการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 35.89 (2.31%) ลิตร

(2) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 3,744,133.52 (50.14%) กรัม และ 3,710,597.35 (49.69%) กรัม ตามลำดับ ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) คาร์บอนไดออกไซด์มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 33,536.17 (0.90%) กรัม

(3) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 11,701.15 (50.10%) กรัม และ 11,660.70 (49.93%) กรัม ตามลำดับ โดยค่าไนโตรเจนออกไซด์ในกรณีที่ 2 (CBL) มากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 40.45 (0.35%) กรัม

(4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 1,957.35 (52.28%) กรัม และ 1,896.33 (50.65%) กรัม ซึ่งกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าฝุ่นละอองมากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 61.02 (3.42%) กรัม

(5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) กรณีที่ 1 (NBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 1,878.80 (48.74%) กรัม และ 1,887.17 (48.96%) กรัม โดยค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 61.02 (3.42%) กรัม

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า เมื่อการนำเข้าสู่สัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ที่ลดลง และเพิ่มสัดส่วนของจักรยาน (BIKE) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่นละออง และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ที่มีค่าที่ลดลงเช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า เมื่อระบบโครงข่ายถนนมีจักรยานเข้ามาร่วมสัญจรด้วย รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องทางหลักกรณีที่ 2 (CBL) จะส่งผลดีต่อการลดการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและลดฝุ่นละอองบนท้องถนนมากกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL) เห็นได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ในสถานการณ์จำลอง Scenario 3 ถึง Scenario 4 พบว่า กรณีที่ 3 (MBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 (CBL) แต่เมื่อปริมาณจักรยานเพิ่มมากขึ้นที่ 30% (4,696 คัน/ชั่วโมง) ค่าคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ของกรณีที่ 2 (CBL) เริ่มมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) จนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 เนื่องจากผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าที่ใกล้เคียงกันในขณะที่ความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) จึงส่งผลให้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่สัญจรอยู่บนโครงข่ายถนนในกรณีที่ 3 (MBL) ปลอ่ยมลพิษทางอากาศมากกว่าสัญจรบนโครงข่ายถนนในกรณีที่ 2 (CBL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมกับระยะทางในการเดินทาง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมกับระยะทางในการเดินทาง โดยนำผลความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) และผลรวมของระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ในแต่ละสถานการณ์จำลอง (Scenario) นำมาวิเคราะห์หาระยะทางในการเดินทาง รวมทั้งระบบโครงข่ายถนนจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) ค่าที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการแปลงค่าผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมให้มีหน่วยเป็นต่อ กิโลเมตร ดังแสดงผลในตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

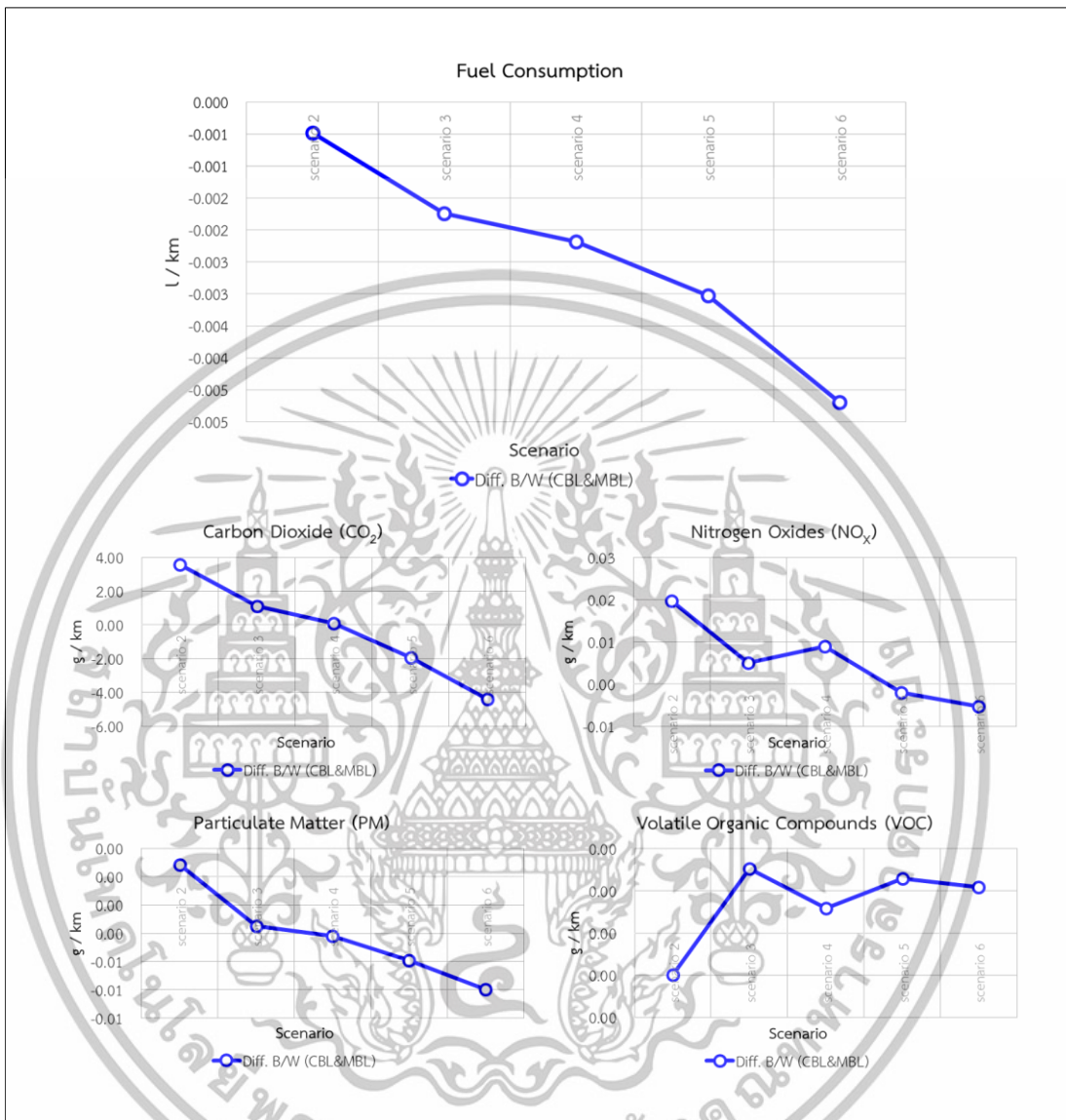
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) (หน่วย: หน่วยต่อกิโลเมตร)

Traffic Scenario	การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและค่ามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ (Fuel Consumption and Pollutant Emission Rate)									
	Fuel Consumption (l/km)		CO ₂ (g/km)		NO _x (g/km)		PM (g/km)		VOC (g/km)	
	Diff. B/W (CBL&MBL)	(%)	Diff. B/W (CBL&MBL)	(%)	Diff. B/W (CBL&MBL)	(%)	Diff. B/W (CBL&MBL)	(%)	Diff. B/W (CBL&MBL)	(%)
Scenario 1 (CAR 15,384 veh/hr)	-0.0004	-0.32%	-2.0975	-0.81%	-0.0047	-0.58%	-0.0012	-0.90%	0.0006	0.48%
Scenario 2 (CAR 13,867 veh/hr) (BIKE 1,682 veh/hr)	0.0013	1.15%	0.5518	0.21%	-0.0027	-0.34%	0.0007	0.55%	0.0018	1.35%
Scenario 3 (CAR 12,328 veh/hr) (BIKE 3,182 veh/hr)	0.0018	1.59%	1.4370	0.55%	0.0037	0.45%	0.0028	2.16%	0.0003	0.20%
Scenario 4 (CAR 10,824 veh/hr) (BIKE 4,696 veh/hr)	0.0021	1.90%	2.2470	0.87%	0.0025	0.31%	0.0033	2.54%	0.0009	0.67%
Scenario 5 (CAR 9,294 veh/hr) (BIKE 6,203 veh/hr)	0.0023	2.11%	2.8260	1.09%	0.0067	0.82%	0.0040	3.06%	0.0003	0.20%
Scenario 6 (CAR 7,787 veh/hr) (BIKE 7,787 veh/hr)	0.0032	2.86%	3.9994	1.54%	0.0081	1.00%	0.0050	3.84%	0.0003	0.25%

หมายเหตุ: Diff. B/W (CBL&MBL) = ค่าผลต่างจากการคำนวณระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) กับกรณีที่ 3 (MBL)

จากตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลต่างด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) แบ่งเป็นสถานการณ์จำลอง Scenario 1 ถึง Scenario 6 ในหน่วยต่อกิโลเมตร พบว่า ความสัมพันธ์ของการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) และฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) ในสถานการณ์จำลอง Scenario 1 เมื่อลักษณะทางกายของถนนถูกปรับปรุง โดยเพิ่มช่องทางจักรยานเข้าไปแทนที่พื้นที่จอดรถริมทาง การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) ไม่เกิน

1% และเมื่อมีการนำเข้าปริมาณจักรยาน (BIKE) ในสถานการณ์จำลอง Scenario 2 ที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) จนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 ที่ 50% (7,787 คัน/ชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

ค่าการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และฝุ่นละออง (PM) ของกรณีที่ 2 (CBL) มีแนวโน้มลดลงกว่ากรณีที่ 3 (MBL) อย่างต่อเนื่อง ยกเว้นค่าสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ของกรณีที่ 2 (CBL) ที่ยังคงมีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) ดังแสดงความสัมพันธ์ของกราฟในรูปที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องทางหลักกรณีที่ 2 (CBL) เมื่อมีปริมาณจักรยานเข้ามาสู่จักรยานโครงข่ายถนนที่เพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในการให้บริการจะมีแนวโน้มที่ดีกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL) แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ในบางสถานการณ์จำลอง (Scenario) ยังคงมีรูปแบบเส้นกราฟกระโดด ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณจราจรในแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

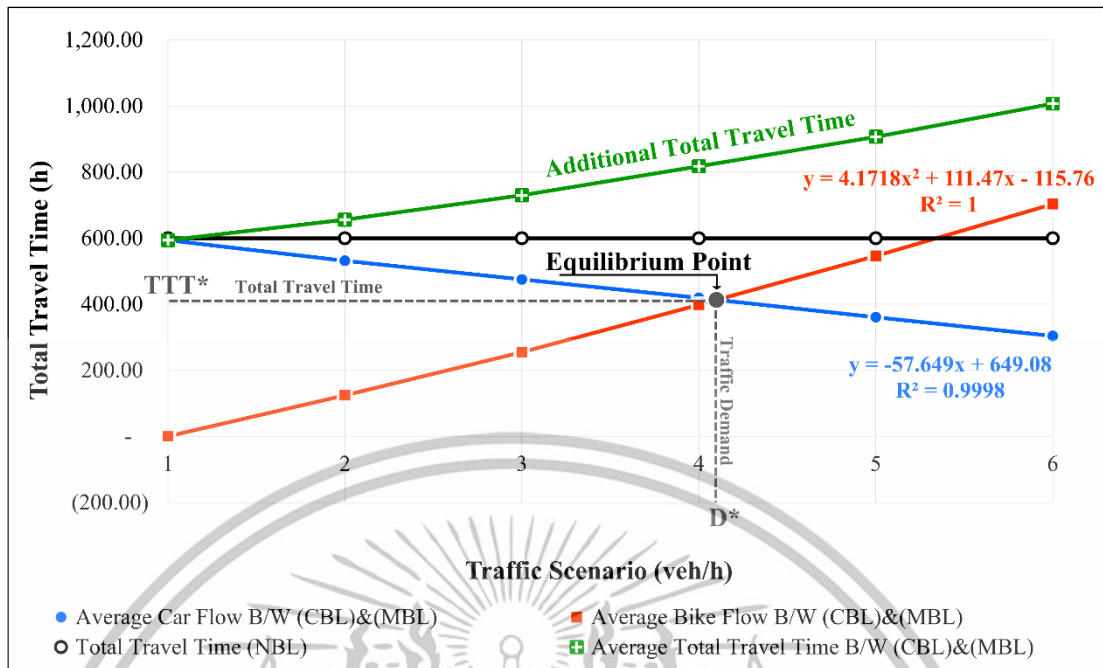
ละทิศทางการเดินทางบริเวณทางแยกมีปริมาณไม่เท่ากัน และเมื่อเกิดการตัดกระแสจราจรจึงส่งผลให้จำนวนจุดขัดแย้ง (Conflict Point) ที่เกิดขึ้นระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีลักษณะแบบสุ่ม ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยากต่อการควบคุมในการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงทั้งระบบโครงข่ายถนน

5.3.4 สรุปการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวแปรตามทั้งด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อมพบว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) มีความเหมาะสมในการถูกคัดเลือกเพื่อการก่อสร้างจริงบนถนนโครงข่ายทางจักรยานของเทศบาลนครนครสวรรค์ เนื่องจากค่าเฉลี่ยของความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) มีค่าน้อยกว่าการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณกึ่งกลางของถนนกรณีที่ 3 (MBL) ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของความเร็วในการขับขี่ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) นอกจากนี้ จากผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมยังแสดงให้เห็นว่า รูปแบบทางจักรยานในกรณีที่ 2 (CBL) เมื่อมีจักรยาน (BIKE) เข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) จะมีค่าน้อยกว่ารูปแบบทางจักรยานในกรณีที่ 3 (MBL) เห็นได้อย่างชัดเจน

5.4 การวิเคราะห์จุดดุลยภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง

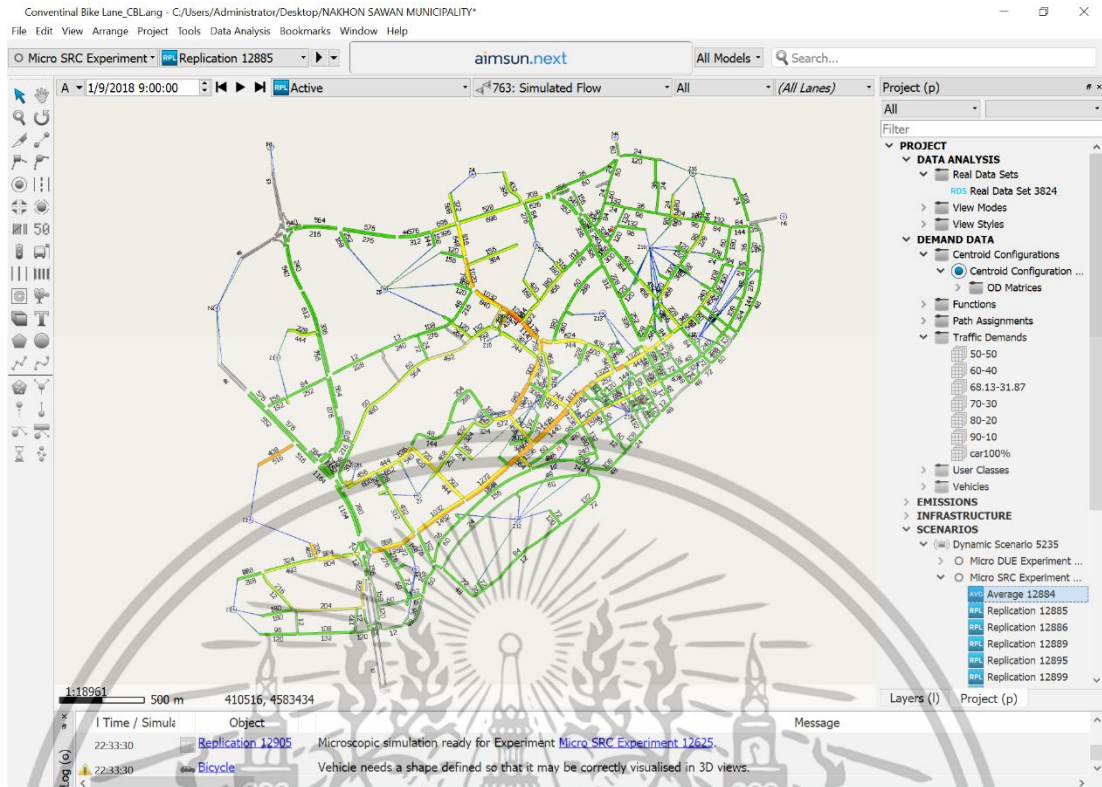
สัดส่วนปริมาณการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากการขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) เป็นการขี่จักรยาน (Bike) ถือได้ว่าเป็นประเด็นที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ด้านการจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่มีปริมาณมากบนโครงข่ายถนนจะก่อให้เกิดปัญหาด้านการจราจร การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลือง และการปล่อยมลพิษทางอากาศที่ทวีความรุนแรง ในขณะที่การลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลโดยเปลี่ยนเป็นการใช้จักรยานแทนจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างยั่งยืน แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยพบว่า ถ้าปริมาณจักรยานที่สัญจรร่วมกับรถยนต์นั่งส่วนบุคคลบนโครงข่ายถนนที่มากเกินไป ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจะมีแนวโน้มที่เพิ่มจนส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการจราจรอีกครั้ง ดังนั้น การวิเคราะห์หาสัดส่วนปริมาณการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางที่เหมาะสม จึงนำจุดดุลยภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทางตั้งเป็นสมมติฐานในการพิจารณา โดยการนำผลจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงของกรณีที่ 2 (CBL) ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยานพาหนะกับผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) แบ่งเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน เพื่อวิเคราะห์หาจุดดุลยภาพ (Equilibrium Point) ที่แสดงค่าผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานมีค่าเท่ากัน ดังแสดงความสัมพันธ์ของกราฟในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง

ผลการวิเคราะห์หาจุดดุลยภาพ (Equilibrium Point) พบว่า ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time, TTT^*) มีค่าเท่ากับ 412.34 ชั่วโมง ปริมาณจราจร (D^*) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) เท่ากับ 10,481 คัน/ชั่วโมง และจักรยาน (Bike) เท่ากับ 4,764 คัน/ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 31.87 ของผู้ที่ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนเป็นการขี่จักรยานในการเดินทาง แทน และเมื่อนำผลปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยานที่ได้จากการวิเคราะห์ไปทำการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงของกรณีที่ 2 (CBL) ดังแสดงปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนในรูปที่ 5.10 พบว่า

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 9.86 วินาที/กิโลเมตร และจักรยานเท่ากับ 32.82 วินาที/กิโลเมตร
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 48.72 กิโลเมตร/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 23.23 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- (3) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 2,111.56 ลิตร
- (4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เท่ากับ 5,070,190.60 กรัม
- (5) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เท่ากับ 15,922.96 กรัม
- (6) ฝุ่นละออง (PM) เท่ากับ 2,438.74 กรัม
- (7) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) เท่ากับ 2,667.09 กรัม



รูปที่ 5.10 ปริมาณจราจรจากผลการวิเคราะห์ที่จุดดุลยภาพ (Equilibrium Point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางจักรยานในเทศบาลนครนครสวรรค์โดยแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 ข้อ ได้แก่

- (1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน
- (2) เพื่อสร้างและจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงด้วยโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model แบ่งตามรูปแบบลักษณะกายภาพในการจัดวางช่องทางจักรยาน
- (3) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านวิศวกรรม พลังงาน และสิ่งแวดล้อม จากการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง (Mode) จากรถยนต์ส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยาน

งานวิจัยนี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน โดยนำโปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model ใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างและจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงทั้งระบบโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ โดยลำดับขั้นตอนรายละเอียดการนำเสนอแบ่งเป็น 6 หัวข้อ ประกอบด้วย

- 6.1 ผลสรุปด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน
- 6.2 ผลสรุปการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง
- 6.3 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านการจราจร
- 6.4 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม
- 6.5 ผลสรุปการวิเคราะห์จุดด้อยภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง
- 6.6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

6.1 ผลสรุปด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน

จากผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานแบ่งเป็น 5 ตัวแปร ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ประกอบด้วย

- (1) รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน ได้แก่ กรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)
- (2) ลักษณะกายภาพของโครงข่ายถนน ได้แก่ ถนน ทางแยก แนวเส้นทาง ความลาดชัน มุมโค้ง มุมเลี้ยว ทางเชื่อม จุดกลับรถ ช่องจราจร ไหล่ทาง และเกาะกลาง
- (3) คุณลักษณะเฉพาะของถนน ได้แก่ ประเภทถนน ความจุของถนน และความเร็วในการขับขี่
- (4) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ ได้แก่ ระยะเวลาในการตัดสินใจ และการปฏิบัติตามกฎจราจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (5) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) ได้แก่ รถยนต์นั่งส่วนบุคคล และจักรยาน
- (6) การบริหารจัดการจราจร ได้แก่ การจัดการทิศทางการเดินรถ พื้นที่จอดรถริมถนน การอนุญาตกลับรถ การจัดการทางแยก และจุดขัดแย้งการเดินทาง



6.2 ผลสรุปการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงจากการนำเอาตัวแปรต้น (Independent Variable) ประกอบด้วย 6 ตัวแปร ได้แก่ 1) รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน 2) กายภาพของโครงข่ายถนน 3) คุณลักษณะเฉพาะของถนน 4) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ 5) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน และ 6) การบริหารจัดการจราจร และทำการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation Model) ด้วยการวิเคราะห์หาค่าประมาณปริมาณความต้องการในการเดินทาง (O/D Matrix Estimation) บนโครงข่ายถนนด้วยการปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix Adjustment) ประเมินผลความถูกต้องด้วยหลักการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี ก่อนที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการคัดเลือกผลการประเมินจากหลักการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method โดยผลสรุปการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) การจำลอง Dynamic O/D Adjustment เพื่อปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix Adjustment) ควรแทนค่า O/D Adjustment Replication อย่างน้อย 4 Iterations เพื่อหลีกเลี่ยงความผันผวนของชุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation Model) ด้วยวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test จากผลการวิจัยนี้สามารถจัดกลุ่มผลลัพธ์ที่มีความสอดคล้องกันในแต่ละวิธีแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 RMSE, MAD, R^2 , และ Theil's U
- กลุ่มที่ 2 MBE
- กลุ่มที่ 3 RMSPE% และ MPE%
- กลุ่มที่ 4 MAPE% และ Average GEH

(3) ผลการคัดเลือกค่า Dynamic O/D Adjustment ที่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ พบว่าการปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix Adjustment) ด้วยการจำลอง O/D Adjustment Replication จำนวน 99 Scenarios มีเพียง 8 Scenarios ที่มีค่าอยู่ระหว่างช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Acceptable Range) ซึ่ง Scenario 31 Scenario 43 Scenario 47 และ Scenario 49 ผลการคำนวณไม่มีค่า Upper Limit Value หรือค่าที่ใกล้เคียงค่าตัวชี้วัดที่ยอมรับได้มากที่สุด ในขณะที่ Scenario 43 มีค่าคะแนนเป็นลำดับที่ 2 ด้วยเหตุดังกล่าวจึงถือได้ว่ายากต่อการคาดการณ์ได้ ดังนั้น ขั้นตอนการประเมินผลด้วยหลักการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี นำมาวิเคราะห์ร่วมกัน จึงถือได้ว่าเป็นการสร้างกระบวนการตรวจสอบและประเมินผลที่มีความถูกต้องและขจัดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเลือกวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test วิธีใดวิธีหนึ่ง โดยการคัดเลือกผลจากการให้คะแนนแบบเชิงตัวเลขด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method ซึ่งสามารถจัดลำดับและแสดงความแตกต่างของคะแนนได้อย่างชัดเจน จึงช่วยให้ผู้วิจัยง่ายต่อการตัดสินใจคัดเลือกผลไปใช้อย่างถูกต้อง

6.3 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านการจราจร

ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านการจราจรแบ่งเป็น 3 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) 2) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) และ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ได้แก่

(1) การปรับลักษณะทางกายภาพของถนนจากการเพิ่มช่องทางจักรยานทั้งกรณี 2 (CBL) และกรณี 3 (MBL) ส่งผลให้ขนาดของวงเวียนบริเวณจุดตัดทางแยกมีขนาดที่กว้างขึ้น จึงส่งเสริมให้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิดความคล่องตัวในการขับขี่ จากการเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพการณ์การจราจรระหว่างกรณี 1 (NBL) กับกรณี 2 (CBL) และกรณี 1 (NBL) กับกรณี 3 (MBL) พบว่าความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) ความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าลดลงตั้งแต่สถานการณ์จำลอง Scenario 1 ที่สัดส่วนร้อยละของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ 100% (1,538 คัน/ชั่วโมง) และลดลงอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ลดลงในแต่ละสถานการณ์จำลอง (Scenario)

(2) การนำเข้าปริมาณจราจรในสถานการณ์จำลอง Scenario 2 เมื่อเริ่มลดสัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ 90% (13,867 คัน/ชั่วโมง) และนำเข้าปริมาณจักรยานที่สัดส่วน 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลในกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่าการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.64 (6.90%) วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่ความเร็วในการขับขี่ของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.34 (0.69%) กิโลเมตร/ชั่วโมง

(3) เมื่อโครงข่ายถนนมีปริมาณจักรยานเพิ่มมากขึ้นในแต่ละสถานการณ์จำลอง ส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสถานการณ์จำลอง Scenario 6 ที่ความล่าช้าในการเดินทางกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) มีค่าใกล้เคียงกับสภาพการจราจรในปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยานในกรณีที่ 1 (NBL) และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL) กับรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า ความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 3 (MBL) ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่ความเร็วเฉลี่ยในการขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลของกรณีที่ 2 (CBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

(4) ความล่าช้าและผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของจักรยานมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณจักรยาน สัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้ามกับความเร็วที่มีแนวโน้มที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL) พบว่า ความล่าช้าในการเดินทางของกรณีที่ 3 (MBL) มีค่ามากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) เฉลี่ยเท่ากับ 0.23 วินาที/กิโลเมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วเฉลี่ยในการขี่จักรยานมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักเท่ากับ 0.10 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากผลการวิจัยจึงสรุปได้ว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนในกรณีที่ 3 (MBL) เมื่อมีปริมาณจักรยานเข้ามาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ประสิทธิภาพการให้บริการจะเริ่มลดลง ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักในกรณีที่ 2 (CBL) ที่สามารถรักษาประสิทธิภาพการให้บริการได้อย่างต่อเนื่องทั้ง 6 สถานการณ์จำลอง (Scenario)

ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ผลด้านการจราจรสรุปได้ว่า รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) มีประสิทธิภาพในการให้บริการที่มากกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL) จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างเส้นทางจักรยานบนโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์

6.4 ผลสรุปการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

ผลสรุปการวิเคราะห์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมแบ่งเป็น 5 ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) 2) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x) 4) ฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) และ 5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ลักษณะทางกายภาพของถนนถูกปรับปรุงเพื่อเพิ่มช่องทางจักรยานในสถานการณ์จำลอง Scenario 1 ส่งผลให้ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay Time) มีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากองศาของวงเลี้ยวมีลักษณะที่กว้างขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีสัดส่วนที่ลดลงตาม ซึ่งรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) ค่าการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่ามากกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนประมาณ 1% – 2% เนื่องจากความเร็วในการขับขี่ (Operating Speed) ของกรณีที่ 2 (CBL) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลสามารถขับขี่ด้วยความเร็วที่สูงกว่ากรณีที่ 3 (MBL) เท่ากับ 0.42 (0.86%) กิโลเมตร/ชั่วโมง ในสภาพการจราจรปัจจุบันที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น

(2) เมื่อสัดส่วนของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลลดลงที่ 90% (13,867 คัน/ชั่วโมง) และเพิ่มสัดส่วนของจักรยานเพิ่มขึ้นที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 468.41 (14.66%) ลิตร ในขณะที่การปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีค่าเฉลี่ยลดลงเช่นกัน แบ่งเป็น 1) คาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 939,092.42 (12.58%) 2) ไนโตรเจนออกไซด์ เท่ากับ 2,911.61 (12.47%) 3) ฝุ่นละออง เท่ากับ 599.86 (16.02%) และ 4) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เท่ากับ 422.40 (10.96%) ซึ่งสรุปได้ว่า การที่ลดการใช้รถยนต์นั่งส่วนบุคคลสัดส่วน 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) ของปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนสามารถประหยัดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้ถึง 14.66% ส่งผลให้ฝุ่นละอองลดลง 16.02%

(3) สภาพการจราจรบนโครงข่ายถนนเมื่อมีปริมาณจักรยานเข้ามาสู่จราจรที่ 10% (1,682 คัน/ชั่วโมง) สภาพการจราจรในกรณีที่ 3 (MBL) จักรยานเริ่มมีการตัดกระแสจราจรเพื่อเข้าไปใช้เส้นทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนน รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเริ่มมีการชะลอความเร็วบริเวณจุดตัดทางแยก จึงส่งผลให้การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีที่ 3 (MBL) มีปริมาณที่มากกว่ากรณีที่ 2 (CBL) เท่ากับ 6.57 ลิตร (0.24%) และมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนของปริมาณจักรยานที่สัญจรบนโครงข่ายถนน

(4) ในขณะที่ค่าคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อปริมาณจักรยานเพิ่มมากขึ้นมากกว่า 30% (4,696 คัน/ชั่วโมง) รถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่สัญจรอยู่บนโครงข่ายถนนในกรณีที่ 3 (MBL) มีแนวโน้มการปล่อยมลพิษทางอากาศมากกว่าสัญจรบนโครงข่ายถนนในกรณีที่ 2 (CBL) เห็นได้อย่างชัดเจน

ผลการวิเคราะห์ผลด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมสรุปได้ว่า การเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการขี่จักรยานที่เพิ่มมากขึ้น จะสามารถลดการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษทางอากาศของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) มีประสิทธิภาพในการให้บริการที่ดีกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL) ทั้งในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมและความสามารถในการรองรับการให้บริการ จึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างเส้นทางจักรยานบนโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์

6.5 ผลสรุปการวิเคราะห์จุดดุลยภาพของผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง

ผลสรุปการวิเคราะห์หาจุดดุลยภาพ (Equilibrium Point) พบว่า สัดส่วนการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็นการใช้จักรยานที่เหมาะสมเท่ากับ 31.87% คิดเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) เท่ากับ 10,481 (31.87%) คัน/ชั่วโมง และจักรยาน (Bike) เท่ากับ 4,764 (68.13%) คัน/ชั่วโมง ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง (Total Travel Time) เท่ากับ 412.34 ชั่วโมง โดยประโยชน์ที่จะได้รับได้แก่

- (1) ความล่าช้าในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลลดลงเท่ากับ 1.32 วินาที/กิโลเมตร
- (2) ความเร็วในการขับขี่ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.62 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- (3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทางของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลลดลงเท่ากับ 187.08 ชั่วโมง
- (4) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิงลดลงเท่ากับ 1,084.10 ลิตร
- (5) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ลดลงเท่ากับ 2,396,635.24 กรัม/กิโลเมตร
- (6) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลงเท่ากับ 7,433.00 กรัม/กิโลเมตร
- (7) ฝุ่นละออง (PM) ลดลงเท่ากับ 1,305.26 กรัม/กิโลเมตร
- (8) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ลดลงเท่ากับ 1,187.69 กรัม/กิโลเมตร

6.6 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ได้มีการทบทวนถึงงานวิจัยที่ผ่านมา ทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดวิธีและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยถึงความเหมาะสมของรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบนโครงข่ายทางจักรยานของเทศบาลนครนครสวรรค์ ตัวแปรต้นถูกกำหนดขึ้นแบ่งเป็น 9 ตัวแปร ได้แก่ 1) รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน 2) กายภาพของโครงข่ายถนน 3) คุณลักษณะเฉพาะของถนน 4) พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ 5) ปริมาณจราจรของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Car) และจักรยาน (Bike) และ 6) การบริหารจัดการจราจร โดยใช้โปรแกรม AIMSUN Microscopic Simulation Model เป็นเครื่องมือในการทดลองจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงแบ่งเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 (NBL) กรณีที่ 2 (CBL) และกรณีที่ 3 (MBL)

การวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง แบ่งผลการวิเคราะห์หรือตัวแปรตามออกเป็น 8 ตัวแปร ประกอบด้วย ตัวแปรตามด้านการจราจรจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ 1) ความล่าช้าในการเดินทาง 2) ความเร็วในการขับขี่ 3) ผลรวมระยะเวลาในการเดินทาง และตัวแปรตามด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจำนวน 5 ตัวแปร ได้แก่ 1) การบริโภคการใช้เชื้อเพลิง 2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 4) ฝุ่นละออง (PM) และ 5) สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC)

6.6.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะในประเด็นที่สำคัญเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน รวมถึงเป็นแนวทางในงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณีที่ 2 (CBL) มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างเส้นทางจักรยานบนโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ มากกว่ารูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณีที่ 3 (MBL)
- การกำหนดเป้าหมายของการรณรงค์เพื่อให้ผู้ขับขี่รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเปลี่ยนเป็นขี่จักรยานในการเดินทางในชีวิตประจำวันแทน คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 31.87% แบ่งเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเท่ากับ 10,481 คัน/ชั่วโมง และจักรยานเท่ากับ 4,764 คัน/ชั่วโมง
- ตัวแปรต้นที่มีความสำคัญในการกำหนดสถานการณ์จำลอง (Scenario) เพื่อการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การจัดวางช่องทางจักรยานที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ สัดส่วนการนำเข้าปริมาณจราจรระหว่างรถยนต์นั่งส่วนบุคคลและจักรยาน และการกำหนดความเร็วในการขับขี่ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อผลการวิเคราะห์ผลกระทบด้านจราจร พลังงาน และสิ่งแวดล้อม
- การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AIMSUN ส่วนของ Microscopic Simulation Model แนวเส้นทางของถนน มุมโค้ง ลักษณะทางแยก และมุมเลี้ยว ต้องมีความเสมือนจริงกับลักษณะทางกายของโครงข่ายถนน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ต้องการสร้างเส้นทางจักรยาน ต้องกำหนดรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานที่ชัดเจน และอ้างอิงแบบมาตรฐานการออกแบบเพื่อให้การสร้างเส้นทางจักรยานในแบบจำลองมีความเสมือนจริง จึงจะสามารถแสดงผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบได้อย่างถูกต้อง
- การกำหนดทิศทางการเดินทางเชื่อมโยงระหว่างช่องจราจรบริเวณทางแยกและทางกลับรถ ต้องอ้างอิงจากพฤติกรรมจราจรที่เข้ายานพาหนะและลักษณะทางกายภาพจริงบนโครงข่ายถนน
- การนำเข้าข้อมูลความเร็วในการขับขี่ในแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ควรใช้ความเร็วที่สำรวจได้จากภาคสนามแบ่งตามช่วงถนน จึงจะทำให้การสอบเทียบแบบจำลองมีความถูกต้องมากกว่าการใช้ความเร็วในการออกแบบ
- บริเวณช่วงถนนที่มีลักษณะเฉพาะของพื้นที่ เช่น บริเวณย่านการค้า โรงเรียน ทางเชื่อม และทางแยก ควรแบ่งการนำเข้าข้อมูลความเร็วเป็นช่วงตามผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม
- การสอบทานแบบจำลองโดยการปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix Adjustment) ด้วยการจำลอง O/D Adjustment Replication ควรเลือกจำนวนรอบการจำลองซ้ำอย่างน้อย 4 Iterations เพื่อหลีกเลี่ยงความผันผวนของผลการจำลอง แต่อย่างไรก็ตาม การเลือกจำนวนรอบการจำลองซ้ำที่มากเกินไปจะทำให้ผลการปรับแก้ O/D Matrix Adjustment มีความแตกต่างจากข้อมูลที่สำรวจจากภาคสนามเป็นอย่างมาก จึงส่งผลให้การนำข้อมูลปรับแก้ไปใช้มีความผิดพลาดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้
- การประเมินผลความถูกต้องของการจำลอง O/D Matrix Adjustment ด้วยวิธีการทดสอบ Goodness of Fit Test จำนวน 9 วิธี ผลการวิจัยนำเสนอการแบ่งกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Goodness of Fit Test ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มที่ 1 RMSE, MAD, R^2 , และ Theil's U 2) กลุ่มที่ 2 MBE 3) กลุ่มที่ 3 RMSPE% และ MPE% และ 4) กลุ่มที่ 4 MAPE% และ Average GEH การเลือกวิธีที่จะนำไปใช้ในการประเมินผลควรเลือกเพียงกลุ่มละ 1 วิธีเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอคติจากการให้คะแนนด้วยวิธี Multi-Factor Scoring Method

- ขั้นตอนการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงต้องมีการควบคุมปัจจัยด้านพฤติกรรมทางเลือกใช้เส้นทางของผู้ขับขี่ยานพาหนะแบบคงที่ โดยการกำหนด Path Assignment เพื่อให้ผลการจำลองสามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์จราจรทั้ง 3 กรณี ได้อย่างถูกต้อง
- การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงในทุกสถานการณ์จำลอง (Scenario) ต้องควบคุมผลการจำลองปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (CAR) ของกรณี 2 (CBL) และกรณี 3 (MBL) ให้มีปริมาณใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้ปริมาณจักรยาน (BIKE) ที่ได้จากการจำลอง ผ่านสมมติฐานการทดสอบความเท่ากันด้วยวิธี Student's t-test
- การวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงทั้งระบบโครงข่ายถนนของเทศบาลนครนครสวรรค์ ผลของตัวแปรตามทั้ง 8 ตัวแปร เป็นค่าที่แสดงถึงผลลัพธ์ทั้งระบบโครงข่ายถนน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นระดับพื้นที่ย่อยได้ ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ระดับพื้นที่ย่อย แบบจำลองที่ถูกสร้างต้องมีการตัดพื้นที่ย่อยใหม่เพื่อการวิเคราะห์ผลด้วยการจำลองด้วย Mesoscopic Simulator ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ผลระดับพื้นที่เป้าหมายย่อยที่ต้องการศึกษา

6.6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในอนาคต

ระหว่างการดำเนินการวิจัยได้พบอุปสรรคและข้อบกพร่อง ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงและเพิ่มเติมส่วนต่อขยายเพื่อการวิจัยในอนาคต (Future Research) ดังนี้

- การสร้างแบบจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง ควรมีการนำเข้าข้อมูลการควบคุมทางแยกด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร เพื่อให้แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นมีการบริหารจัดการจราจรที่มีความเสมือนพื้นที่ศึกษาอย่างแท้จริง
- การแบ่งประเภทของยานพาหนะในการนำเข้าในแบบจำลอง ควรมีการเพิ่มรถโดยสารประจำทาง (Bus) และรถบรรทุก (Truck) เพื่อการตรวจสอบผลกระทบจากการปล่อยมลพิษทางอากาศของยานพาหนะขนาดใหญ่ที่สัญจรในเขตเมือง
- ขั้นตอนการสอบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation Model) ผลที่ได้จากการปรับแก้ข้อมูลจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix Adjustment) ควรนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจุดต้นทางและปลายทางที่สำรวจได้จากภาคสนาม เพื่อการประเมินความถูกต้องและควบคุมผลการปรับแก้ให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริงที่สำรวจได้
- การกำหนดสถานการณ์จำลอง (Scenario) สัดส่วนการนำเข้าปริมาณจักรยาน ควรทดลองคัดเลือกเฉพาะคู่ของจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทาง (O/D Matrix) ที่มีระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สั้นและเป็นการเดินทางละแวกที่อยู่อาศัย เพื่อวิเคราะห์ถึงรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมให้ประชาชนทั่วไปเริ่มใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน

- การวิเคราะห์ด้านผลรวมระยะเวลาในการเดินทางและการปล่อยมลพิษของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ผลที่แสดงจากการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริงยังไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้โดยตรงในทุกสถานการณ์จำลอง (Scenario) เนื่องจากปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางการเดินทางและจุดขัดแย้ง (Conflict Point) ที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยกส่งผลกระทบต่อรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยาน ดังนั้น ควรมีการวิเคราะห์ระดับทางแยกเพิ่มเติมเพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางและจุดขัดแย้งที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณด้านซ้ายของช่องจราจรหลักกรณี 2 (CBL) และการจัดวางช่องทางจักรยานบริเวณเกาะกลางถนนกรณี 3 (MBL)
- การวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยและความล่าช้าในการเดินทางบริเวณจุดตัดทางแยก ถือได้ว่าเป็นกรณีศึกษาที่ยังคงมีความน่าสนใจในการเพิ่มรายละเอียดของงานวิจัย เพื่อการออกแบบลักษณะทางกายของเส้นทางจักรยานบริเวณจุดตัดทางแยกที่มีประสิทธิภาพ ส่งเสริมความปลอดภัยและลดความล่าช้าในการเดินทาง
- ควรมีการวิจัยถึงรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานแบบอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้ครอบคลุมทุกประเภทของทางจักรยาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ของเมืองที่มีพฤติกรรมด้านการจราจรและลักษณะกายภาพของระบบโครงข่ายถนนที่แตกต่างกัน
- ควรมีการวิจัยถึงการนำรูปแบบการจัดวางช่องทางจักรยานไปใช้แบบผสมผสาน เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่เฉพาะในแต่ละพื้นที่ของเมือง

บรรณานุกรม

- กรมทางหลวง, ส. (2560). รายงานปริมาณจราจรบนทางหลวงสายหลัก. Retrieved from กรมทางหลวง:
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. 2549. **เกณฑ์และมาตรฐานผังเมืองรวม พ.ศ.2549**. ประเทศไทย:
- กรมการขนส่งทางบก. 2561. **รายงานสถิติการขนส่งประจำปี**. ประเทศไทย:
- กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข. 2558. **ปั่นเพื่อชีวิต "BIKE FOR LIFE"**. ประเทศไทย: กองออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข.
- กุสุมา ถาวร และคณะ. 2557. **การวิจัยแบบมีส่วนร่วมในการนำจักรยานมาใช้ในชีวิตประจำวันของประชาชนที่อยู่อาศัยในพื้นที่เขตความรับผิดชอบเทศบาลเมืองพนัสนิคม**. Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- ศราวุธ สุวรรณสังข์ และคณะ. 2551. **การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ทางจักรยานเลียบบคลองรังสิต (คลอง 3-คลอง 5)**. วารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตราชชมงคลธัญบุรี, 27.
- จักรรัฐ ผาลา และ มนสิชา เพชรานนท์. 2559. **การศึกษาพฤติกรรมเดินทางของผู้ใช้จักรยานเพื่อหาแนวทางสนับสนุนให้เลือกใช้จักรยานในเขตเมืองขอนแก่น** Built Environment Inquiry, 15(2), 103-116.
- ณัฐชนันท์ ปลายเนตร และคณะ. 2558. **การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน กรณีศึกษา: จังหวัดนครพนม**. Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- บวร ทรัพย์สิงห์ และ วิชยา โกมินทร์. 2560. **พฤติกรรมการใช้จักรยานและแนวทางการส่งเสริมการใช้จักรยานบนเกาะสี่ซิ่ง จังหวัดชลบุรี**. Journal of Social Research, 40(1), 177-200.
- ประพัทธ์พงษ์ อุปลา. 2556. **เมืองจักรยานนครสวรรค์ (Bicycle City: Nakhon Sawan)** Paper presented at the สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ประเทศไทย.
- บุญยง รุธิโรโก. 2561. **ปัญหาและอุปสรรคในการปั่นจักรยานในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และเทศบาลเมืองคอหงส์ จังหวัดสงขลา**. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 38(1).
- พลเดช เขาวรัตน์ และ เมธี พิริยการนนท์. 2556. **การส่งเสริมการเดินเท้าและการใช้จักรยาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วิทยาเขตขามเรียง**. Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- เพ็ญภา สุขบุญพันธ์ และ ประพัทธ์พงษ์ อุปลา. 2557. **แนวทางการพัฒนาระบบจักรยานเลียบบคลองในเมือง กรณีศึกษา คลองแสนแสบ**. Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- ยุภาพร บุญประเสริฐ. 2552. **แนวทางการออกแบบเส้นทางจักรยาน โดยการมีส่วนร่วมของประชาชนกรณีศึกษา เทศบาลนครนครสวรรค์**. (การวางแผนภาคและเมืองมหาบัณฑิต), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- วรลักษณ์ คงอ้วน และ สาธิตา สกฤตตันกุลชัย. 2556. แนวทางการส่งเสริมการใช้จักรยานภายในมหาวิทยาลัย: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยบูรพาและมหาวิทยาลัย ศิลปากรวิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์. *Journal of the Faculty of Architecture King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang*, 17(2), 67-79.
- วีโรจน์ ศรีสุภานนท์. 2556. วิธีส่งเสริมการใช้จักรยานในกรุงเทพมหานคร Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- วีรวัดน์ วรายน และคณะ. 2561. โครงการแนวทางการออกแบบระบบเส้นทางจักรยานที่เหมาะสมเพื่อส่งเสริมใช้งานจักรยานในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- ศาสน์ สุขประเสริฐ. 2556. การศึกษาและพัฒนามาตรฐานการออกแบบทางจักรยาน. *Srinakharinwirot Engineering Journal*, 2(2).
- สมภาพ สุวรรณกวีการ และ สุภาพร แก้วก้อ เว็วไฟโรจน์. 2557. การส่งเสริมการใช้จักรยานสำหรับนักศึกษาและบุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด. Paper presented at the Bike and Walk Forum.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. 2557. การศึกษาเพื่อส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์ (Non-Motorized Transport: NMT) และการปรับปรุงการเชื่อมต่อการเดินทางระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการขนส่งอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. Retrieved from ประเทศไทย:
- สำนักงานสาธารณสุข. 2558. จักรยาน เพื่อ ชีวิต และ สุขภาพ. สำนักงานสาธารณสุข จังหวัด ชัยนาท.
- สำนักอำนวยการความปลอดภัย, ก. 2560. รายงานปริมาณจราจรบนทางหลวงสายหลัก. Retrieved from กรมทางหลวง:
- AASHTO. 2011. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011*: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- AASHTO. 2012. *Guide for the Development of Bicycle Facilities* (4th ed.). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Agency, U. H. 1966. *Design Manual for Roads and Bridges* (Vol. 12, Section 2). London: Department of Transportation.
- AIMSUN. 2008. *Aimsun's Macroscopic Modelling Manual*. Barcelona, Spain: TSS-Transport Simulation Systems.
- AIMSUN. 2014. *Aimsun 8 Dynamic Simulators Users' Manual*. Barcelona, Spain: TSS-Transport Simulation Systems.
- Annan, J., Arthur, Y. D., & Quanah, E. 2015. *Modelling Transport Energy Demand in Ghana: The Policy Implication on Ghanaian Economy*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Anya, A. R., Roupail, N. M., Frey, H. C., & Schroeder, B. 2014. Application of AIMSUN microsimulation model to estimate emissions on signalized arterial corridors. **Transportation Research Record**, 2428(1), 75-86.
- Bliemel, F. 1973. Theil's forecast accuracy coefficient: A clarification. **Journal of Marketing Research**, 10(4), 444-446.
- Chalermwongphan, K., & Upala, P. 2018. The Analysis of Dynamic O/D Adjustment for Bicycle Traffic Demand Estimation with AIMSUN Simulation Model: A Case Study of Nakhon Sawan Municipality in Thailand. **The Open Transportation Journal**, 12(1).
- Doniec, A., Mandiau, R., Piechowiak, S., & Espié, S. 2008. A behavioral multi-agent model for road traffic simulation. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 21(8), 1443-1454.
- DPTI. 2013. **Aimsun Traffic Simulation Model Development Manual**. Australia: Government of South Australia - Department of Planning, Transport and Infrastructure.
- Ferreira, L. 1982. **Car Fuel Consumption in Urban Traffic**. The Results of a Survey in Leeds using Instrumented Vehicles.
- Fisher, R. A. 1950. **Contributions to mathematical statistics**.
- Gillispie, C. C., & Grattan-Guinness, I. 2000. **Pierre-Simon Laplace, 1749-1827: a life in exact science**: Princeton University Press.
- Goodno, M., McNeil, N., Parks, J., & Dock, S. 2013. Evaluation of innovative bicycle facilities in Washington, DC: Pennsylvania avenue median lanes and 15th street cycle track. **Transportation Research Record**, 2387(1), 139-148.
- Gösset, W. 1908. The probable error of a mean. **Biometrika**, 6, 1-25.
- Guy, B. P., & Fricker, J. D. 2005. **Guidelines for Data Collection Techniques and Methods for Roadside Station Origin-Destination Studies**.
- Han, C., & Luk, J. 2013. **Guide to traffic management part 3: traffic studies and analysis**.
- Høsser, Ø. 2017. **Prioritizing bicycles and public transport at intersections**. NTNU.
- Hubbard, R., & Bayarri, M. 2003. P values are not error probabilities. **Available in Internet**.
- Hunt, J. D., & Abraham, J. E. 2007. Influences on bicycle use. **Transportation**, 34(4), 453-470.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Hunter, W., Harkey, D., Stewart, J., & Birk, M. 2000(a). Evaluation of blue bike-lane treatment in Portland, Oregon. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**(1705), 107-115.
- Hunter, W. W. 2000(b). Evaluation of innovative bike-box application in Eugene, Oregon. **Transportation Research Record**, 1705(1), 99-106.
- Hunter, W. W., Srinivasan, R., Martell, C. A., & BA784, F. C. 2008. Evaluation of a Green Bike Lane Weaving Area in St. Petersburg, Florida. **University of North Carolina Highway Safety Research Center. Chapel Hill, NC.**
- INRIX. 2017. **Global Traffic Scorecard Infographic**. Retrieved from United Kingdom:
- Kaisar, E. I., Edara, P., Rodriguez-Seda, J. D., & Cherry, S. 2011. **A Comparison of Non-Traditional Intersection Designs using Microscopic Simulation**. Retrieved from
- Kipper, L. M., Nara, E. O. B., Siluk, J. C. M., & Mendes, F. 2014. The use of scoring method for prioritizing the project portfolio. **Journal of Management Research**, 6(1), 156-169.
- Lenorzer, A., Casas, J., Dinesh, R., Zubair, M., Sharma, N., Dixit, V., . . . Brackstone, M. 2015. **Modelling and simulation of mixed traffic**. Paper presented at the Australasian Transport Research Forum (ATRF), 37th, 2015, Sydney, New South Wales, Australia.
- Levasseur, M., Croft, P., Bennett, D., Veith, G., Luk, J., Freeman, P., . . . Prodanovic, M. 2013. **Guide to traffic management part 6: intersections, interchanges and crossings**.
- Li, Z., Li, Z., Huang, R., Yang, Z., Zhou, W., & Ye, M. 2015. **Operational Features in Bicycle Traffic Flow: An Observational Study 2**. Paper presented at the Proceedings of Transportation Research Board 94th Annual Meeting.
- Lin, D., Yang, X., & Gao, C. 2013. VISSIM-based simulation analysis on road network of CBD in Beijing, China. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 96, 461-472.
- LONGBEACH. 2016. **Bicycle master plan**. California: City of Long Beach Department of Development Services and Department of Public Work.
- Lott, D. F., & Tardiff, T. 1978. **Evaluation by Experienced Riders of a New Bicycle Lane 1n an Established Bikeway System**.
- Lu, X.-Y., Lee, J., Chen, D., Bared, J., Dailey, D., & Shladover, S. E. 2014. **Freeway micro-simulation calibration: Case study using aimsun and VISSIM with detailed field data**. Paper presented at the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- McNeil, N., Monsere, C. M., & Dill, J. 2015. Influence of bike lane buffer types on perceived comfort and safety of bicyclists and potential bicyclists. **Transportation Research Record**, 2520(1), 132-142.
- Metroplan Orlando. 2014. **Enforcement for Bicyclist Safety**. Orlando: Metroplan Orlando, A Regional Transportation Partnership.
- Mitchell, R., Phaal, R., & Athanassopoulou, N. 2018. **Scoring methods for evaluating and selecting early stage technology and innovation projects**.
- Moritz, W. E. 1997. Survey of North American bicycle commuters: design and aggregate results. **Transportation Research Record**, 1578(1), 91-101.
- NACTO. 2013. **Urban street design guide**: Island Press/Center for Resource Economics.
- NACTO. 2016. **Global Street Design Guide**: Global Designing Cities Initiative - National Association of City Transportation Officials (Island Press).
- NCHRP. 2012. NCHRP Report 716: Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques. **TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF THE NATIONAL ACADEMIES**.
- Nejad, F. M., Noory, A., & Dehnad, M. H. 2012. Using the Micro-Simulation Software in Estimation of Pollutants in an Urban Highway. **IJCEBM**, 28.
- Neyman, J., & Pearson, E. S. 1928. On the use and interpretation of certain test criteria for purposes of statistical inference: Part I. **Biometrika**, 175-240.
- Ni, D., Leonard, J., Guin, A., & Williams, B. 2004. Systematic approach for validating traffic simulation models. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**(1876), 20-31.
- NSO. 2018. **Household Survey on the Use of Information and Communication Technology**. Retrieved from Thailand:
- Oketch, T., & Carrick, M. 2005. **Calibration and validation of a micro-simulation model in network analysis**. Paper presented at the Proceedings of the 84th TRB Annual Meeting, Washington, DC.
- Ontario. 2014. **Cycling Facilities** (Vol. Book 18). Ontario: Queen's Printer.
- Panis, L. I., Broekx, S., & Liu, R. 2006. Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. **Science of the total environment**, 371(1-3), 270-285.
- Parks, J., Ryus, P., Tanaka, A., Monsere, C., McNeil, M., Dill, J., & Schultheiss, W. 2012. **District Department of Transportation Bicycle Facility Evaluation: Project**.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Prastacos, P. 1991. Integrating GIS technology in urban transportation planning and modeling. **Transportation Research Record**, 1305, 123-130.
- Renkema, T. J., & Berghout, E. W. 1997. Methodologies for information systems investment evaluation at the proposal stage: a comparative review. **Information and Software Technology**, 39(1), 1-13.
- Saidallah, M., El Fergougui, A., & Elalaoui, A. E. 2016. **A comparative study of urban road traffic simulators**. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Schaefer, M. C. 1988. License plate matching surveys: Practical issues and statistical considerations. **ITE Journal**, 58(7).
- Silva, A. B., Mariano, P., & Silva, J. P. 2015. Performance assessment of turbo-roundabouts in corridors. **Transportation Research Procedia**, 10, 124-133.
- Smith, D., McIntyre, J., Anderson-Wilk, M., & Moreau, S. 2002. Handbook of simplified practice for traffic studies.
- Stanek, D., & Alexander, C. 2016. **Simulation Analysis of Intersection Treatments for Cycle Tracks**. Retrieved from
- Stevanovic, A., & Zlatkovic, M. 2013. **Evaluation of InSync adaptive traffic signal control in microsimulation environment**. Retrieved from
- Sutandī, C. 2007. **Advanced Traffic Control System Impacts on Environmental Quality in A Large City in A Developing Country**. Paper presented at the Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies The 7th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007.
- Swidan, H. 2011. **Integrating AIMSUN Micro Simulation Model with Portable Emissions Measurement System (PEMS): Calibration and Validation Case Study**.
- Taylor, S., Giang, C., Chau, P., & Aumann, P. 2017. **Cycling aspects of Austroads guides (192545164X)**. Retrieved from
- Theil, H. 1966. **Applied economic forecasting**.
- Toledo, T., & Koutsopoulos, H. N. 2004. Statistical validation of traffic simulation models. **Transportation Research Record**, 1876(1), 142-150.
- Transportation Research Board. 2010. Highway Capacity Manual (HCM2010). **Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC**.
- Tu, T. V., & Sano, K. 2014. Simulation based analysis of scramble crossings at signalized intersections. **International journal of transportation**, 2(2), 1-14.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Turner, S. M., Eisele, W. L., Benz, R. J., & Holdener, D. J. 1998. **Travel time data collection handbook**. Retrieved from
- Von Quintus, H., Mallela, J., Bonaquist, R., Schwartz, C., & Carvalho, R. 2012. NCHRP Report 719: Calibration of Rutting Models for Structural and Mix Design. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC.
- Watanachaturaporn, P., Chalermwongphan, K., Huntajidkul, A., Vongchumyen, C., Watthanakul, J., Benjaprakairat, J., . . . Lohaumnuy, K. 2017. **Empirical experiment on origin destination estimation using automatic licence plate matching on a rural road of Thailand**. Paper presented at the Electrical Engineering Congress (iEECON), 2017-International.
- Wu, C.-J., Lu, X.-Y., Horowitz, R., & Shladover, S. E. 2016. **Microsimulation of Congested Freeway with Multiple Vehicle Classes Using AIMSUN: A Case Study on SR-99N**. Retrieved from



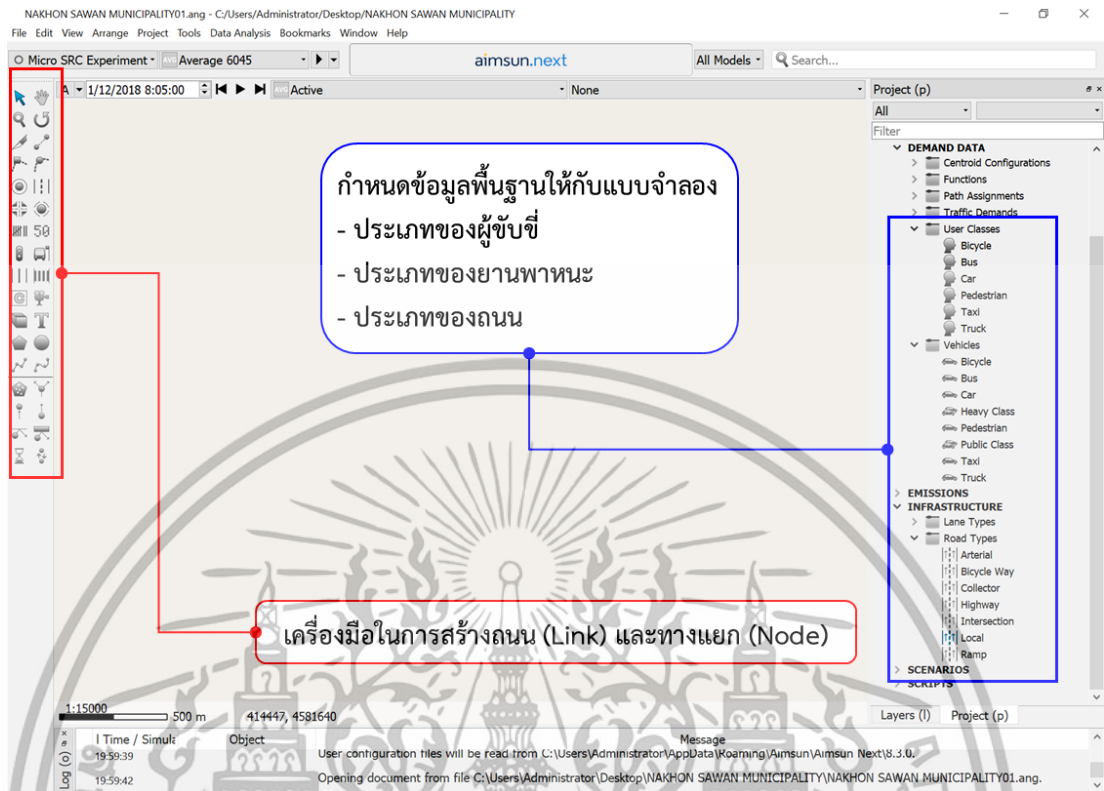


ภาคผนวก ก: เครื่องมือวิจัย

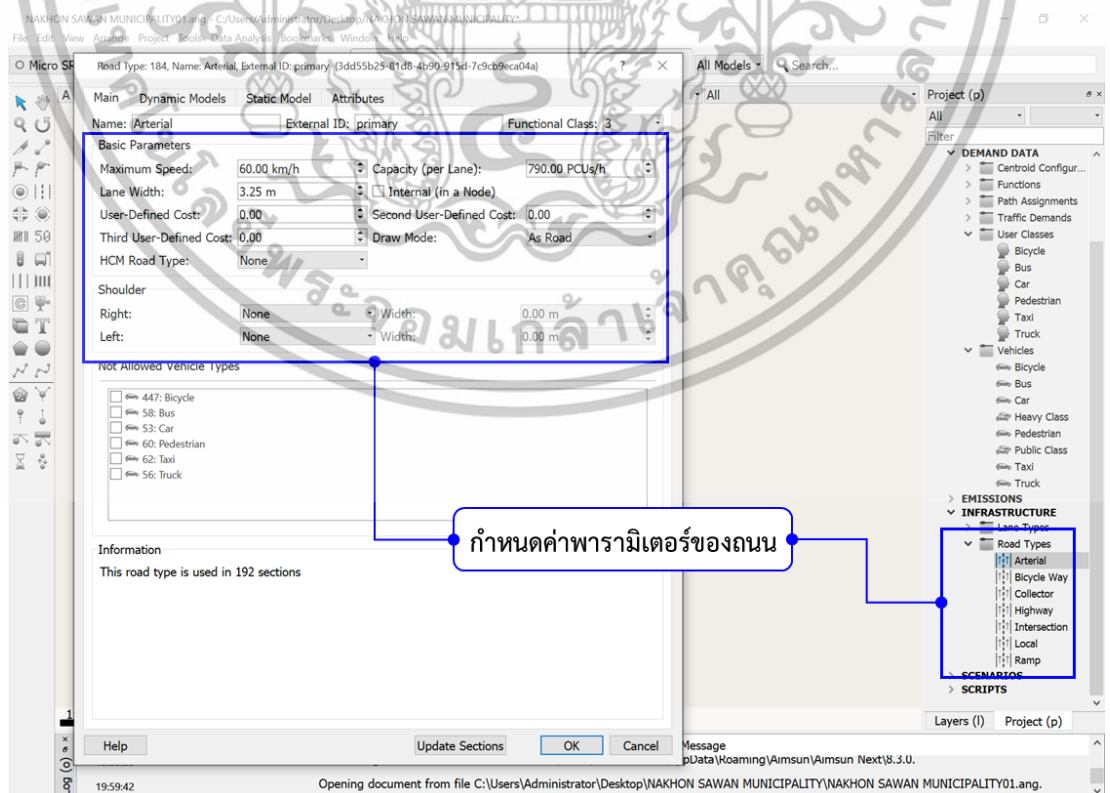
ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการจราจรเสมือนจริง
เพื่อการจำลอง Dynamic Scenario - Stochastic Route Choice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดข้อมูลพื้นฐานในแบบจำลอง

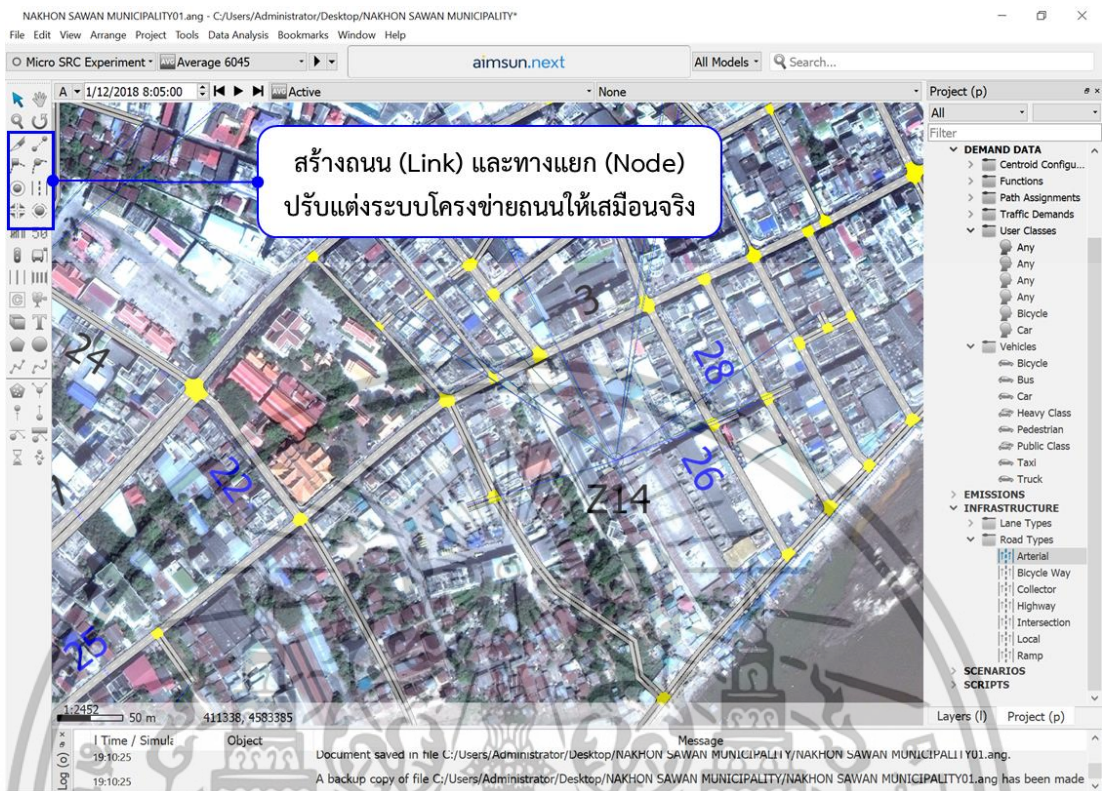


ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของถนน

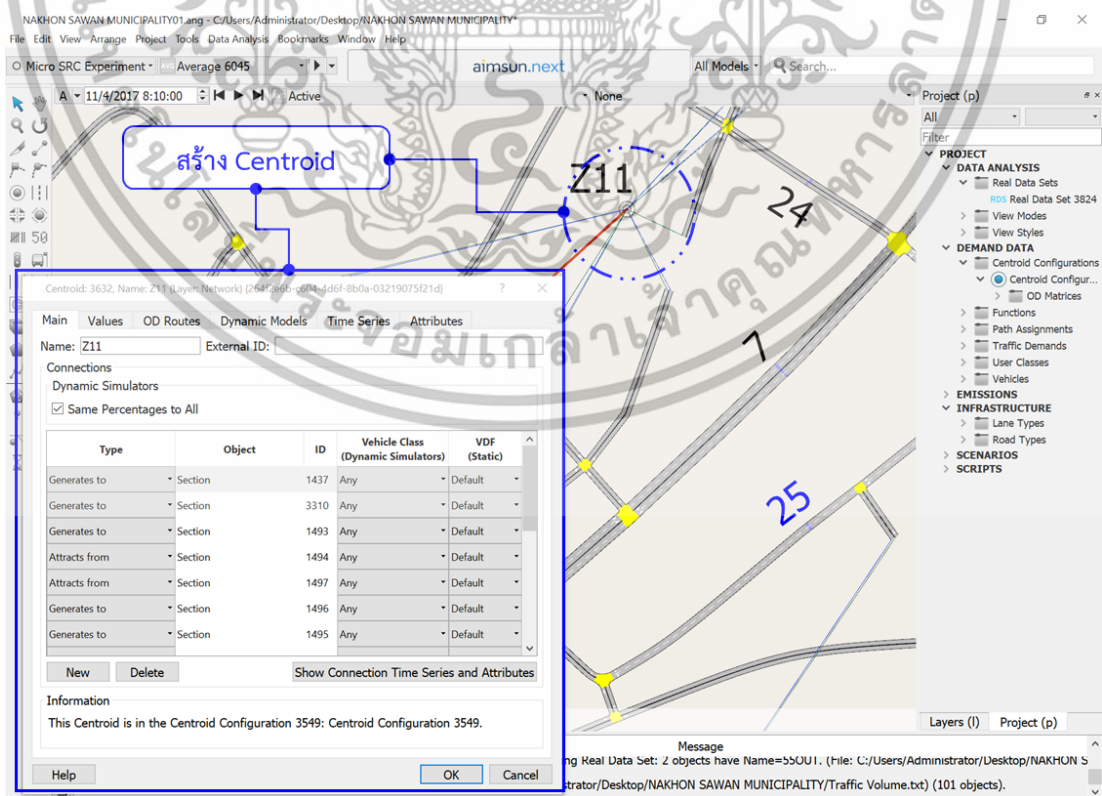


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 นำเข้าฐานข้อมูล GIS เพื่อสร้างระบบถนน (Link) และทางแยก (Node)

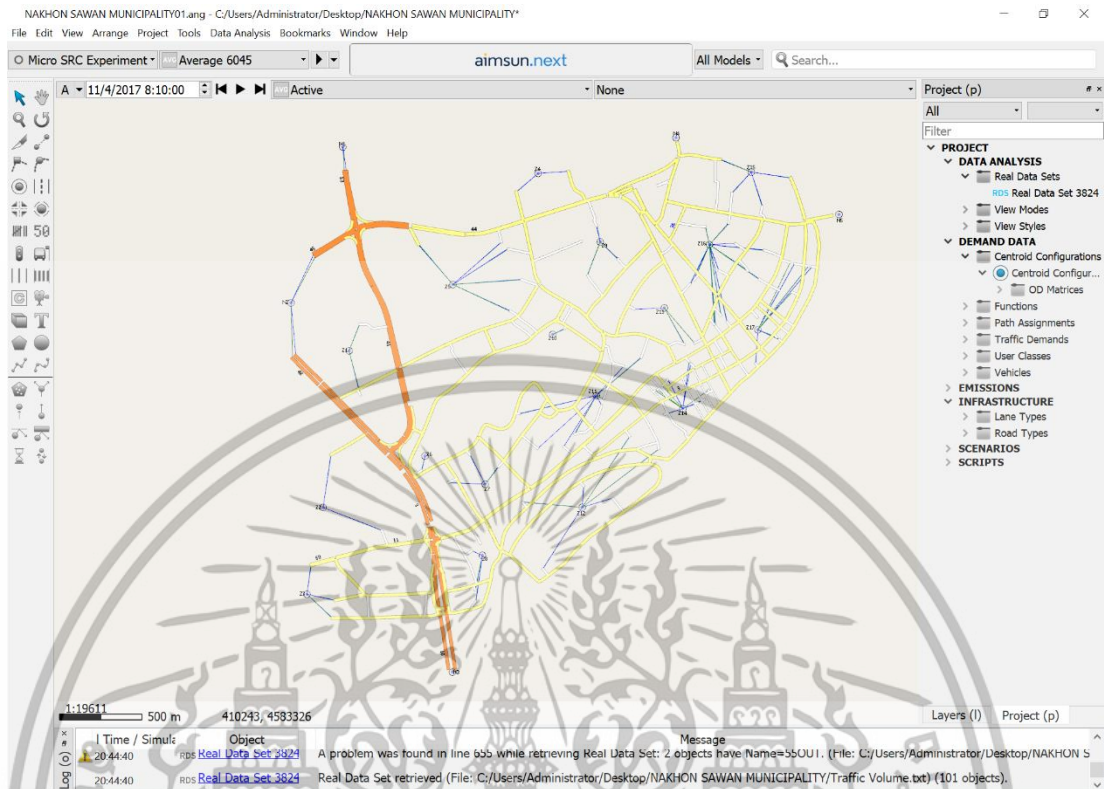


ขั้นตอนที่ 4 สร้าง Centroid เชื่อมโยงถนนด้วย Generation และ Attracts

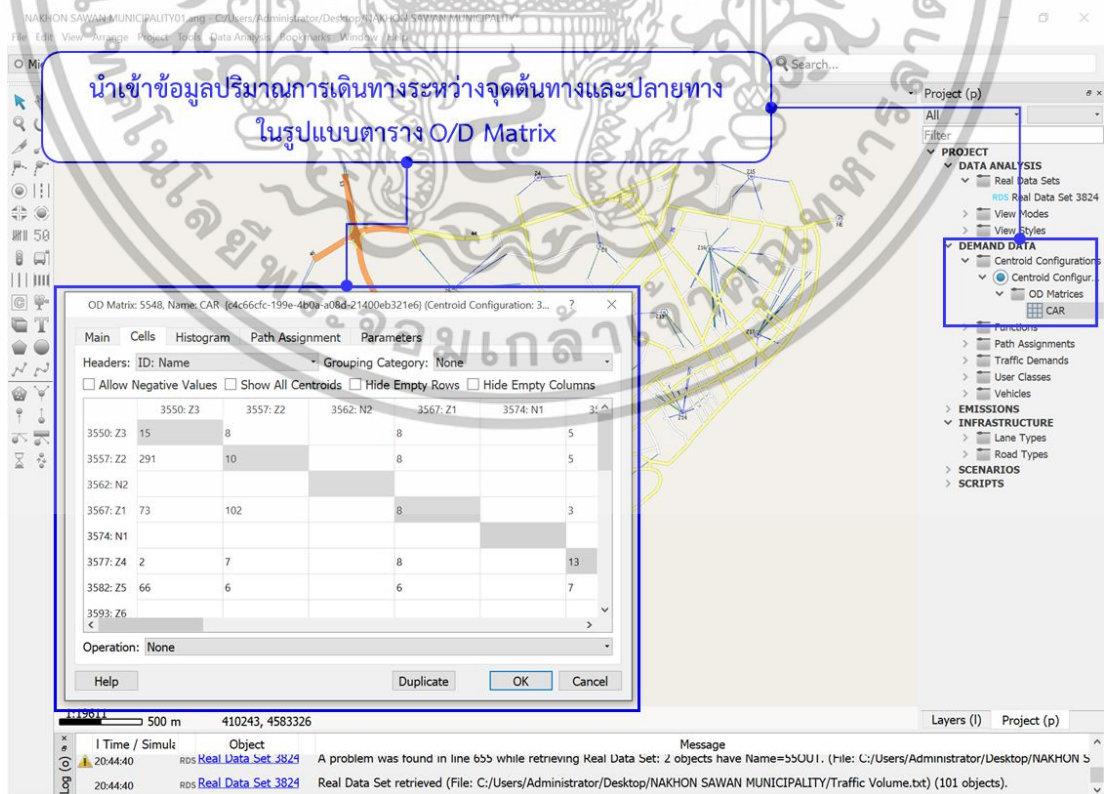


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบความถูกต้องของระบบโครงข่ายถนนก่อนการนำเข้าข้อมูล

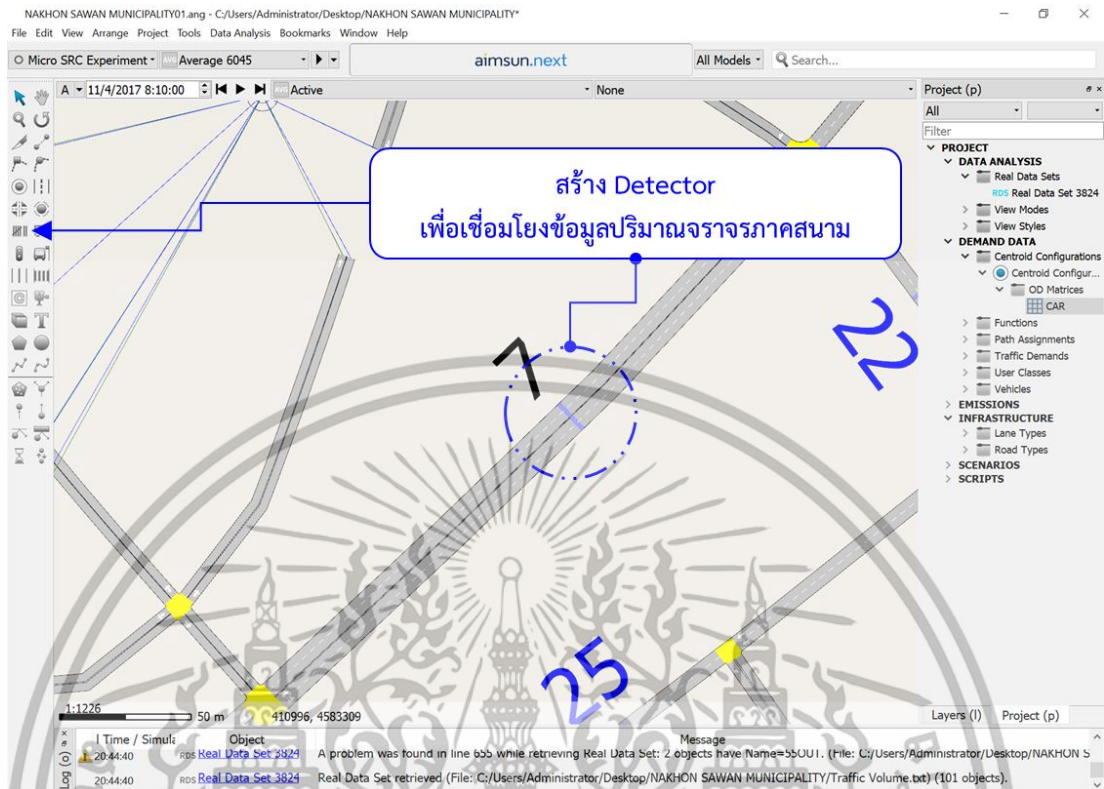


ขั้นตอนที่ 6 นำเข้าข้อมูลปริมาณการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและปลายทาง

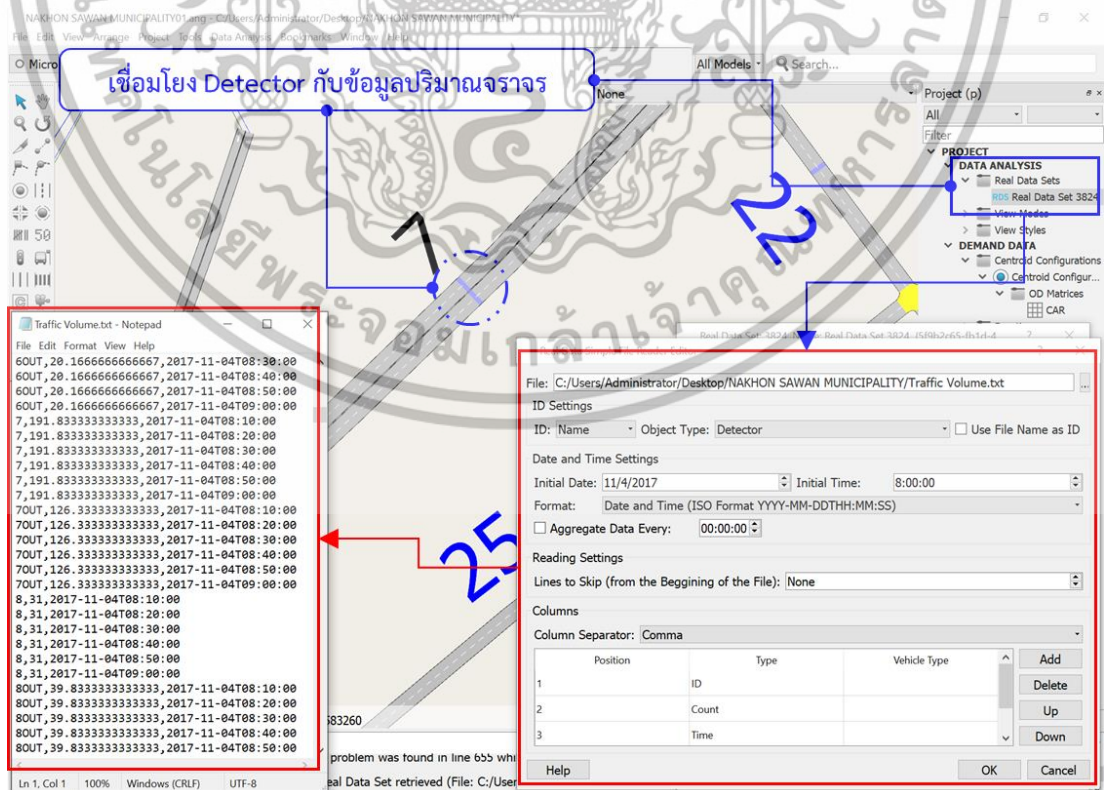


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 สร้าง Detector เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนาม

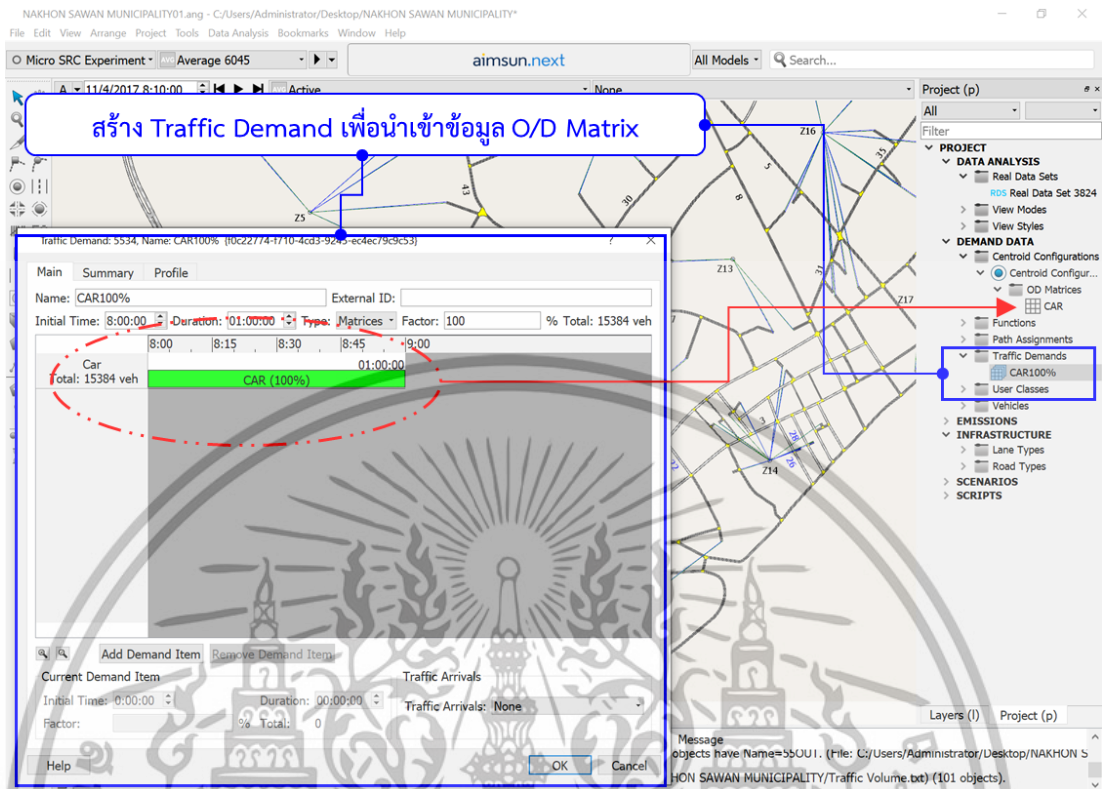


ขั้นตอนที่ 8 นำเข้าข้อมูลปริมาณจราจรภาคสนามเชื่อมโยง Detector

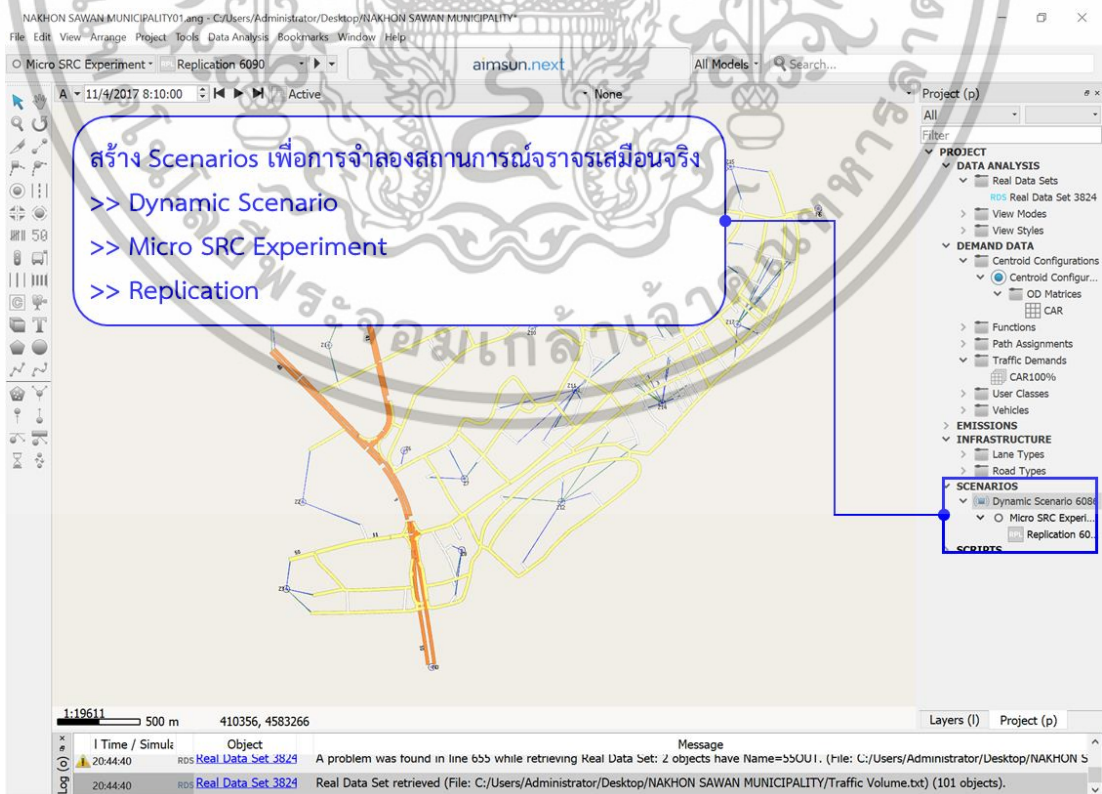


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 สร้าง Traffic Demand เพื่อนำเข้าข้อมูล O/D Matrix

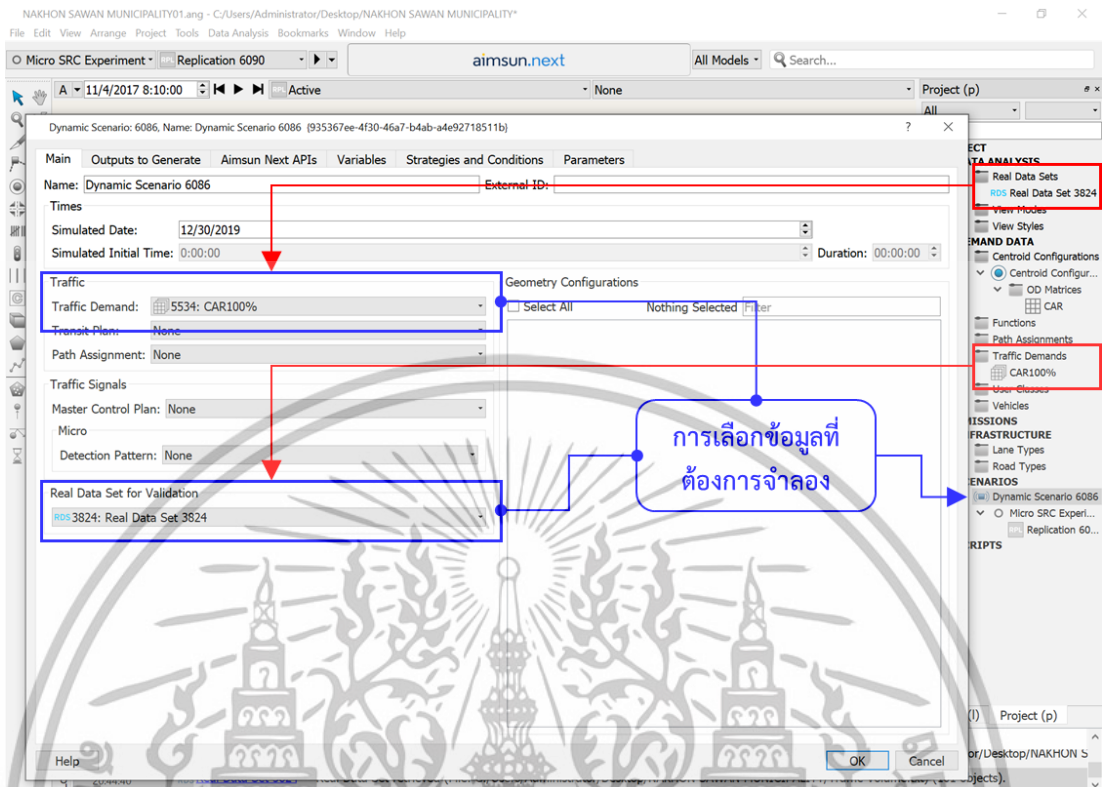


ขั้นตอนที่ 10 การสร้าง Scenarios เพื่อการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

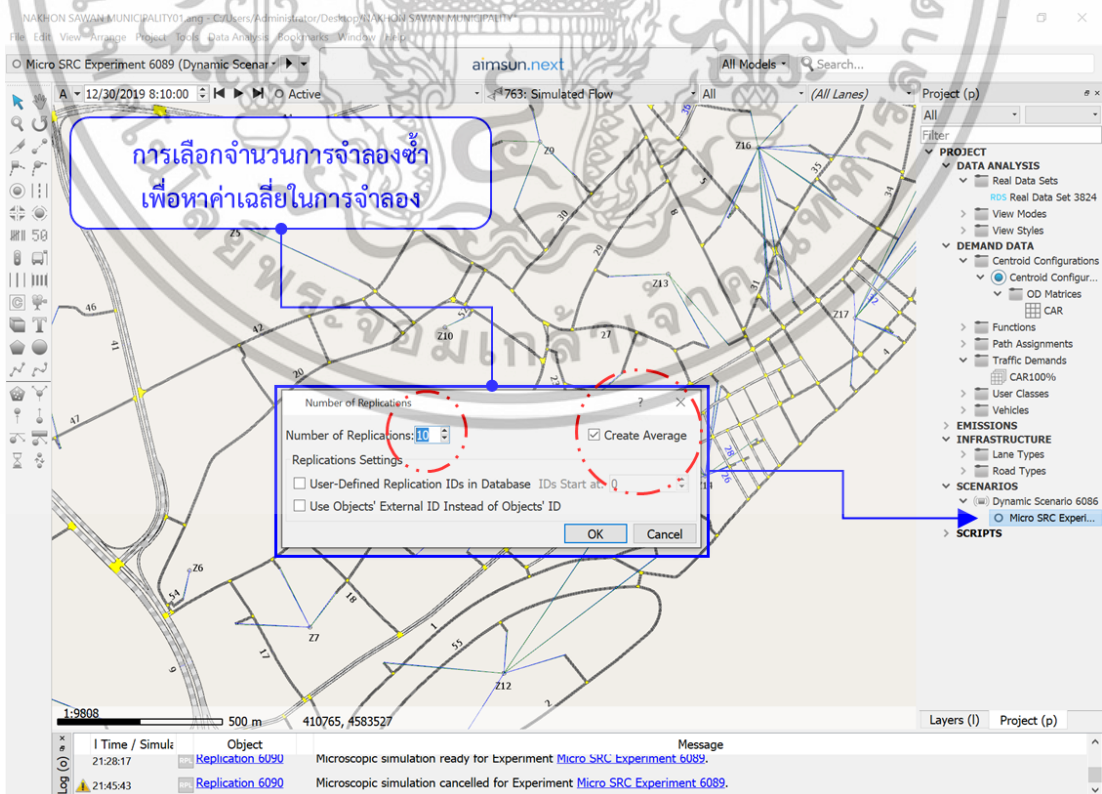


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 11 การเลือกข้อมูล Traffic Demand และ Real Data Set เพื่อเตรียมการจำลอง

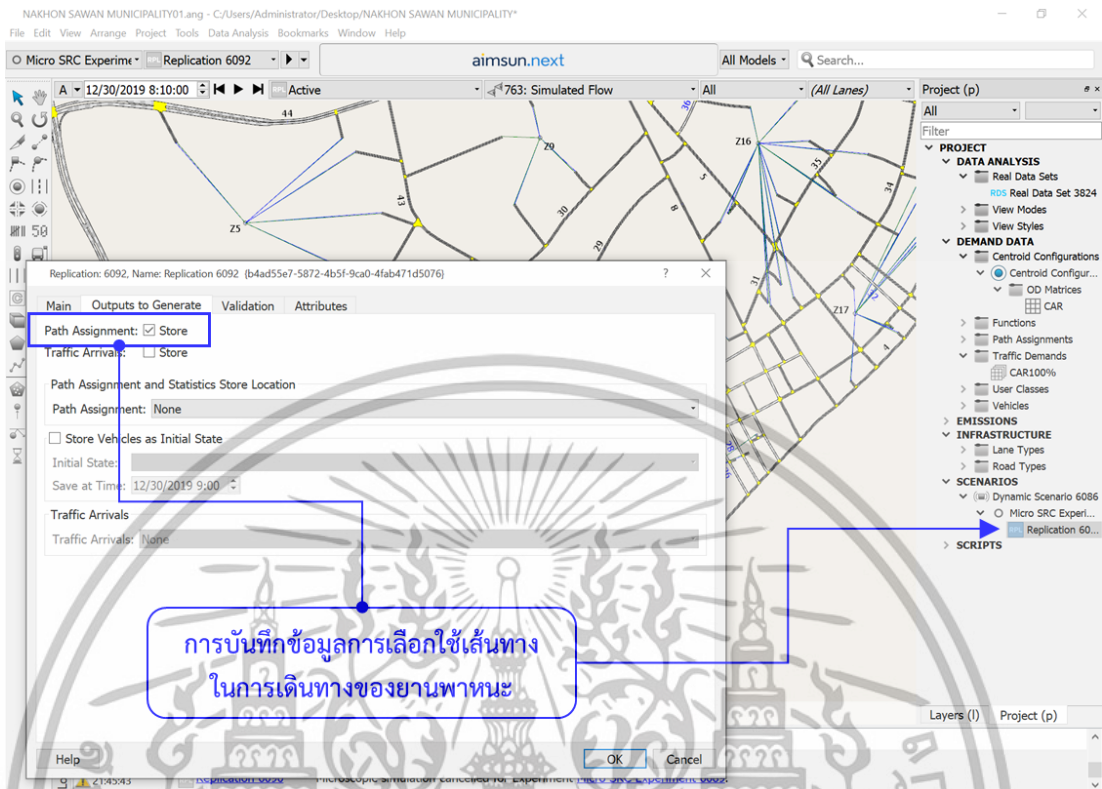


ขั้นตอนที่ 12 การตั้งค่าจำนวนรอบในการจำลองซ้ำและการหาค่าเฉลี่ย



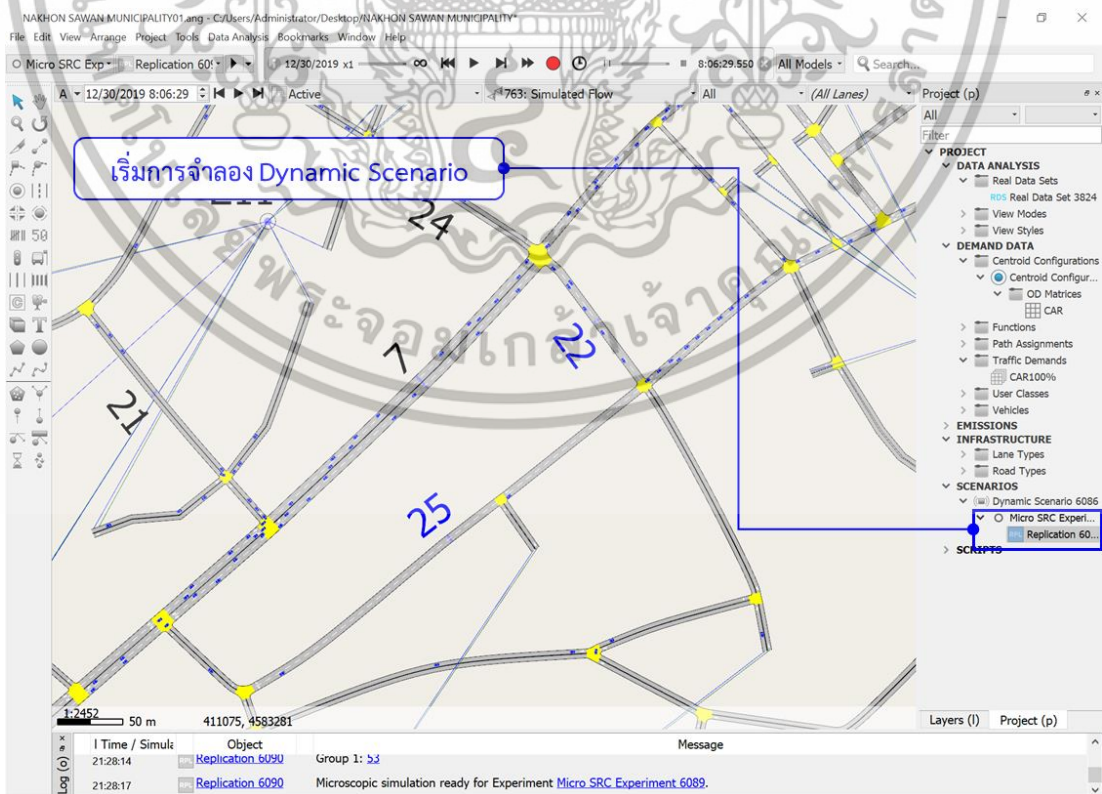
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 13 การบันทึกข้อมูลการเลือกใช้เส้นทางของยานพาหนะ



การบันทึกข้อมูลการเลือกใช้เส้นทาง
ในการเดินทางของยานพาหนะ

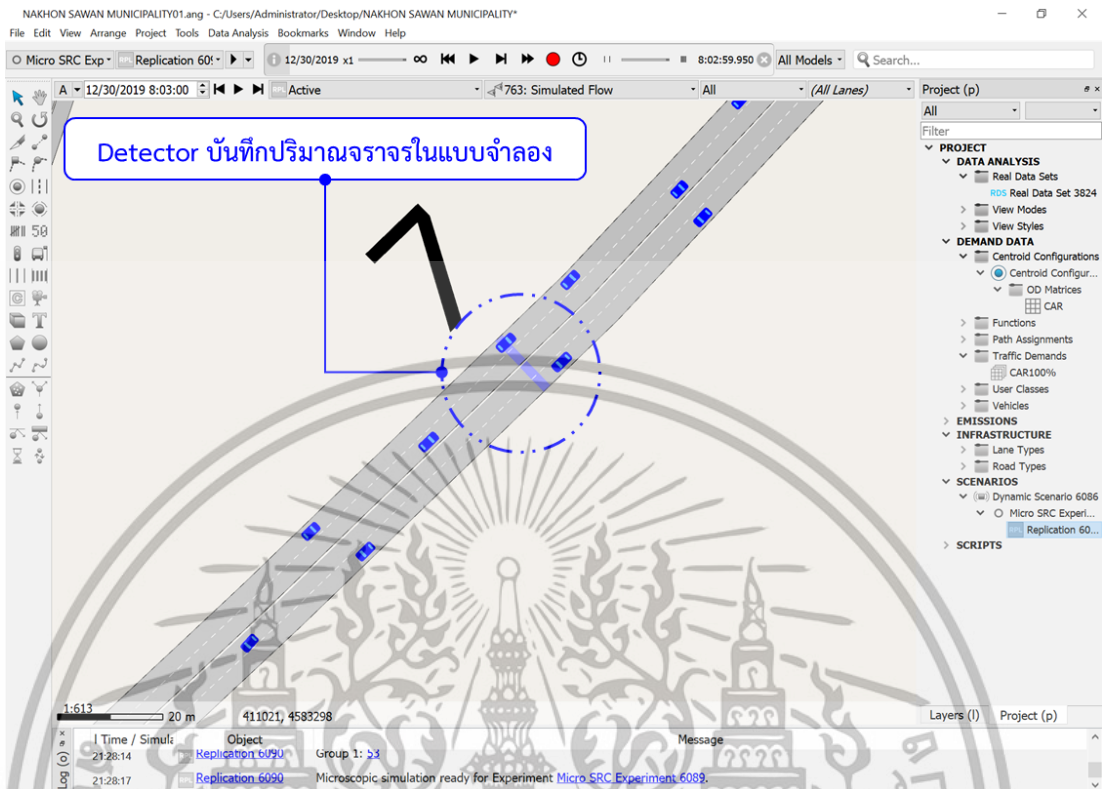
ขั้นตอนที่ 14 การจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง



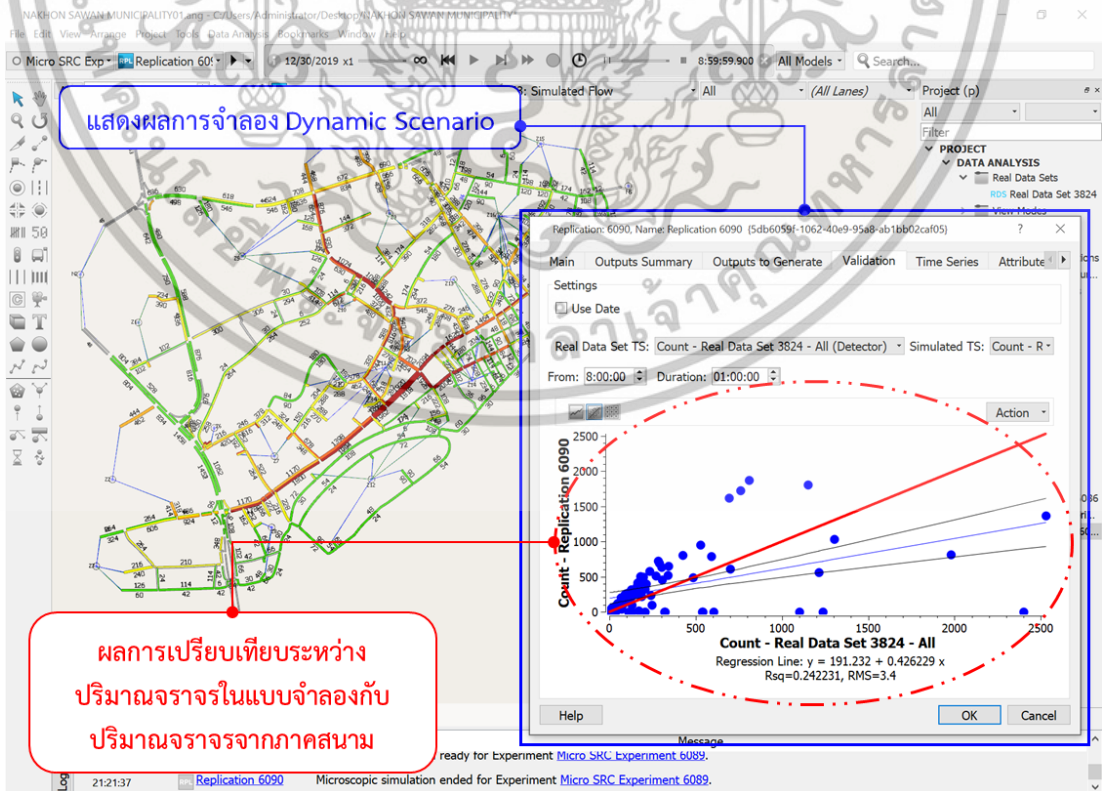
เริ่มการจำลอง Dynamic Scenario

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 15 Detector บันทึกผลปริมาณจราจรในแบบจำลอง



ขั้นตอนที่ 16 ผลการจำลอง Dynamic Scenario



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข: การทดสอบ Goodness of Fit Test จำนวน 9 วิธี

1. รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)
2. เปอร์เซ็นต์ของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Percentage Error, RMSPE%)
3. ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation, MAD)
4. ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error, MBE)
5. เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Percentage Error, MPE%)
6. ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE%)
7. สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R²)
8. The GEH Statistic (GEH)
9. Thiel's U Statistic: URFORM (Theil's U)

ตารางภาคผนวก 1 แสดงสูตรการทดสอบ Goodness of Fit Test จากการพิจารณา 9 วิธี

No.	Goodness of Fit Test	Formula
1	รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) RMSE = 0 คือ แบบจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}$
2	เปอร์เซ็นต์ของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Percentage Error, RMSPE%) RMSPE% = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยค่า RMSPE% มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100%	$RMSPE\% = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right)^2}$
3	ค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation, MAD) MAD = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์	$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - X_i $
4	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error, MBE) MBE < 0 คือ ผลการจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์ MBE > 0 คือ ผลการจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลเชิงประจักษ์	$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)$
5	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Percentage Error, MPE%) MPW = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของ MPW เท่ากับ -10% < MPW < 10%	$MPE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right) \times 100$
6	ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE%) MAPE% = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยค่า MAPE% มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100%	$MAPE\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \left(\frac{Y_i - X_i}{Y_i} \right) \times 100 \right $
7	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R ²) R ² = 0 คือ ผลการจำลองไม่มีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ R ² = 1 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนของ R ² เท่ากับ 0 ≤ R ² ≤ 1	$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{\sum (Y_i - X_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$
8	The GEH Statistic (GEH) GEH < 5 = ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ 5 < GEH < 10 = ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ 10 > GEH = ผลการจำลองไม่มีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์	$GEH = \sqrt{\frac{2(Y_i - X_i)^2}{(Y_i + X_i)}}$
9	Thiel's U Statistic: URFORM (Theil's U) U = 0 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ U = 1 คือ ผลการจำลองมีความกลมกลืนสนิทกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยช่วงค่าความคลาดเคลื่อนของ U เท่ากับ 0 ≤ U ≤ 1	$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i)^2}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



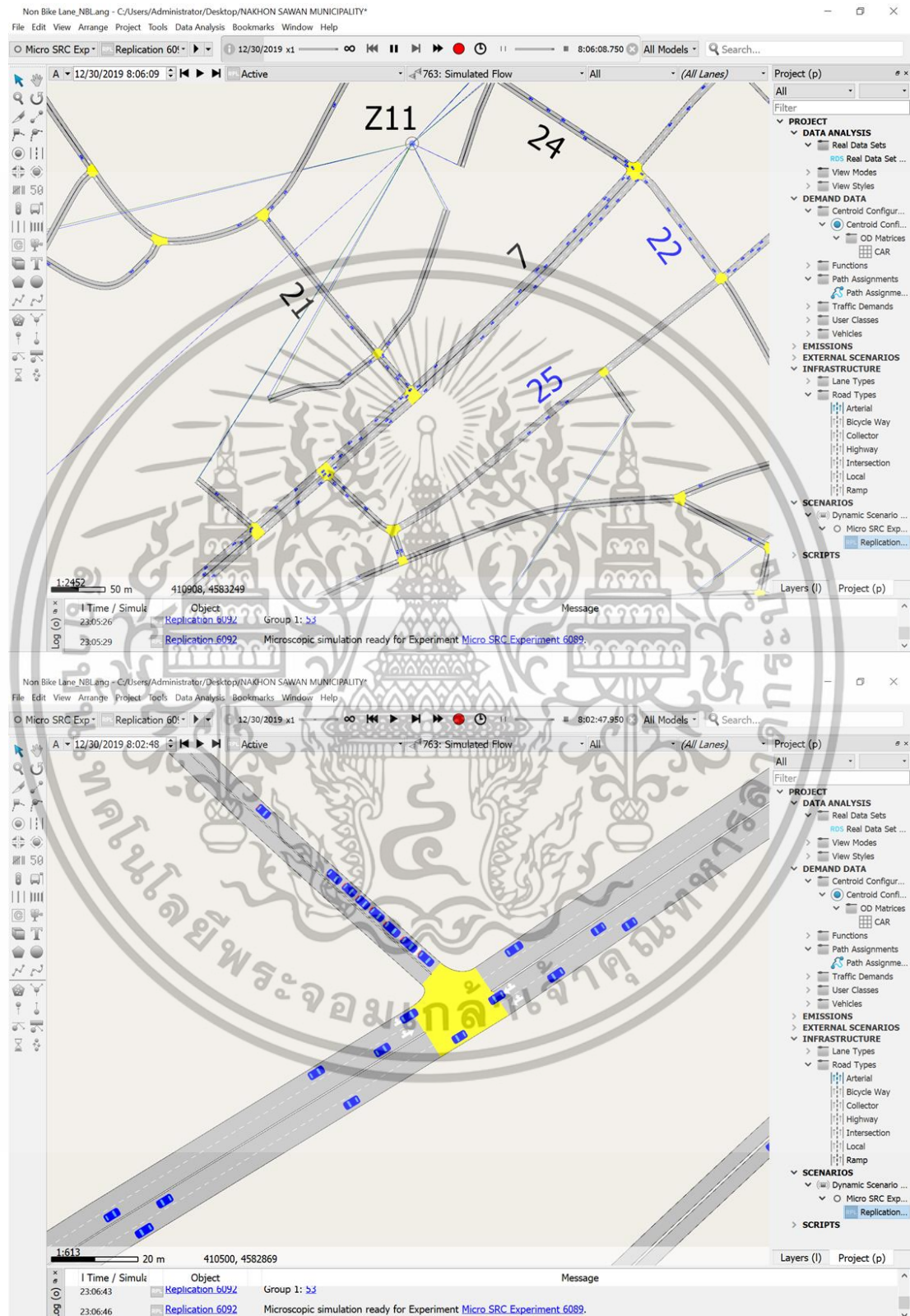
ภาคผนวก ค: ภาพการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง

กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน
(Road Network with Non-Bike Lane, NBL)

กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของช่องทางจราจรหลัก
(Conventional Bike Lane, CBL)

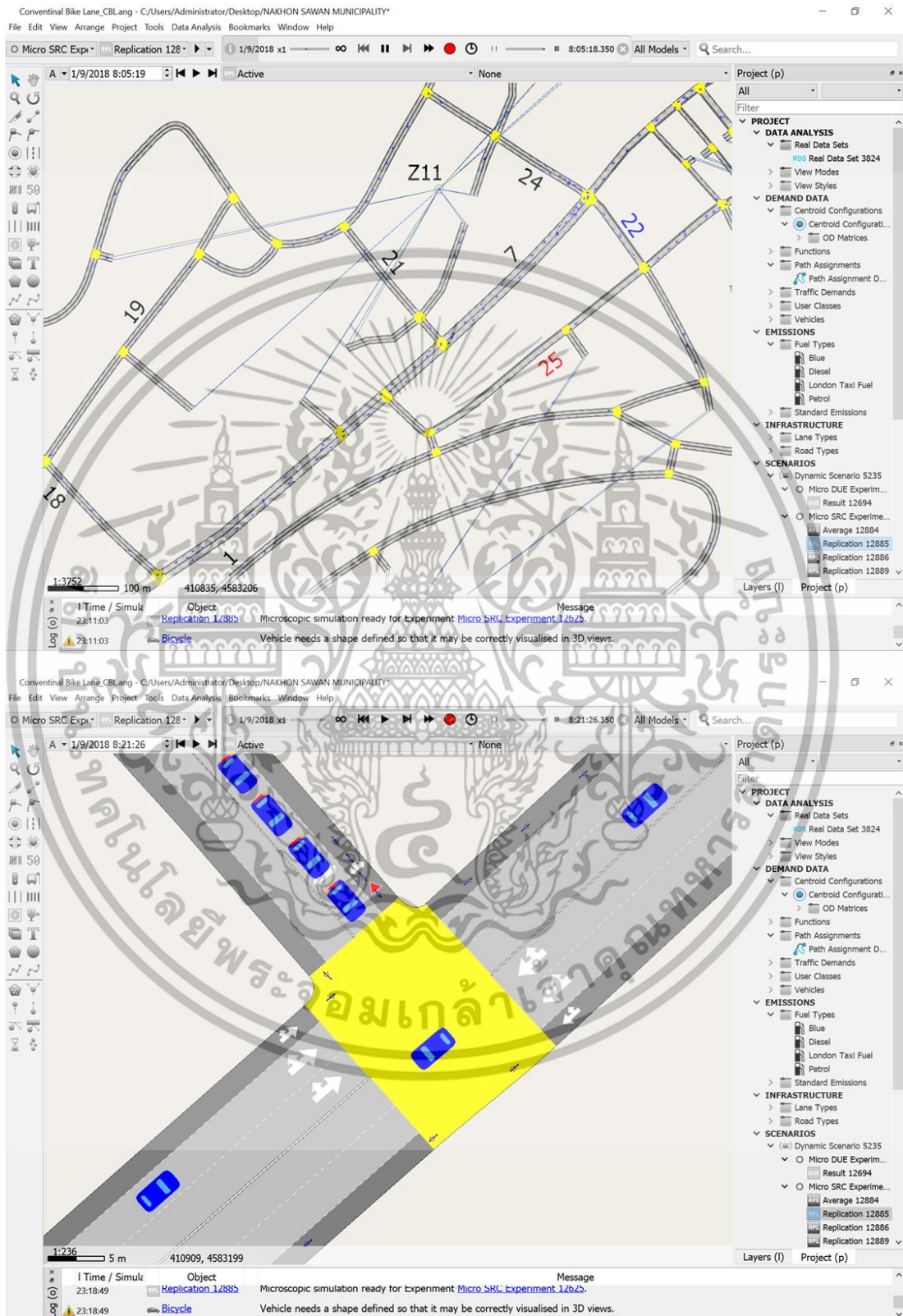
กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลางของถนน
(Median Bike Lane, MBL)

ภาพการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง กรณีที่ 1 การจราจรในสภาพการปัจจุบันที่ไม่มีเส้นทางจักรยาน (Road Network with Non-Bike Lane, NBL)



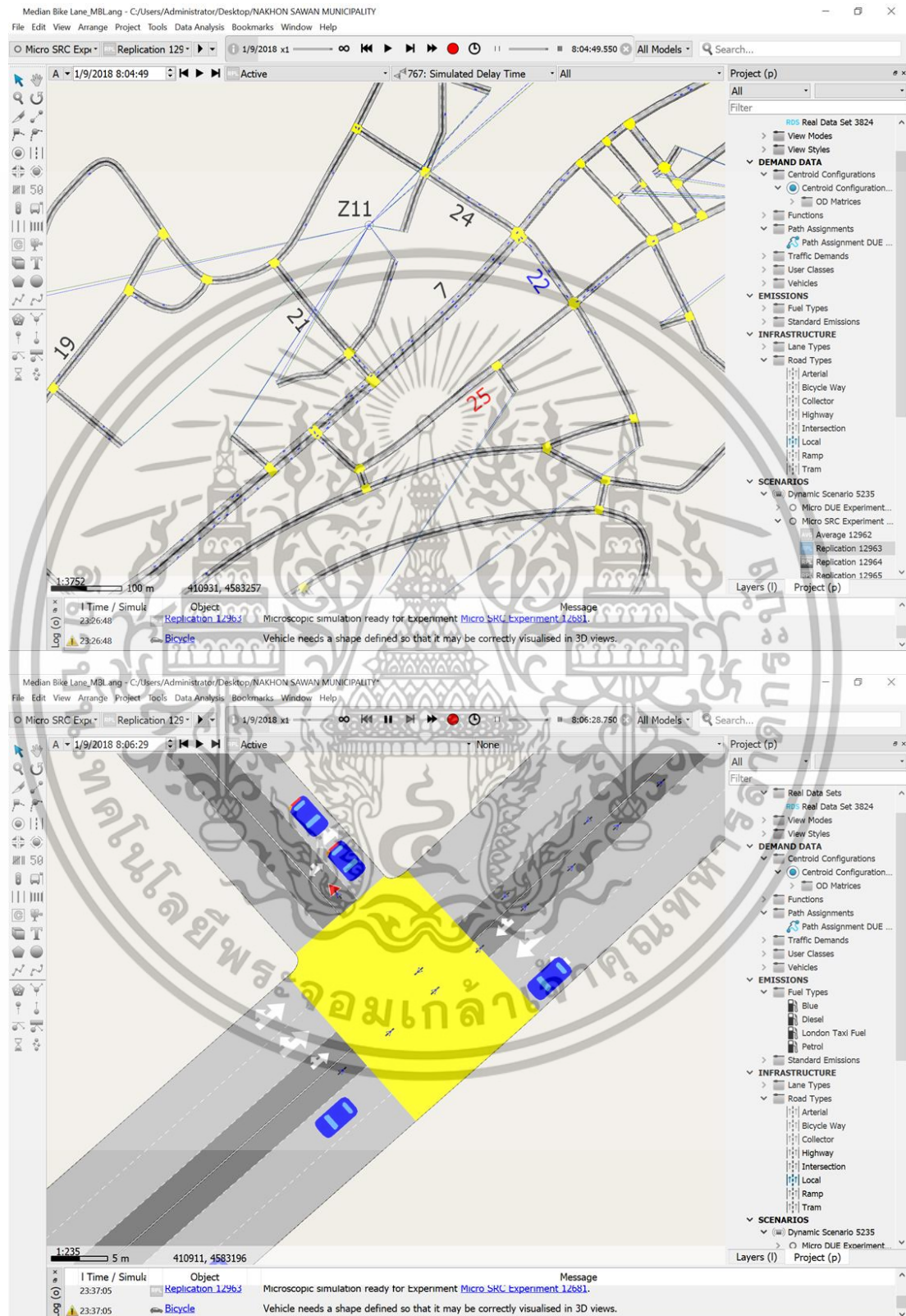
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง กรณีที่ 2 ช่องทางจักรยานจัดวางด้านซ้ายของ
ช่องทางจราจรหลัก (Conventional Bike Lane, CBL)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการจำลองสถานการณ์จราจรเสมือนจริง กรณีที่ 3 ช่องทางจักรยานจัดวางบริเวณเกาะกลาง
ของถนน (Median Bike Lane, MBL)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกานต์ เฉลิมวงศ์พันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	4 มีนาคม พ.ศ.2520
ที่อยู่	9/120 หมู่ 4 ตำบลบางหลวง อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2543	วิศวกรรมบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร (MUT)
พ.ศ.2547	วิศวกรรมมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
พ.ศ.2562	สถาปัตยกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (สถด.) สาขาสถาปัตยกรรมการวิจัยเพื่อการออกแบบ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL)
ตำแหน่ง	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
การจดทะเบียนวิชาชีพ	ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาโยธา ระดับสามัญวิศวกร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2543 - ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผลงานวิชาการ	
มีนาคม พ.ศ.2560	Watanachaturaporn, P., Chalermwongphan, K., Huntajidkul, A., Yongchumyen, C., Watthanakul, J., Benjaprakairat, J., ... & Lohaumnuaay, K. (2017, March). Empirical experiment on origin destination estimation using automatic licence plate matching on a rural road of Thailand. In 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON) (pp. 1-4). IEEE.
ธันวาคม พ.ศ.2561	Chalermwongphan, K., & Upala, P. (2018). The Analysis of Dynamic O/D Adjustment for Bicycle Traffic Demand Estimation with AIMSUN Simulation Model: A Case Study of Nakhon Sawan Municipality in Thailand. The Open Transportation Journal, 12(1).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ตุลาคม พ.ศ.2562

Chalermwongphan, K., & Upala, P. (2019). Comparing the Traffic Operation, Fuel Consumption, and Pollutant Emission of Bike Lane Pattern Design with AIMSUN Microscopic Simulation Model: A Case Study of Nakhon Sawan Municipality in Thailand. *The Open Transportation Journal*, 13(1).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้