

การเพิ่มความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลอัตราส่วนการครอบครอง
พื้นที่เชิงเวลาสำหรับถนนในเมือง



นางสาวพัชรี ไพสิฐธนากร

ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACCURACY IMPROVEMENT OF TRAVEL TIME ESTIMATION IN URBAN
ENVIRONMENT USING TIME-OCCUPANCY



Miss Patcharee Paisittanakorn

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพิ่มความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง
จากข้อมูลอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาสำหรับ
ถนนในเมือง

โดย

นางสาวพัชรี ไพลีธรรนากร

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

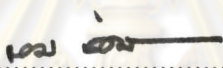
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร

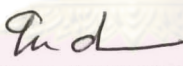
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. วสันต์ ภัทรอธิคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนิริธวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. วสันต์ ภัทรอธิคม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนิต อิศวกุล)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศุภกร สิทธิไชย)

พัชรี ไพลีสฐนากกร: การเพิ่มความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จากข้อมูล
 อัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาสำหรับถนนในเมือง (ACCURACY
 IMPROVEMENT OF TRAVEL TIME ESTIMATION IN URBAN ENVIRONMENT
 USING TIME-OCCUPANCY), อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร,
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. วสันต์ ภัทรธิดคม, 119 หน้า

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาสามารถ
 แบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ได้แก่ คล่องตัว หนาแน่นปานกลาง และคับคั่ง สอดคล้องกับหลักการ
 พื้นฐานการไหลของจราจร ดังนั้นงานวิจัยในอดีตจึงได้นำเสนอวิธีการประมาณระยะเวลาการ
 เดินทางโดยอาศัยค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาแบบแบ่งส่วนอย่างเชิงเส้นตรง ออกเป็น 3
 ส่วน ตามการจำแนกสภาวะการจราจร โดยแต่ละสภาวะจะมีค่าขอบเขตของอัตราการเข้า
 ครอบครองเชิงเวลาที่ต่างกัน วิธีการนี้ได้ให้ค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่อนข้างสูง เพราะ
 ความสัมพันธ์ที่แท้จริง มิได้เป็นเพียงเชิงเส้นตรงเท่านั้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอวิธีการเพิ่มความถูกต้องของการประมาณ ระยะเวลา
 การเดินทางให้มากขึ้นจากวิธีดั้งเดิม โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นตรง อัน
 เนื่องมาจาก เหตุการณ์ก่อนหน้า ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางใน
 ช่วงเวลาปัจจุบัน ทำให้มีความล่าช้า กว่าที่เปลี่ยนแปลงของ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา
 จึงได้นำเสนอ การแบ่งแยกการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรออกเป็น 8 รูปแบบ
 สภาวะ ที่ต่าง ๆ กัน โดยแต่ละรูปแบบ จะเป็นการจำลองสถานการณ์ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ก่อนหน้า
 ด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้การประมาณระยะเวลาการเดินทาง มีความถูกต้อง และสอดคล้องกับทิศ
 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นจริง

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ในการประมาณระยะเวลาการเดินทางสำหรับสภาวะ
 การจราจรคับคั่งนั้น การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่นำเสนอจะให้ค่าคลาดเคลื่อนที่สูง เพราะเป็น
 สภาวะที่มีปริมาณยานพาหนะคับคั่ง จนกระทั่งเกินจุดที่ตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอัตราการเข้า
 ครอบครองเชิงเวลา อุปกรณ์ตรวจวัดจึงขาดประสิทธิภาพในการทำงาน ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม
 สำหรับ 7 สภาวะที่เหลือนั้น ระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณ
 ระยะเวลาการเดินทางให้ดียิ่งขึ้นจากระเบียบวิธีดั้งเดิมได้เป็นอย่างดี

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....พัชรี ไพลีสฐนากกร.....
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา..... 2552.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070696721: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: TRAVEL TIME ESTIMATION / TIME-OCCUPANCY / URBAN ENVIRONMENT / ACCURACY IMPROVEMENT

PATCHAREE PAISITTANAKORN: ACCURACY IMPROVEMENT OF TRAVEL TIME ESTIMATION IN URBAN ENVIRONMENT USING TIME-OCCUPANCY. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: WASAN PATTARA-ATIKOM, Ph.D., 119 pp.

A methodology to estimate travel time with acceptable accuracy in urban environment is proposed. In this study, the traffic states which were used in modeling were classified into three states; free flow state, saturated flow state and over-saturated flow state. These states were defined based on time-occupancy value. However, this travel time estimation model based on time-occupancy alone is not sufficient to estimate accurately by applying only linear regression method.

Therefore, in this thesis, the accuracy improvement of travel time estimation will be investigated by considering the nonlinear relationship between travel time and time occupancy. This is because the previous period has residual effects on the changes of travel time in the current period. For this reason, this thesis proposed 8-separate schemes which each scheme can capture the behavior of travel-time changes affected from the previous state to the current state.

The results show that travel-time estimation using our proposed scheme in over-saturated state still has a high estimation error. This is because our ability to accurately estimate travel-time is limited when queues grow beyond a detector's capability. However, other proposed schemes can greatly improve the accuracy of travel-time estimation.

Department :	Electrical Engineering	Student's Signature	<i>Patcharee Paisittanakorn</i>
Field of Study :	Electrical Engineering	Advisor's Signature	<i>Chaiyachet Saivichit</i>
Academic Year :	2009	Co-Advisor's Signature	<i>Wasan Pattara-Atikom</i>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.วสันต์ ภัทรอธิคม อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยทั้งทางตรง และ ทางอ้อมรวมถึงคำวิจารณ์ในทางสร้างสรรค์ที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัย ตลอดจนความเมตตา และ เอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้ทำวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขาวนิตศ อัครกุล และ ดร. ศุภกร สิทธิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ และให้คำแนะนำ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ การสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ตามสัญญาสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีไทย เลขที่ TGIST 01-51-090

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ กลุ่มเนตเวิร์คทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดมา และ ขอขอบคุณเป็นพิเศษกับ คุณภัทรชาติ โกมลภิติ รุ่นพี่ปริญญาเอก ที่คอยให้คำแนะนำ และสอน ความรู้ที่มีคุณค่ากับข้าพเจ้า และทำให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้แง่คิดดีๆของการเรียนปริญญาโท

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของข้าพเจ้าเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณที่คอยเป็น กำลังใจ และคอยสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา ท่านทั้งสองเปรียบเสมือนเป็นแรงบันดาลใจให้ ข้าพเจ้ามีความพยายาม และอดทนเป็นอย่างมาก จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ ญาติพี่น้องของข้าพเจ้า ที่คอยห่วงใยและคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า ตลอดการทำวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมา.....	1
1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3. วัตถุประสงค์.....	6
1.4. ขอบเขต.....	6
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6. โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	7
2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน.....	8
2.1. ตัวแปรทางการจราจร.....	8
2.1.1. การคำนวณระยะเวลาการเดินทางจากแบบจำลองจราจร.....	8
2.1.2. ชนิดของค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครอง.....	9
2.1.3. คำนียามของการไหล.....	10
2.1.4. ประเภทของสภาวะการจราจร.....	10
2.2. แบบจำลองจราจร.....	10
2.3. โปรแกรมเศรษฐกิจ (E-view).....	11
2.4. ARIMAX Model.....	12
2.5. ทฤษฎีการคำนวณทางสถิติ.....	14
2.6. การทดสอบปัญหาที่เกิดขึ้นกับอนุกรมเวลาและวิธีแก้ปัญหา.....	17
2.6.1. ปัญหาความไม่นิ่งของชุดข้อมูลอนุกรมเวลา (Stationary test).....	17
2.6.2. ปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือ (Autocorrelation).....	18

2.6.3. ปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity)	20
2.7. ขั้นตอนการเลือกรูปแบบการประมาณที่เหมาะสมของ $ARIMAX(p,d,q,r)$	22
2.8. ตัวอย่างการกำหนดรูปแบบการประมาณที่เหมาะสมของ $ARIMAX(p,d,q,r)$	23
3 การประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยระเบียบวิธีดั้งเดิม	31
3.1. การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองจราจร.....	31
3.2. การออกแบบการทดลองในแบบจำลองจราจร	32
3.3. การประยุกต์ใช้วิธีดั้งเดิมและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้น.....	33
4 การประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ.....	40
4.1. แบบแผนที่นำเสนอ	40
4.1.1. การจำแนกสภาวะจราจรโดยสนใจสภาวะที่เกิดขึ้นในอดีต.....	42
4.1.2. การจำแนกสภาวะจราจรจากขอบเขตค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครอง เชิงเวลา	42
4.2. หลักการวิเคราะห์สภาวะการจราจรขาขึ้น (Up state transition)	44
4.2.1. สภาวะการจราจรขาขึ้นโดยมีการเปลี่ยนสภาวะจากคล่องตัวไปสู่ หนาแน่นปานกลาง.....	44
4.2.2. สภาวะการจราจรขาขึ้นโดยมีการเปลี่ยนสภาวะจากคล่องตัวไปสู่คับคั่ง.....	47
4.2.3. สภาวะการจราจรขาขึ้นโดยมีการเปลี่ยนสภาวะจากหนาแน่นปานกลาง ไปสู่คับคั่ง	49
4.3. หลักการวิเคราะห์สภาวะการจราจรขาลง (Down state transition)	52
4.3.1. สภาวะการจราจรขาลงโดยมีการเปลี่ยนสภาวะจากคับคั่งไปสู่ คล่องตัว	53
4.3.2. สภาวะการจราจรขาลงโดยมีการเปลี่ยนสภาวะจากหนาแน่นปานกลาง ไปสู่คล่องตัว.....	56
4.4. หลักการวิเคราะห์สภาวะการจราจรแบบคงที่ (No change of state)	61
4.4.1. สภาวะการจราจรคล่องตัว	61
4.4.2. สภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง	63
4.4.3. สภาวะการจราจรคับคั่ง	66
4.5 การเกิด spikes ในการเปลี่ยนแปลงของ travel time	69
4.5.1. ความถี่ของ sampling ค่า travel time	69
4.5.2. สาเหตุของการเกิด spike	71

5 ผลการทดสอบระเบียบวิธีที่นำเสนอ	74
5.1. ผลการทดสอบกรณีไม่มีรถประจำทาง	75
5.2. ผลการทดสอบกรณีมีรถประจำทาง	78
5.3. สรุปการวิเคราะห์ ผลการทดสอบ สำหรับสถานการณ์ต่างๆ.....	83
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	92
6.1. บทสรุป.....	92
6.2. ข้อเสนอแนะ.....	94
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก	99
1. แสดงค่าปริมาณการไหล (Flow) ที่ป้อนให้แก่แบบจำลองจราจรเพื่อตรวจวัดค่า อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา.....	100
2. กราฟตัวอย่างการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $TRTS$ และ O	103
3. ชุดข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่ระบบสมการ (input parameter) เพื่อใช้ในการทดสอบ	110
4. แสดงผลการทดสอบความถูกต้องด้วย RMSEP สำหรับสถานการณ์ต่างๆ	114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงผลการทดสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่.....	22
2.2	แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Travel-time series ที่ $d=0$	23
2.3	แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Time-occupancy series ที่ $d=0$	24
2.4	แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Travel-time series ที่ $d=1$	24
2.5	แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Time-occupancy series ที่ $d=1$	24
2.6	แสดงตัวแปรนำเข้าระบบสมการและผลการประมาณค่า.....	27
2.7	แสดงค่าสถิติในการตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่.....	28
2.8	แสดงตัวแปรนำเข้าระบบสมการและผลการประมาณค่า.....	29
2.9	แสดงค่าสถิติในการตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่.....	29
4.1	แสดงการจำแนกสภาวะการจราจร	42
4.2	การจำแนกสภาวะจราจรโดยอาศัยขอบเขตของค่าอัตราการใช้รถครองเชิง เวลา	43
5.1	แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูล สำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน.....	75
5.2	แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูล สำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน สำหรับกรณีที่มีรถประจำทางเข้ามาในระบบ	80
5.3	แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูล สำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน สำหรับกรณีที่ไม่มีรถโดยสารประจำทางเข้ามาในระบบ.....	80
6.1	สรุปความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอ กับรูปแบบสภาวะต่างๆ.....	93

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงขอบเขตของการสังเกตการณ์ค่าระยะเวลาการเดินทาง	8
2.2	แสดงแผนภาพความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างการไหลและความหนาแน่นของการจราจรในทางทฤษฎี	10
2.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ภาคตัดขวางระหว่างระยะเวลาการเดินทาง และ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Cross Correlogram)	25
2.4	กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของระยะเวลาการเดินทางที่เวลาต่างๆกัน (Correlogram of Travel-time)	26
2.5	กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือที่เวลาต่างๆกัน (Correlogram of residuals).....	27
2.6	กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือที่เวลาต่างๆกัน (Correlogram of residuals) กรณีปรับแก้ครั้งที่ 1	29
3.1	แสดงคุณลักษณะของเส้นถนนที่ได้ออกแบบและใช้ในการทดลอง.....	32
3.2	แผนภาพแสดงพารามิเตอร์เข้า (input) และพารามิเตอร์ออก (output) ของการทดลอง	32
3.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา	33
3.4	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ขาเข้า ที่ป้อนให้แก่แบบจำลอง.....	37
3.5	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ขาออก ที่ได้จากแบบจำลอง.....	37
3.6	กราฟแสดงความถูกต้องในการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางด้วยวิธีดั้งเดิมเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองจราจร.....	38
4.1	ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจรขาขึ้น.....	41
4.2	ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจรขาลง.....	41
4.3	ตัวอย่างกราฟแสดงการไม่เปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจร.....	41
4.4	แสดงแผนภาพโดยรวมของแผนการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรที่น่าเสนอ.....	43
4.5	แสดงแผนภาพการเปลี่ยนสภาวะขาขึ้นรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}, S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ และ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	44

ภาพที่		หน้า
4.6	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	44
4.7	แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy) ที่ได้ จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	45
4.8	แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จากแบบจำลอง จราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	45
4.9	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	47
4.10	แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy) ที่ได้ จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$	48
4.11	แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จากแบบจำลอง จราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$	48
4.12	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	49
4.13	แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy) ที่ได้ จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	50
4.14	แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จากแบบจำลอง จราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	50
4.15	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะขาลงสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ และ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$	52
4.16	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะขาลงสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$	53
4.17	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จาก แบบจำลองจราจรรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ max travel-time = 870s	54
4.18	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง จราจรสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ max travel-time = 870s	55
4.19	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะขาลงรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$	56
4.20	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จาก แบบจำลองจราจรรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ max travel-time = 451 s	58
4.21	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จาก แบบจำลองจราจรรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ max travel-time = 338 s	59
4.22	แผนภาพการไม่เปลี่ยนสถานะจราจรรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}, S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ และ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$	61
4.23	แผนภาพรูปแบบที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$	61

ภาพที่	หน้า
4.24	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$ 62
4.25	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$ 62
4.26	แผนภาพการเปลี่ยนสถานะแบบคงที่ สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ 63
4.27	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ 64
4.28	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ 64
4.29	แผนภาพแสดงการไม่เปลี่ยนสถานะจราจร สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ 66
4.30	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ 67
4.31	แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ 67
4.32	การเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 30 วินาที สำหรับกรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$ 69
4.33	การเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 60 วินาที สำหรับกรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$ 70
4.34	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 110 วินาที (ครบรอบ cycle time) สำหรับ กรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$ 70
5.2	แสดงการจำลองชุดข้อมูลค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาจากแบบจำลองจราจร โดยเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที 75
5.3	แสดงการประมวลผลจากระเบียบวิธีที่นำเสนอกระทำทุกๆ 1 นาที 77
5.4	แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทาง จากระเบียบวิธีที่นำเสนอโดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที 77
5.5	การเปรียบเทียบค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาระหว่างกรณีที่มีรถโดยสารและกรณีที่ไม่มีรถโดยสาร อยู่ในระบบ 79
5.6	การเปรียบเทียบค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาระหว่างกรณีที่มีรถโดยสารและกรณีที่ไม่มีรถโดยสาร 79
5.7	แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทางจากระเบียบวิธีที่นำเสนอโดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที สำหรับกรณีที่มีรถประจำทาง 82

ภาพที่	หน้า
5.8	แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทาง จากระเบียบวิธีที่นำเสนอโดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที สำหรับกรณีที่ไม่มีรถประจำทางเข้ามาในระบบ..... 82
5.9	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 83
5.10	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1600 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 84
5.11	ตัวอย่างผลการประมาณระยะเวลาการเดินทางกรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ $T_{max}=900s$ 85
5.12	ตัวอย่างผลการประมาณระยะเวลาการเดินทางกรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ $T_{max}=1020s$ 85
5.13	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 87
5.14	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 2400 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 87
5.15	ตัวอย่างผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 88
5.16	ตัวอย่างผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 600 วินาที 89
5.17	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 1400 วินาที..... 89
5.18	ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 90
1	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$ 100
2	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ 100
3	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$ 100
4	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$ 101
5	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ 101
6	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ 101

ภาพที่	หน้า
7	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 2 102
8	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 1..... 102
9	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 2 102
10	แสดงค่าปริมาณการไหลที่ป้อนแก่แบบจำลองจราจร รูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 1..... 103
11	กรณีที่ป้อน $F_t = 200$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ 103
12	กรณีที่ป้อน $F_t = 500$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ 104
13	กรณีที่ป้อน $F_t = 700$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ 105
14	กรณีที่ป้อน $F_t = 900$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ 106
15	กรณีที่ป้อน $F_t = 500$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ 107
16	กรณีที่ป้อน $F = 700$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ 108
17	กรณีที่ป้อน $F = 900$ v//h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ 109
18	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 900 คันต่อชั่วโมงต่อ หนึ่งช่องทางเดินรถยนต์ 110
19	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1600 คันต่อชั่วโมง ต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์ 110
20	กรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ T_{max} ประมาณเท่ากับ 900s 111
21	กรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ T_{max} ประมาณเท่ากับ 1020s 111

ภาพที่	หน้า
22	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์ 111
23	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 2400 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 112
24	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 112
25	กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 600 วินาที..... 113
26	กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 1400 วินาที..... 113
27	กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์..... 113
28	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$ 114
29	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$ 114
30	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ 115
31	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$ 115
32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$ 116
33	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ 116
34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ 117
35	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ 117
36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ 118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน วิวัฒนาการในโลกของการขนส่งได้มีการเปลี่ยนแปลงเรื่อยมา ปริมาณยานพาหนะบนท้องถนนเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความต้องการใช้เส้นทางถนนมากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้การจราจรเริ่มมีความหนาแน่นสูงขึ้นด้วย ดังนั้นระบบการแจ้งข้อมูลจราจรบนท้องถนนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้ผู้ขับขี่ สามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นได้ ทั้งนี้เพื่อลดระยะเวลาที่สูญเสียไปในการเดินทาง อีกทั้งยังสามารถลดอุบัติเหตุ หรือเพิ่มความสะดวกรสบายในการเดินทางได้ นักวิจัยทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำเสนอ บทความวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งอัจฉริยะ เพื่อบรรเทาปัญหาเหล่านี้ให้ลดน้อยลงโดยประเภทของระบบการขนส่งอัจฉริยะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

- ระบบการจัดการจราจร
- ระบบการให้ข้อมูลข่าวสาร
- ระบบควบคุมยานพาหนะ และความปลอดภัย

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้มุ่งเน้น ในส่วนของ ระบบการให้ข้อมูลข่าวสารการจราจร ซึ่งเป็นระบบหนึ่งที่ กรุงเทพมหานคร ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการแสดงผลสภาพการจราจร ด้วยการติดตั้งป้ายจราจรอัจฉริยะ ตามจุดต่างๆบนท้องถนน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อแสดงระดับความติดขัดของการจราจรด้วยเส้นสี ทั้งนี้การรายงานสภาวะการจราจรในกรุงเทพมหานครอาจจะมีที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น หากมีการนำเสนอรูปแบบการรายงานผลการจราจรเป็นระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย(Averaged travel time) แทนที่ระดับสีความติดขัดต่างๆ เนื่องจากการรายงานผลระดับสีความติดขัดเพียงอย่างเดียว สามารถสื่อความหมายให้ผู้ขับขี่ได้รับทราบถึงความติดขัดบนท้องถนนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะระดับสีความติดขัดได้ถูกกำหนดให้มีเพียง 3 ระดับ แต่ในสภาวะการจราจรจริงที่เกิดขึ้นนั้น หากเราพิจารณาที่ระดับสีเดียวกัน ณ เวลาที่ต่างกัน อาจจะสามารถสื่อความหมายถึงสภาวะการจราจรที่ต่างกัน เนื่องด้วยเหตุปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ปริมาณยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในแต่ละเวลาของวัน หรือในแต่ละวันของสัปดาห์ที่อาจจะมี ความแตกต่างกัน ทั้งนี้รูปแบบการรายงานข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน

ของผู้ขับขี่ เพียงแต่การรายงานข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย เนื่องจากยังมีปัญหาการคลาดเคลื่อนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสะสมข้อมูลจราจร และถ้าหากติดตั้งอุปกรณ์จราจรในจำนวนที่เพียงพอ สำหรับการเก็บสะสมข้อมูล จะส่งผลให้ความต้องการใช้งบประมาณการลงทุนเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นเพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ทางด้านการจราจร และในขณะเดียวกันยังสามารถเพิ่มสมรรถนะของป้ายจราจรอัจฉริยะให้สูงขึ้น ด้วยการรายงานข้อมูลจราจรที่เป็นประโยชน์มากกว่าระดับเส้นสี่ความติดขัดที่ใช้ในปัจจุบันนี้ โดยการนำข้อมูลที่มีอยู่แล้วมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด กล่าวคือศูนย์ควบคุมป้ายจราจรอัจฉริยะในกรุงเทพมหานคร ณ ปัจจุบันนี้ ได้มีการประมวลผลและเก็บข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ในแต่ละจุดที่มีการติดตั้งกล้องวิดีโอ เพื่อใช้ในการประเมินผลระดับเส้นสี่ต่างๆ

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีความประสงค์ที่จะนำเสนอแนวคิดซึ่งสอดคล้องกับโจทย์ปัญหาดังกล่าวข้างต้น และนำมาสู่การคิดค้นการนำเสนอรูปแบบการประมวลผลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยจากการใช้ข้อมูลจราจรที่มีอยู่ซึ่ง ได้แก่ ข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า รูปแบบการคำนวณระยะเวลาในการเดินทางโดยเฉลี่ยทั้งสำหรับทางด่วน (Freeway) ทางหลวง (Arterial road) และถนนในเมือง (Urban road) โดยส่วนใหญ่จะสามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะดังนี้

ประเภทแรก เป็นการวัดค่าระยะเวลาการเดินทางโดยตรง (Direct travel time) ซึ่งเป็นค่าระยะเวลาการเดินทางจริงที่ได้มาจากการคำนวณหาความต่างระหว่างเวลาจากการตรวจจับเวลาที่ยานพาหนะเข้า และเวลาที่ออกไปจากเส้นทางที่พิจารณา ซึ่งจุดประสงค์ในการเก็บสะสมข้อมูลคือ เพื่อนำข้อมูลจริงที่เก็บได้ไปใช้คาดการณ์ค่าระยะเวลาการเดินทางแต่วิธีนี้จะมีข้อเสียในเรื่องของความสิ้นเปลืองงบประมาณในการเก็บสะสมข้อมูลจริง เนื่องจากจำนวนยานพาหนะที่ถูกนำมาใช้ทดสอบ (Probe vehicle) จะต้องเพียงพอต่อการเก็บข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง ซึ่งต้องใช้ในปริมาณมหาศาล อีกทั้งระยะเวลาในการเก็บสะสมข้อมูลจะต้องใช้เวลานานอย่างน้อย 30 ถึง 60 วัน [1] และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า มีงานวิจัยที่มีวิธีเก็บสะสมข้อมูลระยะเวลาการเดินทางในลักษณะเดียวกันนี้ อาทิเช่น งานวิจัย [2]-[4] เป็นการนำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทางทั้งบนทางด่วน ทางหลวง ถนนในเมือง แต่โดยส่วนใหญ่งานวิจัยบนทาง

ด่วนจะได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากไม่มีเวลาประวิงของสัญญาณไฟจราจร (signal delay) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการเดินทาง

ในงานวิจัย [2] ได้นำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาในการเดินทางบนทางด่วนโดยใช้อุปกรณ์นำทาง (Georgia Navigator) สำหรับการเก็บสะสมข้อมูลงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีอนุกรมเวลาบ็อก-เจนกินส์ (Box-Jenkins Methods) แบบมีฤดูกาล (Seasonal ARIMA Model; SARIMA) ซึ่งเป็นหนึ่งในรูปแบบอนุกรมทางเวลา เพื่อศึกษาปัญหาของการคาดการณ์ระยะเวลาในการเดินทางบนทางด่วน

สำหรับงานวิจัย [3] ได้นำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาในการเดินทางบนถนนในเมืองโดยใช้ระบบนำร่อง (Global Positioning System; GPS) สำหรับการเก็บสะสมข้อมูลและได้นำเสนอรูปแบบอนุกรมเวลาบ็อก-เจนกินส์แบบไม่มีฤดูกาล (Autoregressive Integrated Moving average; ARIMA) เพื่อศึกษาปัญหาของการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทาง

ในงานวิจัย [4] ได้นำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทางบนถนนใหญ่โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการจับคู่ป้ายทะเบียนรถยนต์จากการประมวลผลภาพ (Image processing-based license plate matching หรือ LPM) งานวิจัยนี้ได้้นำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ที่ได้ปรับปรุง และพัฒนาขึ้นจากวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Smoothing Model) โดยมีชื่อเรียกว่า An Improved Adaptive Exponential Smoothing Model; IAES.

ประเภทที่สองเป็นการตรวจวัดระยะเวลาการเดินทางโดยทางอ้อม (Indirect travel time) ซึ่งเป็นค่าระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้มาจากการแปลงข้อมูลจราจรด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์ อาทิเช่น การนำค่าความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (Speed) ความหนาแน่นของปริมาณรถยนต์ (Volume) อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) มาแปลงเป็นระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้มาจากการตรวจวัดโดยตรง และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า งานวิจัยที่มีวิธีการเก็บสะสมข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยทางอ้อม ได้แก่ งานวิจัย [5],[8],[9],[11] สำหรับถนนในเมืองและงานวิจัย [12],[13] สำหรับทางด่วน โดยนำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทางจากการใช้ข้อมูลจราจร ด้วยวิธีการถดถอยแบบเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) และแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non-linear Regression Model) สำหรับวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทาง และข้อมูลทางการจราจร โดยงานวิจัยในอดีตเหล่านี้จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของการพิจารณาเลือกชนิดของข้อมูลจราจร ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการเดินทาง

งานวิจัย Gipps [5] เป็นนักวิจัยคนแรก ที่ริเริ่มคิดค้นรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลจราจรดังต่อไปนี้ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio)

และค่าเวลาที่ยานพาหนะผ่านเข้ามาที่จุดตรวจจับของเซนเซอร์ (register time) ซึ่งได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจราจร (MULTSIM [6], [7]) เพื่อนำเสนอรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) สำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลจราจรดังกล่าว

ต่อมา Gault and Taylor [8] ได้พัฒนาและนำเสนอรูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลจราจร ดังต่อไปนี้ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ค่าเวลาที่ยานพาหนะผ่านเข้ามาที่จุดตรวจจับของเซนเซอร์ (register time) เวลาเหลือของการประสานสัมพันธ์สัญญาณไฟจราจร (signal offset) ความยาวถนนในส่วนที่พิจารณาต่อความเร็วยานพาหนะ (link length/desired speed) และปริมาณยานพาหนะภายในระยะเวลาของการสังเกตต่อปริมาณยานพาหนะสูงสุดที่ถนนสามารถรองรับได้ (flow/capacity) ซึ่งได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจราจร (MULTSIM[6],[7]) เพื่อนำเสนอ รูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงสำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลจราจรดังกล่าว

จากงานวิจัย [5] และ [8] พบว่ายังถูกจำกัดในเรื่องความเป็นประโยชน์ในการนำรูปแบบการประมาณเหล่านี้มาใช้งาน เพราะ การที่จะได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารของระยะเวลาการเดินทาง จำเป็นต้องรู้ค่าเวลาที่ยานพาหนะผ่านเข้ามาที่จุดตรวจจับของเซนเซอร์ (register time) เสียก่อน แต่ในทางปฏิบัตินั้นการวัดค่าข้อมูลจราจรชนิดนี้ค่อนข้างลำบาก ทั้งนี้ข้อดีของรูปแบบการประมาณทั้งสองนี้ สามารถนำมาเป็นรูปแบบพื้นฐาน เพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับแนวทางการพัฒนาของนักวิจัยรุ่นหลังต่อไป

ดังนั้นในงานวิจัยเดิม Gault and Taylor [8] ได้ทำการพัฒนารูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากการใช้ข้อมูลจราจรดังต่อไปนี้ ข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ช่วงเวลาที่ยานพาหนะไม่ถูกรบกวนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก (Undelayed time) ปริมาณยานพาหนะภายในระยะเวลาของการสังเกตต่อปริมาณยานพาหนะสูงสุดที่ถนนสามารถรองรับได้ (flow/capacity) และระยะเวลาไฟเขียว (green time) และนำเสนอรูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยวิธีรูปแบบการถดถอยแบบเชิงเส้นตรงจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจราจร (MULTSIM [6], [7])

สำหรับงานวิจัย Sisipiku and Roupail [9] ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของการเดินทาง และอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา จากการทดลองในแบบจำลองจราจร (NETSIM [10]) และได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ การไหลของจราจร และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Flow vs. Time-occupancy ratio)

ระยะเวลาการเดินทาง และการไหลของจราจร (Travel time vs. Flow) ระยะเวลาการเดินทางและอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Travel time vs. Time-occupancy ratio) จากผลการแสดงความสัมพันธ์ทั้งสามรูปแบบนี้ในงานวิจัย [9] แนะนำว่าในกรณีที่ต้องการหาระยะเวลาการเดินทางนั้น การคิดค้นรูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยอาศัยข้อมูลอัตราส่วนในการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะจากการวิเคราะห์กราฟแสดงความสัมพันธ์ของทั้งสามรูปแบบพบว่า ระยะเวลาการเดินทางและอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Travel time vs. Time-occupancy ratio) มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันค่อนข้างสูงกว่าในรูปแบบอื่นอีก ทั้งยังได้นำเสนอรูปแบบการประมาณทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า รูปแบบการถดถอยแบบเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) ด้วยวิธีการแบ่งเป็นส่วน (Piece-wise method) เพื่อใช้สำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลอัตราส่วนในการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาอีกด้วย

ต่อมาในงานวิจัย Sisipiku and Rouphail [11] ได้พัฒนารูปแบบการพยากรณ์ระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ในรูปแบบการประมาณนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การประมาณระยะเวลาการเดินทางขณะการจราจรคล่องตัว และการประมาณระยะเวลาการเดินทางในขณะที่มีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวน ทำให้ส่งผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ (delay time) โดยทั้งสองส่วน ได้นำรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Model) มาประมาณหาระยะเวลาการเดินทาง ซึ่งส่วนแรกเป็นการประมาณระยะเวลาในการเคลื่อนที่ซึ่งถูกรบกวนจากสภาวะแวดล้อมภายนอกโดยใช้ข้อมูลจราจร ดังต่อไปนี้ สัดส่วนของระยะที่วางอุปกรณ์ตรวจจับของยานพาหนะต่อความยาวของช่วงถนนที่พิจารณา (Ratio of detector distance to link length) และอัตราส่วนของสัญญาณไฟเขียว (green ratio) ส่วนที่สองคือ การประมาณระยะเวลาในการเดินทางขณะการจราจรคล่องตัว โดยใช้ข้อมูลจราจรดังต่อไปนี้ ความยาวของถนนส่วนที่พิจารณา (link length) และความเร็วในการเดินทางของยานพาหนะในขณะที่มีการจราจรคล่องตัว (free flow speed) ข้อบกพร่องของงานวิจัยนี้คือ ความผิดพลาดของการประมาณระยะเวลาการเดินทางจะค่อนข้างสูง เนื่องมาจากการประยุกต์ใช้แนวคิดความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นตรงระหว่างระยะเวลาการเดินทาง และอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลา

สำหรับงานวิจัย John Rich and Erik van Zwet [12] นำเสนอรูปแบบการคาดการณ์ระยะเวลาการเดินทาง สำหรับทางด่วนโดยอาศัยข้อมูลระยะเวลาการเดินทางที่ได้มาจากการตรวจวัดข้อมูลจราจรด้วยอุปกรณ์เช่น อุปกรณ์ตรวจจับแบบวน (loop detector) หรือจากกล้อง

วิดีโอ (video camera) เป็นต้น และเลือกใช้รูปแบบการถอดแบบเชิงเส้นตรง ในการคาดการณ์ค่าระยะเวลาการเดินทาง

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มุ่งเน้นในเรื่องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยอาศัยเพียงข้อมูลอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) เท่านั้นซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่นำเสนอในงานวิจัย [9] แต่ในงานวิจัย [9] ยังมีความไม่สมบูรณ์ในเรื่องของความถูกต้องสำหรับการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางที่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูง เนื่องจากรูปแบบการถอดแบบเชิงเส้นตรงที่ได้นำเสนอ เป็นเพียงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นตรงเท่านั้น ขณะที่ความสัมพันธ์โดยแท้จริงระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการครอบครองเชิงเวลา มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นผลมาจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต จากข้อบกพร่องดังกล่าว จึงนำมาสู่วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ต้องการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยอาศัยเพียงข้อมูลอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาและคำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- นำเสนอวิธีการเปลี่ยนสถานะการจราจรที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เพื่อปรับปรุงการประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย ให้มีความถูกต้องมากขึ้นโดยอาศัยเพียงข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio)
- เปรียบเทียบความถูกต้อง ในการประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยอาศัยอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต (งานวิจัยที่ได้นำเสนอ) เปรียบเทียบกับการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลาที่ไม่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต (งานวิจัยอื่นๆ ในอดีต)
- ศึกษาผลกระทบ ในกรณีที่นำเข้ารถโดยสารประจำทาง และเปรียบเทียบความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากระเบียบวิธีที่นำเสนอ กับผลจากแบบจำลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แนวคิดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้อง ในการประมาณระยะเวลาของการเดินทาง จากการใช้เพียงค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) อีกทั้ง

ยังสามารถช่วยลดงบประมาณในการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพียงใช้ข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง หลักการพื้นฐานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ โดยจะแบ่งเป็น 4 หัวข้อ ซึ่งหัวข้อแรก จะกล่าวถึง คำจำกัดความของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจราจร และถูกกล่าวอ้างในวิทยานิพนธ์ หัวข้อที่สอง จะกล่าวถึงแบบจำลองจราจรที่นำมาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์ และหลักการแบ่งประเภทความตึงเครียดของสภาวะการจราจร ตามแผนภาพพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างการไหลและความหนาแน่นของการจราจร และหัวข้อที่สามจะกล่าวถึง รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งคือ รูปแบบการพยากรณ์ทางอนุกรมเวลา (Auto-regressive Integrated Moving-average with external input series; ARIMAX) และในหัวข้อที่สี่ จะกล่าวถึง หลักการพิจารณาเลือกรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ด้วยค่าการตรวจวัดทางสถิติ ในบทที่ 3 จะกล่าวถึง การจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองจราจร และกล่าวถึง การประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยสมการการถดถอยเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นแนวคิดและวิธีการของงานวิจัยในอดีต สำหรับบทที่ 4 ได้กล่าวถึง ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ โดยจะเริ่มจากการอธิบายถึง หลักการออกแบบของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาของการเดินทางโดยอาศัยค่าอัตราการใช้ครองครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ได้ บทที่ 5 กล่าวถึง ผลการทดสอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม สุดท้าย บทที่ 6 กล่าวถึง บทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

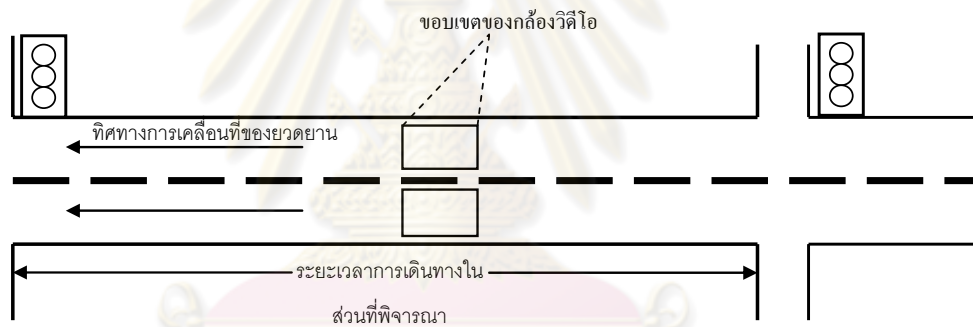
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความของตัวแปรทางการจราจร

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงคำนิยามหรือความหมายของตัวแปรทางการจราจรที่ถูกกล่าวอ้าง และนำมาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อาทิเช่น ระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) และการไหลของจราจร (Traffic flow) เป็นต้น

2.1.1 การคำนวณระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ในแบบจำลองจราจร (MITSIMLab) [13]-[15]



รูปที่ 2.1: แสดงขอบเขตของการสังเกตการณ์ค่าระยะเวลาการเดินทาง

เนื่องจาก ในทางปฏิบัติ ค่า Time-occupancy ได้มาจากการตรวจวัด ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ (detector) ที่ติดตั้งเพียงจุดเดียวบนถนน แต่นำมาใช้ในการคาดการณ์สภาพความหนาแน่นของถนนทั้งเส้น ในรูปแบบของระดับสีความติดขัด

จากรูปที่ 2.1 Travel time information คือ ค่าระยะเวลาการเดินทางของยานพาหนะที่อยู่บนถนน ณ เวลาปัจจุบัน โดยคำนึงถึงสภาพจราจร ณ ปัจจุบันเป็นหลัก (ซึ่งไม่ใช่ historical data ของยานพาหนะที่ผ่านถนนนั้น ไปแล้ว)

ดังนั้น การออกแบบการทดลองใน MITSIMLab ได้ทำการป้อนปริมาณการไหล (flow) เพื่อตรวจวัดค่า time-occupancy และ travel time โดยที่ เมื่อใดปริมาณจราจร มีการเปลี่ยนแปลง จะสะท้อนไปยังการเปลี่ยนแปลงของค่า travel time ณ เวลานั้นๆ ทั้งนี้ ดังนั้น ค่าระยะเวลาการ

เดินทาง (travel time) ที่ได้จากแบบจำลอง จึงเป็นค่าคาดการณ์มาจาก ปริมาณจราจร ณ เวลาปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม วิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอ การประมาณ travel time โดยอาศัยค่า time-occupancy เพียงอย่างเดียว ดังนั้น จึงได้นำข้อมูลของ time-occupancy ที่เก็บสะสมมาจากการตรวจวัดเพียงจุดเดียวบนถนน (ณ ช่วงเวลาเดียวกับการเก็บค่า travel time) เป็นตัวชี้วัดปริมาณจราจร หรือสภาพจราจร ณ เวลาปัจจุบัน แทนที่ใช้ ปริมาณการไหล (flow)

ในการทดลองทั้งหมด ได้อาศัยการจำลองสถานการณ์ในแบบจำลองจราจร ซึ่งออกแบบให้ MITSIMLab “ทำการตรวจวัดค่า time-occupancy จากจุดเดียวของถนน ณ เวลาปัจจุบัน และในเวลาเดียวกัน ได้ประมาณค่า travel time จากยานพาหนะ ที่อยู่บนถนน ณ เวลาปัจจุบันด้วย โดยอาศัยการบ่อนปริมาณการไหล (flow) เข้าสู่ แบบจำลอง เพื่อทำการตรวจวัดค่าตัวแปรทั้งสอง”

2.1.2 อัตราการเข้าครอบครอง (Occupancy ratio; O) [16]

อัตราการเข้าครอบครอง (Occupancy ratio; O) ในทางการจราจรสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ อัตราการเข้าครอบครองเชิงบริเวณ (Space-Occupancy ratio) และ อัตราการครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy ratio) โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการศึกษาในส่วนของอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy ratio) เท่านั้น ซึ่งค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy Ratio) นี้เป็นการตรวจวัดเวลาของยานพาหนะแต่ละคัน ที่ผ่านเข้ามาในบริเวณตรวจจับของอุปกรณ์รับรู้ (sensor) ภายในช่วงเวลาของการสังเกตการณ์ทั้งหมด มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่าง ผลรวมของเวลาที่ยานพาหนะผ่านเข้ามาภายในขอบเขตของการตรวจจับ และระยะเวลาในการสังเกตการณ์ทั้งหมด โดยสามารถอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$O_i = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} \quad (2.1)$$

คำจำกัดความของตัวแปร

T	ระยะเวลาของการเฝ้าสังเกต มีหน่วยเป็นวินาที
O_i	อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาของยานพาหนะ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์
t_i	ระยะเวลาที่ยานพาหนะคันที่ i เข้าครอบครองพื้นที่ภายในอาณาเขตการตรวจจับด้วยอุปกรณ์รับรู้ (sensor) มีหน่วยเป็นวินาที

n จำนวนยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในอาณาเขตการตรวจจับของเซนเซอร์ ภายใน ช่วงระยะเวลา T วินาที มีหน่วยเป็นคัน

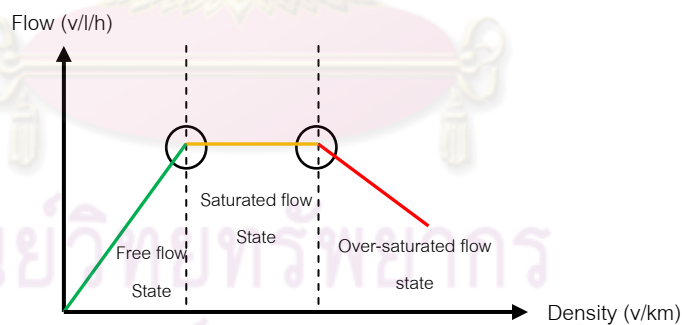
2.1.3 คำจำกัดความของการไหล (Flow) [17]

การไหล (Flow) คือ ปริมาณยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาในเส้นทางที่พิจารณา ภายใน ระยะเวลาของการสังเกตการณ์ มีหน่วยเป็น ปริมาณยานพาหนะต่อจำนวนช่องทางถนนต่อหน่วย เวลา (vehicle/ lane/ time unit) ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้เป็นตัวแปร ในการตรวจวัดการ เปลี่ยนแปลงของ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy ratio) โดยนี้ จะถูก นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงสถานะ (State Transition) ต่อไป

2.1.4 คำจำกัดความของสถานะทางการจราจร [18]

- Free flow state หมายถึง สภาวะการจราจรคล่องตัว
- Saturated flow state หมายถึง สภาวะการจราจรติดขัดระดับปานกลาง
- Over-saturated flow state หมายถึง สภาวะการจราจรติดขัดระดับสูง หรือคับคั่ง

โดยหลักการแบ่ง จะมีรากฐานมาจากทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และความหนาแน่นของการจราจร ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2: แสดงแผนภาพความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างการไหลและความหนาแน่นของการจราจร ในทางทฤษฎี

2.2 แบบจำลองจราจร [13]-[15]

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เลือกใช้แบบจำลองจราจร MITSIMLab ซึ่งได้รับการพัฒนามาจาก Massachusetts Institute of Technology และเป็นแบบจำลองประเภทจุลภาค หรือที่เรียกว่า Microscopic traffic simulator ซึ่งมีความสามารถในการจำลอง การเคลื่อนที่ของยานพาหนะแต่ ละคันโดยอาศัย car following model, lane-changing model และการจำลองสัญญาณไฟจราจร

ตลอดจนสามารถจำลองการตรวจวัด ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะได้ จึงมีความเหมาะสม และสามารถนำมาใช้เป็นส่วนสำคัญ ในการคิดค้นรูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางที่จะนำเสนอต่อไป ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตามแบบจำลองจราจรยังคงมีทั้งข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

ข้อดี

- สามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้เข้าข่ายสภาวะการจราจรจริงได้มากเท่าที่เป็นไปได้ หากเลือกใช้แบบจำลองจราจรที่เหมาะสม เช่น ปริมาณยานพาหนะที่ผ่านเข้ามาในบริเวณที่พิจารณาต่อช่วงระยะเวลาของการสังเกตการณ์ (Flow; vehicle/time unit), จำนวนช่องทางเดินรถของถนน, ความยาวของถนน, ช่วงระยะเวลาของการเปิดปิดสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น

ข้อเสีย

- การใช้แบบจำลองจราจร อาจจะได้ผลไม่ตรงกับความเป็นจริงในบางกรณีจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการปรับเทียบต่อไป และในการปรับเทียบเพื่อให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงนั้น อาจจะต้องใช้เวลานาน

2.3 โปรแกรมเศรษฐกิจ (E-view หรือ Quantitative Micro Software [19])

ในการประชุมวิชาการของสมาคมเศรษฐมิติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 ณ ศูนย์วิเคราะห์เชิงปริมาณกล่าวไว้ว่า “ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ส่วนใหญ่นั้น ได้ถูกสร้างขึ้นในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ พร้อมกับนำวิธีทางสถิติ มาเป็นเครื่องมือสำหรับวัดและหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ อีกทั้งทดสอบความสมเหตุสมผลของทฤษฎีนั้นว่า สอดคล้องหรืออธิบายสภาพของความเป็นจริงได้มากน้อยเพียงใด การนำคณิตศาสตร์กับสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ เรียกว่า “เศรษฐมิติ” (Econometrics) ในปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการคำนวณเป็นจำนวนมาก อาทิเช่น SPSS, SAS, TSP หรือ E-View เป็นต้น โปรแกรมเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัยเชิงเศรษฐมิติ สามารถเลือกโปรแกรมใดก็ได้ ทั้งนี้ ควรที่จะเลือกโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการคำนวณโดยวิธีการทางเศรษฐมิติโดยตรงเพราะสะดวกต่อการใช้งาน และตรงตามวัตถุประสงค์มากกว่า ปัจจุบันได้มีการนำเศรษฐมิติไปใช้งานอย่าง

แพร่หลาย ทั้งในระดับจุลภาค และระดับมหภาคเพราะมีความสะดวกในการวิเคราะห์โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมการคำนวณต่างๆ ซึ่งมีอยู่มากมาย”

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความจำเป็นต้องนำเอาความรู้ทางด้านเศรษฐศาสตร์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา โดยได้เลือกใช้โปรแกรม E-view เนื่องจากสามารถคำนวณค่าสถิติที่ค่อนข้างละเอียด และมีความน่าเชื่อถือได้ เพราะเป็นโปรแกรมที่นักเศรษฐศาสตร์ให้ความยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ดังที่ได้มีการกล่าวอ้างในการประชุมวิชาการของสมาคมเศรษฐมิติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 จึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งกับการนำมาประยุกต์ใช้งานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.4 รูปแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Auto-regressive Integrated Moving-average with external input series; ARIMAX) [20]-[22]

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามลำดับเวลา กำหนดรูปแบบในการอธิบายความผันแปรของข้อมูล และใช้รูปแบบนั้นพยากรณ์ค่าของอนุกรมเวลาในอนาคต รูปแบบที่นิยมใช้อย่างมากในการวิเคราะห์อนุกรมเวลารูปแบบหนึ่ง คือ ตัวแบบทางสถิติ ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Autoregressive - Moving average model) ใช้สัญลักษณ์ว่า ARMA ตัวแบบทางสถิติเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ p , q หรือ ARMA (p , q) แบบจำลอง ARMA ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย George E.P.Box และ Gwilym M. Jenkins ในปี ค.ศ.1970 และประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

- Autoregressive Process (AR)

เป็นตัวแบบทางสถิติที่เขียนค่าปัจจุบันของอนุกรมเวลาในรูปผลบวกถ่วงน้ำหนักของค่าในอดีตบวกกับ ความคลาดเคลื่อนปัจจุบัน

- Moving Average (MA)

เป็นรูปแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่เขียนค่าปัจจุบันของอนุกรมเวลาในรูปผลบวกถ่วงน้ำหนักของความคลาดเคลื่อนในอดีตกับความคลาดเคลื่อนปัจจุบัน

- Auto Regressive Moving Average (ARMA(p,q))

แบบจำลอง Auto Regressive Moving Average (ARMA) เป็นแบบจำลองที่นำเอากระบวนการ Auto Regressive และ Moving Average มาใช้รวมกัน โดยกระบวนการหรือระบบ Auto Regressive ที่มีอันดับที่ p และ Moving Average ที่มีอันดับ q ทั้งนี้เนื่องจากแนวคิดวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอ จะใช้ข้อมูลทางด้านการจราจร (Travel-time Information) ที่แปรผันไปตามกาลเวลา ซึ่งส่วนใหญ่ มักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไม่คงที่ (Non-stationary) แต่ในขณะที่

$ARMA(p,q)$ ถูกกำหนดให้ใช้กับชุดข้อมูลที่มีความคงที่ (Stationary) เท่านั้น ดังนั้นการให้รูปแบบ $ARMA(p,q)$ เพียงอย่างเดียว ยังไม่เพียงพอต่อความถูกต้องในการพยากรณ์จึงนำเสนอให้ใช้ Autoregressive Integrated Moving Average ($ARMA(p,q)$) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถแก้ไขอนุกรมทางเวลาของข้อมูลที่มีลักษณะไม่คงที่ได้ โดยภายในรูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ จะเหมือนกับ Autoregressive-Moving Average ($ARMA$) ทุกประการเพียงแต่เพิ่มกระบวนการหาค่าความต่างของค่าในปัจจุบัน และก่อนหน้าหรือเรียกว่า Differencing เข้าไปด้วย ดังนี้

- กระบวนการหาค่าความต่างหรือ Differencing ($I(d)$)

กระบวนการหาค่าความต่างหรือที่เรียกว่า Differencing ($I(d)$) เป็นการหาผลต่างของอนุกรมเวลาระหว่างข้อมูล ณ ปัจจุบันกับข้อมูลถอยหลังไป d คาบเวลาโดยสาเหตุที่ต้องทำการหาผลต่างของอนุกรมเวลาเนื่องจากแบบจำลอง $ARIMA$ ต้องใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีคุณสมบัติคงที่ (Stationary) เท่านั้นโดยในกรณี ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์มีคุณสมบัติไม่คงที่ (Non-stationary) จะต้องทำการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้เป็นข้อมูลที่มีคุณสมบัติคงที่ โดยการหาผลต่างของข้อมูลอนุกรมเวลา ก่อนนำไปสร้างแบบจำลอง $ARIMA$ เมื่อทำการเพิ่มกระบวนการ Differencing เข้าไป และนำมารวมกับ $ARMA$ จึงกลายเป็น $ARIMA(p, d, q)$ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\Delta_d y_t = \delta + \phi \Delta_d y_{t-1} + \phi \Delta_d y_{t-2} + \dots + \phi \Delta_d y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.2)$$

แต่ทั้งนี้ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของแนวทางวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอคือ ต้องการปรับปรุงความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จากการใช้ข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ซึ่งหมายความว่า รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ จะต้องมีส่วนอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา เป็นอินพุตของระบบอีกด้วย ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ดังกล่าว จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ Autoregressive Integrated Moving Average with External input series โดยมีชื่อย่อว่า ARIMAX ซึ่งจะมีลักษณะการวิเคราะห์ชุดข้อมูล ด้วยวิธีการถดถอยแบบอนุกรมเชิงเวลา (Time Series Regression Model) โดยที่องค์ประกอบของ ARIMAX จะต่างจาก ARIMA ตรงที่มีการเพิ่มชุดข้อมูลชนิดอื่น (ซึ่งต่างจากชนิดของชุดข้อมูลเอาท์พุต) เพื่อเป็นอินพุตให้แก่ระบบ ณ ที่นี้คือ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา หรือ Time-Occupancy ratio แต่ในขณะที่ ARIMA จะต้องการชุดข้อมูลอินพุต และเอาท์พุตที่เป็นชนิดเดียวกันเท่านั้น กล่าวคือ ARIMA จะประมาณค่าปัจจุบัน จากค่าข้อมูลในอดีต ($AR(p)$) และค่าคลาดเคลื่อนในอดีต ($MA(q)$) ของตัวมันเอง ดังนั้น ARIMAX จึงเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมมากกว่า สำหรับการแก้ปัญหาการ

ประมาณค่าระยะเวลาในการเดินทาง โดยการใช้ข้อมูลอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลา โดยมีรูปแบบการคำนวณดังนี้

$$\Delta_d T_t = \mu + \sum_{n=0}^r \beta_n O_{t-n} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta T_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.3)$$

โดยปกติรูปแบบ ARIMAX จะถูกเขียนให้อยู่ในสัญลักษณ์ของ Back shift operator “B” โดยที่ $B^j(x_t) = x_{t-j}$ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของอนุกรมเวลา ใช้ในการสร้างค่าข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นก่อนหน้าด้วยสัญลักษณ์ “B” ดังนั้น ARIMAX จึงสามารถเขียนสมการในรูปแบบของ Back shift operator ได้ดังสมการที่ (2.4)

$$T_t = \mu + \sum_{n=0}^r \beta_n O_{t-n} + \frac{(1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q)}{(1 - B)^d (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)} \varepsilon_t \quad (2.4)$$

คำนิยามของตัวแปร

T_t	ค่าระยะเวลาการเดินทาง ณ เวลา t
$O_t \dots O_{t-n}$	อนุกรมเวลาของชุดข้อมูลอัตราส่วนการครอบครองเชิงเวลา (Time-Occupancy)
d	จำนวนครั้งของการหาผลต่าง Differencing ($I(d)$)
p	อันดับของ Auto-regressive (AR(p))
q	อันดับของ Moving Average (MA(q))
μ	ค่าคงที่ (Constant Term)
$\Phi_1 \dots \Phi_p$	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Auto-regressive
$\theta_1 \dots \theta_q$	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Moving Average
$\beta_0 \dots \beta_r$	ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมเวลาของชุดข้อมูลอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลา (Time-Occupancy)
ε_t	กระบวนการ White noise ซึ่งก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t ภายใต้ข้อสมมติที่ว่าความคลาดเคลื่อนที่ต่างเวลากัน เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน โดยมีการแจกแจงปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และความแปรปรวนคงที่

2.5 ทฤษฎีการคำนวณค่าทางสถิติ

คำนิยามของตัวแปร

N	คือจำนวนข้อมูลอนุกรมเวลา
$\text{var}(b)$	คือความแปรปรวนร่วมของค่าสัมประสิทธิ์ b

$\hat{\varepsilon}$	คือเวกเตอร์ขนาด N มิติ ประกอบด้วยชุดข้อมูลอนุกรมของค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณ
y	คือเวกเตอร์ขนาด N มิติ ประกอบด้วยชุดข้อมูลอนุกรมของตัวแปรตาม
X	คือเมทริกซ์ขนาด $N \times k$ สำหรับชุดข้อมูลอนุกรมของตัวแปรอิสระ
\bar{y}	คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม
k	คือจำนวนของตัวถดถอย (Right hand side regressors)
$\hat{\theta}$	คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ ที่ได้จากการประมาณ
$\hat{\varepsilon}_{t-1}$	คือค่าคลาดเคลื่อนหรือ Residual ของการประมาณ ณ เวลาในอดีต 1 ช่วงเวลา
$\hat{\varepsilon}_t$	คือค่าคลาดเคลื่อนหรือ Residual ของการประมาณ ณ เวลาปัจจุบัน
l	คือค่า Log likelihood

2.5.1 Standard Errors (Std. Errors) [23]

Standard Errors เป็นค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานใช้เป็นเครื่องมือทางสถิติสำหรับตรวจวัดความน่าเชื่อถือของค่าสัมประสิทธิ์ที่ถูกประมาณสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$Std.Errors = \sqrt{\text{var}(b)} \quad (2.5)$$

โดยที่ $\text{var}(b) = s^2 (X'X)^{-1}$; $s^2 = \hat{\varepsilon}' \hat{\varepsilon} / (N - k)$; $\hat{\varepsilon} = y - Xb$

2.5.2 t-statistic [23]

T-statistic เป็นค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบความมีอิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัว หากตัวแปรที่ทำการทดสอบมีค่าความน่าจะเป็นของ t-statistic อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% [Probability < 0.05] แสดงว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อรูปแบบการประมาณ ในทางกลับกัน ถ้าหากค่าความน่าจะเป็นของ t-statistic ไม่ได้อยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% [Probability > 0.05] แสดงว่าตัวแปรนั้น ไม่มีอิทธิพลต่อรูปแบบการประมาณ สมการที่ (2.6) ใช้สำหรับการคำนวณค่า t-statistic

$$t = \frac{\hat{\theta}}{\text{Std. Error of } \hat{\theta}} \quad (2.6)$$

2.5.3 R-squared (R^2) [23]

R-squared เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเหมาะสมของรูปแบบสมการว่า จะสามารถเป็นตัวแทนที่ดีของจำนวนข้อมูลจริงทั้งหมดหรือไม่ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่ายิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่ารูปแบบสมการนั้นเป็นตัวแทนที่ดี หมายความว่า ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการแปรเปลี่ยนของตัวแปรตามได้มาก โดยทั่วไปควรมีค่า 0.6 ขึ้นไป และสมการในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (2.7)

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\hat{\varepsilon}'\hat{\varepsilon}}{(y-\bar{y})'(y-\bar{y})} \right]; \quad \bar{y} = \sum_{t=1}^N y_t / N \quad (2.7)$$

2.5.4 Adjusted R-squared (\bar{R}^2) [23]

Adjusted R-squared มีความหมายในทำนองเดียวกับ R-squared โดยเป็นตัวบ่งบอกว่า R-squared ที่คำนวณได้มีความเหมาะสมจริงหรือไม่ Adjusted R-squared ที่เหมาะสมจะต้องต่ำกว่า R^2 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสมการในการคำนวณแสดงดังสมการที่ (2.8)

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-k} \quad (2.8)$$

2.5.5 Akaike Information Criterion (AIC) [23]

แบบจำลองที่ดีที่สุด จะให้ค่า AIC ต่ำที่สุด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

$$AIC = (-2l) / N + (2k / N) \quad ; \quad l = -\frac{N}{2} (1 + \log(2\pi) + \log(\hat{\varepsilon}'\hat{\varepsilon} / N)) \quad (2.9)$$

2.5.6 SE. of regression [23]

Standard Error of Regression เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากรูปแบบการประมาณนั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$s = \sqrt{\frac{\hat{\varepsilon}'\hat{\varepsilon}}{N-k}} \quad (2.10)$$

2.5.7 Sum-of-Squared Residuals (SSR) [23]

ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้รูปแบบการประมาณมีค่าผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองให้มิต่ำน้อยที่สุด ดังนั้นในการเลือกรูปแบบที่ดีและเหมาะสมจะต้องมีค่า SSR ต่ำๆ

$$\hat{\varepsilon}'\hat{\varepsilon} = \sum_{t=1}^T (y_t - X_t' b)^2 \quad (2.11)$$

2.5.8 การประมาณด้วยวิธี Ordinary Least Square (OLS) [23]-[24]

การประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด (Ordinary Least Square หรือ OLS) เป็นวิธีการประมาณเส้นเชิงถดถอยที่สามารถผ่านจุดต่างๆ ได้ใกล้เคียงมากที่สุด โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะประมาณหาค่าจุดตัดซึ่งก็คือ ค่าคงที่ (Constant term) และค่าความลาดชันของตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสองจากเส้นหรือ $\sum (Y - \hat{Y})^2$ มีค่าน้อยที่สุดโดยที่ Y คือจุดข้อมูลจริงและ \hat{Y} คือจุดข้อมูลที่ได้จากการประมาณ

2.6 การทดสอบปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับข้อมูลอนุกรมเวลาและวิธีแก้ปัญหา [25]

เนื่องจากข้อสมมติฐานเบื้องต้นของการประยุกต์ใช้กำลังสองน้อยสุดในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ได้กล่าวไว้ว่า

- ค่าคงเหลือ (Residual) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ความแปรปรวนคงที่ (Homoscedasticity)
- ค่าคงเหลือ (Residual) ต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง ณ เวลาต่างกัน $E(u_i, u_j) = 0; i \neq j$ (No autocorrelation)

จากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถสรุปข้อตกลงเบื้องต้นได้ว่า รูปแบบการประมาณที่ดีและเหมาะสมจะต้องมีลักษณะเป็น “White noise”

2.6.1 ปัญหาความไม่นิ่งของข้อมูลอนุกรมเวลา (Non-stationary data)

หากข้อมูลมีลักษณะไม่นิ่งซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลไม่คงที่ ดังนั้นให้ทำการปรับแก้เพื่อให้ข้อมูลมีลักษณะนิ่งเสียก่อน เปรียบเสมือนเป็นการกำหนดอันดับของ “d” ซึ่งเป็นองค์ประกอบการทำงานในส่วนของการหาค่าความต่างในช่วงเวลาหรือ Differencing มีสัญลักษณ์โดยย่อคือ I(d) วิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกวิธีการทดสอบที่เรียกว่า Augmented Dickey-Fuller test (ADF) [26] โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าของการทดสอบตั้งแต่อันดับของ $d=0,1,2$ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าเป็นการทำ Differencing ที่ระดับ Level, First Differencing, Second Differencing ตามลำดับและทำการเปรียบเทียบค่า t-statistic ที่ได้จากวิธี ADF กับค่าวิกฤติ ณ ระดับนัยสำคัญ 1% 5% และ 10% ถ้าหากค่า t-statistic ที่ได้จากวิธี ADF มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลานั้น มีลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary) ซึ่งแก้ไขโดยทำการหาความต่างลำดับที่ 1 หรือลำดับต่อไปจนกระทั่งพบข้อมูลอนุกรมเวลานั้นมีลักษณะนิ่ง (Stationary)

- **ทดสอบด้วยวิธี Augmented Dickey-Fuller test (ADF) [26]**

Augmented Dickey-Fuller test เป็นวิธีทางสถิติชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบข้อมูลอนุกรมว่ามีลักษณะนิ่งหรือไม่โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบข้อมูลอนุกรมด้วยรูปแบบสมการที่ (2.12)

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

โดยที่

Y_t คือ ตัวแปรตาม ณ เวลาปัจจุบัน

Y_{t-1} คือ ตัวแปรอิสระ ณ เวลาย้อนหลัง 1 ช่วงเวลา

ε_t คือ ตัวคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

α, γ, ϕ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

สมมติฐานในการทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

$H_0: \gamma = 0$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลักที่ว่าชุดข้อมูลอนุกรมนั้นๆมีลักษณะไม่นิ่ง

$H_a: \gamma \neq 0$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐานรองที่ว่า ชุดข้อมูลอนุกรมนั้นๆมีลักษณะนิ่ง

2.6.2 ปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือ ณ เวลาต่างกัน [27]

ปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือ (residual) หรือเรียกว่า Autocorrelation โดยมากมักเกิดขึ้นในข้อมูลอนุกรมเวลา จึงสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Serial correlation ปัญหานี้เกิดจากค่าคงเหลือ (residual) ในเทอมปัจจุบัน มีความสัมพันธ์กับค่าคงเหลือของเทอมก่อนหน้า การเกิดสหสัมพันธ์ของค่าคงเหลือ เป็นความสัมพันธ์อย่างหนึ่ง ซึ่งไม่ได้เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรที่ต่างชนิดกัน แต่แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรชนิดเดียวกัน ในช่วงเวลาต่างกัน มักพบได้บ่อยในข้อมูลประเภทอนุกรมเวลา ปัญหาสหสัมพันธ์ของค่าคงเหลือที่เกิดขึ้นในข้อมูลอนุกรมเวลาสามารถทดสอบได้จากวิธีดังต่อไปนี้

- ทดสอบด้วย Durbin-Watson Statistic (DW) [23]

Durbin-Watson Statistic เป็นวิธีที่ใช้ในการทดสอบสหสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อน ณ ปัจจุบัน กับค่าคลาดเคลื่อนในอดีต 1 ช่วงเวลา ดังนั้นวิธีการทดสอบนี้จึงเหมาะสำหรับชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (\hat{\varepsilon}_t - \hat{\varepsilon}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_t^2} \quad (2.13)$$

- ทดสอบด้วย Q-statistic [28]

ค่า Q-statistic เป็นค่าสถิติ ที่ใช้ทดสอบค่าคงเหลือ (Residual) ว่ามีสหสัมพันธ์ในตัวเองเกิดขึ้นหรือไม่โดยค่า Q-statistic มีสมมติฐานหลักคือ ไม่มีการเกิดสหสัมพันธ์ในตัวเอง การทดสอบด้วยวิธีนี้ จะมีการแสดงค่า สหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) และสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบแยกส่วน (Partial autocorrelation) ของค่าคงเหลือ (residuals) ที่ได้จากการประมาณ โดยค่าทั้งสองจะแสดงออกมาในรูปกราฟของค่าคงเหลือ เรียกว่า Correlogram of residuals โดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้

Autocorrelation function (ACF) [28]

Autocorrelation function (ACF) คือ สหสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในข้อมูลอนุกรมเวลา โดยที่ค่าคงเหลือ ในเทอมปัจจุบัน มีความสัมพันธ์กับค่าคงเหลือในเทอมก่อนหน้า โดยสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (τ_k) ได้ดังสมการที่ (2.14)

$$\tau_k = \frac{\sum_{t=k+1}^T ((Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})) / (T - k)}{\sum_{t=k+1}^T ((Y_t - \bar{Y})^2) / T} \quad (2.14)$$

โดยที่

\bar{Y}	คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลสังเกตการณ์
τ_k	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สำหรับค่าข้อมูลอนุกรม ณ เวลา k
k	คือ จำนวนของตัวถดถอย (Right hand side repressors)
T	คือ จำนวนข้อมูลอนุกรมเวลา

อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากสมการที่ (2.14) จะเป็นเพียงภาพโดยรวมของความสัมพันธ์ระหว่างค่าในปัจจุบันและค่าในอดีตที่ห่างกัน k ช่วงเวลาเท่านั้น แต่ภายในความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของค่าในปัจจุบันกับค่าในอดีต ณ เวลาต่างๆ ดังกล่าว อาจได้รับผลกระทบมาจากการที่ตัวแปรคู่นี้มีความสัมพันธ์กับตัวแปร ณ ช่วงเวลาอื่นๆด้วยดังนั้น Partial autocorrelation function จึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรในขณะที่ตัวแปรอื่นๆได้ถูกควบคุมไว้เพื่อไม่ให้มีอิทธิพลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรที่เราสนใจ

Partial autocorrelation function (PACF) [28]

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ด้วย PACF เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรในขณะที่ตัวแปรอื่นๆได้ถูกควบคุมไว้เพื่อไม่ให้มีอิทธิพลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรที่เราสนใจโดยสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแยกส่วน (ϕ_k) ได้ดังสมการที่(2.15)

$$\phi_k = \begin{cases} \tau_1 & ; k = 1 \\ \frac{\tau_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \tau_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \tau_{k-j}} & ; k > 1 \end{cases} \quad (2.15)$$

โดยที่

τ_k คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ถูกประมาณสำหรับค่าข้อมูลอนุกรม ณ เวลา k

ϕ_k คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แยกส่วนที่ถูกประมาณสำหรับค่าข้อมูลอนุกรม ณ เวลา k

ในการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ได้มีข้อสมมติฐานหลักที่กำหนดไว้ว่า ค่าคงเหลือทุกตัว ณ เวลาต่างๆ กัน จะต้อง เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไข White noise โดยสามารถประมาณค่าภายใต้ การแจกแจงปกติ ภายในช่วงความเชื่อมั่น 95% กล่าวอีกนัยหนึ่งคือขนาดของค่า τ_k และ ϕ_k จะต้องมามีค่าอยู่ในขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ ซึ่งจะเรียกค่าขอบเขตนี้ว่า Two-standard error band ภายในช่วงความเชื่อมั่น 95% โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลของการสังเกตการณ์ ตัวอย่างเช่น ถ้าหากขนาดของค่า τ_k และ ϕ_k มีค่าอยู่นอกขอบเขต Two-standard error band หมายความว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก จึงเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง ทำให้ค่าข้อมูล ณ เวลา k นั้น มีนัยสำคัญต่อรูปแบบการประมาณ ขณะเดียวกันนี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วยคือ ค่าความน่าจะเป็นของ Q-statistic [28] โดยจะต้องมีค่ามากกว่า 0.05 (หมายความว่า ค่าคงเหลือในแต่ละช่วงเวลา มีความเป็นอิสระต่อกันที่ระดับนัยสำคัญ 5%) ถ้าหากตรวจสอบแล้วพบว่าอนุกรมของค่าคงเหลือมีคุณสมบัติตามที่ได้ระบุไว้ จึงจะสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบการประมาณนี้ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า ไม่เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง

2.6.3 ปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) [29]

ปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ มักเกิดกับ ข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross-section) เป็นปัญหาที่เกิดจากสองตัวแปรที่ต่างชนิดกัน มีความแปรปรวนของค่าคงเหลือที่ได้จากสมการประมาณค่า มีค่าไม่คงที่ ซึ่งต่างจาก ข้อสมมติพื้นฐานของวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ที่กล่าวว่าค่าคงเหลือจะต้องมีค่าความแปรปรวนคงที่ ปกติแล้วการใช้ข้อมูลภาคตัดขวาง มักจะมีโอกาสที่ค่าคงเหลือ จะมีความแปรปรวนไม่คงที่ เนื่องจากค่าสังเกตของข้อมูลภาคตัดขวาง จะมีความแตกต่างกันตามขนาดหรือลำดับ การที่ค่าคงเหลือมีความแปรปรวนไม่คงที่ จะทำให้ตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์สูญเสียความมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ในขณะที่ยังคงมีปัญหาค่าคงเหลือ มีความแปรปรวนไม่คงที่ ก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard Error [23]) ของตัวแบบประมาณค่าสัมประสิทธิ์ มีค่าแตกต่างไปจากความเป็นจริง ส่งผลให้ค่า t-statistic [23] ที่คำนวณได้ ของค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัว ไม่น่าเชื่อถือ ทำให้การทดสอบสมมติฐานของค่าสัมประสิทธิ์ในสมการขาดความน่าเชื่อถือไปด้วย

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ภาคตัดขวาง (Cross Correlations and Correlograms) [30]

เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลอนุกรมเวลา x และ y ที่ต่างชนิดกัน

$$r_{xy}(l) = \frac{c_{xy}(l)}{\sqrt{c_{xy}(0)} \times \sqrt{c_{yy}(0)}}, \text{ โดยที่ } l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.16)$$

และ

$$c_{xy}(l) = \begin{cases} \sum_{t=1}^{T-l} ((x_t - \bar{x})(y_{t+l} - \bar{y})) / T & ; l = 0, 1, 2, \dots \\ \sum_{t=1}^{T+l} ((y_t - \bar{y})(x_{t-l} - \bar{x})) / T & ; l = 0, -1, -2, \dots \end{cases} \quad (2.17)$$

โดยที่ $r_{xy}(l)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลอนุกรมเวลา x และ y ณ เวลา l ใดๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทดสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- **ทดสอบด้วย White Heteroskedasticity Test [31]**

ทดสอบปัญหานี้ด้วย White Heteroskedasticity Test จากการใช้โปรแกรม Eview โดยมีสมมติฐานหลักคือ H_0 : Homoscedasticity หมายความว่าความแปรปรวนของตัวคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการประมาณค่ามีค่าคงที่ โดยสมมติฐานหลักนี้สามารถเขียนให้อยู่รูปแบบอื่นได้อีกด้วยจากการสมมติให้สมการถดถอยเป็นดังนี้

$$Y_t = b_1 + b_2 X_1 + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

หลังจากประมาณค่าสัมประสิทธิ์ b_1 และ b_2 แล้ว ให้นำค่าคงเหลือ (Residuals หรือ resid.) มาทดสอบ สมการถดถอยอีกครั้งเป็นดังสมการที่(2.19)

$$resid^2 = a_1 + a_2 X_1 + a_3 X_1^2 + v_t \quad (2.19)$$

ดังนั้นสมมติฐานหลักอาจเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$H_0 : a_1 = a_2 = a_3 = 0$$

วิธีการทางสถิติที่ใช้ทดสอบมี 2 ตัว คือ

1. F-statistic [23] ใช้ทดสอบสมมติฐานหลักที่ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัว มีค่าเป็น 0 หรือไม่ หากผลการทดสอบ ยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้นค่า P-value [23] ของ F-statistic [23] จะมีค่าเข้าใกล้ 1
2. White' test statistic [31] มาจากการคำนวณค่า $n \cdot R^2$ หากค่าที่คำนวณได้ ต่ำกว่าค่าวิกฤต ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% [Probability > 0.05] จะถือว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก คือไม่เกิดปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่

ตารางที่ 2.1: แสดงผลการทดสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่

White Heteroskedasticity Test:			
F-statistic	0.178131	Probability	0.837289
$n \cdot R^2$	0.372403	Probability	0.830107

ตัวอย่างการวิเคราะห์ พิจารณาจากตารางที่ 2.1 ค่า White' test stat [31] หรือ $n \cdot R^2$ ที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% [Probability > 0.05] จะต้องยอมรับสมมติฐานหลักนั้นหมายความว่า รูปแบบการประมาณนี้ไม่เกิดปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ แต่หากเกิดปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ สามารถแก้ปัญหานี้ได้ จากการใช้โปรแกรม Eview ด้วยวิธีการของ White [31] ซึ่งค่า t-statistic [23] ที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือมากกว่ากรณีที่ยังไม่มีการแก้ปัญหา

2.7 ขั้นตอนการเลือกรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (ARIMAX) ที่เหมาะสมด้วยค่าการตรวจวัดทางสถิติ

กระบวนการทำงานของ ARIMAX ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบความนิ่งของอนุกรมข้อมูล (Stationary Test) เพื่อกำหนดอันดับ d ของรูปแบบ $I(d)$
 - 1.1 ทดสอบด้วยวิธี Augmented Dickey-Fuller test (ADF) [26]
2. การกำหนดอันดับ p, q, r ของรูปแบบ $AR(p)$ $MA(q)$ และ $X(r)$ ตามลำดับ
 - 2.1 กำหนด r จากการพิจารณารูป Cross correlation [30]
 - 2.2 กำหนด p และ q จากการพิจารณา Correlogram of Dependent Variable (เฉพาะการกำหนด p และ q ในครั้งแรก)
 - 2.3 กำหนด p และ q จากการพิจารณา Correlogram of residuals (เฉพาะสำหรับกรณีที่มา จากขั้นตอนที่ 4 คือมีการทำซ้ำกระบวนการเกิดขึ้น)
3. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบ $ARIMAX(p,d,q,r)$ (Estimation step)
4. ตรวจสอบว่ารูปแบบ $ARIMAX(p,d,q,r)$ มีค่าคงเหลือเป็น white noise หรือไม่ (Diagnostic checking step) ด้วยการทดสอบปัญหาดังนี้
 - 4.1 ทดสอบว่ามีปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation) หรือไม่ด้วยวิธี Q-statistics [28]

4.2 ทดสอบว่ามีปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity)[29] หรือไม่ด้วยวิธี White Heteroskedasticity Test [31]

หากตรวจสอบแล้วพบว่ารูปแบบการประมาณยังมีปัญหาดังกล่าวข้างต้นอยู่ แสดงว่าค่าคงเหลือ (residuals) ยังไม่มีคุณสมบัติเป็น White noise ให้กลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ 2.2 ใหม่อีกครั้ง แต่หากตรวจสอบแล้วไม่พบปัญหาทั้งสองให้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไป

5. นำรูปแบบที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์

เนื่องจากขั้นตอนกระบวนการทำงานของ $ARIMAX(p,d,q,r)$ ค่อนข้างมีความซับซ้อน และมีการประยุกต์ใช้เทคนิคในการคำนวณค่าทางสถิติค่อนข้างมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ที่เรียกว่า Eview โดยในหัวข้อถัดไป จะเป็นการแสดงตัวอย่างในการประยุกต์ใช้ Eview วิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นลำดับขั้นตอน

2.8 ตัวอย่างการกำหนดรูปแบบการประมาณที่เหมาะสมของ $ARIMAX(p,d,q,r)$

2.8.1 ตรวจสอบความนิ่งของข้อมูล (Stationary test)

- **ขั้นที่ 1** นำเข้าสู่ชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง(Travel-time)และอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลา(Time-occupancy)

โดยเลือกทดสอบความนิ่งของข้อมูลที่อันดับ $d=0$ ซึ่งหมายความว่ายังไม่มีกรหาค่าความต่าง (Differencing หรือ $I(0)$)

ตารางที่ 2.2: แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Travel-time series ที่ $d=0$

Null Hypothesis: Travel-time has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 10 (Fixed)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.775393	0.9929
Test critical values:		
1% level	-3.531592	
5% level	-2.905519	
10% level	-2.590262	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

ตารางที่ 2.3: แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Time-occupancy series ที่ $d=0$

Null Hypothesis: OCCU has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 10 (Fixed)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.320243	0.6155
Test critical values:		
1% level	-3.531592	
5% level	-2.905519	
10% level	-2.590262	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลอนุกรม Travel-time และ Time-occupancy มีลักษณะไม่นิ่ง (Non-stationary data) ที่ระดับ Level หรือที่อันดับ $d=0$ เพราะค่า t-statistic สำหรับข้อมูล Travel-time และ Time-occupancy มีค่ามากกว่าทฤษฎีสำคัญ 1% 5% และ 10%

- **ขั้นที่ 2** ทำการปรับแก้ด้วยวิธีการหาค่าความต่างหรือ Differencing ($I(d)$)

โดยครั้งนี้จะเลือกทดสอบที่อันดับ $d=1$ ซึ่งหมายความว่า มีการหาค่าความต่างระหว่างข้อมูลปัจจุบันกับอดีต 1 ช่วงเวลา (Differencing หรือ $I(1)$)

ตารางที่ 2.4: แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Travel-time series ที่ $d=1$

Null Hypothesis: D(TIME) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 10		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.591863	0.0084
Test critical values:		
1% level	-3.531592	
5% level	-2.905519	
10% level	-2.590262	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

ตารางที่ 2.5: แสดงผลการทดสอบความนิ่งของ Time-occupancy series ที่ $d=1$

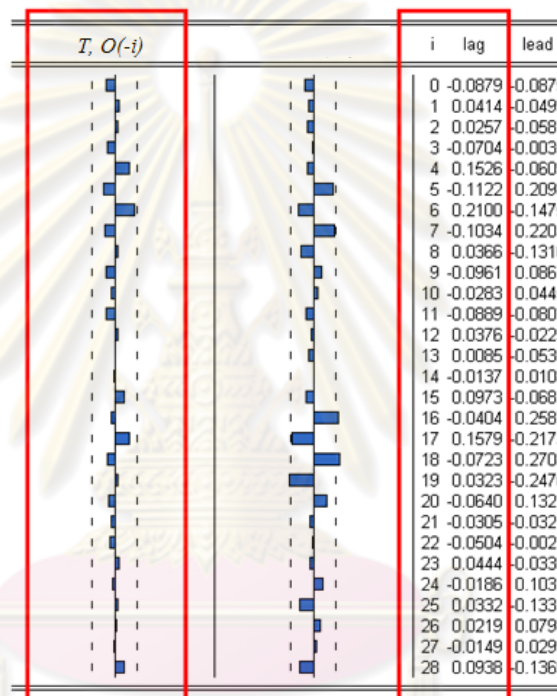
Null Hypothesis: D(OCCU) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 10		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.099719	0.0313
Test critical values:		
1% level	-3.531592	
5% level	-2.905519	
10% level	-2.590262	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลอนุกรม Travel-time และ Time-occupancy มีลักษณะนิ่ง (Stationary data) ที่ระดับ First differencing หรือที่อันดับ $d=1$ เพราะค่า t-statistic สำหรับข้อมูล Travel-time มีค่ามากกว่าทฤษฎีสำคัญ 1% 5% และ 10% และสำหรับข้อมูล Time-occupancy มีค่ามากกว่าระดับทฤษฎีสำคัญ 5% และ 10%

2.8.2 การกำหนดอันดับ p, q, r ของรูปแบบ $AR(p)$ $MA(q)$ และ $X(r)$ ตามลำดับ

- ขั้นที่ 1 กำหนดอันดับ r จากการพิจารณารูปภาพ Cross correlation

ให้นำเข้าข้อมูล Travel-time และ Time-occupancy ที่มีคุณสมบัตินิ่งแล้ว และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ภาคตัดขวาง หรือเรียกว่า Cross correlogram โดยทำการเลือกค่าข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ล้าหลัง ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ดังกราฟรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Travel-time และ Time-occupancy

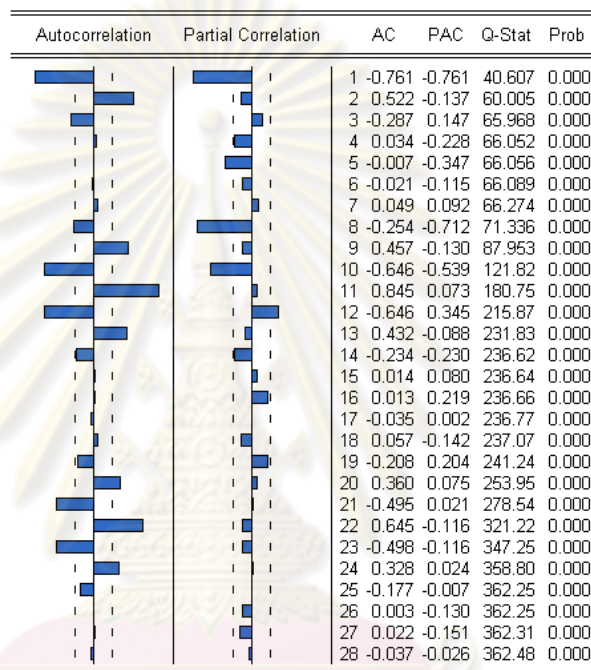


รูปที่ 2.3: กราฟแสดงความสัมพันธ์ภาคตัดขวางระหว่าง Travel-time และ Time-occupancy (Cross Correlogram)

สัญลักษณ์ T และ O หมายถึง Travel-time และ Time-occupancy ตามลำดับโดยที่ $T, O(-i)$ มีความหมายว่าค่า Time-occupancy ล้าหลังจาก Travel-time ณ เวลา i จากรูปที่ 2.3 ให้พิจารณาเฉพาะข้อมูลภายในกรอบสี่เหลี่ยม จะพบว่า ค่าเวลาล้าหลัง (Time Lag) ณ เวลาที่ $i=6$ หรือที่ $T, O(-6)$ มีขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ภาคตัดขวางระหว่างสองตัวแปรมีค่าสูงสุด หมายความว่าค่า Time-occupancy ณ เวลา $i=6$ มีความสัมพันธ์สูงที่สุดกับ Travel-time เมื่อเทียบกับเวลาอื่นๆ

- ขั้นที่ 2 กำหนดอันดับ p และ q จากการพิจารณา Correlogram of Dependent Variable

ขั้นต่อมา ให้นำเข้าข้อมูล Travel-time ที่มีลักษณะนิ่งแล้ว มาสร้างกราฟสหสัมพันธ์ในตัวเองของ Travel-time หรือเรียกว่า Correlogram of Travel-time และพิจารณาว่าเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองหรือไม่ โดยสังเกตจากค่าสัมประสิทธิ์ τ_k และ ϕ_k ณ เวลาใดๆ หากมีค่าที่ปรากฏอยู่ภายนอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ แสดงว่าเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง



รูปที่ 2.4: กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของ Travel-time ณ เวลาต่าง ๆ กัน (Correlogram of Travel-time) กรณีที่ยังไม่มีการปรับแก้

จากรูปที่ 2.4 ค่าข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา บ่งชี้ให้เห็นว่าค่า P-value ของ Q-statistics มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด อีกทั้งค่าขนาดสัมประสิทธิ์ τ_k และ ϕ_k ปรากฏอยู่ภายนอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ ในหลายช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลอนุกรมนี้ประสบปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง และให้ทำการแก้ไขปัญหานี้โดยการเพิ่มตัวแปร $ARMA(p,q)$ เข้าไปซึ่งอันดับของ p, q กำหนดได้จากการสังเกตขนาดสัมประสิทธิ์ τ_k และ ϕ_k ที่ปรากฏอยู่ภายนอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ ณ เวลาใด ๆ โดยเลือกจากข้อมูล ณ เวลาที่ให้ค่า τ_k และ ϕ_k สูงๆ ก่อน จากกราฟวิเคราะห์ทั้งสอง สามารถกำหนดรูปแบบเบื้องต้นของ $AR(p), I(d), MA(q), X(r)$ ได้เป็นดังนี้

$AR(p=1)$ ณ ค่าเวลาลำดับที่ 11 $I(d=1)$ ที่การหาค่าความต่างอันดับหนึ่ง (First differencing)

$MA(q=1)$ ณ ค่าเวลาลำดับที่ 11 $X(r=1)$ ณ ค่าเวลาลำดับที่ 6

2.8.3 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบ ARIMAX (p,d,q,r) (Estimation step)

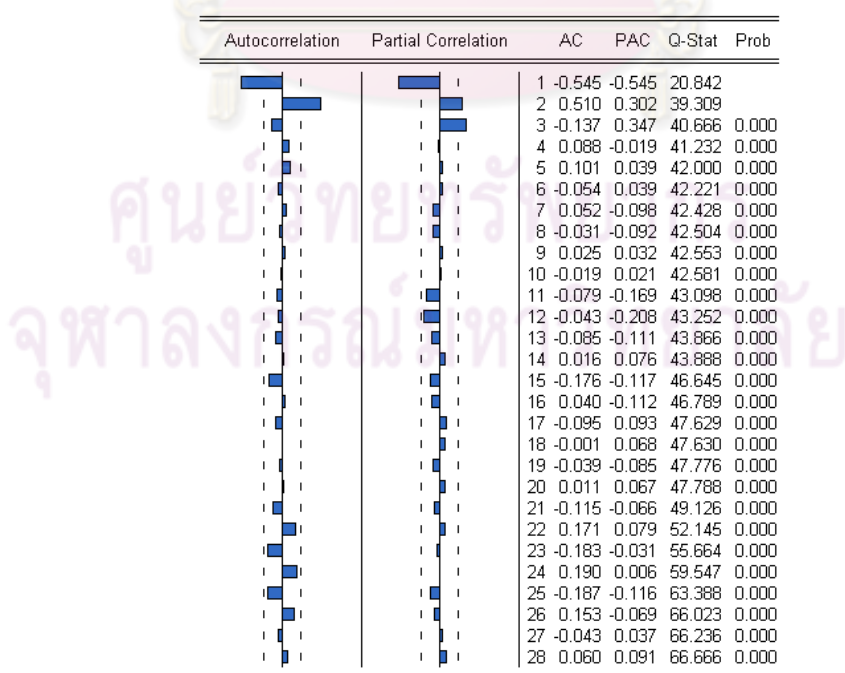
นำรูปแบบสมการเบื้องต้นที่ได้จากขั้นที่ 2 มาทำการประมาณค่าด้วยโปรแกรม Eview ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6: แสดงตัวแปรนำเข้าระบบสมการและผลการประมาณค่า

Dependent Variable: D(T)				
Method: Least Squares				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-58.83710	81.76017	-0.719630	0.4744
D(O(-6))	0.964650	0.665659	1.449166	0.1523
AR(11)	0.885922	0.034131	25.95642	0.0000
MA(11)	0.330869	0.134041	2.468409	0.0163
R-squared	0.953006	Log likelihood		-364.5407
Adjusted R-squared	0.950768	Durbin-Watson stat		3.021434
S.E. of regression	57.55534	Akaike info criterion		11.00122
Sum squared resid	208694.9			

2.8.4 การตรวจสอบรูปแบบ ARIMAX (p,d,q,r) มีค่าคงเหลือเป็น white noise (Diagnostic checking step)

- ทดสอบว่ามีปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation)หรือไม่ ด้วยวิธี Q-statistic



รูปที่ 2.5: กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือ ณ เวลาต่าง ๆ กัน

(Correlogram of Travel-time) กรณีที่ปรับแก้ไปแล้ว 1 ครั้ง

ผลที่ได้จากรูปที่ 2.5 มาจากรูปแบบสมการที่ประกอบไปด้วย $AR(11)$ $I(1)$ $MA(11)$ และ $O(-6)$ หรือ $ARIMAX(1,1,1,1)$ จะเห็นว่า ปริมาณของขนาดสัมประสิทธิ์ τ_k และ ϕ_k ที่ปรากฏอยู่ภายนอกขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ เริ่มน้อยลง แต่ยังคงประสบปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองอยู่ เพราะค่า P-value ของ Q-statistics ยังคงเป็นศูนย์ ดังนั้นต้องมีการปรับแก้ โดยการใช้หลักการเดิมคือ เพิ่มเทอม $ARMA(p,q)$ ที่มีนัยสำคัญสูงๆเข้าไปในสมการ โดยใช้วิธี Stepwise [32] จนกระทั่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ τ_k และ ϕ_k ปรากฏอยู่ภายในขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ ทุกช่วงเวลา และในขณะเดียวกันค่า P-value ของ Q-statistics ต้อง >0.05 อีกด้วย จึงจะถือว่ารูปแบบการประมาณที่ได้ ไม่เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองดังตัวอย่างรูปที่ 2.6 เป็นรูปแบบที่ปรับแก้จนกระทั่งไม่มีปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง

- ทดสอบว่ามีปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (Heteroscedasticity) หรือไม่

ทดสอบด้วยวิธี White Heteroskedasticity Test

ตารางที่ 2.7: แสดงค่าสถิติในการตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่

White Heteroskedasticity Test:

F-statistic	0.262359	Probability	0.770058
n*R-squared	0.544848	Probability	0.761531

พิจารณาจากตารางที่ 2.7 ค่าทางสถิติ (nR^2) ที่คำนวณได้ มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% [Probability > 0.05] อีกทั้งค่า P-value ของ F-statistic มีค่าเข้าใกล้ 1 อีกด้วยจึงยอมรับสมมติฐานหลักนั่นหมายความว่า ไม่เกิดปัญหา Cross correlation

สรุปผลการตรวจสอบปัญหาพบว่า รูปแบบการประมาณประสบปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเอง แต่ไม่พบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ แต่รูปแบบการประมาณที่ดีจะต้องไม่มีปัญหาทั้งสองนี้เกิดขึ้นเลย ดังนั้นจึงสรุปว่ารูปแบบการประมาณยังไม่เหมาะสม ให้กลับไปทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2.2 จนกระทั่งได้รูปแบบที่เหมาะสม จากนั้นจึงจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยรูปแบบการประมาณที่เหมาะสมสำหรับชุดข้อมูลนี้แสดงในหัวข้อถัดไป

2.8.5 รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม

$AR(p=2)$ ณ ค่าระยะเวลากการเดินทางล่าหลังอันดับที่ 9 และ 11

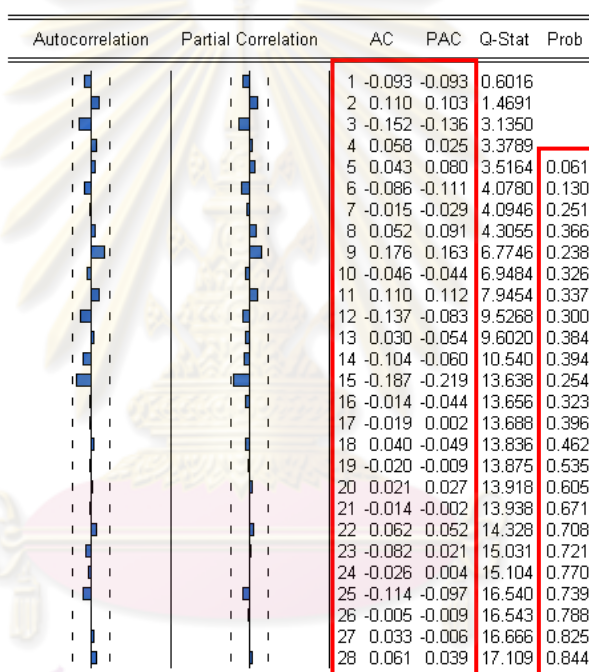
$I(d=1)$ ที่การหาค่าความต่างอันดับหนึ่ง (First differencing)

$MA(q=3)$ ณ ค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณล่าหลังอันดับที่ 1 2 และ 11

$X(r=1)$ ณ ค่าอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาล่าหลังอันดับที่ 6

ตารางที่ 2.8: แสดงตัวแปรนำเข้าระบบสมการและผลการประมาณค่า

Dependent Variable: D(T)				
Method: Least Squares				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Constant term	-50.33461	64.04207	-0.785962	0.4350
D(O(-6))	1.532085	0.616991	2.483157	0.0158
AR(11)	0.864052	0.020790	41.56049	0.0000
AR(9)	0.058227	0.021357	2.726346	0.0084
MA(2)	0.647894	0.080355	8.062913	0.0000
MA(1)	-0.515244	0.089530	-5.754976	0.0000
MA(11)	-0.289635	0.071734	-4.037605	0.0002
R-squared	0.974237	Log likelihood		-344.4043
Adjusted R-squared	0.971661	Durbin-Watson stat		2.192828
S.E. of regression	43.66722	Akaike info criterion		10.48968
Sum squared resid	114409.6			



รูปที่ 2.6: กราฟแสดงสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าคงเหลือ ณ เวลาต่างๆกัน

(Correlogram of residuals) กรณีที่ปรับแก้ไปแล้ว 2 ครั้ง

ตารางที่ 2.9: แสดงค่าสถิติในการตรวจสอบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่

White Heteroskedasticity Test:			
F-statistic	1.137091	Probability	0.327144
Obs*R-squared	2.299089	Probability	0.316781

ผลที่ได้จากรูปที่ 2.6 เกิดจาก รูปแบบสมการที่มีการปรับแก้ปัญหา ด้วยการเพิ่ม และลดตัวแปรนำเข้าไปในเทอมของ ARMA โดยหลักการนำเข้าตัวแปร ได้เลือกใช้วิธี Stepwise [32] เป็นวิธีที่มี

การตรวจสอบนัยสำคัญของตัวแปรนำเข้าทุกครั้ง ที่มีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ หากพบว่าตัวแปรนำเข้ามีนัยสำคัญต่ำมาก หรือไม่มีเลยจะมีการนำตัวแปรนั้นๆ ออกจากระบบสมการ เพื่อให้ภายในระบบสมการมีเพียงตัวแปรที่มีนัยสำคัญสูงๆ เท่านั้น

เมื่อวิเคราะห์กราฟที่ 2.6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r_k และ ϕ_k ปรากฏอยู่ภายในขอบเขต $\pm 2/\sqrt{n}$ ทุกช่วงเวลา และในขณะที่เดียวกันค่า P-value ของ Q-statistics มีค่า > 0.05 อีกด้วยจึงถือว่ารูปแบบการประมาณที่ได้ ไม่เกิดปัญหาสหสัมพันธ์ในตัวเองแล้ว อีกทั้งค่าคงเหลือ (Residuals) ยังมีคุณสมบัติการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ -1.203680 และค่ามัธยฐาน (Median) เท่ากับ -1.264070 และเมื่อพิจารณาตารางที่ 2.2 ก็ไม่พบปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่อีกเช่นกัน ดังนั้นรูปแบบการประมาณนี้ จึงเหมาะสม เพราะมีคุณสมบัติ “White noise”

รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม สามารถมีได้หลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่ดีที่สุด ควรจะมีค่าสถิติเป็นดังนี้ Adjusted R-squared, R-squared เข้าใกล้ 1.00 รวมทั้งค่า AIC ควรจะมีค่าต่ำๆ และ DW ควรจะมีค่าประมาณ 2.00 หากได้รูปแบบที่ดีที่สุดแล้ว จึงจะสามารถนำรูปแบบนั้นๆ มาประยุกต์ใช้งานได้

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

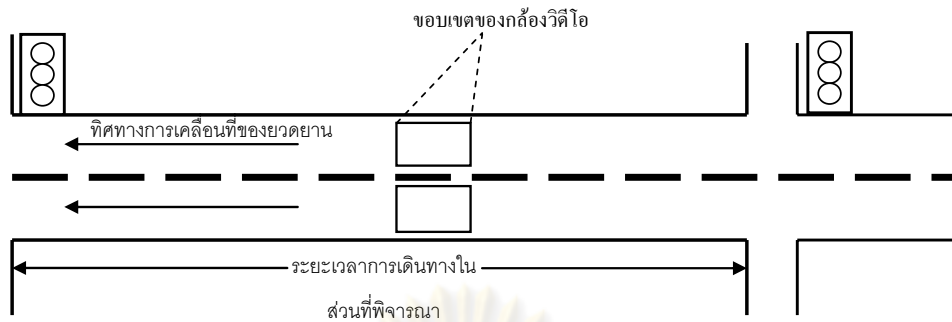
การประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยระเบียบวิธีดั้งเดิม

ในบทนี้ได้มีการแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะกล่าวถึงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเส้นถนนให้กับแบบจำลองจราจร เพื่อเอื้อต่อการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา และเพื่อการสังเกตการณ์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองตัวแปรที่สำคัญดังกล่าว ในส่วนที่สอง จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลองป้อนอินพุตเพื่อให้ได้มาซึ่งเอาต์พุตที่ต้องการ และในส่วนที่สามจะเป็นขั้นตอนต่อเนื่องมาจากส่วนแรกและส่วนที่สอง โดยการนำเอาค่าเอาต์พุตที่ได้จากส่วนที่สองซึ่งก็คือ ระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มาทำการทดสอบการประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยรูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression model) [9] เพื่อศึกษาถึงปัญหาและข้อบกพร่องของรูปแบบสมการชนิดนี้ต่อไป

3.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองจราจร

เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพในการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง ด้วยรูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression model) ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงได้มีการกำหนดคุณลักษณะถนนและเงื่อนไขการจราจรดังต่อไปนี้

- รูปแบบสัญญาณไฟจราจรสีเขียว 25 วินาที และสัญญาณไฟจราจรสีแดง 75 วินาที
- ถนนจำลองนี้ สามารถรองรับความเร็วของยานพาหนะได้สูงสุด 60 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง
- ประเภทรถยนต์ คือ รถยนต์ส่วนบุคคล เช่น รถเก๋ง
- ถนนมีความยาว 1500 เมตร
- จำนวนเลนที่พิจารณาในกรณีนี้คือ สองเลน
- ยานพาหนะเคลื่อนที่ทิศทางเดียว
- ระยะการติดตั้งกล้องวิดีโอตรวจจับยานพาหนะ ห่างจากบริเวณจุดติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ประมาณ 750 เมตร (กึ่งกลางถนน) ดังรูปที่ 3.1

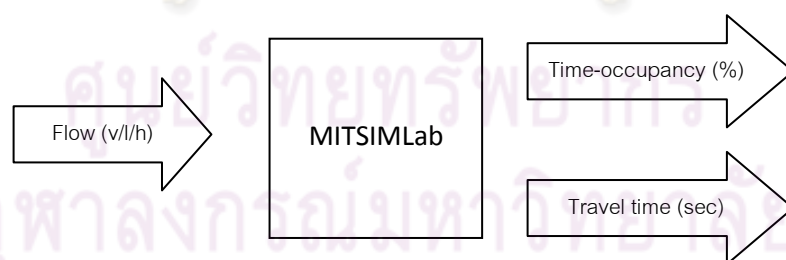


รูปที่ 3.1: แสดงคุณลักษณะของเส้นทางที่ได้ออกแบบและใช้ในการทดลอง

3.2 การออกแบบการทดลอง

ในส่วนนี้ จะเป็นส่วนต่อเนื่องจากหัวข้อที่ 3.1 หลังจากที่ได้ทำการกำหนดคุณลักษณะของเส้นทางและเงื่อนไขทางการจราจรแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการป้อนค่าการไหล (Flow) ให้แก่แบบจำลองจราจร เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ชนิดหนึ่ง ที่มีความสัมพันธ์ต่อ ค่าอัตราเข้าครอบครองเชิงเวลา ค่อนข้างมาก (ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1) ดังนั้นจึงทำการปรับค่าการไหลเพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ที่ได้มาจากการตรวจจับของกล้องวิดีโอ และในขณะเดียวกันแบบจำลองจราจรได้ทำการตรวจวัดค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel time) ของถนนอีกด้วย ดังรูปที่ 3.2

หมายเหตุ: ขอบเขตของการตรวจวัดค่าระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาดังกล่าว สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.1



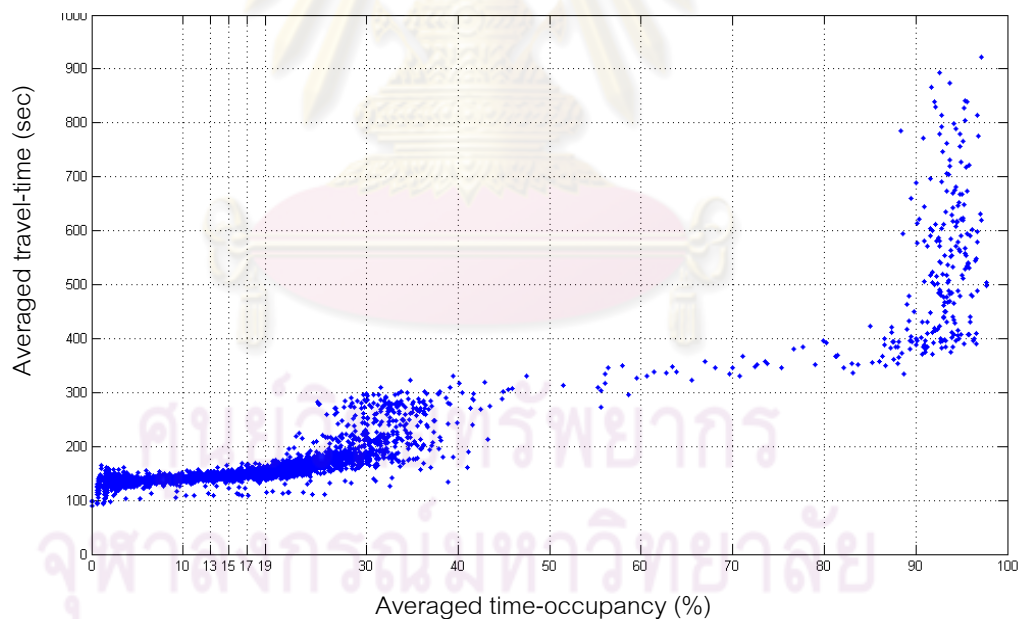
รูปที่ 3.2: แผนภาพแสดงพารามิเตอร์เข้า (input) และพารามิเตอร์ออก (output)

เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0% ถึง 100% และจากการทดลองปรับค่าการไหล 1 ค่า ภายในระยะเวลาการประมวลผล 2 ชั่วโมง แบบจำลองจะสามารถแสดงค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา และระยะเวลาการเดินทาง ในทุกๆ 1 นาที ซึ่งก็หมายความว่า ใน

การประมวลผลหนึ่งครั้ง แบบจำลองจะแสดงจำนวนจุดข้อมูลของ ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา 120 จุดข้อมูล ในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง และระยะเวลาการเดินทาง 120 จุดข้อมูลในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง เช่นกัน

ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา 120 จุดภายในช่วงเวลาการประมวลผล 2 ชั่วโมง ค่าเหล่านี้จะแกว่งอยู่ในช่วงแคบๆของค่าหนึ่ง ถ้าปรับเพิ่มค่าการไหลให้สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาโดยเฉลี่ย จะมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

เนื่องจากเราต้องการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา จึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าการไหลที่หลากหลายระดับ เพื่อให้ทำให้แบบจำลองสามารถให้ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่มีค่าตั้งแต่ 0% ถึง 100% ผลที่ได้จากการปรับค่าการไหลที่หลากหลายระดับนี้ แสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นมาจากการปรับค่าการไหลตั้งแต่ 100 จนกระทั่งถึง 2500 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งเลน ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio)



รูปที่ 3.3: แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา

3.3 การประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางด้วยรูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear regression model)

ในส่วนสุดท้ายของบทนี้ จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง โดยเป็นแนวคิดที่ถูกนำเสนอ

ขึ้นมาจากงานวิจัยในอดีต พร้อมทั้งชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่อง หรือปัญหาที่เกิดจากการนำรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง มาใช้ในการประมาณระยะเวลาการเดินทางซึ่งจะนำมาสู่แนวทางการแก้ไข ปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3.3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง เป็นสถิติการวิเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) และตัวแปรตาม (Dependent variable) ตัวแปรอิสระ มักเรียกว่า ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรทำนาย (Predicted Variable) ส่วนตัวแปรตามมักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response variable)

3.3.2 ชนิดของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบเดียว (Single linear regression) เป็นรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม อย่างละ 1 ชนิดเท่านั้น และ การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบหลากหลาย (Multiple linear regression) เป็นรูปแบบที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ชนิด และตัวแปรตาม 1 ชนิด แต่เนื่องจากงานวิจัยในอดีตที่ประยุกต์ใช้สมการ การถดถอยเชิงเส้นตรง มีเป้าหมายในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จากการใช้เพียงค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา เท่านั้น ซึ่งเป็นการใช้ตัวแปรอิสระเพียงแค่ตัวแปรเดียว ดังนั้นชนิดของรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดคือ การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบเดียว (Single linear regression) ดังนั้นในหัวข้อย่อยถัดไปนี้ จะกล่าวเน้นในส่วนของสมการการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบเดียวเท่านั้น

3.3.3 รูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบเดียว (Single linear regression equation)

$$Y = a + bX \quad (3.1)$$

Y คือ ตัวแปรตาม

X คือ ตัวแปรอิสระ

a คือ ค่าคงที่

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

3.3.4 การประยุกต์ใช้รูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ของงานวิจัยในอดีต [9]

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอแนวคิด วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 5) แบบแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ 3 ส่วนด้วยกัน (Pieces-wise linear method) โดยมีรากฐานมาจากขอบเขตของค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ดังนี้

สภาวะการจราจรคล่องตัว (Freeflow)	$0 \leq O^{free} < A$
สภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (Saturated-flow)	$A \leq O^{sat} < B$
สภาวะการจราจรหนาแน่นสูงสุด (Over-saturated flow)	$O^{over} \geq B$

เนื่องจากวิธีดั้งเดิม [9] ได้นำเสนอความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง ระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเชิงเส้นตรง โดยนำ (3.1) มาประยุกต์ใช้งาน ดังนั้น ในการคำนวณระยะเวลาการเดินทาง ของแต่ละส่วน จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (b) ในสมการ ที่แตกต่างกันไป โดยที่

Y คือ ค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณได้

X คือ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา

A คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดของอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ในสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

B คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดของอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ในสภาวะการจราจรหนาแน่นสูงสุด หน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.5 ปัญหาที่เกิดจากการประยุกต์ใช้รูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบแบ่งส่วน

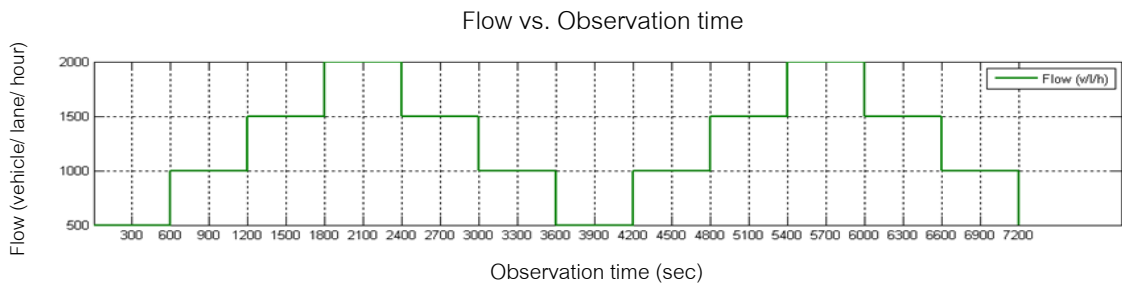
ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จากการประยุกต์ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบแบ่งส่วน เพื่อประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยอาศัยค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา การศึกษาจะเริ่มจาก กำหนดคุณลักษณะของเส้นถนนตามหัวข้อ 3.1 และผลของการแบ่งสภาวะการจราจร ได้อาศัยขอบเขตของค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ ดังนี้

สภาวะการจราจรคล่องตัว (Freeflow)	$0\% \leq O^{free} < 17\%$
สภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (Saturated-flow)	$17\% \leq O^{sat} < 90\%$
สภาวะการจราจรหนาแน่นสูงสุด (Over-saturated flow)	$O^{over} \geq 90\%$

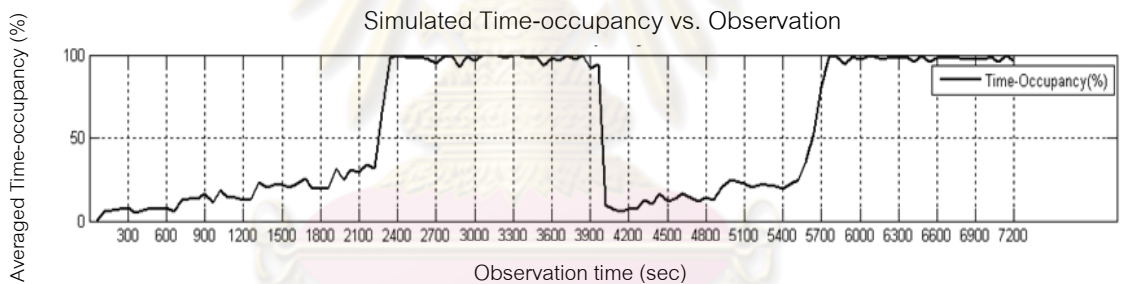
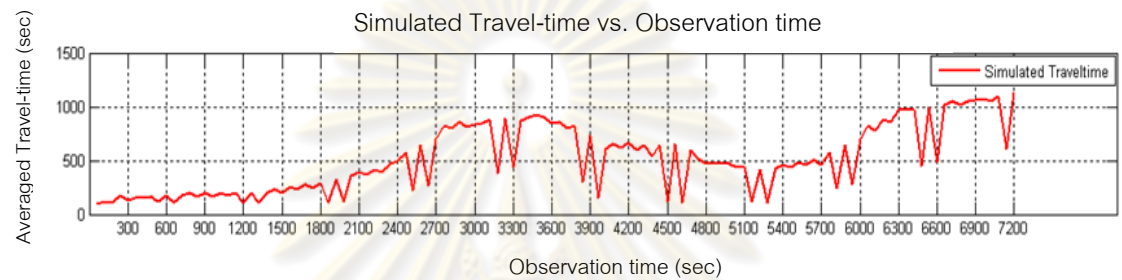
ในขั้นตอนต่อมา ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลของการทดสอบ และนำมาศึกษาถึงปัญหาต่อไป โดยชุดข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่ป้อนให้แก่แบบจำลองจะมีลักษณะดังกราฟรูปที่ 3.4 และชุดข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลองจะแสดงดังกราฟรูปที่ 3.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ: รูปแบบการประมาณ และผลของการประมาณ ได้มาจากโปรแกรม (Eviews) ซึ่งช่วยในการสร้าง รูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

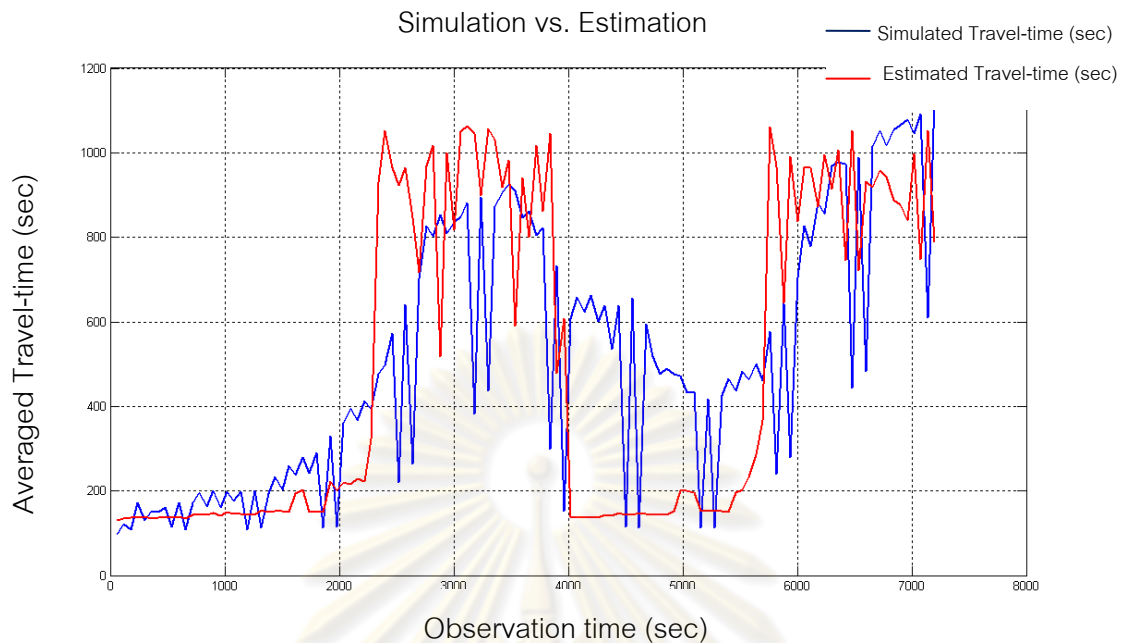


รูปที่ 3.4: กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ขาเข้า ที่ป้อนให้แก่แบบจำลอง



รูปที่ 3.5: กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ขาออก ที่ได้จากแบบจำลอง

ในขั้นตอนต่อมา สมการที่ (3.1) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จากการนำชุดข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ ในรูปที่ 3.5 มาทดสอบ โดยการกำหนดให้ ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา เป็นพารามิเตอร์ขาเข้าของการถดถอยเชิงเส้นตรง และให้ระยะเวลาการเดินทาง เป็นพารามิเตอร์ขาออกที่ถูกประมาณได้จากรูปแบบสมการ การถดถอยเชิงเส้นตรง และผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6: กราฟแสดงประสิทธิภาพในการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel Time) ด้วยวิธีแบ่งส่วน (Piece-wise Linear Method) เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากกราฟในรูปที่ 3.6 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel Time) โดยอาศัยข้อมูล ค่าอัตราการใช้ครองครองเชิงเวลา (Time-Occupancy ratio) แบบการถดถอยเชิงเส้นตรงคงที่ (Static Linear Regression Model) ด้วยวิธี Piece-wise Linear (เส้นกราฟสีแดง) พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองจรรยาจร (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) และจากการวิเคราะห์กราฟพบว่า

- พิจารณากราฟเส้นสีน้ำเงิน พบว่า ณ จุดการเปลี่ยนสถานะ ในช่วงเริ่มต้น ซึ่งมีปริมาณยานพาหนะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้ระยะเวลาการเดินทางที่ได้จากแบบจำลอง (Simulated Travel Time) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่จะเพิ่มในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน แต่ในทางกลับกัน เมื่อวิเคราะห์ที่กราฟเส้นสีแดง พบว่า ณ จุดการเปลี่ยนสถานะในช่วงเริ่มต้นจะให้ค่าระยะเวลาการเดินทาง โดยประมาณ (Estimated Travel Time) ที่เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การประมาณระยะเวลาการเดินทางโดยไม่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตจะให้ค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเดินทางจากแบบจำลอง (Simulated Travel Time)

- พิจารณากราฟเส้นสีน้ำเงิน พบว่าที่สภาวะ เดียวกัน ณ เวลาต่างกัน จะให้ค่าระยะเวลาการเดินทางที่แตกต่างกัน เนื่องด้วยสาเหตุที่เกิดจากเหตุการณ์ก่อนหน้า ส่งผลให้ค่าระยะเวลาการเดินทางปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในทางกลับกัน เมื่อพิจารณากราฟเส้นสีแดง พบว่าที่สภาวะเดียวกัน ณ เวลาต่างกัน จะให้ค่าระยะเวลาการเดินทางเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก Piece-wise Linear Method จะมีแนวคิดในลักษณะแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบคงที่ (Static Linear Regression Model)

จากการทดลองด้านบน สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง ในลักษณะการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบคงที่ (Static Linear Regression Model) พบว่า ความถูกต้องในการประมาณค่าระยะเวลาในการเดินทาง ค่อนข้างต่ำ (ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงเครื่องมือการคำนวณ ที่นำมาใช้ประเมินค่าผิดพลาดของการประมาณด้วยวิธีนี้ในเชิงปริมาณ) เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองจรวด เพราะเป็นรูปแบบการวิเคราะห์ที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนสภาวะ ที่เกิดขึ้นในอดีต ดังนั้นจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง หากมีการประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งวิธีการนี้ อาจจะสามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ให้ดียิ่งขึ้นจากวิธีดั้งเดิมได้

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประมาณระยะเวลาการเดินทางที่นำเสนอ

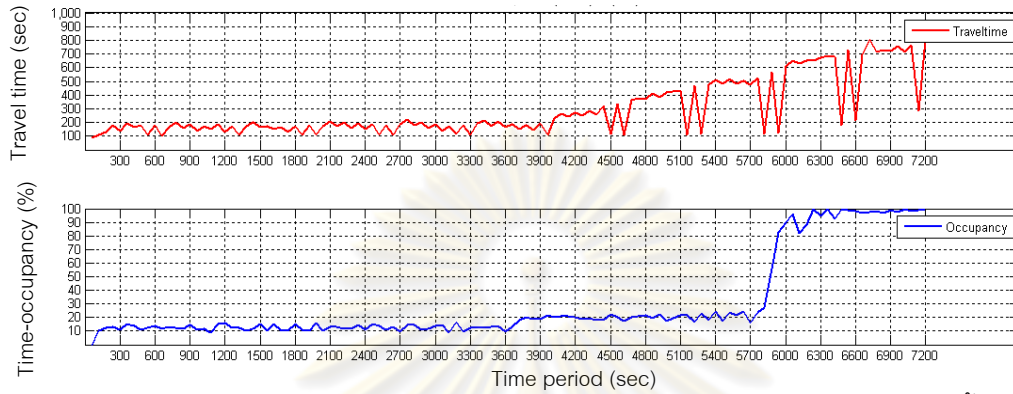
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง การนำเสนอแบบแผนการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากเหตุการณ์ในอดีตส่งผลกระทบต่อมายังปัจจุบัน และได้คัดเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมสามารถช่วยให้อำนวยต่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะดังกล่าว ซึ่งเรียกว่ารูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงถดถอยที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางเวลาหรือที่เรียกกันว่า Time Series Regression Analysis โดยได้ประยุกต์ใช้ Auto-regressive Integrated Moving Average with External Input (AR/IMA) ซึ่งเป็นหนึ่งในกลุ่มของการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมทางเวลา โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้โปรแกรมช่วยสร้างรูปแบบการประมาณทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับแบบแผนที่ได้นำเสนอทั้งหมด 8 แบบแผนด้วยกัน โดยแบบแผนที่ได้นำเสนอเหล่านี้ ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1

4.1 แบบแผนที่นำเสนอ

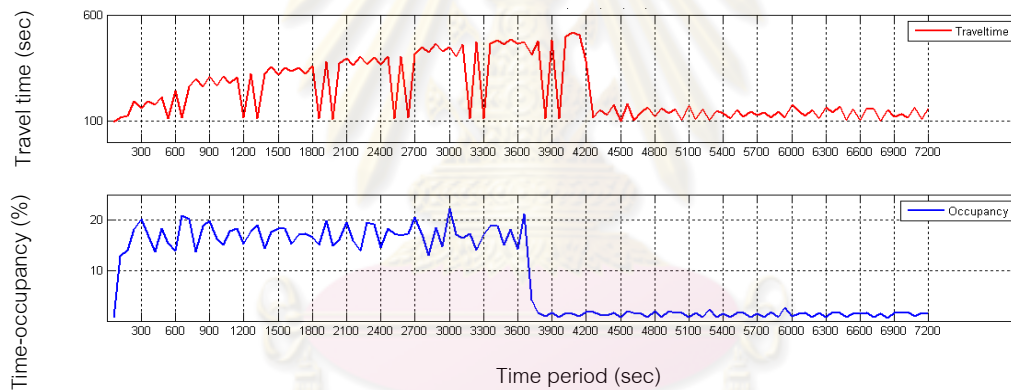
แบบแผนที่นำเสนอมีทั้งสิ้น 8 แบบแผนซึ่งแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจร โดยแต่ละแบบแผนการเปลี่ยนสภาวะการจราจรที่นำเสนอทั้งหมดนี้ ได้คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากเหตุการณ์ในอดีต และเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าแบบแผนที่นำเสนอเหล่านี้สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางได้จริง จึงได้เลือกใช้รูปแบบอนุกรมทางเวลา (Time Series Model) มาช่วยในการสร้างรูปแบบการประมาณทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับแบบแผนการเปลี่ยนสภาวะการจราจรทั้งหมดที่ได้นำเสนอ โดยแบ่งออกเป็นสามลักษณะ ดังต่อไปนี้

- การเปลี่ยนแปลงสภาวะจราจรขาขึ้น (Up state transition) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจร จากระดับหนาแน่นต่ำ ไปสู่ระดับที่สูงกว่า ดังตัวอย่างกราฟรูปที่ 4.1
- การเปลี่ยนแปลงสภาวะจราจรขาลง (Down state transition) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจร จากระดับหนาแน่นสูง ไปยังระดับที่ต่ำกว่า ดังตัวอย่างกราฟรูปที่ 4.2
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะจราจร (No change of state) หมายถึง การจราจรที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปสู่สภาวะอื่น แต่มีการเปลี่ยนแปลงภายในสภาวะเดิมนั้น ดังตัวอย่างกราฟรูปที่ 4.3

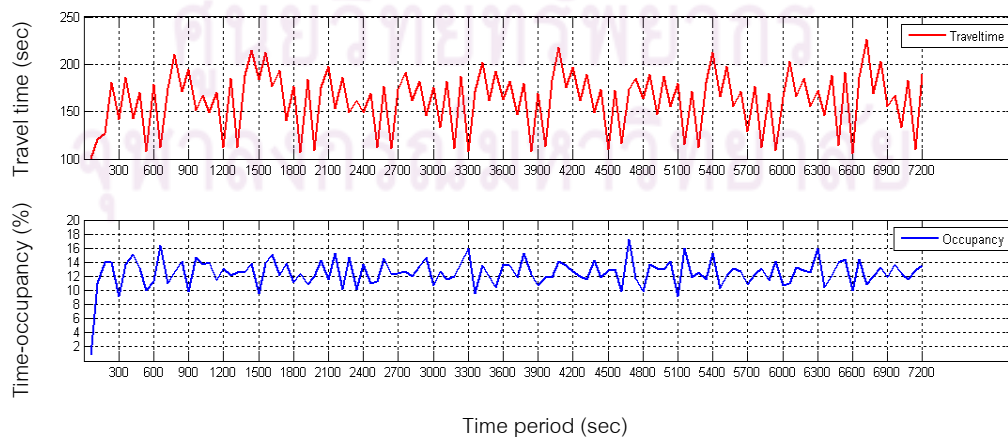
สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำหนด สภาวะการจราจร จากขอบเขตของค่าอัตราการเข้า
 ครอบครองเชิงเวลา ซึ่งจะอธิบายถึงหลักการแบ่งสภาวะ ในหัวข้อย่อยถัดไป



รูปที่ 4.1: ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจรขาขึ้น



รูปที่ 4.2: ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจรขาลง



รูปที่ 4.3: ตัวอย่างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจรคงที่

4.1.1 การจำแนกสภาวะการจราจรโดยสนใจสภาวะที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาในอดีตด้วย

การจำแนกสภาวะการจราจรสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งออกเป็นสามสภาวะด้วยกัน ได้แก่ สภาวะการจราจรคล่องตัว (Free flow state) สภาวะการจราจรติดขัดระดับปานกลาง (Saturated flow state) และสภาวะการจราจรคับคั่ง (Over-saturated flow state) โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากช่วงเวลาในอดีตถึงปัจจุบันได้อย่างชัดเจน จึงทำให้รูปแบบของสภาวะการจราจรที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งแยกตามสถานการณ์ของการเปลี่ยนสภาวะการจราจรที่คำนึงถึงสภาวะในอดีตได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1: แสดงการจำแนกสภาวะการจราจร

<i>Previous state</i>	<i>Current State</i>	<i>Symbol</i>
Free flow State	Free flow State	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$
Free flow State	Saturated flow State	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$
Saturated flow State	Saturated flow State	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$
Saturated flow State	Over-saturated flow State	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$
Over-saturated flow State	Over-saturated flow State	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$
Free flow State	Over-saturated flow State	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$
Over-saturated flow State	Free flow State	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$
Saturated flow State	Free flow State	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

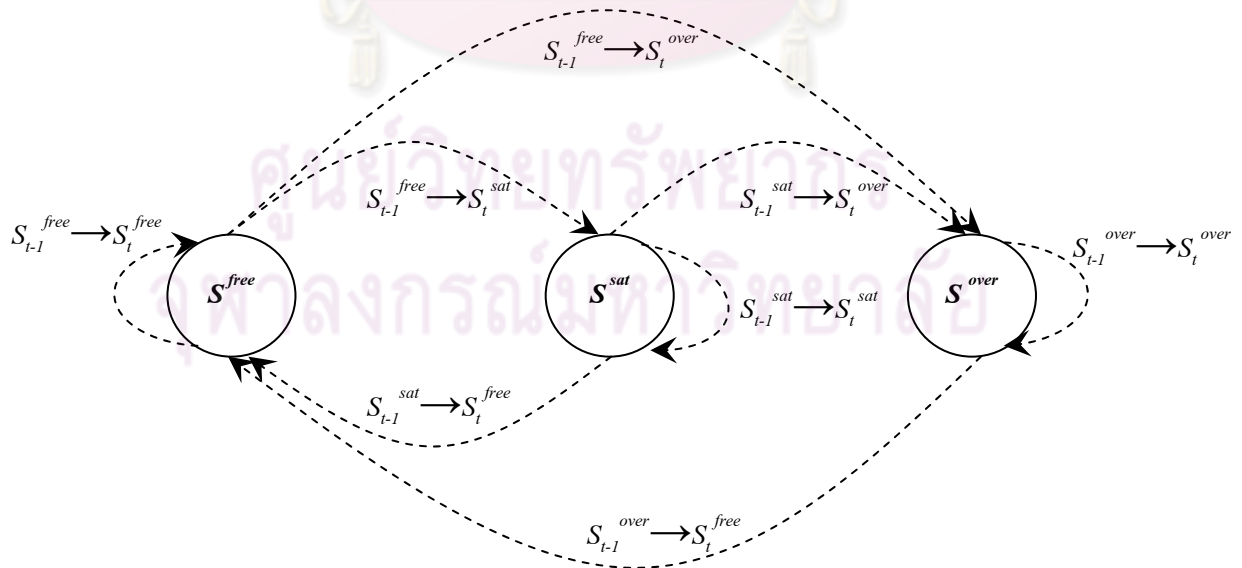
4.1.2 การจำแนกสภาวะจราจรจากขอบเขตค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา

สืบเนื่องมาจากหัวข้อที่ 4.1.1 ได้มีการจำแนกสภาวะการจราจรออกเป็น 8 รูปแบบ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงการแบ่งแต่ละรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะ โดยอาศัยขอบเขตของค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2: การจำแนกสถานะโดยอาศัยขอบเขตของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา

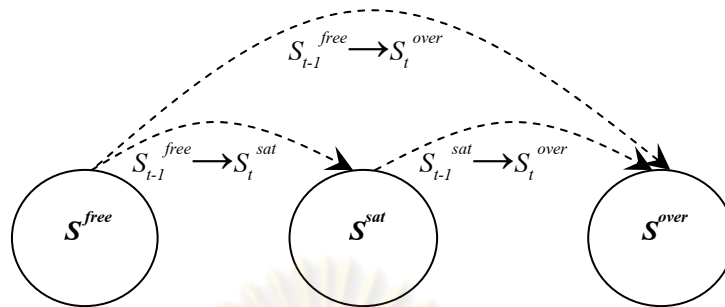
Symbol	Previous O_{t-1} range (%)	Present O_t range (%)
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$	[0,17)	[0,17)
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	[0,17)	[17,90)
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$	[0,17)	[90,100]
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$	[17,90)	[17,90)
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	[17,90)	[90,100]
$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$	[90,100]	[90,100]
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$	[17,90)	[0,17)
$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$	[90,100]	[0,17)

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการนำเสนอรูปแบบจรรยาที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย โดยอาศัยค่าขอบเขตของอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการแบ่งสถานะการจราจร ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจถึงสิ่งที่นำเสนอ จึงได้สร้างแผนภาพโดยรวมของแนวคิดทั้งหมดเป็นดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4: แสดงแผนภาพโดยรวมของแผนการเปลี่ยนแปลงสถานะการจราจรที่นำเสนอ

4.2 หลักการวิเคราะห์สภาวะการจราจรขาขึ้น (Up state transition)

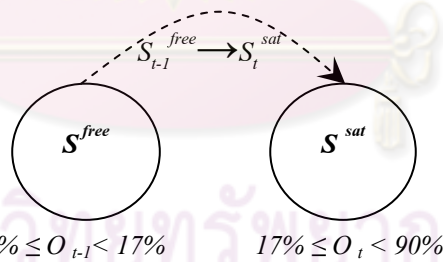


รูปที่ 4.5: แสดงแผนภาพการเปลี่ยนสภาวะขาขึ้นสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

$$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over} \text{ และ } S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$$

ในหัวข้อนี้เป็นการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนสภาวะจราจรขาขึ้น และนำผลที่ได้ มาวิเคราะห์หารูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 จะพบว่า $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$, $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ และ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$ เป็นรูปแบบการเปลี่ยนสภาวะการจราจรแบบขาขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

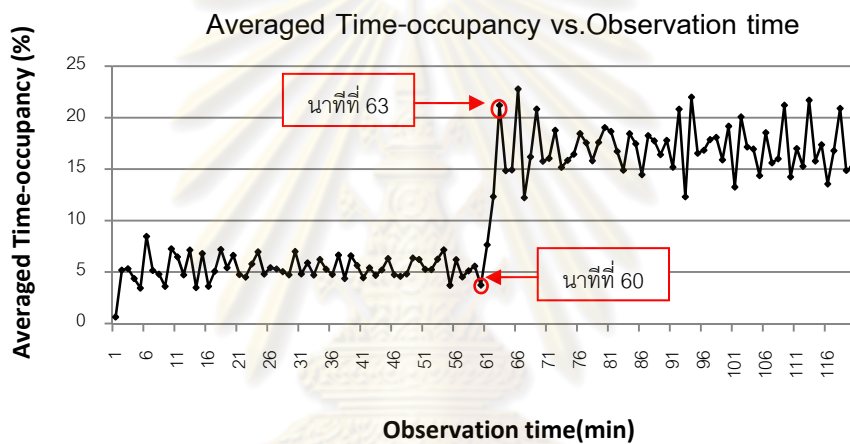
4.2.1 วิเคราะห์รูปแบบสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$



รูปที่ 4.6: แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

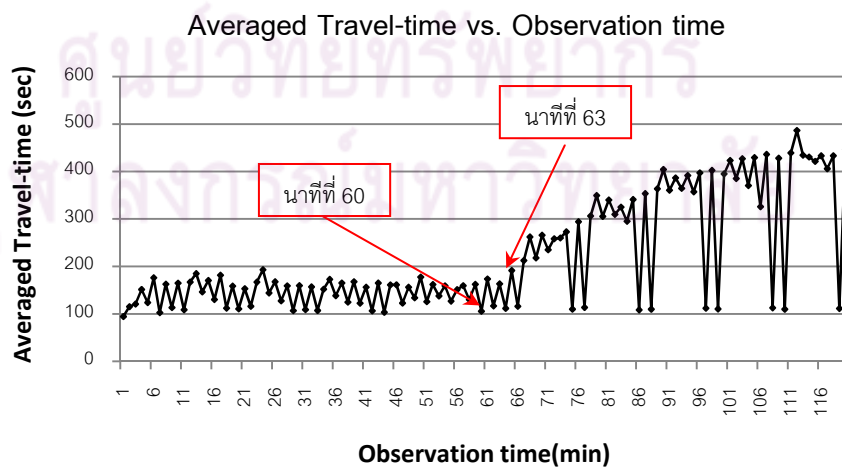
พิจารณารูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงแผนการเปลี่ยนสภาวะ ที่ขึ้นกับค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา โดยสภาวะคล่องตัว ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ (S_{t-1}^{free}) เปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลาที่ t (S_t^{sat})

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสมภาวะจราจรขาขึ้น โดยมีการเปลี่ยนสมภาวะจากคล่องตัว (Free flow state) ไปสู่หนาแน่นปานกลาง (saturated flow state) แต่ก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งผลที่จะนำไปวิเคราะห์นั้น จะต้องทำการกำหนดคุณลักษณะถนนเสียก่อน ซึ่งจะเป็นไปตามหัวข้อ 3.1 และทำการทดลองบ่อนค่าการไหลให้แก่แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 1) ในลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา จากสภาวะในอดีตไปยังสภาวะปัจจุบัน โดยที่แบบจำลองจราจรจะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางและชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาออกมา ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา

(Time-occupancy) ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$



รูปที่ 4.8: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

กราฟที่ได้แสดงข้างต้นนั้น เป็นเพียงหนึ่งในการทดลองทั้งหมดของรูปแบบสภาวะการจราจร ลักษณะนี้ ($S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$) เนื่องจากในการทดลองจะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าการไหล (Flow) หลากหลายค่าด้วยกัน (ในลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งไปยังอีกสภาวะหนึ่งได้) โดยที่ค่าการไหล สามารถสะท้อนไปยังค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา

วิเคราะห์กราฟรูปที่ 4.7 จะพบว่าค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่ปรากฏในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะจะมีปริมาณค่อนข้างน้อยมาก เนื่องจากระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงสภาวะเกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงนั้น พบว่าค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาเพื่อเปลี่ยนแปลงไปสู่สภาวะที่สูงกว่า ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางจะมีความล่าช้ามากกว่า ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งยังคงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เสมือนอยู่ภายในสภาวะเดิมซึ่งก็คือการจราจรคล่องตัว

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทาง และอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลาสำหรับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงจราจรลักษณะนี้จะมี ความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรงร่วมอยู่ด้วย ดังนั้นหากมีการนำเสนอการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากวิธีการตามรอยค่าในอดีตได้ อาจจะเป็นวิธีที่สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณได้ดีมากกว่าวิธีดั้งเดิม

ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนการที่ได้นำเสนอนี้ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือช่วยทางคณิตศาสตร์ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เรียกว่า Time Series Regression Analysis

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสภาวะ

การจราจรแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

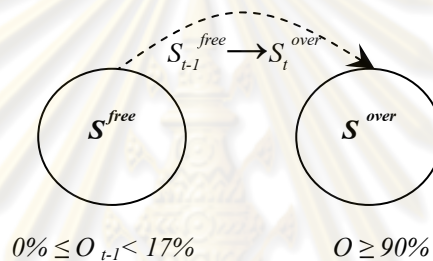
เนื่องจากรูปแบบสภาวะการจราจรนี้ ($S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$) เป็นรูปแบบที่ให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรเท่านั้น ดังนั้นในขั้นตอนของการเลือกชุดข้อมูล (เพื่อนำไปใช้หารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม) จะให้ความสนใจเฉพาะส่วนของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอย่างเดียวกัน อาทิเช่น พิจารณาที่กราฟตัวอย่าง 4.7 และ 4.8 ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งแยกออกเป็นสามส่วน โดยข้อมูลที่สนใจจะถูกตัดที่นาทีที่ 60 ถึงนาทีที่ 63 ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดัง

สมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (p,d,q,r) [20]-[22]

$$T_t = \mu + \sum_{n=0}^r \beta_n O_{t-n} + \frac{(1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q)}{(1 - B)^d (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)} \varepsilon_t \quad (4.1)$$

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\mu = 0.0008$, $\beta_1 = 0.0739$, $\beta_0 = -0.1254$, $\theta_1 = -0.9713$, $\phi_1 = -0.5334$ และ $\phi_2 = -0.2659$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX $(2,1,1,2)$

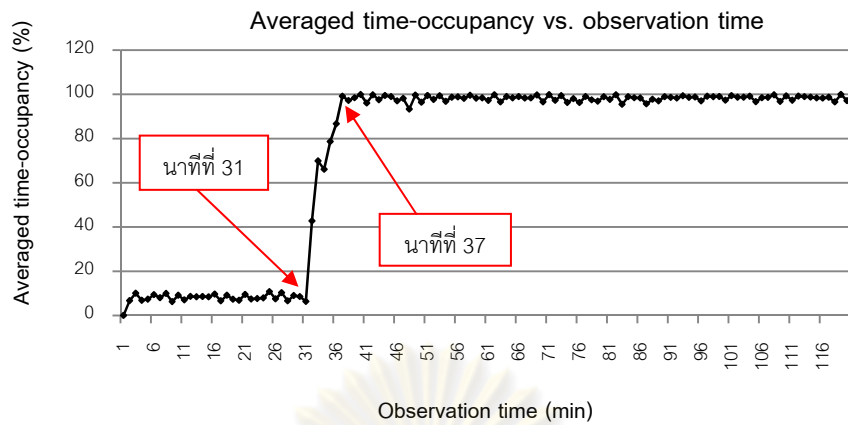
4.2.2 วิเคราะห์รูปแบบสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$



รูปที่ 4.9: แผนภาพการเปลี่ยนสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$

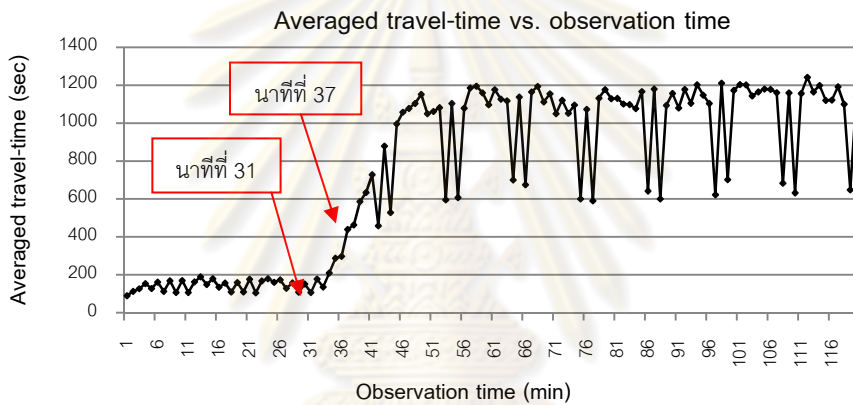
พิจารณารูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงแผนการเปลี่ยนสภาวะที่ขึ้นกับค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา โดยที่ สภาวะคล่องตัว ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ (S_{t-1}^{free}) เปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ณ ช่วงเวลาที่ t (S_t^{over})

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจร จากสภาวะคล่องตัว ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ (Free flow state) เปลี่ยนไปสู่ คับคั่ง ณ ช่วงเวลาที่ t (Over-saturated flow state) จากการทดลองป้อนค่าการไหลให้แก่ แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 2) ในลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา จากสภาวะในอดีต ที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลา $t-1$ ไปยังสภาวะปัจจุบัน ณ ช่วงเวลา t โดยที่แบบจำลองจราจร จะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาออกมา ดังกราฟตัวอย่างรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาเวลา (Time-occupancy)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$



รูปที่ 4.11: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จากแบบจำลองจราจร

สำหรับสถานะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$

วิเคราะห์กราฟรูปที่ 4.10 จะพบว่าค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาที่ปรากฏในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะ จะมีปริมาณค่อนข้างน้อยมากเช่นเดียวกับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$ ในระหว่างการเปลี่ยนแปลง ไปสู่สถานะที่มีความหนาแน่นสูงกว่านั้น พบว่า ขณะที่ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเวลา จะสังเกตเห็นว่า ในระยะแรกของการเปลี่ยนสถานะ ค่าระยะเวลาการเดินทางจะเปลี่ยนแปลงล่าช้ามากกว่าประมาณ 2 นาที หลังจากนั้นจึงจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเวลา

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทางและอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาสำหรับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงจราจรลักษณะนี้จะมีความสัมพันธ์กันไม่เป็นเชิงเส้นตรงร่วมอยู่ด้วยเช่นเดียวกับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

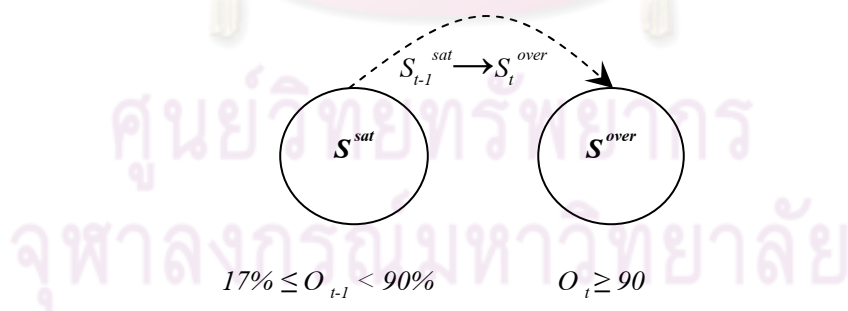
ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนการที่ได้นำเสนอนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือช่วยทางคณิตศาสตร์ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เรียกว่า Time Series Regression Analysis

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสภาวะการจราจรแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$

เนื่องจากรูปแบบสภาวะการจราจรนี้ ($S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$) เป็นรูปแบบที่ให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรเท่านั้น ดังนั้นในขั้นตอนของการเลือกชุดข้อมูล (เพื่อนำไปใช้หารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม) จะให้ความสนใจเฉพาะส่วนของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอย่างเดียวเช่นกัน ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ *ARIMAX* (p,d,q,r) [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\mu = 28.64$, $\beta_0 = 0.31$, $\beta_3 = -0.37$, $\theta_1 = -0.52$, $\theta_3 = -0.42$, $\phi_5 = 0.99$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ *ARIMAX* ($1, 1, 2, 2$)

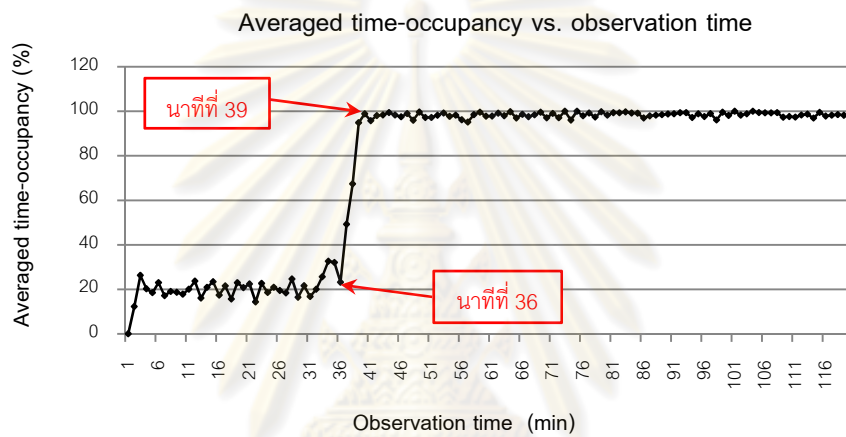
4.2.3 วิเคราะห์รูปแบบสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$



รูปที่ 4.12: แผนภาพการเปลี่ยนสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$

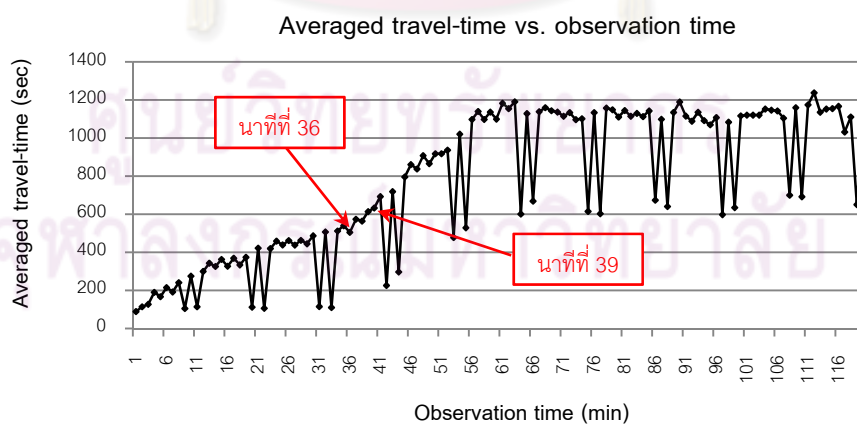
พิจารณารูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงแผนการเปลี่ยนสภาวะที่ขึ้นกับ ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา โดยที่ สภาวะหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ (S_{t-1}^{sat}) เปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ณ ช่วงเวลาที่ t (S_t^{over})

หัวข้อนี้จะกล่าวถึง การวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะการจราจรหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ (Saturated flow state) ไปสู่คั้ง ณ ช่วงเวลาที่ t (Over-saturated flow state) จากการทดลองป้อนค่าการไหล ให้แก่แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 3) ในลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา จากสถานะในอดีต ไปยังสถานะปัจจุบัน โดยที่แบบจำลองจราจรจะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาออกมา ดังกราฟตัวอย่างรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$



รูปที่ 4.14: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$

วิเคราะห์กราฟรูปที่ 4.13 และ 4.14 จะพบว่าค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่ปรากฏในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะ จะมีปริมาณค่อนข้างน้อยมาก เช่นเดียวกับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$ และ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะที่มีความหนาแน่นสูงกว่านั้น พบว่า ขณะที่ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเวลา จะสังเกตเห็นว่าค่าระยะเวลาการเดินทางจะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเวลา เช่นกัน แต่ทั้งนี้ หากพิจารณาเทียบกับกรณี $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$ จะพบว่า ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาของทั้งสองรูปแบบสามารถ มีค่าที่เท่ากันได้ แต่ค่าระยะเวลาการเดินทางของสภาวะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$ จะมีค่าที่สูงมากกว่า จึงสรุปได้ว่าค่าระยะเวลาการเดินทาง มิได้ขึ้นตรงต่อ ค่าอัตราส่วนการเข้าครอบครองเชิงเวลาเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ก่อนหน้าว่ามีลักษณะเป็นอย่างไรด้วย

ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงการประยุกต์ใช้แผนการที่ได้นำเสนอนี้ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือช่วยทางคณิตศาสตร์ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต เรียกว่า Time Series Regression Analysis

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสภาวะการจราจรแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$

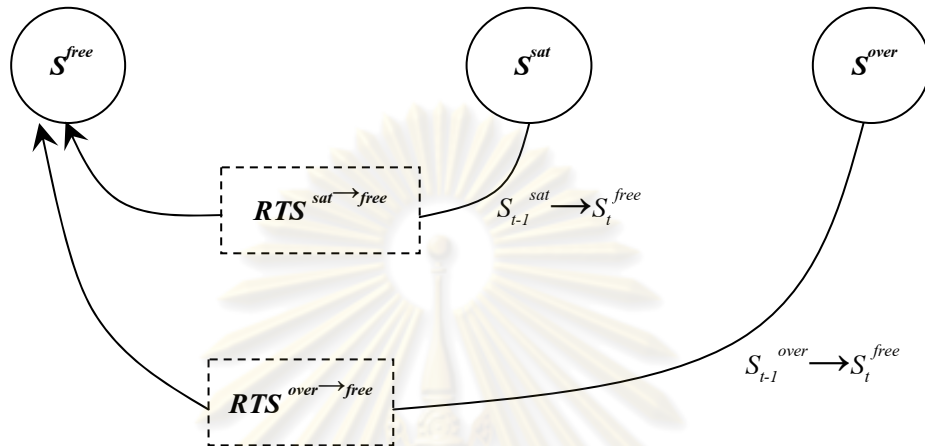
เนื่องจากรูปแบบสภาวะการจราจรนี้ ($S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$) เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะเช่นเดียวกับสองรูปแบบแรกที่ได้นำเสนอ จึงให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงของการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรเท่านั้น ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(p,d,q,r)$ [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\mu = -7.08$, $\beta_8 = 3.34$, $\theta_1 = -0.96$ และ $\phi_1 = -0.36$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(1,1,1,1)$

ในหัวข้อถัดไป ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบการจราจรขาลง และนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง มาวิเคราะห์หารูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางที่

เหมาะสม เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 จะพบว่า $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ และ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ เป็นรูปแบบสถานะการจราจรแบบขาหลังทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

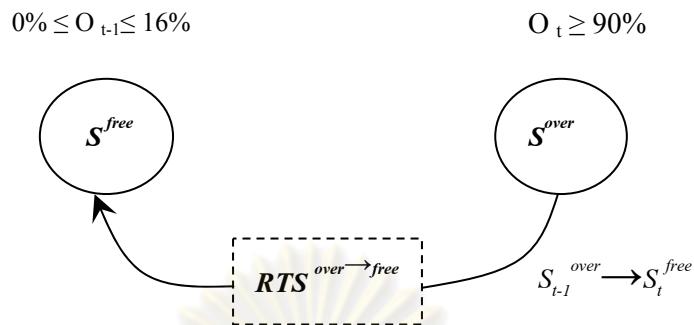
4.3 หลักการวิเคราะห์สภาวะการจราจรขาหลัง (Down state transition)



รูปที่ 4.15: แผนภาพการเปลี่ยนสภาวะขาหลังสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ และ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

เนื่องจากในสภาวะการเปลี่ยนแปลงของการจราจรขาหลัง ค่าระยะเวลาการเดินทางของสภาวะที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ $t-1$ จะส่งผลกระทบต่อ ค่าระยะเวลาการเดินทางของสภาวะที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ t และอิทธิพลในลักษณะนี้ เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า การเปลี่ยนแปลงของการจราจรขาขึ้นมาก ดังนั้นการนำเสนอ การประมาณระยะเวลาการเดินทาง เพียงแค่พิจารณาค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาที่ปรากฏ ณ เวลาของการเปลี่ยนแปลงสภาวะอย่างเดียว ยังไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงความถูกต้องในการประมาณ สำหรับการเปลี่ยนสภาวะขาหลังได้ จึงได้นำเสนอให้มีการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง ภายใน สภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่ยังคงหลงเหลือมาจากสภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (S_{t-1}^{sat}) และเหลือมล้ำเข้ามายังสภาวะจราจรคล่องตัว ณ ช่วงเวลา t (S_t^{free}) หรือ $RTS^{sat \rightarrow free}$ และสำหรับสภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่ยังคงหลงเหลือมาจากสภาวะจราจรคับคั่ง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (S_{t-1}^{over}) และเหลือมล้ำเข้ามายังสภาวะจราจรคล่องตัว ณ ช่วงเวลา t (S_t^{free}) หรือ $RTS^{over \rightarrow free}$

4.3.1 วิเคราะห์สภาวะการจราจรขาลงสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$



รูปที่ 4.16: แผนภาพการเปลี่ยนสภาวะขาลงสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

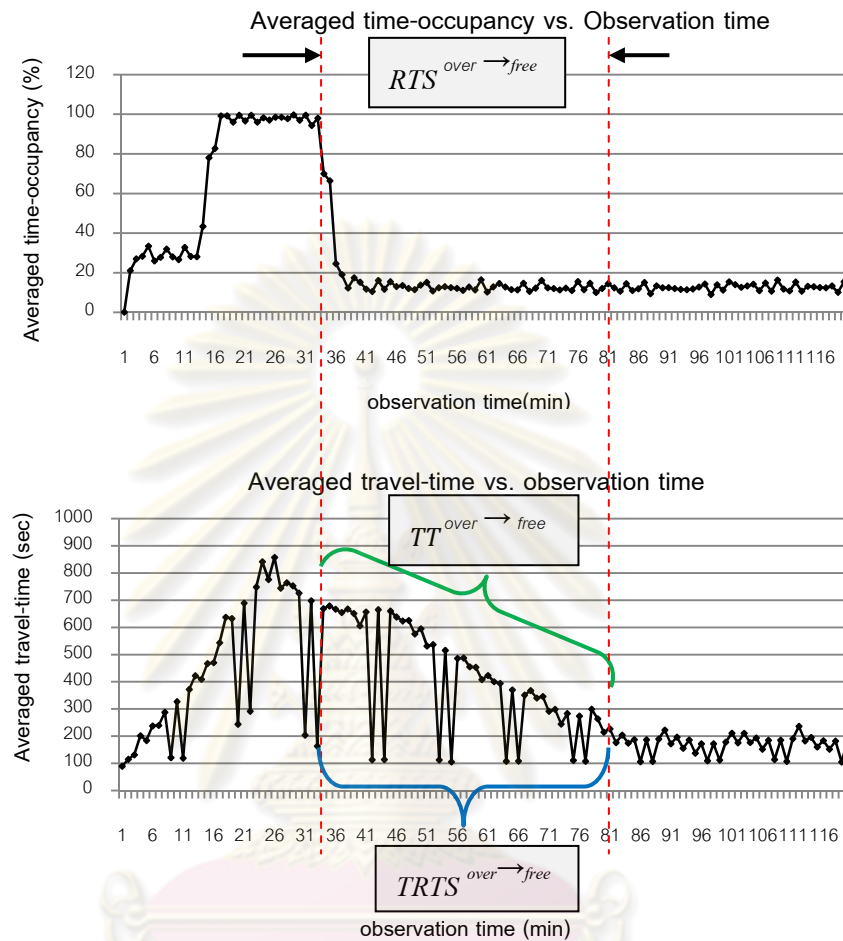
จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นถึง การเปลี่ยนสภาวะขาลง สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ โดยมีการป้อนค่าปริมาณการไหลในแบบจำลองจราจร (ภาคผนวก ก รูปที่ 9 สำหรับกรณีตัวอย่างที่ 2 และ รูปที่ 10 สำหรับกรณีตัวอย่างที่ 1) เพื่อตรวจวัด ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เปลี่ยนแปลงจาก สภาวะคับคั่ง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (Over-saturated flow state หรือ S_{t-1}^{over}) เปลี่ยนแปลงเข้าสู่ สภาวะคล่องตัว ณ ช่วงเวลา t (Free flow state หรือ S_t^{free})

ในสภาวะการจราจรขาลงรูปแบบนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางจะขึ้นกับ “ความยาวนานของสภาวะการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการเดินทาง ที่หลงเหลือมาจากสภาวะที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา $t-1$ และเหลือมล้าเข้ามายังสภาวะในช่วงเวลา t หรือ $TRTS^{over \rightarrow free}$ ” พิจารณาได้จากตัวอย่างกราฟ แสดงการเกิดสภาวะ $RTS^{over \rightarrow free}$ ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18

คำนิยามของตัวแปร

$RTS^{over \rightarrow free}$	หมายถึง สภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่ตกค้างมาจาก สภาวะจราจรคับคั่ง (S_{t-1}^{of}) และเหลือมล้าเข้ามายังสภาวะจราจรคล่องตัว (S_t^{ff})
$TT^{over \rightarrow free}$	หมายถึง ค่าระยะเวลาการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะ $RTS^{of \rightarrow ff}$
$TRTS^{over \rightarrow free}$	หมายถึง ความยาวนานของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการเดินทาง ซึ่งเกิดขึ้นภายในสภาวะ $RTS^{of \rightarrow ff}$
t_{t-1}^{over}	หมายถึง ช่วงเวลาของการอยู่ในสภาวะการจราจรคับคั่ง
O_t^{free}	หมายถึง ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ สภาวะปัจจุบัน (Free flow state)

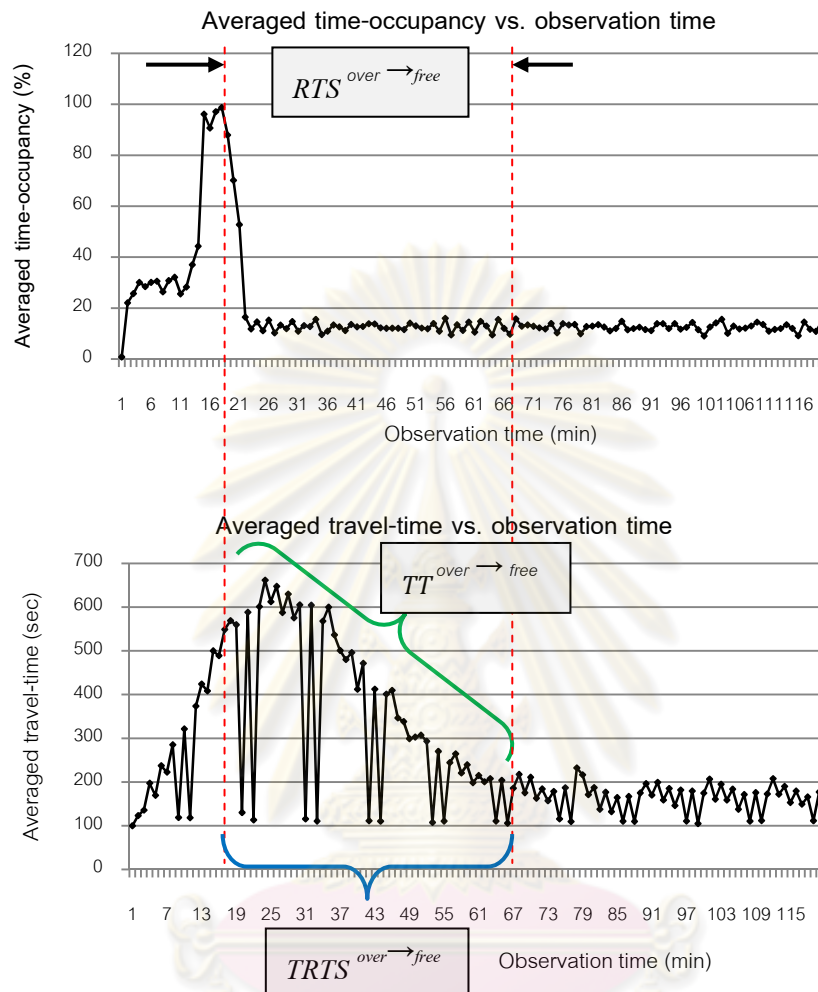
กรณีตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.17: แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา และระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ $\max \text{ travel-time} = 870 \text{ sec}$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.18: แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับรูปแบบ $S_{r-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ $\max \text{travel-time} = 662 \text{ sec}$

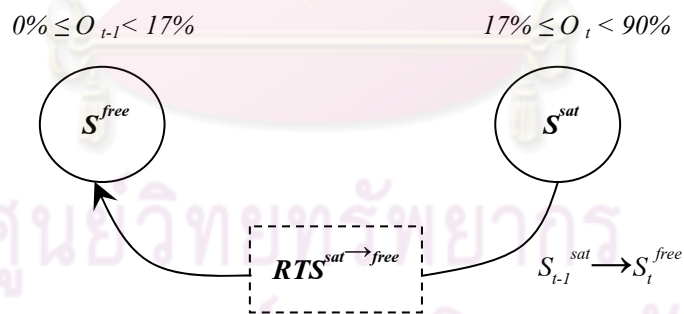
พิจารณากราฟรูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นกราฟตัวอย่าง ที่แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของการตกค้าง มาจากเหตุการณ์ก่อนหน้า ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นในสถานะ $RTS^{over \rightarrow free}$ เป็นระยะเวลายาวนานเพียงใดนั้น ขึ้นกับค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาในช่วงเวลาปัจจุบัน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กำหนดให้ ค่าความยาวนานของสถานะ $RTS^{over \rightarrow free}$ คือค่า $TRTS^{over \rightarrow free}$ ซึ่งได้ถูกนำมาใช้เป็นประโยชน์ สำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และจากการสังเกตพบว่าค่า $TRTS^{over \rightarrow free}$ มีความสัมพันธ์กับ O^{free} ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน อย่างเชิงเส้นตรง สำหรับกรณีศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากการทดลอง และสังเกตการณ์ พบว่า $TRTS^{over \rightarrow free}$ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 14 นาที ถึง 32 นาที

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสถานะการจราจรแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

เนื่องจากรูปแบบสถานะการจราจรที่ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ เป็นรูปแบบที่ให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงจากสถานะการจราจรคับคั่ง ไปยังคล่องตัว ดังนั้น ในขั้นตอนของการเลือกชุดข้อมูลเพื่อนำไปใช้หาแบบการประมาณที่เหมาะสม เราจึงให้ความสนใจ เฉพาะชุดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลง ขึ้นกับเวลา ซึ่งปรากฏอยู่ในช่วงสถานะ $RTS^{over \rightarrow free}$ ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ในการหาแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(p,d,q,r)$ [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสถานะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\beta_8 = -9.03$, $\beta_{12} = 4.54$, $\beta_{10} = -3.57$, $\theta_3 = -0.95$, $\phi_1 = -0.50$, $\phi_3 = 0.38$ และ $\phi_0 = -0.36$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(3,1,1,3)$

4.3.2 วิเคราะห์รูปแบบสถานะการจราจรขาหลังสำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$



รูปที่ 4.19: แผนภาพการเปลี่ยนสถานะขาหลังรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

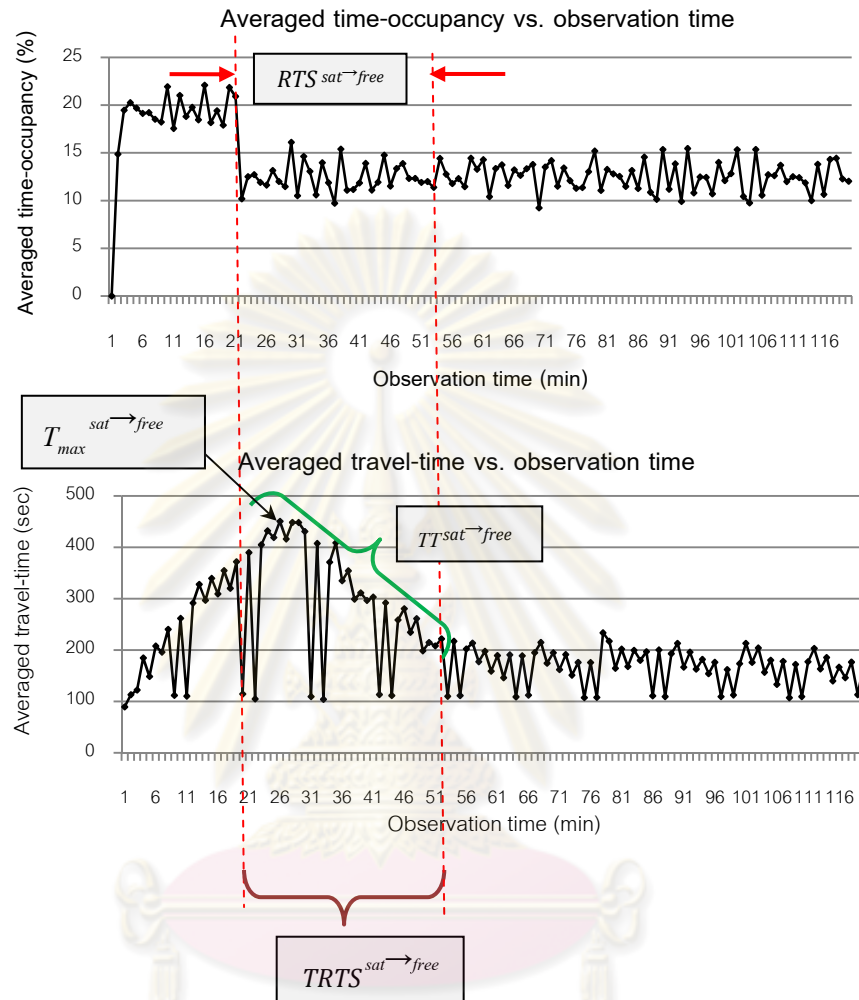
พิจารณาจากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนสถานะขาหลัง สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ โดยมีการบ่อนค่าปริมาณการไหลในแบบจำลองจราจร (ภาคผนวก ก รูปที่ 7 สำหรับกรณีตัวอย่างที่ 2 และ รูปที่ 8 สำหรับกรณีตัวอย่างที่ 1) เพื่อตรวจวัด ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เปลี่ยนแปลงจาก สถานะหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (Saturated flow state หรือ S_{t-1}^{sat}) เปลี่ยนไปสู่ สถานะคล่องตัว ณ ช่วงเวลา t (Free flow state หรือ S_t^{free})

สำหรับสภาวะการจราจรขาลงรูปแบบนี้ การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางจะขึ้นกับ “ความยาวนานของสภาวะการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการเดินทางที่หลงเหลือมาจากสภาวะหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลา $t-1$ และเหลือมล้าเข้ามายังสภาวะคล่องตัว ณ ช่วงเวลา t หรือเรียกว่า Observation Time in $RTS^{sat \rightarrow free}$ ($TRTS^{sat \rightarrow free}$)” พิจารณาได้จากตัวอย่างกราฟแสดงการเกิดสภาวะ $RTS^{sat \rightarrow free}$ ดังรูปที่ 4.20

คำจำกัดความ

- $RTS^{sat \rightarrow free}$ หมายถึง สภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่ตกค้างมาจากสภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง (S_{t-1}^{sat}) ณ ช่วงเวลาที่ $t-1$ และเหลือมล้าเข้ามายังสภาวะจราจรคล่องตัว (S_t^{free}) ณ ช่วงเวลาที่ t
- $TT^{sat \rightarrow free}$ หมายถึง ค่าระยะเวลาการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในสภาวะ $RTS^{sat \rightarrow free}$
- $T_{max}^{sat \rightarrow free}$ หมายถึง ค่าระยะเวลาการเดินทางสูงสุดสภาวะ $RTS^{sat \rightarrow free}$
- $TRTS^{sat \rightarrow free}$ หมายถึง ความยาวนานของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการเดินทาง ซึ่งเกิดขึ้นภายในสภาวะ $RTS^{sat \rightarrow free}$

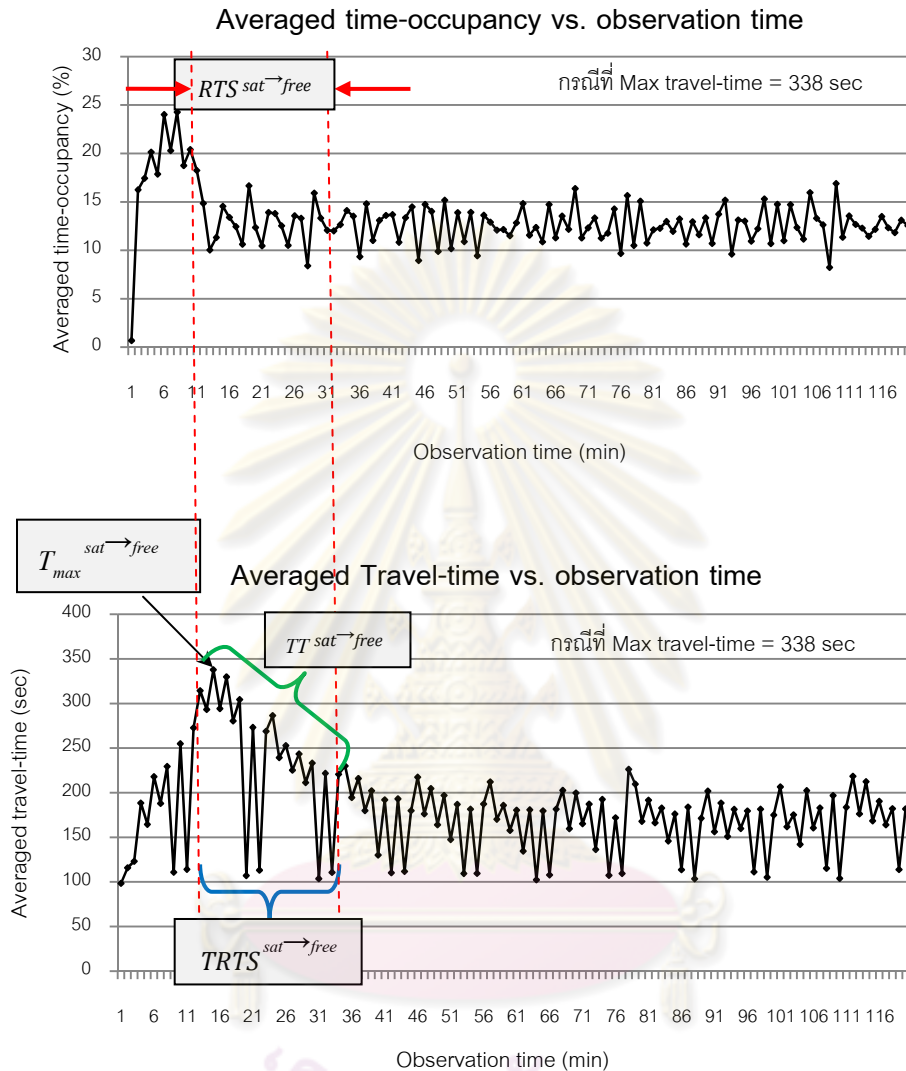
กรณีตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.20: แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการใช้ครองเชิงเวลา และระยะเวลาการเดินทาง โดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีที่ $T_{max}^{sat \rightarrow free} = 451$ sec

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.21: แสดงผลลัพธ์ของชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา และระยะเวลาการเดินทาง โดยเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับรูปแบบ $S_{i-1}^{sat} \rightarrow S_i^{free}$ กรณีที่ $T_{max}^{sat \rightarrow free} = 338 \text{ sec}$

พิจารณากราฟรูปที่ 4.20 และ 4.21 เป็นกราฟตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่า ค่าระยะเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นในสถานะ $RTS^{sat \rightarrow free}$ จะมีค่าลดหลั่นลงในระดับสูงหรือต่ำ ขึ้นกับค่า $T_{max}^{sat \rightarrow free}$ โดยที่ ค่าพารามิเตอร์ $TRTS^{over \rightarrow free}$ ได้ถูกนำมาใช้เป็นประโยชน์ สำหรับการประมาณระยะเวลาการเดินทางให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วยโดยจากการสังเกตพบว่า ค่าพารามิเตอร์ $TRTS^{sat \rightarrow free}$ มีความสัมพันธ์กับ O_i^{free} ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน อย่างเชิงเส้นตรง สำหรับกรณีศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากการทดลอง และสังเกตการณ์ พบว่า $TRTS^{over \rightarrow free}$ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 7 นาที ถึง

24 นาที แต่เนื่องจาก ค่า $T_{max}^{sat} \rightarrow free$ สามารถเกิดขึ้นได้หลากหลายค่า จึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อทำการคัดเลือกชุดข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด (เพื่อนำไปใช้หารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม) โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าระยะเวลาการเดินทาง ได้แก่ ค่าเวลาของการอยู่ในสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (Observation time in saturated flow state หรือ t_{t-1}^{sat}) สำหรับกรณีศึกษา พบว่าการปรับค่า t_{t-1}^{sat} ตั้งแต่ 300 วินาที จนกระทั่ง 1900 วินาที เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม สามารถตรวจจับสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลางได้ หากกำหนดค่า $t_{t-1}^{sat} < 300$ วินาที จะไม่สามารถตรวจจับสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลางได้ และค่าระยะเวลาการเดินทางต่ำสุด จะปรากฏในเวลานี้ และหากกำหนด $t_{t-1}^{sat} > 1900$ วินาที จะไม่สามารถตรวจจับสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลางได้เช่นกัน

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสภาวะ

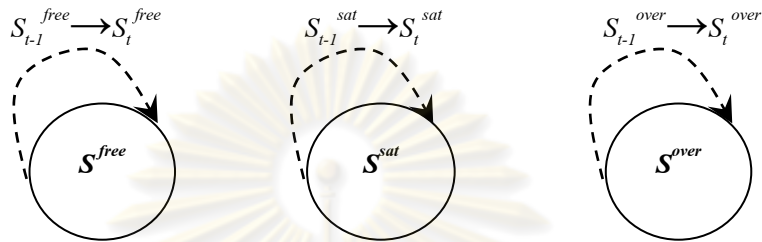
$$\text{การจราจรแบบ } S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$$

จากการทดลองดังกล่าว จึงนำชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่า t_{t-1}^{sat} เพื่อตรวจวัด ค่าระยะเวลาการเดินทางสูงสุด (ซึ่งตกค้างมาจากสภาวะหนาแน่นปานกลาง ณ ช่วงเวลา $t-1$) ที่มีค่าแตกต่างกัน และทำการเลือก ค่ากลางของค่าระยะเวลาการเดินทางสูงสุด ที่เหมาะสมมาหนึ่งค่า เพื่อนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่เก็บสะสมมาได้ด้วยวิธีดังกล่าว โดยการตรวจสอบค่าการกระจายตัวของข้อมูลระยะเวลาการเดินทางสูงสุด พบว่า กลุ่มข้อมูลมีค่าความน่าจะเป็นของการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) เท่ากับ 0.61 ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 434.27, ค่ามัธยฐาน (Median) เท่ากับ 448, ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Skewness) เท่ากับ -0.01 แสดงว่ามีการกระจายตัวแบบเบ้ซ้ายเล็กน้อย จากค่าสถิติเหล่านี้ จึงสามารถทำการเลือกค่ากลางของค่าระยะเวลาการเดินทางสูงสุดมาหนึ่งค่า เพื่อนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่เก็บสะสมมาได้ โดยการพิจารณาจากค่ามัธยฐาน (Median) ซึ่งเท่ากับ 448 เนื่องจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบ้ ค่ามัธยฐานจะแสดงค่ากลางได้ดีกว่าค่าเฉลี่ย เพราะข้อมูลที่ปลายโค้งจะไม่มีผลต่อการคำนวณค่ามัธยฐาน ดังนั้น ชุดข้อมูลที่เลือกมานี้ ได้ถูกนำไปใช้ ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (p,d,q,r) [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษา สำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เป็นดังนี้ $\mu = -6.37, \beta_0 = 4.85, \beta_4 = -4.25, \theta_{11} = 0.95, \phi_1 = -0.64$ และ $\phi_4 = -0.22$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (2,1,1,2)

ในหัวข้อถัดไป ได้ทำการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบการจราจรที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะอื่นๆ และนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง มาวิเคราะห์หารูปแบบ การประมาณระยะเวลาการเดินทางที่เหมาะสม

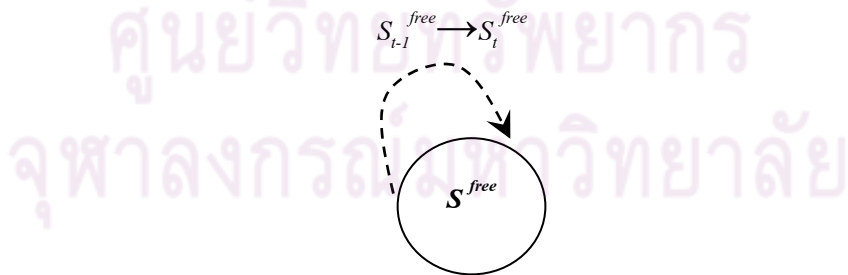
4.4 หลักการวิเคราะห์สถานะการจราจรแบบคงที่ (No change of state)



รูปที่ 4.22: แผนภาพการไม่เปลี่ยนสถานะจราจรสำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \to S_t^{free}$, $S_{t-1}^{sat} \to S_t^{sat}$ และ $S_{t-1}^{over} \to S_t^{over}$

ในหัวข้อนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบสถานะการจราจร ที่ยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะอื่น แต่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ภายใน สถานะเดิมเท่านั้น ดังแผนภาพที่ 4.22 และนำผลที่ได้ จากการออกแบบการทดลอง มาวิเคราะห์ หารูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 จะพบว่า $S_{t-1}^{free} \to S_t^{free}$, $S_{t-1}^{sat} \to S_t^{sat}$ และ $S_{t-1}^{over} \to S_t^{over}$ เป็นรูปแบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ การจราจรทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

4.4.1 วิเคราะห์รูปแบบสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \to S_t^{free}$

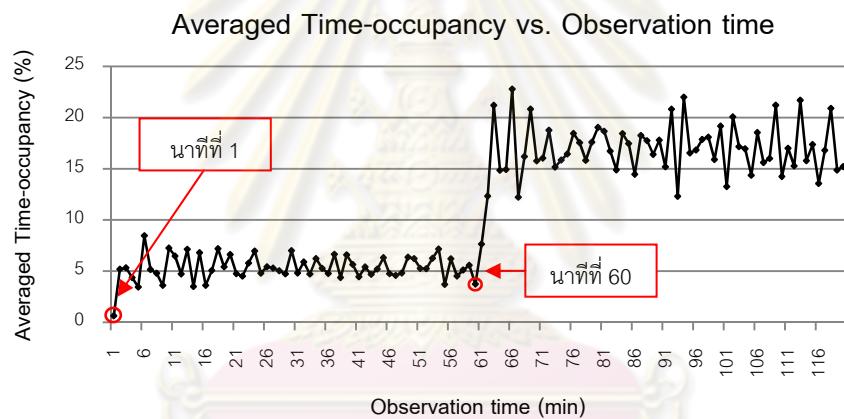


$$0\% \leq O_t < 17\% \text{ และ } 0\% \leq O_{t-1} < 17\%$$

รูปที่ 4.23: แผนภาพรูปแบบที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{free} \to S_t^{free}$

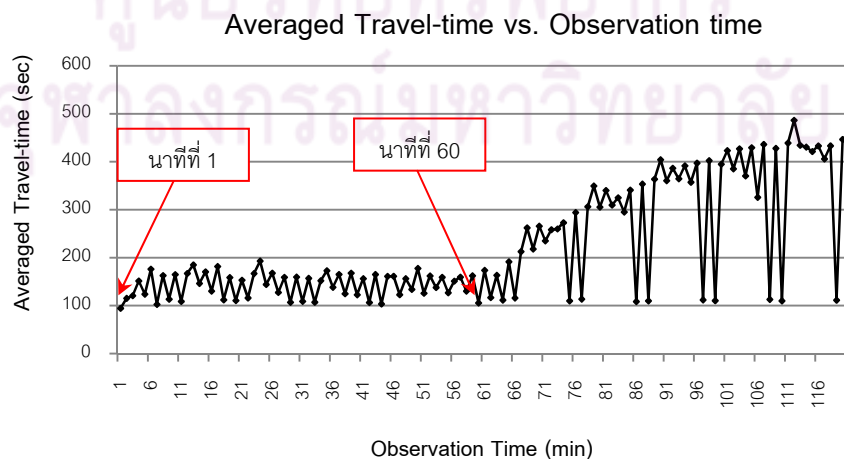
พิจารณารูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นถึงการไม่เปลี่ยนแปลงของสภาวะจราจร แต่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ภายในช่วง $0\% \leq O_t < 17\%$ ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดขึ้นภายในสภาวะการจราจรคล่องตัว (S^{free}) เท่านั้น

ดังนั้นในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาที่เกิดขึ้น ภายในสภาวะการจราจรคล่องตัว (Free flow state) โดยก่อนทำการทดลอง ได้กำหนดคุณลักษณะถนนให้เป็นไปตามหัวข้อ 3.1 และทำการทดลองป้อนค่าการไหลให้แก่แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 4) เพื่อตรวจวัดค่าระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในช่วงที่กำหนดคือ $0\% \leq O < 17\%$ ในขณะที่แบบจำลองจราจร จะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ออกมาดังกราฟรูปที่ 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4.24: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$



รูปที่ 4.25: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จาก

แบบจำลองจราจรสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$

วิเคราะห์กราฟรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าขณะที่ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสถานะเดิม ค่าระยะเวลาการเดินทางจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอิสระด้วยค่าที่ใกล้เคียงกันอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนการที่ได้นำเสนอนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือช่วยทางคณิตศาสตร์ที่สามารถตามรอยค่าในอดีต เรียกว่า Time Series Regression Analysis

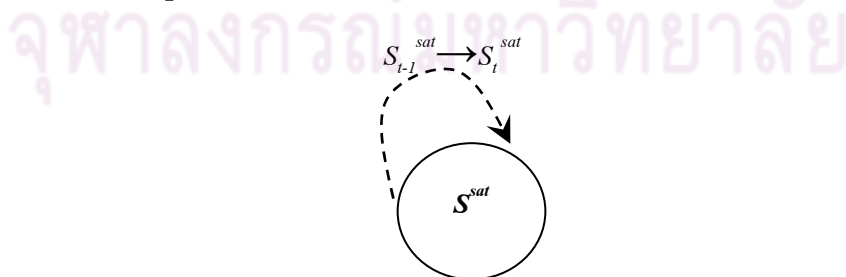
- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสถานะ

การจลาจรแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$

เนื่องจากรูปแบบสถานะการจลาจรนี้ ($S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$) เป็นรูปแบบที่ให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในสถานะการจลาจรคล่องตัว ดังนั้น ในขั้นตอนของการเลือกชุดข้อมูล (เพื่อนำไปใช้หารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม) เราจะให้ความสนใจเฉพาะค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่ตกอยู่ในช่วง $0\% \leq O_t < 17\%$ เท่านั้น ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(p,d,q,r)$ [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสถานะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\mu = 143.01$, $\beta_2 = 0.006$, $\beta_{25} = 0.006$, $\theta_{20} = 0.90$, $\phi_{20} = 0.28$, $\phi_2 = 0.26$, $\phi_1 = -0.12$ และ $\phi_3 = 0.35$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ $ARIMAX(4,0,1,2)$

4.4.2 วิเคราะห์รูปแบบสถานะการจลาจรสำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$

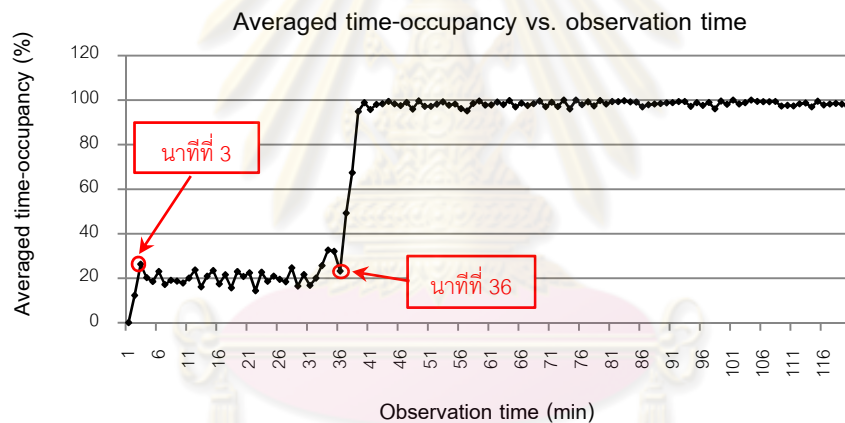


$$17\% \leq O_t < 90\% \text{ และ } 17\% \leq O_{t-1} < 90\%$$

รูปที่ 4.26: แผนภาพการเปลี่ยนสถานะแบบคงที่ สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$

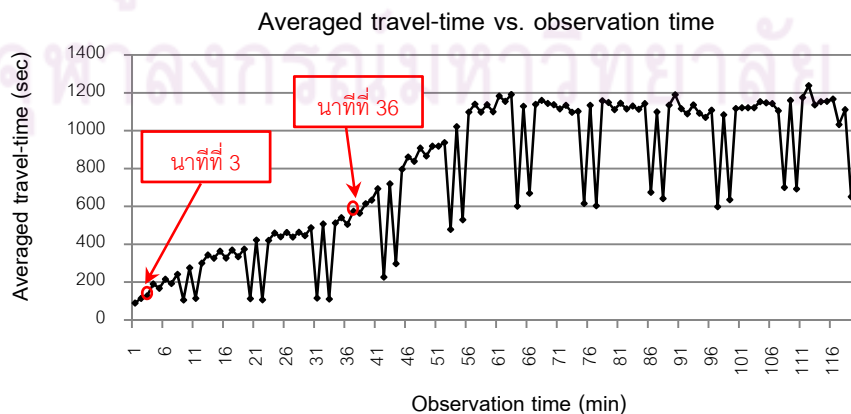
พิจารณารูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นถึงการไม่เปลี่ยนแปลงของสถานะจราจร แต่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ภายในช่วง $17\% \leq O_t < 90\%$ ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดขึ้นภายในสถานะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (S^{sat}) เท่านั้น

ดังนั้นในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นภายในสถานะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (Saturated flow state) หรือสถานะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะอื่น โดยก่อนทำการทดลองได้กำหนดคุณลักษณะถนนให้เป็นไปตามหัวข้อ 3.1 และทำการทดลองป้อนค่าการไหลให้แก่แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 5) เพื่อตรวจวัดค่าระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในช่วงที่กำหนดคือ $17\% \leq O_t < 90\%$ ในขณะที่แบบจำลองจราจร จะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาออกมา ดังกราฟรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$



รูปที่ 4.28: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time)

ที่ได้จากแบบจำลองจราจรสำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$

วิเคราะห์กราฟรูปที่ 4.27 และ 4.28 การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางในอดีตส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันค่อนข้างสูง โดยมีทิศทางเพิ่มสูงขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา อันเนื่องมาจากการตกค้างของปริมาณยานพาหนะที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาอดีตมา ยังช่วงเวลาปัจจุบัน ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายถึง ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้แผนการที่ได้นำเสนอนี้ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือช่วยทางคณิตศาสตร์ ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เรียกว่า Time Series Regression Analysis

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสภาวะ

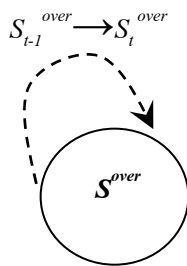
$$\text{การจราจรแบบ } S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$$

เนื่องจากรูปแบบสภาวะการจราจรนี้ ($S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$) เป็นรูปแบบที่ให้ความสนใจกับข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นในสภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง ดังนั้น ในขั้นตอนของการเลือกชุดข้อมูล (เพื่อนำไปใช้หารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม) เราจะให้ความสนใจเฉพาะค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่ตกอยู่ในช่วง $17\% \leq O_t < 90\%$ เท่านั้น เมื่อพิจารณาที่กราฟตัวอย่าง 4.27 และ 4.28 จะเห็นว่า ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 20% ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่นาทีที่ 3 จนกระทั่งถึงนาทีที่ 36 ดังนั้น ชุดข้อมูลที่ตกอยู่ในช่วงเวลานี้ ได้ถูกนำไปใช้ ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (p,d,q,r) [20]-[22]

เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นดังนี้ $\beta_1 = -7.27$, $\beta_4 = 12.50$, $\theta_{20} = -0.89$, $\phi_1 = -0.83$, $\phi_8 = -0.42$, $\phi_7 = -0.43$, $\phi_4 = -0.21$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (4,1,1,2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 วิเคราะห์รูปแบบสภาวะการจราจรสำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$



$$O_t \geq 90\% \text{ และ } O_{t-1} \geq 90\%$$

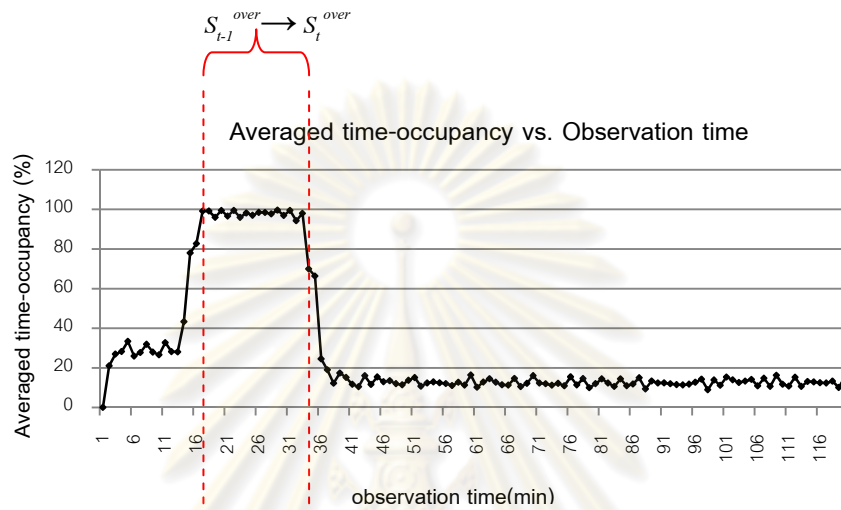
รูปที่ 4.29: แผนภาพแสดงการไม่เปลี่ยนสภาวะจราจร สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$

พิจารณารูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นถึง การไม่เปลี่ยนแปลงของสภาวะจราจร แต่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ภายในช่วง $O_t \geq 90\%$ ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดขึ้นภายในสภาวะการจราจรคับคั่ง (S^{over}) เท่านั้น

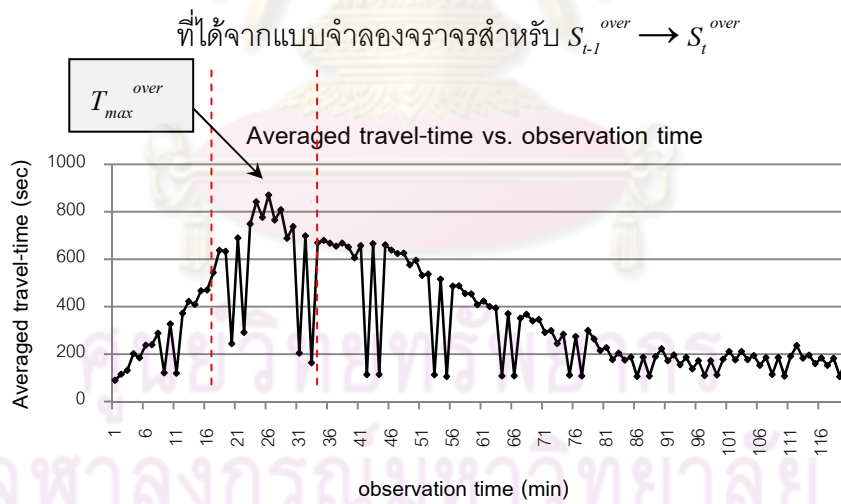
ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การวิเคราะห์ข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่เกิดขึ้นภายในสภาวะการจราจรคับคั่ง (Over-saturated flow state) โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังสภาวะอื่น ในการทดลอง ได้ทำการป้อนค่าการไหลให้แก่แบบจำลอง (ภาคผนวก ก รูปที่ 6) เพื่อตรวจวัดค่าระยะเวลาการเดินทาง และอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในช่วงที่กำหนดคือ $O_t \geq 90\%$ ในขณะที่ แบบจำลองจราจรจะสามารถให้ค่าชุดข้อมูลระยะเวลาการเดินทาง และชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ เวลาปัจจุบันออกมา ดังกราฟรูปที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ

เนื่องจากวิธีการคำนวณค่าระยะเวลาการเดินทางใน MITSIMLab ได้แสดงให้เห็น การเปลี่ยนแปลงของค่า travel time ในลักษณะทันทีทันใด เมื่อระบบมีปริมาณจราจรเปลี่ยนไป ซึ่งได้กล่าวในบทที่ 1 จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของ travel time และ time-occupancy เป็นดังนี้ ให้พิจารณารูปที่ 4.30 และ 4.31 เป็นสถานการณ์ที่ ปริมาณยานพาหนะผ่านเข้ามาในถนนอย่างหนาแน่น จนกระทั่งการเข้าคิวของยานพาหนะยาว เกินจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับ จึงไม่สามารถตรวจจับยานพาหนะได้อีก ซึ่งสถานการณ์เช่นนี้ เรียกว่า สภาวะการจราจรคับคั่ง เป็นสภาวะที่ อุปกรณ์ตรวจจับ ไม่สามารถรับรู้ได้อีกว่า ในขณะที่การเข้าคิวของยานพาหนะยาวจนเกินจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับนั้น ปริมาณยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดเพิ่มขึ้น หรือลดลง โดยรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ปริมาณจราจรเริ่มลดลงแล้ว จึงทำให้ค่า travel time เกิดการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่ การเข้าคิวของยานพาหนะยังคงเลยจุดที่ตั้งของ detector

ดังนั้นค่า Time-occupancy จึงยังคง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณจราจร (ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ด้านหลัง detector) มีการลดลงก่อนหน้าแล้ว โดยสะท้อนไปยัง travel time information ที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมาเช่นกัน



รูปที่ 4.30: แสดงผลลัพธ์ของค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy)



รูปที่ 4.31: แสดงผลลัพธ์ของค่าระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) ที่ได้จาก

แบบจำลองจราจรสำหรับสภาวะ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$

- การคัดเลือกชุดข้อมูลเพื่อการฝึกสอน (Training data set) สำหรับรูปแบบสถานะการจราจรแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$

สืบเนื่องมาจากทิศทางการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง ได้ปรากฏลักษณะเสมือนมีจุดยอด (T_{max}^{over}) แล้วจึงค่อยๆลดค่าลงตามลำดับ ซึ่งจุดยอดดังกล่าวนี้ เป็นผลมาจากค่าเวลาของการอยู่ในสถานะการจราจรคับคั่ง ณ ช่วงเวลา $t-1$ (Observation time in over-saturated flow state หรือ t_{t-1}^{over}) โดยค่า t_{t-1}^{over} สามารถเกิดขึ้นจริง ได้หลากหลายค่า ดังนั้นชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการหารูปแบบการประมาณ จะสามารถมีได้หลายชุดข้อมูล เช่นกัน แต่ชุดข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด ควรจะมาจากการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

จากการทดลองปรับเปลี่ยนค่า t_{t-1}^{over} ตั้งแต่ 4 นาที จนกระทั่ง 50 นาที ซึ่งช่วงเวลานี้ เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม สามารถตรวจจับสถานะการจราจรคับคั่งได้ หากกำหนดค่า $t_{t-1}^{over} < 4$ นาที จะไม่สามารถตรวจจับสถานะการจราจรคับคั่งได้ และหากกำหนด $t_{t-1}^{over} > 50$ นาที จะไม่เป็นประโยชน์ในการตรวจวัดค่าระยะเวลาเดินทางสูงสุดของสถานะการจราจรคับคั่ง ณ ช่วงเวลา $t-1$ เนื่องจากค่าระยะเวลาการเดินทางในนาทีที่ 50 ถือเป็นค่าที่สูงสุดแล้ว

จากการทดลองดังกล่าว จึงนำชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่า t_{t-1}^{over} เพื่อตรวจวัดค่า T_{max}^{over} ที่มีค่าต่างกัน และทำการเลือกค่ากลางของค่า T_{max}^{over} ที่เหมาะสมมาหนึ่งค่า เพื่อนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด ดังนั้น จึงได้ทำการตรวจสอบค่าการกระจายตัวของข้อมูลระยะเวลาการเดินทางสูงสุด (ซึ่งตกค้างมาจากสถานะคับคั่ง ณ ช่วงเวลา $t-1$) ที่เก็บสะสมมาได้ พบว่า ค่าความน่าจะเป็นของการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) มีค่าเท่ากับ 0.69 ด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ 909.63, ค่ามัธยฐาน (Median) เท่ากับ 892.8, ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ (Skewness) เท่ากับ 0.11 แสดงว่ามีการกระจายตัวแบบเบ้ขวาเล็กน้อย จากค่าสถิติเหล่านี้ จึงสามารถทำการเลือก ค่ากลางของค่าระยะเวลาสูงสุดที่เหมาะสมมาหนึ่งค่า เพื่อนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่เก็บสะสมมาได้ โดยการพิจารณาจาก ค่ามัธยฐาน (Median) ซึ่งเท่ากับ 892.8 เนื่องจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบ้ ค่ามัธยฐานจะแสดงค่ากลางได้ดีกว่าค่าเฉลี่ย เพราะข้อมูลที่ปลายโค้งจะไม่มีผลต่อการคำนวณค่ามัธยฐาน ดังนั้น ชุดข้อมูลที่เลือกนี้ ได้ถูกนำไปใช้ในการหารูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ที่มีลักษณะสมการทั่วไป [20]-[22] เป็นดังสมการที่ 4.1 (ดังกล่าวในหัวข้อที่ 4.2.1) และสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (p,d,q,r) [20]-[22]

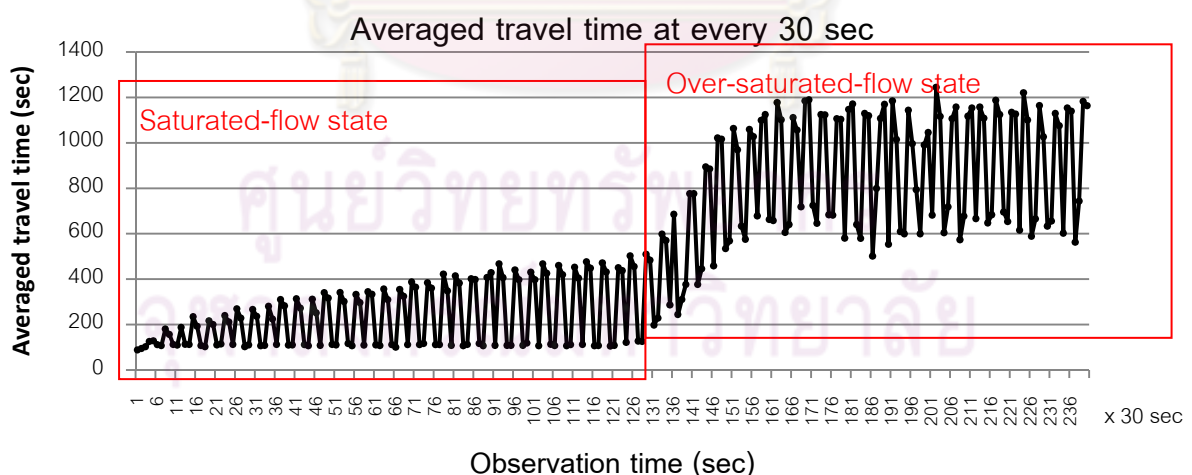
เมื่อนำรูปแบบสมการทั่วไป [20]-[22] มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาสำหรับสภาวะรูปแบบนี้ จะได้รูปแบบการประมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น “white noise” และมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพัทธ์ เป็นดังนี้ $\mu = -13.10$, $\beta_0 = -30.02$, $\beta_7 = 54.44$, $\theta_{11} = 0.97$, $\phi_1 = -0.63$, $\phi_3 = -0.35$, $\phi_4 = -0.24$ และ $\phi_5 = 0.20$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในอีกรูปแบบหนึ่ง คือ ARIMAX (4,1,1,2)

4.5. อธิบายถึงการเกิด spikes ในกราฟการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง (travel time)

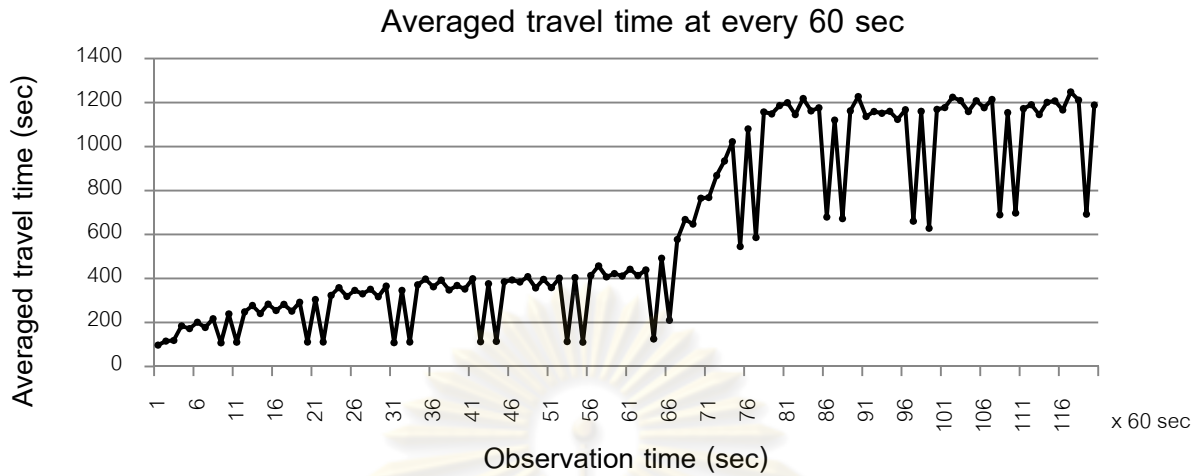
เนื่องจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาวะจราจรที่ได้นำเสนอทั้งหมดนี้ ได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า travel time ที่เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด (หรือที่เรียกว่า spike) ในบางช่วงเวลา ซึ่งการเกิด spike มีสาเหตุมาจาก ความถี่ของ sampling ค่า travel time

4.5.1 ความถี่ของ sampling

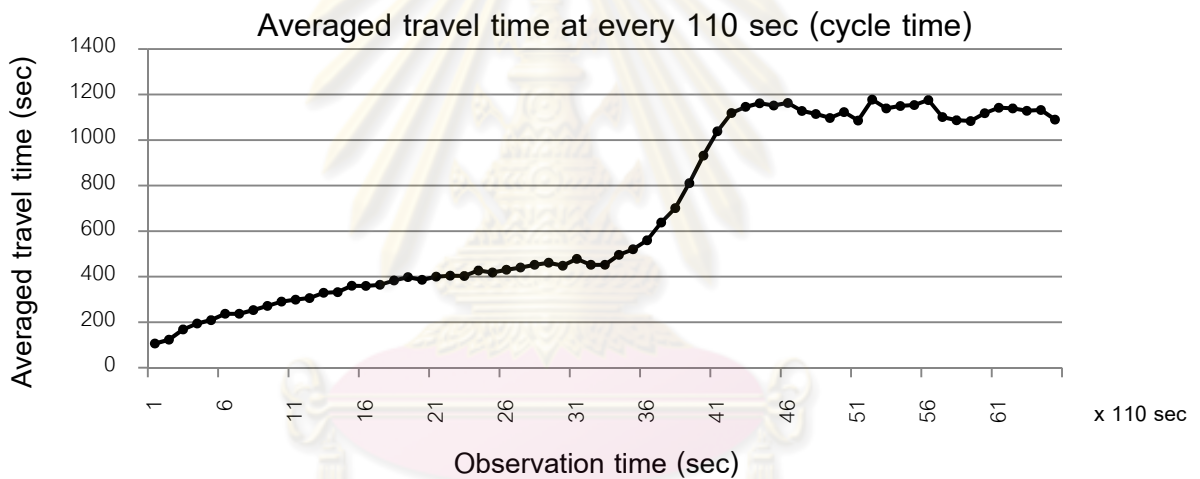
พิจารณารูปที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงค่า travel time โดยเฉลี่ยมาจาก sampling ทุกๆ 60 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่ามี spikes เกิดขึ้นในบางช่วงเวลา โดยข้อสันนิษฐานเบื้องต้นของสาเหตุดังกล่าว มาจากความถี่ของ sampling จึงได้ออกแบบการทดลอง โดยเพิ่มกรณีตัวอย่างของการเปลี่ยนช่วงเวลาของ sampling เป็นดังนี้ 30 วินาที และ 110 วินาที และเปรียบเทียบกับกรณี 60 วินาที ผลการทดสอบ แสดงดังนี้



รูปที่ 4.32: แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 30 วินาที สำหรับกรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$



รูปที่ 4.33: แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 60 วินาที สำหรับกรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$



รูปที่ 4.34: แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า travel time ทุกๆ 110 วินาที (ครบรอบ cycle time) สำหรับ กรณี $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_{t-1}^{over}$

พิจารณารูปที่ 4.32, 4.33 และ 4.34 เปรียบเทียบกัน สามารถสรุปได้ว่า spikes ที่เกิดขึ้น (หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า travel time ในช่วงเวลาสั้นๆ) โดยมีสาเหตุมาจาก ความถี่ของ sampling อาทิเช่น ทุกๆ 30 วินาที จะทำให้ เส้นกราฟไม่ราบเรียบ เพราะมี spikes เกิดขึ้นบ่อยครั้งมาก แต่เมื่อทดลองเพิ่มเวลาการ sampling ให้กว้างขึ้น เป็น 60 วินาที พบว่า เส้นกราฟมีความราบเรียบมากขึ้น แต่ยังคงเกิด spikes ในบางช่วงเวลา

ดังนั้น เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาของ sampling ที่สามารถส่งผลให้เส้นกราฟ travel time มีความราบเรียบ โดยไม่เกิด spikes อีก ได้แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4.34 เป็นการเพิ่มระยะเวลาของ sampling เป็น 110 วินาที ซึ่งเป็น เวลาที่ครบรอบสัญญาณไฟจราจรพอดี (cycle time = 110 sec)

ทั้งนี้ ในทางปฏิบัติ รอบสัญญาณไฟจราจร (cycle time) ไม่สามารถกำหนดเป็นค่าที่แน่นอนได้ เนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพความหนาแน่นทางการจราจร ดังนั้น ในทางปฏิบัติ โดยทั่วไปแล้ว จะทำการกำหนดช่วงเวลาของ sampling เป็นค่าคงที่ ซึ่งเหมาะสมค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์สุดท้าย ที่ได้แสดงในวิทยานิพนธ์ เป็นการนำเสนอการรายงานค่า travel time ทุกๆ 5 นาทีเช่นเดียวกับ การรายงานระดับสีความติดขัดที่ปรากฏบนป้ายจราจรอัจฉริยะ ในปัจจุบันนี้

4.5.2 ความยาวของ spikes

เนื่องมาจาก ค่า travel time ที่คำนวณได้จาก MITSIMLab ซึ่งเป็น travel time information (เฉลี่ยทุกๆ 1 นาที) ของยานพาหนะ ที่อยู่บนถนน ณ เวลาปัจจุบัน ที่มีผลมาจาก รอบสัญญาณไฟจราจรด้วย ดังนั้น ค่าการเปลี่ยนแปลงของกราฟ travel time จึงสามารถมี spikes เกิดขึ้นได้

พิจารณาจากกราฟตัวอย่างรูปที่ 3 สำหรับ สภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง (saturated flow state) จะมีช่วงเวลาที่ spikes เกิดขึ้น เพราะ มีผลมาจาก รอบสัญญาณไฟจราจร โดยที่ค่า travel time ณ จุดต่ำสุดของ spikes (เมื่อสัญญาณไฟเขียวถูกเปิด) ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรสะสมจากรอบสัญญาณไฟก่อนหน้า ที่ระบบสามารถระบายออกไปได้ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณจราจรที่เข้ามาใหม่ในภายหลัง ขณะที่สัญญาณไฟเขียวยังคงเปิดอยู่ จึงเคลื่อนที่ออกจากถนน ได้ด้วยความเร็วอิสระ ภายในสัญญาณไฟเขียว ของรอบนั้นๆ ทำให้ค่า travel time มีค่าต่ำสุดที่ประมาณ 100 วินาที และ เมื่อสัญญาณไฟแดงถูกเปิด จะเกิดการสะสมของปริมาณจราจรที่ตกค้างมาจาก รอบสัญญาณไฟก่อนหน้า รวมทั้งปริมาณจราจรที่เพิ่มเข้ามาใหม่ในภายหลังอีกด้วย สะท้อนไปยังระยะเวลาเข้าคิว ที่เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ค่า travel time พุ่งสูงขึ้น

สำหรับกรณี สภาวะคับคั่ง (over-saturated flow state) ในสภาวะนี้ จะมีปริมาณยานพาหนะที่หนาแน่นที่สุด อย่างไรก็ตาม สาเหตุของการเกิด spikes เหมือนกับ สภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง (saturated flow state) คือ เกิดจากสัญญาณไฟจราจร แต่ความสามารถในการระบายปริมาณจราจรที่สะสมมาจาก รอบสัญญาณไฟก่อนหน้า สำหรับสภาวะคับคั่ง เป็นดังนี้ เมื่อเปิดสัญญาณไฟเขียว การจราจรสามารถระบายปริมาณยานพาหนะที่ตกค้างออกไปได้แค่บางส่วนเท่านั้น (ไม่ทั้งหมด) เพราะพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานพาหนะในสภาวะนี้ จะเคลื่อนตัว หรือ ออกตัวด้วยความเร็วที่ค่อนข้างล่าช้า เนื่องจากปริมาณจราจรที่อัดแน่น เป็นระยะทางที่ค่อนข้างยาว ทำให้จุดต่ำสุดของการเกิด spikes มีค่า travel time โดยเฉลี่ยสำหรับยานพาหนะที่อยู่บนถนน ณ เวลานั้นๆ อยู่ในระดับที่ สูงกว่า สภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง (saturated flow state) และ เมื่อถึงช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง จะเกิดการสะสมของปริมาณจราจรที่ตกค้างมาจาก

รอบสัญญาณไฟก่อนหน้า ซึ่งตกค้างในปริมาณที่ค่อนข้างสูง รวมทั้ง การสะสมปริมาณจราจรที่เพิ่มเข้ามาใหม่ในภายหลังอีกด้วย สะท้อนไปยัง ท้ายแถวที่เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ค่า travel time โดยเฉลี่ย ของยานพาหนะ ที่อยู่บนถนน ณ ช่วงเวลานี้ มีค่าพุ่งสูงขึ้น อยู่ที่ประมาณ 1200 วินาที

กล่าวโดยสรุป คือ spikes เกิดจากการเปิด-ปิด สัญญาณไฟจราจร ซึ่งส่งผลต่อ การระบายออกของปริมาณจราจร ที่อยู่บนถนน ณ เวลานั้นๆ โดยที่ ความสามารถในการระบายปริมาณจราจร จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ ระดับความหนาแน่น ของปริมาณจราจรขณะนั้น ที่มีผลต่อพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เช่น กรณีคับคั่ง (over-saturated flow state) การจราจรหนาแน่นสูง ส่งผลให้ ยานพาหนะเคลื่อนที่ได้ช้า จึงเกิดการตกค้าง มายังรอบสัญญาณไฟถัดมา ในปริมาณที่สูง ทำให้เมื่อเปิดสัญญาณไฟเขียว ค่า travel time โดยเฉลี่ยก็ยังคงอยู่ในระดับที่สูงกว่าสภาวะ saturated flow state เป็นต้น

เนื้อหาในบทนี้ เกี่ยวกับการพิสูจน์หาความสัมพันธ์ ระหว่างระยะเวลาการเดินทาง และ อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ที่ไม่ได้มีเพียงแค่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นตรงร่วมอยู่ด้วย อีกทั้ง ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสภาวะการจราจร ยังมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางค่อนข้างสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสภาวะการจราจรขาลง (Down state transition) เนื่องจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในสภาวะเช่นนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางที่ไม่ได้ขึ้นกับ ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับตัวแปรชนิดอื่นร่วมด้วย อาทิเช่น ค่าความยาวนานของช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทาง ที่ยังคงตกค้างมาจากสภาวะจราจร ณ ช่วงเวลาก่อนหน้า และเหลือมล้าเข้ามายังสภาวะจราจร ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (TRTS) และยิ่งขึ้นอยู่กัช่วงระยะเวลาของการอยู่ในสภาวะคับคั่ง หรือ t_{L-1}^{over} เป็นต้น

จากบทพิสูจน์ดังกล่าว เนื้อหาในบทนี้จึงได้อธิบายถึง การนำเสนอวิธีการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณจาก รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาวะการจราจรที่สามารถเกิดขึ้นได้ รวมทั้ง 8 รูปแบบดังกล่าว โดยแต่ละรูปแบบที่นำเสนอมาจากการสังเกต การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา (Time series data) และวิธีนี้สามารถทำให้เห็น การเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทาง ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน ที่เป็นผลสืบเนื่อง มาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทาง ณ ช่วงเวลาก่อนหน้า และสุดท้ายเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าแบบแผนที่นำเสนอเหล่านี้ สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางได้จริง จึงได้เลือกใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่มีคุณสมบัติสามารถตามรอยค่าที่เกิดขึ้นในอดีตได้ หรือสามารถวิเคราะห์ชุดข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม

กาลเวลาได้ (Time series analysis) ซึ่งเรียกว่า Autoregressive Integrated Moving-Average with External Input (ARIMAX) มาช่วยในการสร้างรูปแบบการประมาณทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับแบบแผนการเปลี่ยนสภาวะการจราจรทั้งหมดที่ได้นำเสนอ



ศูนย์วิทยพัธพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

เนื้อหาบทนี้ เป็นการทดสอบระเบียบวิธีที่นำเสนอ เพื่อการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง (Estimated Travel-time) โดยอาศัยค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็นสามหัวข้อ ดังต่อไปนี้

หัวข้อที่ 5.1 แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก เป็นการแสดงผลการทดสอบความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง (Estimated Travel-time) อาศัยค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ซึ่งได้จาก ระเบียบวิธีที่นำเสนอ และวิธีการในอดีตเปรียบเทียบกับแบบจำลองจราจร โดยสถานการณ์จำลองนี้ เป็นชุดข้อมูลต่อเนื่องทางเวลาซึ่งรวมรูปแบบจราจรหลากหลาย ที่นำเสนอไว้ในกราฟเดียว หัวข้อที่ 5.2 ศึกษาผลกระทบ ในกรณีที่นำเข้ารถโดยสารประจำทาง และเปรียบเทียบความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากระเบียบวิธีที่นำเสนอ กับผลจากแบบจำลอง และหัวข้อสุดท้าย กล่าวถึงบทสรุปของรูปแบบสภาวะการจราจรที่ได้นำเสนอทั้งหมด

ในการทดสอบทั้งหมด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ตรวจวัดความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จากการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Root Mean Square Error (RMSE) โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองจราจร ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังสมการที่ (5.1) [33]

$$RMSEP = \left(\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i^P - T_i^o)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^o} \right) \quad (5.1)$$

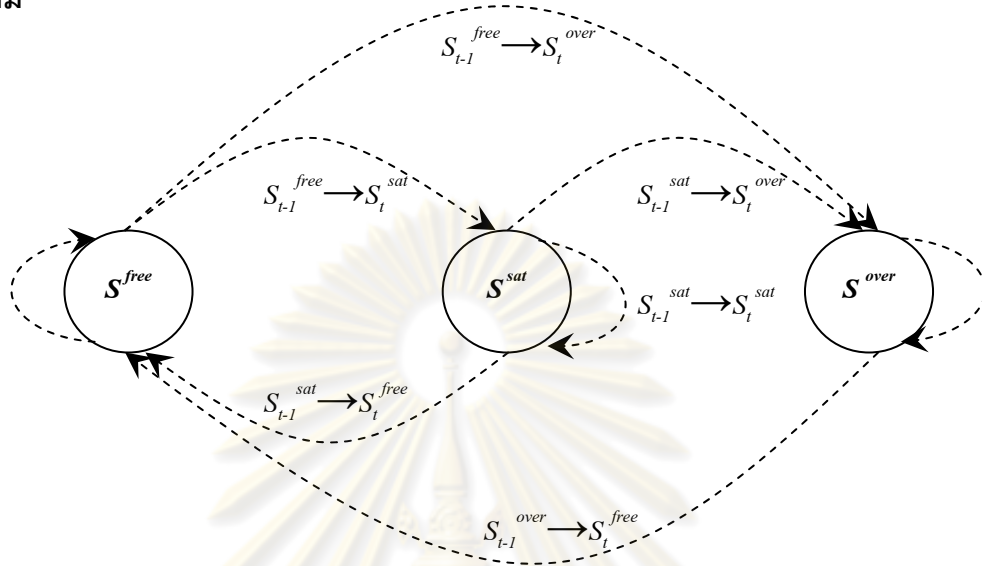
คำจำกัดความ

T_i^o คือ ค่าระยะเวลาการเดินทางที่ได้จากแบบจำลองจราจร

T_i^P คือ ค่าระยะเวลาการเดินทางที่ถูกประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ

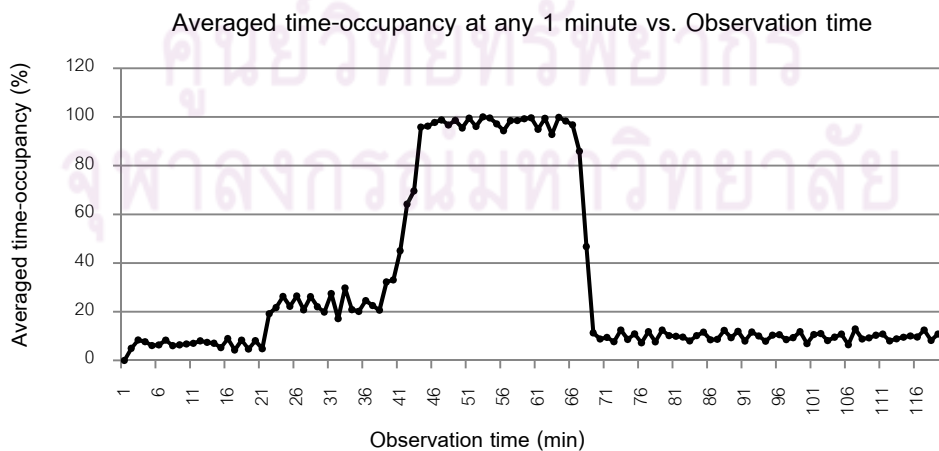
n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

5.1 แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางอาศัยอัตราส่วนการครอบครองพื้นที่เชิงเวลา ที่ได้จากระเบียบวิธีที่นำเสนอและระเบียบวิธีดั้งเดิม



รูปที่ 5.1: แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะจราจรที่นำเสนอ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการแบ่งสถานะการจราจร อาศัยค่าขอบเขตอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ทำให้ภายในแต่ละสถานะ (State) สามารถมีค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ได้หลากหลายค่าภายในขอบเขตที่กำหนดเฉพาะสำหรับสถานะนั้นๆ ดังนั้น ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณที่จะแสดงดังต่อไปนี้ เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่ได้จากชุดข้อมูลซึ่งเกิดจากการจำลองสถานการณ์ขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2: แสดงการจำลองชุดข้อมูลค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) จากแบบจำลองจราจร โดยเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที

จากรูปที่ 5.2 พิจารณาชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจราจร เป็นตัวอย่างการจำลองสถานการณ์เพื่อทำการทดสอบระเบียบวิธีที่น่าเสนอ ว่ามีความสามารถในการปรับปรุงความถูกต้องของการประมาณได้มากกว่าวิธีดั้งเดิมเพียงใด

ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่น่าเสนอกับสถานการณ์จำลองนี้ อันดับแรกจำเป็นต้องทำการคัดแยกชุดข้อมูลนำเข้าเสียก่อน เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในการเลือกใช้รูปแบบการประมาณทางคณิตศาสตร์ ที่ได้กำหนดขึ้น สำหรับการแบ่งสภาวะการจราจรตามขอบเขตค่าอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 (หัวข้อที่ 4.1.2) ดังนั้น สำหรับสถานการณ์จำลองนี้ จำเป็นต้องประยุกต์ใช้รูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทางที่ต่างกัน ขึ้นกับค่าอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy range) ดังต่อไปนี้

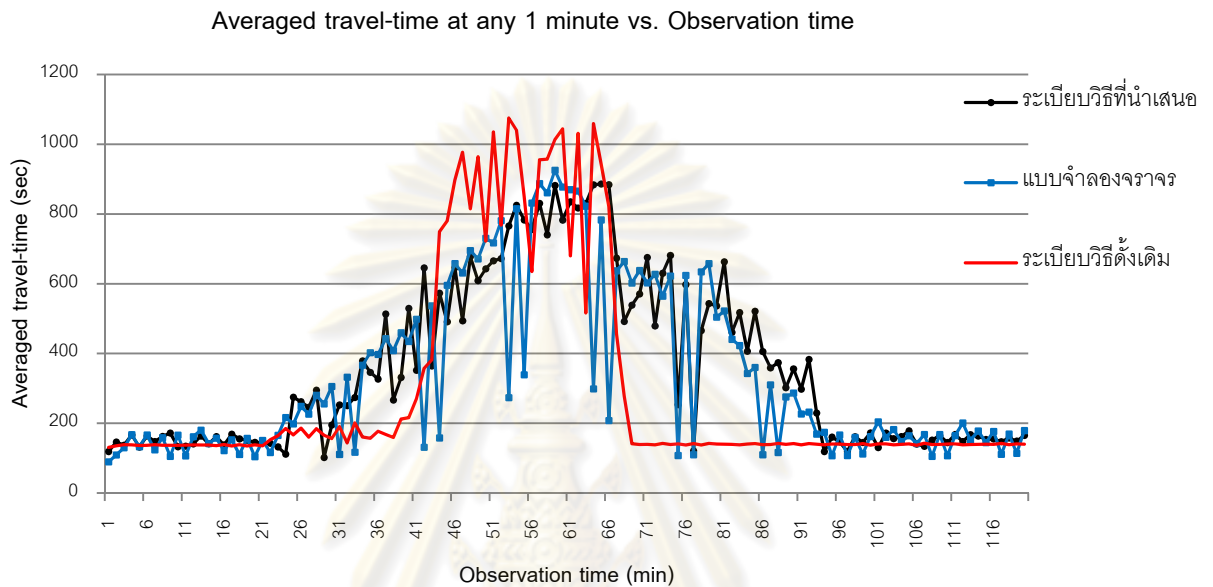
ตารางที่ 5.1: แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูลสำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน

ตำแหน่งเวลาการแยกชุดข้อมูล (จากกราฟ 5.1)	การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่ นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
นาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 22, นาทีที่ 94 ถึง 120	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$
นาทีที่ 23 ถึง นาทีที่ 38	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$
นาทีที่ 39 ถึง นาทีที่ 43	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 44 ถึง นาทีที่ 66	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 67 ถึง นาทีที่ 93	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

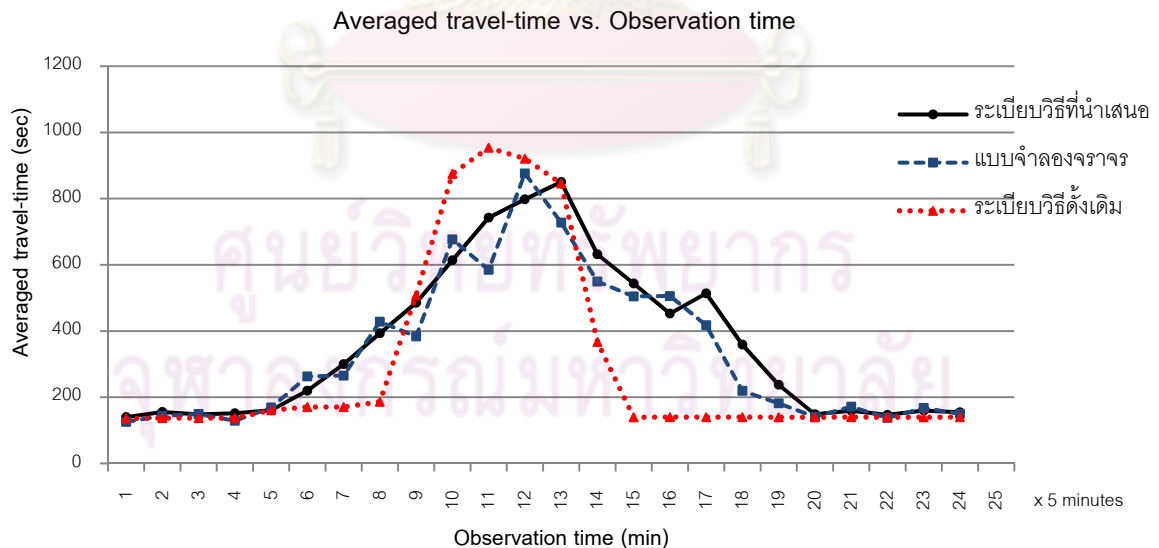
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1 ผลการทดสอบจากสถานการณ์ตัวอย่าง

ในการประมวลผลจากระเบียบวิธีที่นำเสนอด้วยรูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทาง จะกระทำทุกๆ 1 นาที แต่ในการแสดงผลจะเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3: แสดงการประมวลผลจากระเบียบวิธีที่นำเสนอกระทำทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 5.4: แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทาง จากระเบียบวิธีที่นำเสนอ โดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที

จากรูปที่ 5.4 ในการแสดงผลค่าระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ยทุก 5 นาทีนี้ จากผลลัพธ์ดังกล่าว ได้แสดงให้เห็นว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ถูกต้องมากกว่าระเบียบวิธีดั้งเดิม ด้วยการตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณ โดยมาจากการเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองจราจร พบว่าในกรณีที่ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่นำเสนอจะให้ค่าคลาดเคลื่อน RMSE เท่ากับ 67.24 หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Root Mean Square Error Percentage หรือ RMSEP) จะมีค่าคลาดเคลื่อนเทียบเท่ากับ 19.99% และในกรณีที่ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีดั้งเดิม ให้ค่า RMSE เท่ากับ 167.21 หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Root Mean Square Error Percentage หรือ RMSEP) จะมีค่าเทียบเท่ากับ 49.72%

สรุปผลการทดสอบ จากชุดข้อมูลสำหรับกรณีตัวอย่างนี้ พบว่า ในการประยุกต์ใช้รูปแบบการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ที่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย จะสามารถปรับปรุงความถูกต้องได้มากยิ่งขึ้นจากวิธีการดั้งเดิม ด้วยการตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อนที่ลดลงถึง 29.73% (RMSEP) โดยเฉพาะในกรณีของการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาการเดินทางที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นตามลำดับเวลา ในขณะที่ระเบียบวิธีดั้งเดิม จะมีการเพิ่มขึ้นในทันทีที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเกิดขึ้น

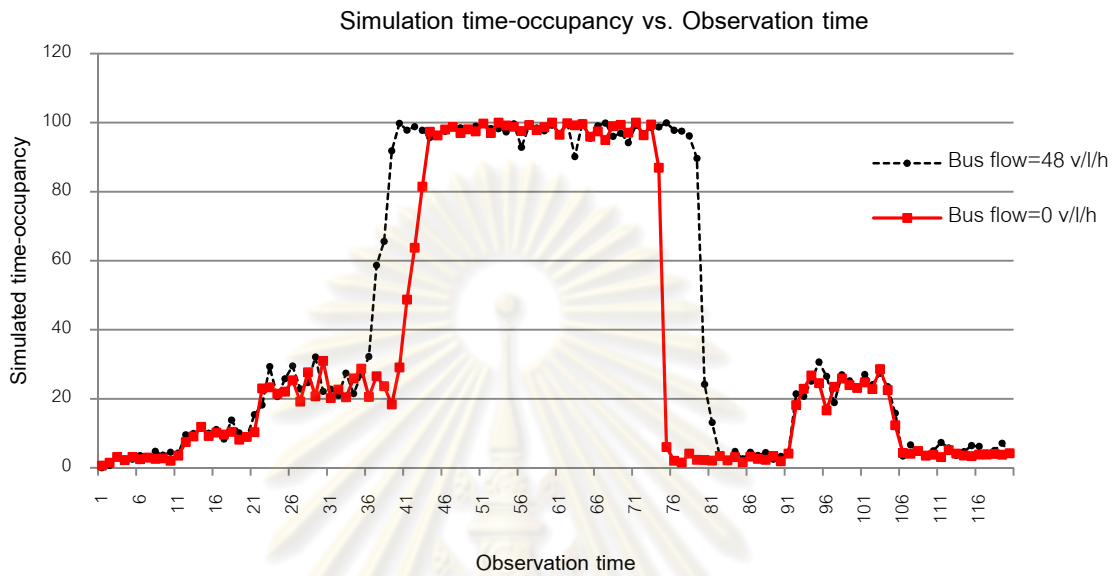
5.2 ศึกษาผลกระทบในกรณีที่มียอดโดยสารประจำทาง และเปรียบเทียบความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากระเบียบวิธีที่นำเสนอ กับผลจากแบบจำลอง

หัวข้อนี้ ได้ทำการศึกษาและทดสอบความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทางด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ ว่าขนาดของยานพาหนะ จะส่งผลกระทบต่อและจะเกิดความคลาดเคลื่อนต่อค่าระยะเวลาการเดินทางมากน้อยเพียงใด หากทำการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ (ซึ่งมาจาก กรณีที่มีเพียงรถยนต์ส่วนบุคคลเท่านั้น)

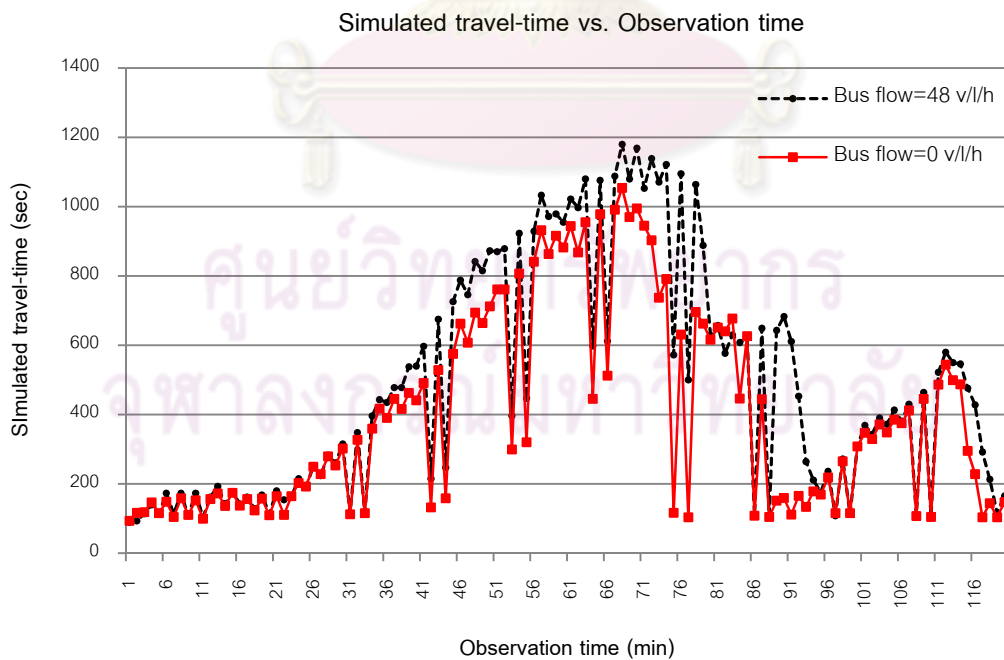
5.2.1 ศึกษาผลกระทบในกรณีที่นำเข้ารถโดยสารประจำทางเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีรถโดยสารประจำทาง

ในหัวข้อนี้ ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบ ในกรณีที่นำเข้ารถโดยสารประจำทาง โดยจำลองสถานการณ์ของสภาวะการจราจร จากการป้อนค่าการไหล (Flow) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) โดยชุดข้อมูลค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาสำหรับการทดลองนี้ เป็นไปตามรูปที่ 5.5 ซึ่งได้กำหนดให้นำเข้ารถโดยสารประจำทางด้วยปริมาณการไหลเท่ากับ 48 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งเลน หรือทุก 15 นาทีจะมีรถโดยสารผ่านเข้ามาในระบบ

จราจร 24 คันต่อ 2 เลน สำหรับการคัดแยกข้อมูลเพื่อเลือกใช้รูปแบบการประมาณเป็นดังตารางที่ 5.2 และผลการทดสอบแสดงดังกราฟรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5: การเปรียบเทียบค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาระหว่างกรณีที่มีรถโดยสารและกรณีที่ไม่มีรถโดยสาร อยู่ในระบบ



รูปที่ 5.6: การเปรียบเทียบค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลาระหว่างกรณีที่มีรถโดยสารและกรณีที่ไม่มีรถโดยสาร อยู่ในระบบ

สรุปผลการศึกษา กรณีที่มีการป้อนรถโดยสารเข้าสู่ระบบ จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง สำหรับสถานะ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$, $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$ และ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ โดยที่ค่าระยะเวลาการเดินทางจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระบบมีรถโดยสารประจำทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.6 อีกทั้งยัง ส่งผลให้ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับสถานะการจราจรขาขึ้น และจะค้างอยู่ในสถานะคับคั่ง ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนมายังสถานะการจราจรคล่องตัว เป็นระยะเวลาที่ยาวนานกว่ากรณีที่ไม่มีการโดยสารประจำทาง จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว จึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่า ขนาดและปริมาณของรถโดยสารประจำทางอาจจะส่งผลเสียต่อ ความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ด้วยระเบียบวิธีที่น่าเสนอได้ ดังนั้น ในหัวข้อที่ 5.2.2 จะทำการทดลองนำกรณีศึกษา นี้ มาทำการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่น่าเสนอ และเปรียบเทียบความถูกต้องกับ ผลจากแบบจำลองจราจร

5.2.2 เปรียบเทียบความถูกต้องในการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากระเบียบวิธีที่น่าเสนอกับผลจากแบบจำลอง

หัวข้อนี้ ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ด้วยระเบียบวิธีที่น่าเสนอว่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด หากมีรถโดยสารประจำทางเป็นสิ่งรบกวนอยู่ภายในระบบจราจร โดยได้จำลองสถานการณ์ จากการป้อนค่าการไหล (Flow) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio)

พิจารณารูปที่ 5.5 กรณีที่ Bus Flow=48 v/h นำข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที จากรูปดังกล่าว มาทำการคัดแยกสถานะการจราจร แสดงดังตารางที่ 5.2 และพิจารณาที่ กรณี Bus Flow=0 v/h นำข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที จากรูปดังกล่าว มาทำการคัดแยกสถานะการจราจร แสดงดังตารางที่ 5.3 (ทั้งสองกรณีมาจากการจำลองสถานการณ์ของการไหลเดียวกัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2: แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูลสำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน
สำหรับกรณีที่มีรถประจำทางเข้ามาในระบบ

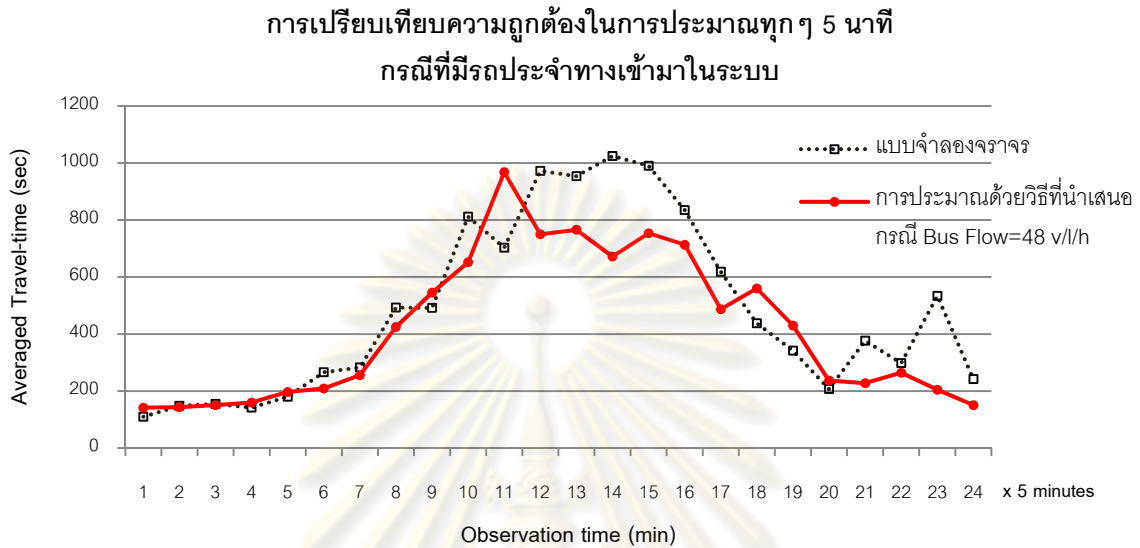
ตำแหน่งเวลาการแยกชุดข้อมูล (จากกราฟ 5.6)	การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่ นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
นาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 22 นาทีที่ 117 ถึง 120	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$
นาทีที่ 23 ถึง นาทีที่ 36 และ นาทีที่ 93 ถึง 103	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$
นาทีที่ 37 ถึง นาทีที่ 41	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 42 ถึง นาทีที่ 79	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 80 ถึง นาทีที่ 92	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$
นาทีที่ 104 ถึง นาทีที่ 116	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

ตารางที่ 5.3: แสดงการคัดแยกกลุ่มข้อมูลสำหรับการเลือกใช้ระเบียบวิธีที่แตกต่างกัน
สำหรับกรณีที่ไม่มียานโดยสารประจำทางเข้ามาในระบบ

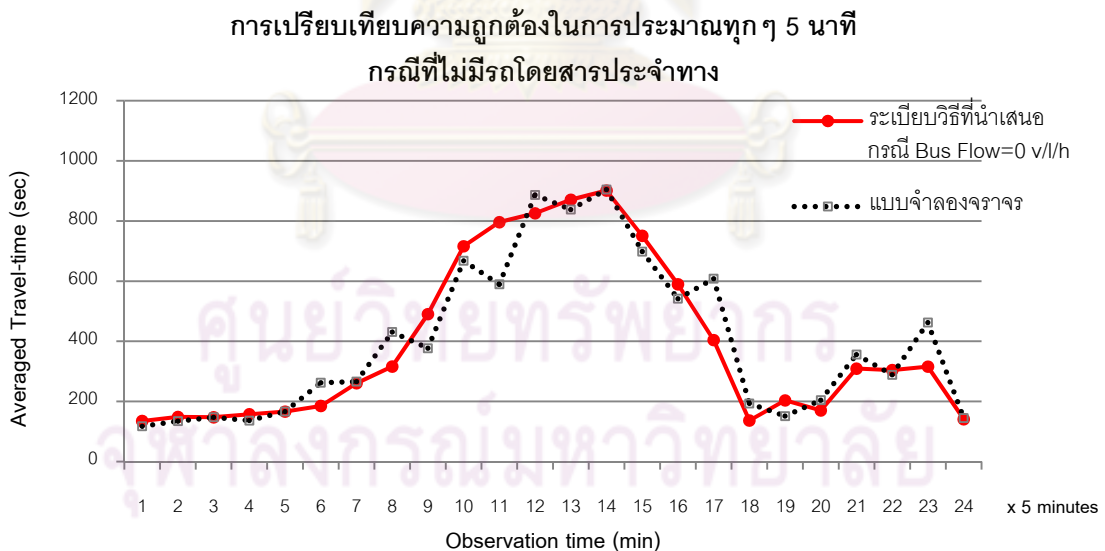
ตำแหน่งเวลาการแยกชุดข้อมูล (จากกราฟ 5.6)	การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่ นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
นาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 21, นาทีที่ 86 ถึง 91 และ นาทีที่ 117 ถึง 120	$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$
นาทีที่ 22 ถึง นาทีที่ 39 และ นาทีที่ 92 ถึง 103	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$
นาทีที่ 40 ถึง นาทีที่ 45	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 46 ถึง นาทีที่ 73	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$
นาทีที่ 74 ถึง นาทีที่ 85	$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$
นาทีที่ 104 ถึง นาทีที่ 116	$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

เมื่อทำการคัดแยกชุดข้อมูล ในแต่ละสถานะต่างๆแล้ว จึงนำชุดข้อมูลเหล่านี้ มาทำการ
ประมาณค่าระยะเวลาการเดินทาง ด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.7 เป็น
การประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ย ทุก 5 นาที กรณีที่ Bus Flow=48 v/h และรูปที่ 5.8

เป็นการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางเฉลี่ย ทุก 5 นาที กรณีที่ Bus Flow = 0 v/l/h หรือไม่มีรถประจำทางในระบบจราจร



รูปที่ 5.7: แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทาง จากระเบียบวิธีที่นำเสนอโดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที สำหรับกรณีที่มียุทธประจำทางเข้ามาในระบบ



รูปที่ 5.8: แสดงการประมวลผลค่าระยะเวลาการเดินทาง จากระเบียบวิธีที่นำเสนอโดยเฉลี่ยทุกๆ 5 นาที สำหรับกรณีที่ไม่มีรถประจำทางเข้ามาในระบบ

จากรูปที่ 5.7 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบ ของการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ กรณีที่ มีรถประจำทางผ่านเข้ามาในระบบจราจร โดยเปรียบเทียบความ

ถูกต้องกับ ผลจากแบบจำลองจราจร ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องของการประมาณ ได้แสดงออกมาในรูปของ ค่าคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วยวิธี RMSE ปรากฏว่า ในกรณีที่ผู้สั่งรถกวนเข้ามาภายในระบบจราจร จะมีค่าคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error หรือ RMSE) เท่ากับ 184.9 หรือหากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Root Mean Square Error Percentage หรือ RMSEP) จะมีค่าเท่ากับ 38.20 % ในขณะที่ รูปที่ 5.8 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบ ของการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ กรณีที่ *ไม่มี*รถประจำทางผ่านเข้ามาในระบบจราจร โดยเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลจากแบบจำลองจราจร ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องของการประมาณ จะมีค่าคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error หรือ RMSE) เท่ากับ 81.75 หรือหากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Root Mean Square Error Percentage หรือ RMSEP) จะมีค่าเท่ากับ 20.5 %

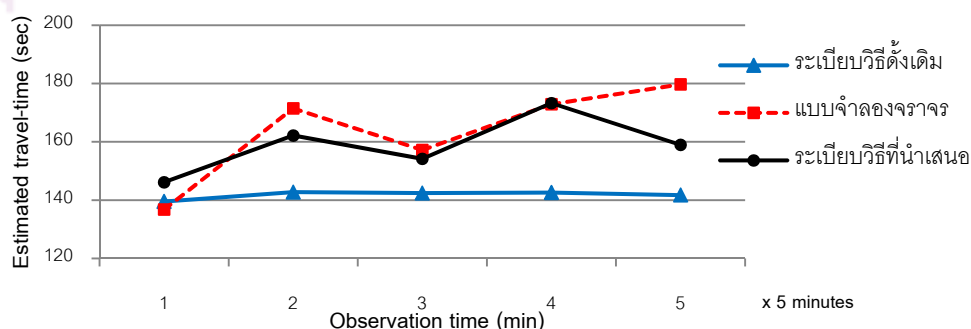
สรุปผลการทดสอบ สำหรับกรณีตัวอย่างนี้ ซึ่งกำหนดให้ทุกๆ 15 นาที มีรถประจำทางผ่านเข้ามาในปริมาณ 24 คัน ต่อ 2 เลน เปรียบเสมือนเป็นสิ่งรถกวนที่ผ่านเข้ามาในระบบจราจร จะส่งผลให้การประมาณระยะเวลาการเดินทาง ด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอมีค่าคลาดเคลื่อนสูงขึ้น เนื่องจากระเบียบวิธีที่นำเสนอ ได้มาจากระบบจราจรที่มีเพียงยานพาหนะส่วนบุคคลเท่านั้นซึ่งจะมีขนาดเล็กกว่ารถประจำทาง

5.3 สรุปผลการทดสอบ สำหรับสถานการณ์ต่างๆ

ในหัวข้อนี้ เป็นการทดสอบความถูกต้อง ของการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอ กับชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยแต่ละชุดข้อมูลของการทดสอบ ที่จะแสดงดังต่อไปนี้ มาจากการตัดเฉพาะชุดข้อมูล ในช่วงเวลาปัจจุบันมาทำการทดสอบ

การประมาณระยะเวลาการเดินทางสำหรับกรณีที่*ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ (No change of state)* สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

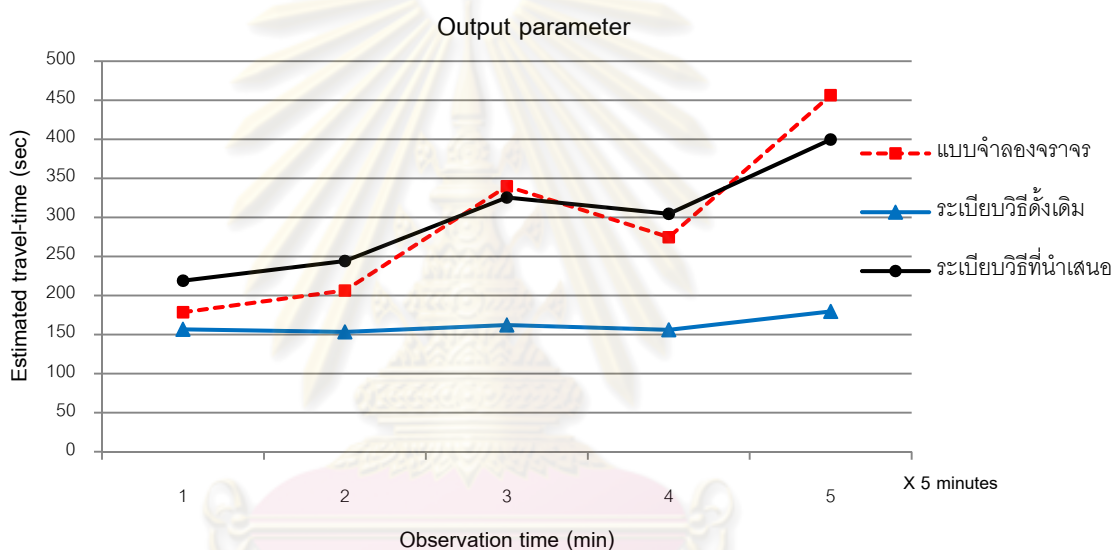
1. *สภาวะการจราจรคล่องตัว (Free flow state)* จากรูปที่ 5.9 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณได้ จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการใช้รถรอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 18



รูปที่ 5.9: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

ระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถประมาณได้อย่างถูกต้องมากกว่า ระเบียบวิธีดั้งเดิม ดังแสดงในกรณีกราฟตัวอย่างรูปที่ 5.9 โดยวิธีที่นำเสนอให้ค่า RMSEP เท่ากับ 6.77% และ 15.97% สำหรับวิธีดั้งเดิม และสำหรับค่า RMSEP ที่ได้จากการทดสอบ กับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหล ในช่วงเวลาปัจจุบัน แสดงในภาคผนวกรูปที่ 28

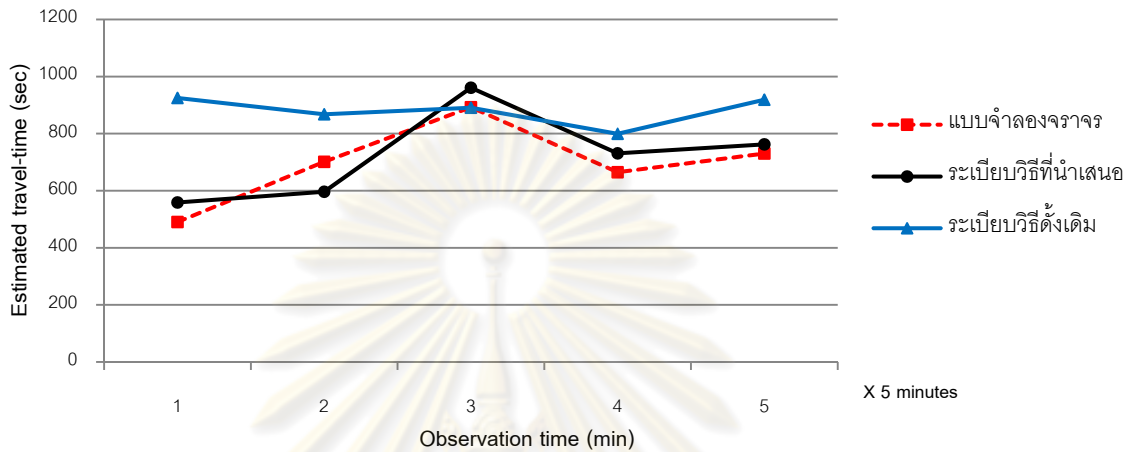
2. สภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (*Saturated flow state*) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.10 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 19



รูปที่ 5.10: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1600 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

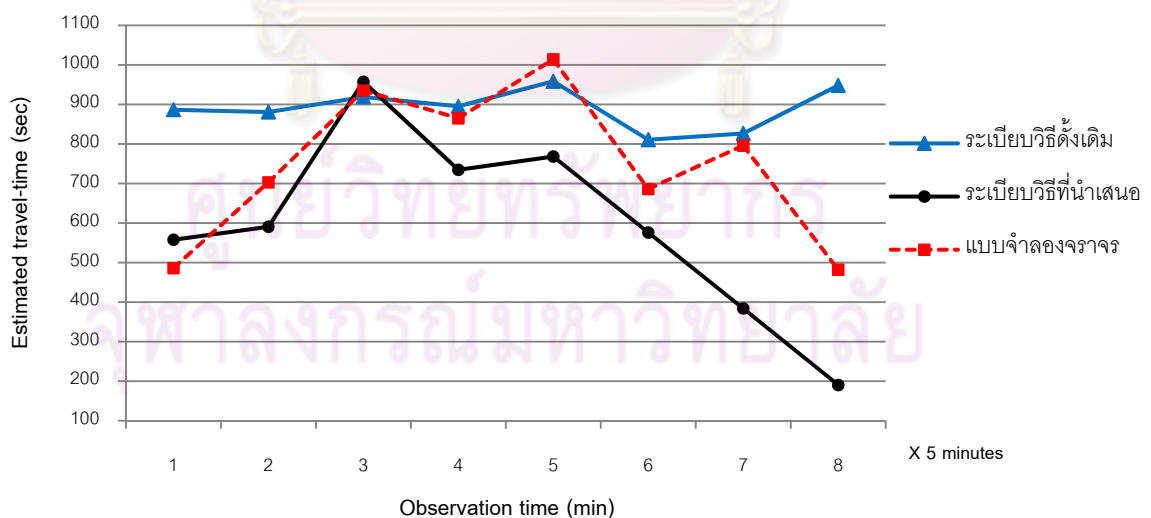
สภาวะการจราจรหนาแน่นปานกลาง (*Saturated flow state*) เป็นสถานการณ์ที่ ระยะเวลาการเดินทางมีทิศทางการเปลี่ยนแปลง สูงขึ้นตามลำดับเวลา โดยมีสาเหตุมาจากการสะสมของปริมาณยานพาหนะกลุ่มหนึ่ง ที่ตกค้างมาจากช่วงเวลาในอดีต จึงส่งผลกระทบต่อเหตุการณ์ในปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง ตามลำดับเวลา ระเบียบวิธีที่นำเสนอ จึงสามารถประมาณระยะเวลาการเดินทาง ได้ถูกต้องมากกว่าวิธีดั้งเดิม อย่างเห็นได้ชัดเจน ดังแสดงในกรณีกราฟตัวอย่างรูปที่ 5.10 โดยวิธีที่นำเสนอให้ค่า RMSEP เท่ากับ 13.19% และ 54.43% สำหรับวิธีดั้งเดิม และสำหรับค่า RMSEP ที่ได้จากการทดสอบ กับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหล ในช่วงเวลาปัจจุบัน แสดงในภาคผนวกรูปที่ 29

3. *สภาวะการจราจรคับคั่ง (Over-saturated flow state)* ดังรูปที่ 5.11 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณได้ จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 20



รูปที่ 5.11: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ $T_{max} = 900s$

พิจารณารูปที่ 5.12 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณได้ จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 21



รูปที่ 5.12: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทางกรณีค่าโดยเฉลี่ยของ $T_{max} = 1020s$

สภาวะการจราจรคับคั่ง (Over-saturated flow state) เป็นสถานการณ์ที่ ระยะเวลาการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเหตุการณ์ในอดีต ในสภาวะนี้ค่าระยะเวลาการเดินทางจะมี

ขอบเขตสูงสุดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1100 วินาที (T_{max}) อีกทั้ง สภาวะการจราจรคับคั่งนี้ (Over-saturated flow state) จะมีความเกี่ยวเนื่อง ไปยังกรณีที่ สภาวะการจราจรเบาบางลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่มีความต่อเนื่องนี้ ส่งผลให้ การประมาณ เกิดค่าคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากค่า ช่วงเวลาของการอยู่ในสภาวะคับคั่ง (t_{t-1}^{over}) จะส่งผลต่อค่า T_{max} (ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หลายค่า จึงได้ทำการปรับค่า t_{t-1}^{over} เพื่อตรวจวัด และเก็บสะสมค่า ค่า T_{max} ต่างๆ และสุดท้าย จึงได้เลือกชุดข้อมูลที่มีค่า T_{max} มาจากค่ากลางที่เหมาะสม เพื่อเป็นตัวแทนในการสร้างรูปแบบการประมาณ ด้วยเหตุนี้ รูปแบบการประมาณที่ได้มาจากชุดข้อมูลตัวแทนดังกล่าว จึงสามารถส่งผลต่อ ความถูกต้องของการประมาณค่าระยะเวลาการเดินทางด้วยวิธีที่นำเสนอได้ ในกรณีที่หากชุดข้อมูลหนึ่ง มีค่า T_{max} สูงกว่าค่ากลางที่ได้เลือกไว้มาก ซึ่งในกรณีที่แย่มากที่สุด คือ ค่า T_{max} เข้าใกล้ ค่าสูงสุดของสภาวะคับคั่ง (สำหรับในกรณีศึกษาจะมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1100 วินาที) ดังรูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ชุดข้อมูล มีค่าโดยเฉลี่ยของ T_{max} ประมาณเท่ากับ 1020s จากผลการทดสอบ ปรากฏค่าคลาดเคลื่อน RMSEP เท่ากับ 21.20% สำหรับกรณีที่ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่นำเสนอ และ 31.08% สำหรับกรณีที่ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีดั้งเดิม

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าโดยเฉลี่ยของ $T_{max} = 920s$ จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบ จะเห็นว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ถูกต้องมากกว่า ระเบียบวิธีดั้งเดิม ด้วยค่า RMSEP เท่ากับ 10.30% และ 32.65% ตามลำดับ

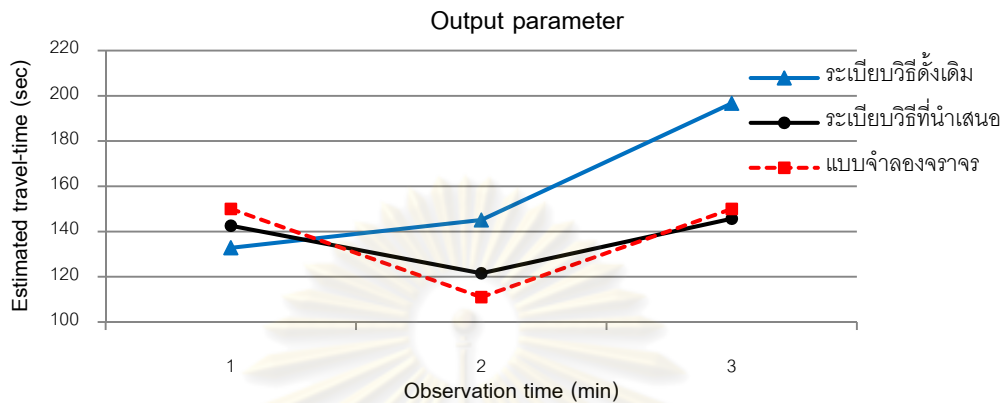
กล่าวโดยสรุปคือ ยิ่งค่า t_{t-1}^{over} สูงมากเท่าไร จะยิ่งส่งผลเสียต่อความถูกต้องในการประมาณด้วยระเบียบวิธีที่นำเสนอมากขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณ ระหว่างระเบียบวิธีที่นำเสนอ และระเบียบวิธีดั้งเดิม จากการทดสอบกับชุดข้อมูลที่มาจากการณ์ต่างๆ ด้วยการปรับช่วงเวลาของการอยู่ในสภาวะคับคั่ง หรือ t_{t-1}^{over} ซึ่งจะส่งผลให้เกิดค่า T_{max} ที่ต่าง ๆ กัน (ภาคผนวกรูปที่ 30)

สรุปการประมาณระยะเวลาการเดินทางสำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนสถานะในทิศทางขึ้น (Up state transition) ซึ่งสถานะนี้เปรียบเสมือนเป็น ช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะ (State transition) สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. การเปลี่ยนสถานะจากคล่องตัว (free flow state) ไปยัง หนาแน่นปานกลาง (saturated flow state) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.13 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้

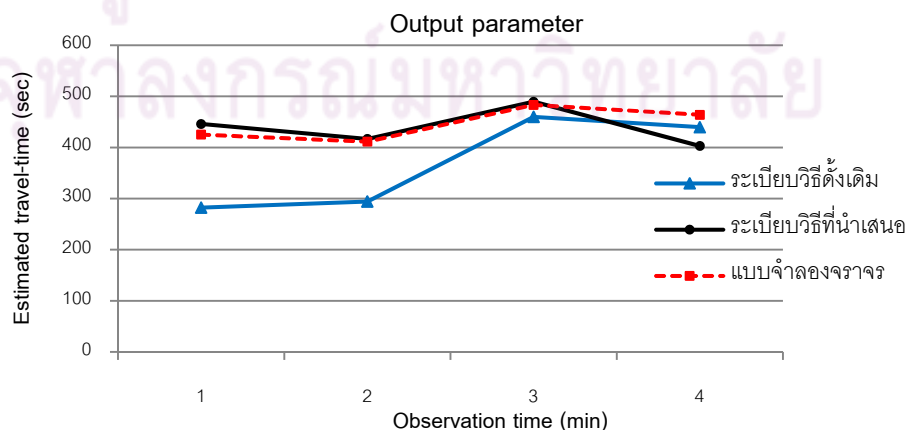
จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 22



รูปที่ 5.13: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

ระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ถูกต้องมากกว่า ระเบียบวิธีดั้งเดิม ด้วยค่า RMSEP เท่ากับ 5.74% และ 25.41% ตามลำดับ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณ ระหว่างระเบียบวิธีที่นำเสนอ และระเบียบวิธีดั้งเดิม จากการทดสอบกับชุดข้อมูลที่มาจากสถานการณ์ต่างๆ ด้วยการการปรับค่าการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (ภาคผนวกรูปที่ 31)

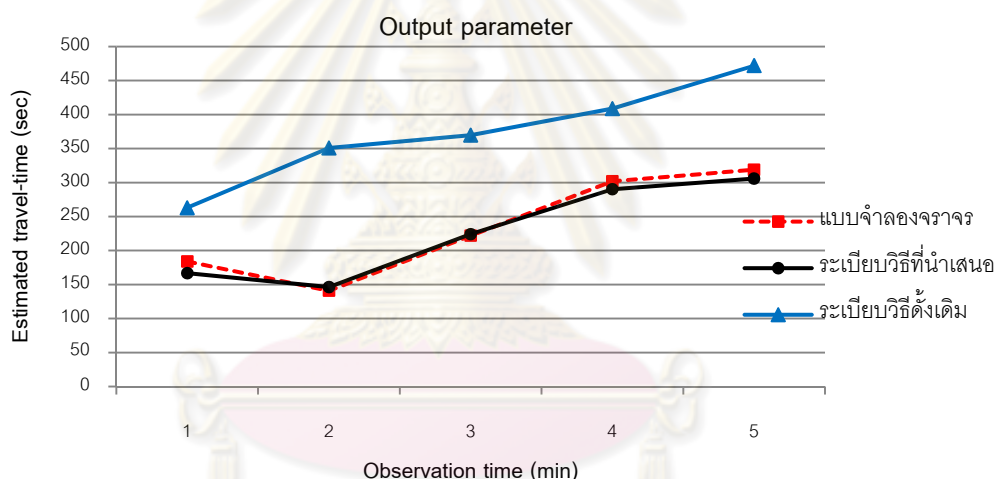
2. การเปลี่ยนสถานะจากหนาแน่นปานกลาง (*saturated flow state*) ไปยัง คับคั่ง (*oversaturated flow state*) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.14 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 23



รูปที่ 5.14: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 2400 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

ระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณ ได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบ จะเห็นว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ถูกต้องมากกว่า ระเบียบวิธีดั้งเดิม ด้วยค่า RMSEP เท่ากับ 15.63% และ 21.04% ตามลำดับ วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดสอบ กับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหล ในช่วงเวลาปัจจุบัน ดังแสดงใน ภาคผนวกรูปที่ 32 โดยได้มีการนำเสนอการวัดระดับความถูกต้อง ด้วยค่า RMSEP

3. การเปลี่ยนสถานะจากคล่องตัว (free flow state) ไปยัง คับคั่ง (over-saturated flow state) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.15 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 24

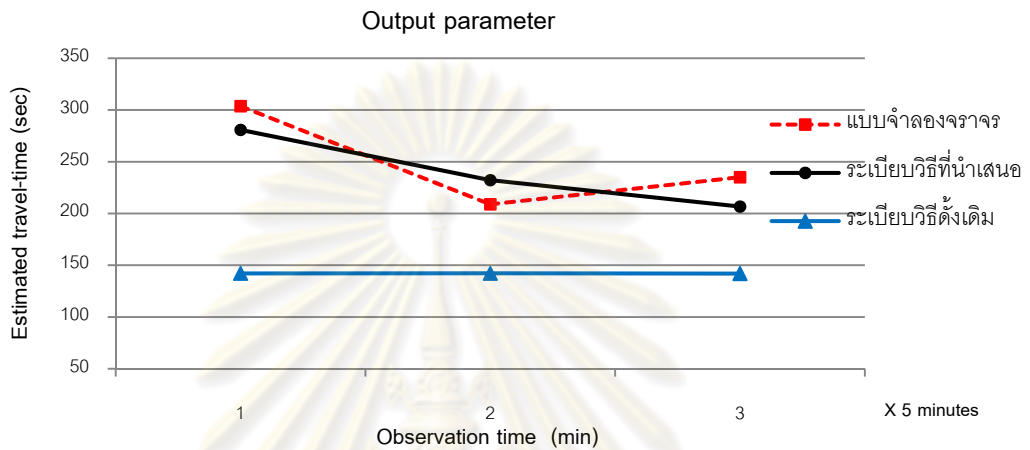


รูปที่ 5.15: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบ จะเห็นว่าระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ถูกต้องมากกว่า ระเบียบวิธีดั้งเดิม ด้วยค่า RMSEP เท่ากับ 4.82% และ 62.63% ตามลำดับ ดังนั้นวิธีที่นำเสนอจึงสามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณ ได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม ด้วยการทดสอบกับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหลต่างๆ ของช่วงเวลาในอดีต ดังแสดงใน ภาคผนวก รูปที่ 33

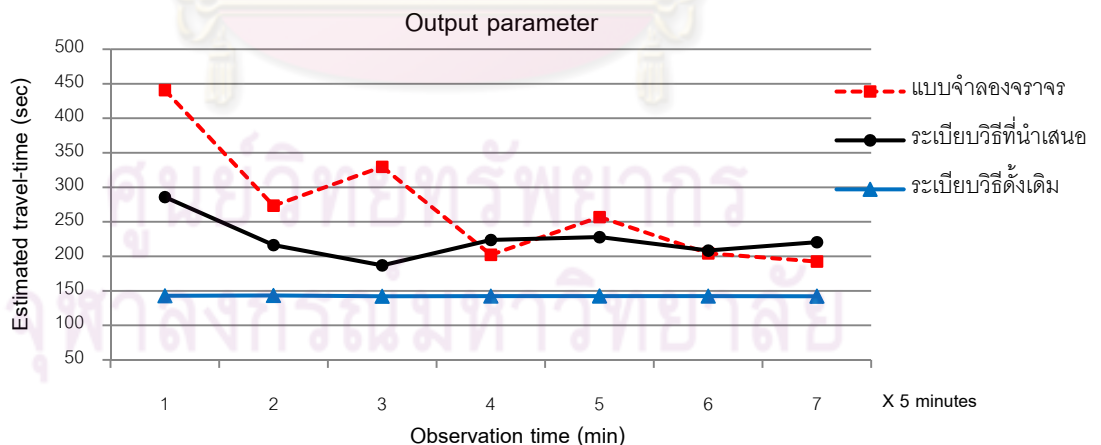
สรุปการประมาณระยะเวลาการเดินทางสำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนสถานะในทิศทางลง (Down state transition) ซึ่งสถานะนี้เปรียบเสมือนเป็น ช่วงของการเปลี่ยนแปลงสถานะ (State transition) สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. การเปลี่ยนสถานะจากหนาแน่นปานกลาง (*saturated flow state*) ไปยัง คล่องตัว (*free flow state*) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.16 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 25



รูปที่ 5.16: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 600 วินาที

ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.17 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทางที่ประมาณที่ได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 26



รูปที่ 5.17: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 1400 วินาที

การเปลี่ยนสถานะจากหนาแน่นปานกลาง (*saturated flow state*) ไปยัง คล่องตัว (*free flow state*) ในสถานะนี้ ค่าการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง จะขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีได้มีเพียงแค่อัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา อาทิเช่น ค่า $TRTS^{sat \rightarrow free}$ ค่า T_{max} (ดังที่ได้

กล่าวไว้ในบทที่ 4) และค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (ใช้ในการตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา) เป็นต้น โดยระเบียบวิธีที่นำเสนอ ได้คำนึงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วย

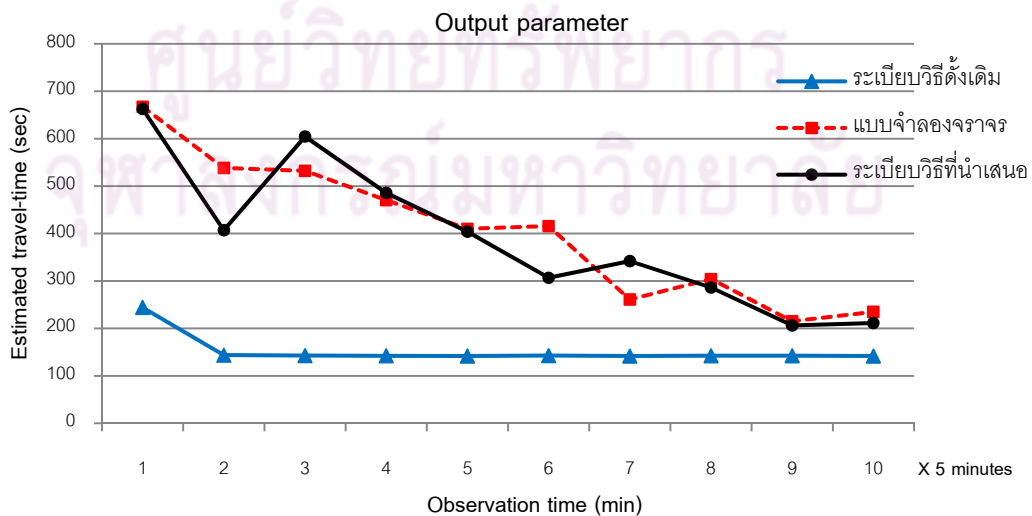
สำหรับการแสดงผลการทดสอบในหัวข้อนี้ จะเป็นการแสดงตัวอย่างผลการทดสอบที่เกิดจากการปรับค่าช่วงเวลาของการอยู่สภาวะหนาแน่นปานกลาง หรือ t_{t-1}^{sat} (เพื่อให้สามารถตรวจวัดค่า T_{max} ที่แตกต่างกัน) เนื่องจาก ค่า t_{t-1}^{sat} เป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสูง ต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางในสภาวะนี้

พิจารณารูปที่ 5.16 และ 5.17 สามารถสรุปได้ว่า หากชุดข้อมูลของการทดสอบมีค่า t_{t-1}^{sat} สูง (ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า T_{max} ด้วยความสัมพันธ์ที่มีทิศทางของการเปลี่ยนแปลงเดียวกัน) จะยิ่งทำให้การประมาณด้วยวิธีที่นำเสนอเกิดค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงกว่ากรณีชุดข้อมูลของการทดสอบมีค่า t_{t-1}^{sat} ต่ำ

อย่างไรก็ตาม ระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงการประมาณระยะเวลาการเดินทางได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณระหว่างวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม กับสถานการณ์อื่นๆ ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาคผนวก รูปที่ 34 และ 35 โดยทดสอบกับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหลในช่วงเวลาปัจจุบัน

2. การเปลี่ยนสภาวะจากคับคั่ง(over-saturated flow state) ไปยัง คล่องตัว (free flow state) ดังตัวอย่าง รูปที่ 5.18 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาการเดินทาง

ที่ประมาณได้จากทั้งวิธีที่นำเสนอ และวิธีดั้งเดิม โดยที่ชุดข้อมูลอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา (input parameter) ได้แสดงในภาคผนวก รูปที่ 27



รูปที่ 5.18: ตัวอย่าง ผลการประมาณระยะเวลาการเดินทาง กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

การเปลี่ยนสถานะจากคับคั่ง (*over-saturated flow state*) ไปยัง คล่องตัว (*free flow state*) ในสภาวะนี้ ค่าการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง จะขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีได้มีเพียงแค่ว่า ค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา อาทิเช่น ค่า $TRTS^{over \rightarrow free}$ (ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4) และค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (ใช้ในการตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา) เป็นต้น โดยระเบียบวิธีที่น่าเสนอ ได้คำนึงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วย จึงทำให้สามารถปรับปรุงความถูกต้องของ การประมาณระยะเวลาการเดินทาง ได้มากกว่าวิธีดั้งเดิม และเพื่อการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณระหว่างวิธีที่น่าเสนอ และวิธีดั้งเดิมกับ สถานการณ์อื่นๆ จึงได้ทำการทดสอบ กับชุดข้อมูลที่เกิดจากการปรับค่าปริมาณการไหลในช่วงเวลาปัจจุบัน ดังแสดงในภาคผนวก รูปที่ 36



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ในปัจจุบันนี้ ความต้องการทางด้านข้อมูลข่าวสารจราจรค่อนข้างเป็นประโยชน์ต่อผู้ขับขี่ที่สามารถช่วยให้ผู้ขับขี่ ทำการตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางที่เหมาะสมได้ โดยชนิดของข้อมูลจราจรมีอยู่หลากหลายชนิด ซึ่งหนึ่งในชนิดที่น่าสนใจ และสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับความติดขัดบนท้องถนนได้ดีชนิดหนึ่งคือ ระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) แต่การที่จะได้มาซึ่งข้อมูลระยะเวลาการเดินทางเหล่านี้ จำเป็นต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูง อาทิเช่น ถนนในกรุงเทพมหานคร อาจจะต้องติดตั้งกล้องวิดีโอเพิ่มเติม เพื่อตรวจจับภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะบนท้องถนน หรืออีกวิธีหนึ่ง คือการเก็บสะสมข้อมูลระยะเวลาการเดินทางจริงจากถนนทุกเส้น ในทุกช่วงเวลาของวัน และในแต่ละวันของสัปดาห์ ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้ปริมาณข้อมูลที่สูง เพื่อรับประกันถึงความน่าเชื่อถือของปริมาณข้อมูลที่เก็บสะสม

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงให้ความสนใจ และทำการศึกษา ถึงการประมาณระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) โดยอาศัยข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่แล้ว ซึ่งก็คือ ค่าอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองจราจร (Simulator) เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบ การประมาณระยะเวลาการเดินทาง ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ขับขี่ ด้วยงบประมาณการลงทุนที่ไม่สูง

ถึงแม้ แนวคิดการนำข้อมูลอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา มาประมาณหาค่าระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย จะเป็นแนวคิดดั้งเดิมที่เคยมีการนำเสนอขึ้นมาจากงานวิจัยในอดีต แต่เนื่องจากแนวคิดดั้งเดิมนี เป็นเพียงการนำเสนอ ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ระหว่างสองตัวแปรเท่านั้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริง ภายในความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) และอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) จึงส่งผลให้ระดับความถูกต้องของการประมาณที่ได้จากระเบียบวิธีดั้งเดิมนี มีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ดังนั้น จึงนำมาสู่วัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ต้องการปรับปรุงความถูกต้องจากการประมาณระยะเวลาการเดินทาง (Travel-time) โดยอาศัยเพียงค่าอัตราการใช้ครอบครองเชิงเวลา (Time-occupancy ratio) ด้วยการนำเสนอแนวคิด การแบ่งแยกการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรออกเป็น 8 ลักษณะที่แตกต่างกัน โดยคำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้การประมาณระยะเวลาการเดินทาง มีความถูกต้อง

และสอดคล้องกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทาง (ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นตรง) ให้ได้มากที่สุด

ผลการทดสอบโดยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า ระเบียบวิธีที่นำเสนอ สามารถเพิ่มความถูกต้องของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ให้ดียิ่งขึ้นจากระเบียบวิธีดั้งเดิมได้เป็นอย่างดี ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ อย่างไรก็ตาม ยังคงมีบางสถานการณ์ ที่การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีที่นำเสนอ อาจจะไม่มีความจำเป็น เนื่องจากระดับความถูกต้องของการประมาณด้วยวิธีดั้งเดิมนั้น อาจเพียงพอแล้ว โดยสถานการณ์นี้ได้แก่

- สถานะคับคั่ง (Over-saturated flow state) ในสถานะนี้สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น สองส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ กรณีที่ช่วงเวลาของการอยู่ในสถานะจราจรคับคั่ง (t_{L-1}^{over}) โดยประมาณน้อยกว่า 40 นาที (สำหรับกรณีศึกษา) ค่าระยะเวลาการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามลำดับเวลา ในส่วนนี้ การประยุกต์ใช้วิธีดั้งเดิม ยังไม่เพียงพอต่อความถูกต้องของการประมาณ แต่สำหรับส่วนที่สองคือ ส่วนต่อเนื่องจากส่วนที่หนึ่ง เป็นกรณีที่ช่วงเวลาของการอยู่ในสถานะจราจรคับคั่ง (t_{L-1}^{over}) โดยประมาณมากกว่า 40 นาที (สำหรับกรณีศึกษา) ค่าระยะเวลาการเดินทางเข้าสู่ค่าขอบเขตสูงสุด สาเหตุมาจากกรณีที่ ช่วงเวลาของการอยู่ในสถานะจราจรคับคั่ง (t_{L-1}^{over}) ยาวนานมาก จนกระทั่งส่งผลให้ค่า T_{max} มีค่าระยะเวลาการเดินทางโดยเฉลี่ย เท่ากับค่าสูงสุดของสถานะนี้ (ในกรณีศึกษาจะมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1100 วินาที) และจะคงค้างอยู่ที่ค่านี้ไปตลอด (หากปริมาณการไหลยังไม่มีลดลง) จึงทำให้การประยุกต์ใช้วิธีดั้งเดิมจะให้ผลที่ต่ำกว่า

ข้อจำกัด

1. ความสามารถในการตรวจจับยานพาหนะด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ

เนื่องจากแบบแผนที่ได้นำเสนอ ยังคงมีข้อจำกัดของการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ที่ได้มาจากการตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ของอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะ ที่ติดตั้งเพียงแค่จุดเดียวบนถนน จึงส่งผลให้ความถูกต้องของการประมาณมีค่าลดลง โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ ปริมาณยานพาหนะผ่านเข้ามาในถนนอย่างหนาแน่น จนกระทั่งการเข้าคิวของยานพาหนะยาว เกินจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับ จึงทำให้อุปกรณ์ขาดประสิทธิภาพ หรือไม่ สามารถตรวจจับยานพาหนะได้อีก ซึ่งสถานการณ์เช่นนี้ เรียกว่า สถานะการจราจรคับคั่ง ซึ่งอาจจะสามารถแก้ไขปัญหามือต้นได้โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอ ร่วมกับวิธีดั้งเดิม

ตารางที่ 6.1: สรุปความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอ กับรูปแบบสถานะต่างๆ

รูปแบบสถานะจราจร	ระเบียบวิธีที่นำเสนอ
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$	✓
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$	✓
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$	✓
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$	✓
$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$	✓*
$S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$	✓
$S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$	✓
$S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$	✓

- ✓ หมายถึง ผลของการประมาณให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าวิธีดั้งเดิม
- ✓* หมายถึง ผลของการประมาณให้ค่าที่ถูกต้องกว่าวิธีดั้งเดิม ในบางกรณี โดยมีเงื่อนไขที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.1

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอ กับถนนเส้นอื่นๆ ที่มีลักษณะต่างกัน เนื่องจากวิธีการประมาณระยะเวลาการเดินทางสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้อาศัยปัจจัยหลัก 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลตามแบบแผนที่ได้นำเสนอ และการนำข้อมูลเหล่านี้ ไปสร้างเป็นรูปแบบสมการ จากการใช้โปรแกรมเศรษฐกิจ (E-view program) มาช่วยในการสร้างรูปแบบสมการที่เหมาะสม แต่ทั้งนี้ รูปแบบสมการที่ได้แสดงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เหมาะสมสำหรับบางกรณีเท่านั้น เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ต่างๆ ในสมการ อาจจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะถนนที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับเทียบพารามิเตอร์ทางการจราจรต่างๆ ให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด ก่อนที่จะมีการนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจราจร ไปใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบสมการที่เหมาะสม สำหรับถนนที่มีลักษณะเฉพาะนั้นๆ ซึ่งในขั้นตอนนี้อาจจะต้องใช้เวลานาน

2. เพื่อให้ค่าการประมาณระยะเวลาการเดินทาง สอดคล้องกับสภาพจราจรจริงบนถนน จุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะ ระยะที่ตั้งของอุปกรณ์ สามารถส่งผลไปยังการตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ดังนั้น จุดที่ตั้งที่เหมาะสม ในแบบจำลองจราจร ควรได้มาจากการสังเกตการณ์ จากสภาพการจราจรจริงบนถนนต่างๆ ก่อนการออกแบบในแบบจำลองจราจร และสำหรับในกรุงเทพมหานคร อาจทำการอ้างอิง ระยะที่ตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับ ของถนนเส้นต่างๆ จากหน่วยข้อมูลของศูนย์ควบคุมป้ายจราจรอัจฉริยะ
3. สำหรับกรณีที่ต้องการให้ระเบียบวิธีที่นำเสนอมีความสามารถในการประมาณระยะเวลาการเดินทางได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ควรทำการออกแบบการทดลอง โดยการป้อนรถโดยสารประจำทางเข้าสู่ระบบจราจรด้วย เนื่องจากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ปริมาณรถประจำทางจะมีไม่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณรถยนต์ส่วนบุคคล แต่สามารถส่งผลเสียต่อความถูกต้องในการประมาณได้ค่อนข้างสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Van Lint, J. W. C., and Schreuder, M. Travel time prediction for VMS panels— Results and lessons learnt from a scale evaluation study in the Netherlands. Transp. Res. Board Annu. Meeting, Washington DC (2006).
- [2] Guin, A. Travel Time Prediction using a Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average Time Series Model. IEEE Intelligent Transportation System Conference (September 2006): 493-498.
- [3] Billing, D., and Jian-Shiou Yang. Application of the ARIMA Models to Urban Roadway Travel Time Prediction-A case Study. IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics (October 2006): 2529-2534.
- [4] LI Zhi-Peng, YU Hong, LIU Yun-Cai, and LIU Fu-Qiang. An Improved Adaptive Exponential Smoothing Model for Short-term Travel Time Forecasting of Urban Arterial Street. ACTA AUTOMATICA SINICA 34, 11 (November 2008): 1404-1409.
- [5] Gipps, P. G. MULTSIM for Simulating Output from Vehicle Detectors on a Multi-lane Signal Controlled Road. University of Newcastle upon Tyne, Transport Operation Research Group (1976).
- [6] Gipps, P. G., and Wilson, B. G. MULTSIM: A computer package for simulating multilane traffic flows. Proc. 4th Eieniol Conference, Simulation Society of Australia (1980).
- [7] Trayford, R. S., Doughty, B. W., and Wooldridge Csiro, M. J. Fuel Saving and Other Benefits of Dynamic Advisory Speeds on a Multi-lane Arterial Road. Division of Energy Technology, Highett, Victoria, Australia (1983): 421-429.
- [8] Gault, H. An On-line Measure of Delay in Road Traffic Computer-Controlled Systems. Traffic Engineering and Control 22, 7 (1981): 384-389.
- [9] Sisiopiku, V.P., Roupail, N.M., and Santiago, A. Travel Time Estimation From Detector Data for Advanced Traveler Information Systems Applications. Chicago, IL: Illinois University Transportation Research Consortium (1994).

- [10] Ajay, K., and Alberto, J. Urban Network Traffic Simulation: TRAFNETSIM Program. Transportation Engineering 116, 6 (November/December 1990): 734-743.
- [11] Sisiopiku, V.P., Roupail, N.M., and Alberto, J. Analysis of Correlation Between Arterial Travel Time and Detector Data from Simulation and Field Studies. Transportation Research Record 1457 (October 2006): 166-173.
- [12] Rich, J., and Zwet, E.V. A Simple and Effective Method for predicting Travel Time on Freeways. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 5, 3 (September 2004): 200-207.
- [13] Yang, Q., Koutsopoulos, H. N., and Ben-Akiva, M. A Simulation Laboratory for Evaluating Dynamic Traffic Management Systems. Transportation Research Record 1710 (1999): 1-26.
- [14] Yang, Q., and H. N. Koutsopoulos. A Microscopic Traffic Simulator for Evaluation of Dynamic Traffic Management System (June 1996): 113-129.
- [15] Ben-Akiva, M., Cortes, M., Davol, A., Koutsopoulos, H., and Toledo, T. MITSIMLab: Enhancements and Applications for Urban Networks. (2000): 1-15.
- [16] Papageorgiou, M., and Vigos, G. Relating time-occupancy measurement to space-occupancy. Transportation research, part C (2008): 1-17.
- [17] Lawrence A. Klien. Sensor Technologies and Data Requirements for ITS. Artech House (2001): 37-38.
- [18] Mathew, T. Introduction to Transportation Engineering. Fundamental relations of traffic flow. 31.1-31.8. IIT Bombay: 2007
- [19] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Introduction, 5-12. United States of America: 2002.
- [20] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Time series analysis, 303-315. United States of America: 2002.
- [21] George, C. S., Wang and Chaman, L. Regression analysis: modeling & forecasting. United State of America: Graceway, 2002.
- [22] Fan, J., Shan, R., Cao, X., and Li, P. The Analysis to Tertiary-industry with ARIMAX Model. Journal of Mathematics Research 1, 2 (September 2009): 156-163.

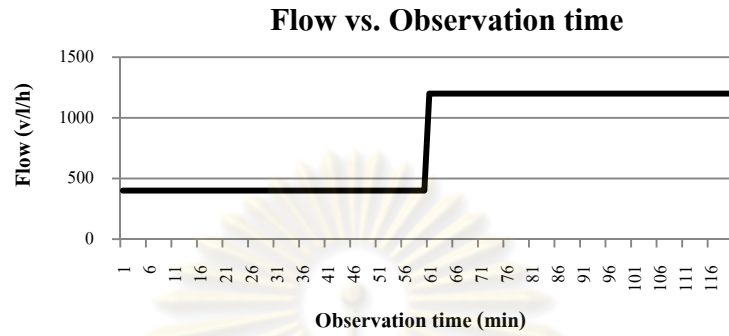
- [23] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Statistical tool, 265- 269. United States of America: 2002.
- [24] อรุณ จีรวัดน์กุล. สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. การประมาณด้วยวิธี ordinary least square, หน้า 146-157. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2552
- [25] อรุณ จีรวัดน์กุล. สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. ข้อสมมติฐานเบื้องต้นของการประมาณด้วยวิธี ordinary least square, หน้า 218-219. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2552
- [26] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Unit root test (ADF), 333-335. United States of America: 2002.
- [27] ถวิล นิลใบ. Econometrics 2. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nidambe11.net/economiz/eview_doc/auto.htm [2552, ธันวาคม]
- [28] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Correlogram of residual, 168-170. United States of America: 2002.
- [29] บัณฑิต ชัยวิชญชาติ. เศรษฐมิติ1. Heteroskedasticity, หน้า 91-99.
- [30] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. Cross correlation and Correlogram, 221. United States of America: 2002.
- [31] Quantitative Micro Software. EView 4 User's Guide. White Heteroskedasticity, 378-379. United States of America: 2002.
- [32] อรุณ จีรวัดน์กุล. สถิติทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. หลักการนำเข้าตัวแปรอิสระ, หน้า 222-224. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2552
- [33] Guin, A. Travel Time Prediction using a Seasonal Autogressive Integrated Moving Average Time Series Model. Proceedings of the IEEE ITSC (September 2006): 493-498.



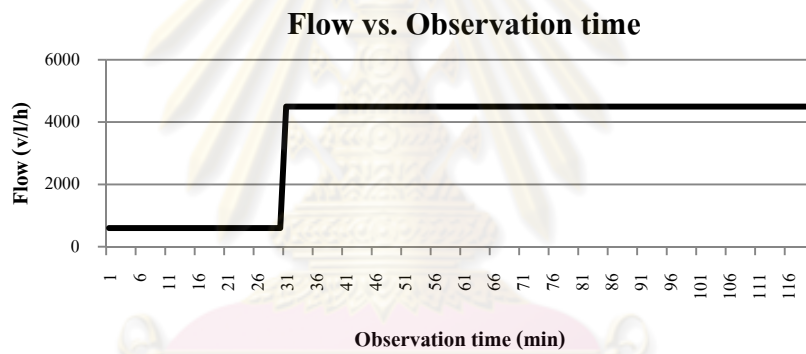
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

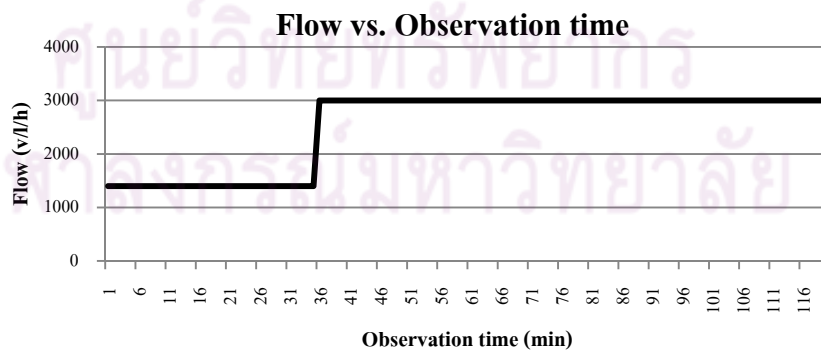
1. แสดงค่าปริมาณการไหล (Flow) ที่ป้อนให้แก่แบบจำลองจราจร เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา



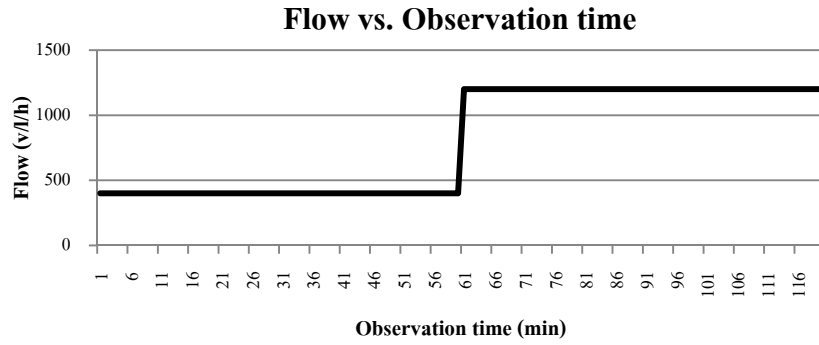
รูปที่ 1: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$



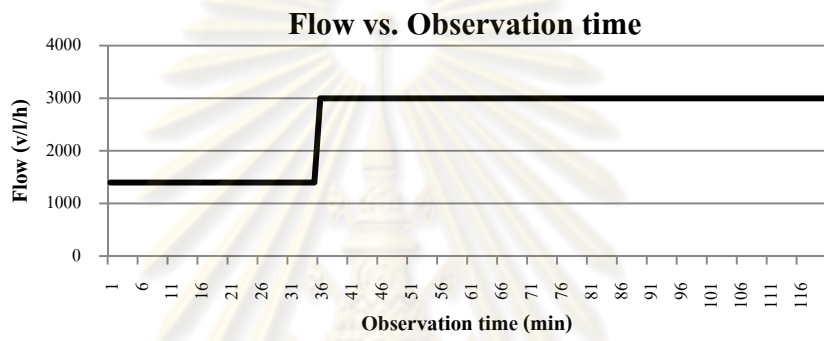
รูปที่ 2: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$



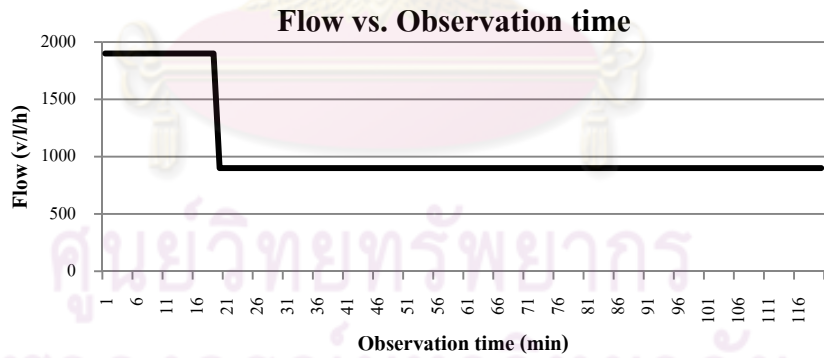
รูปที่ 3: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$



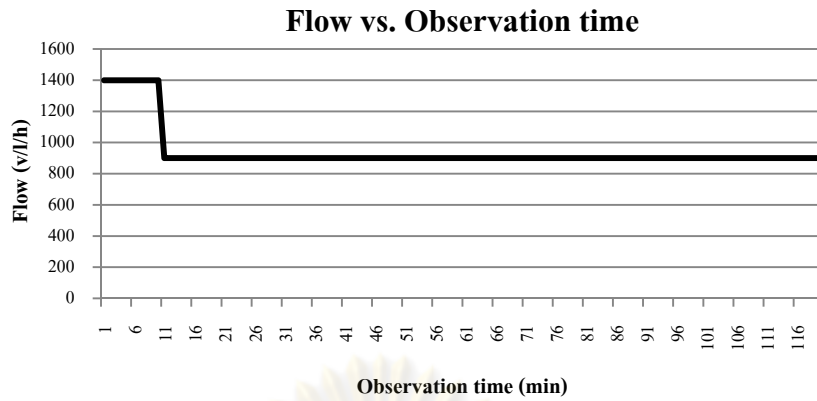
รูปที่ 4: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$



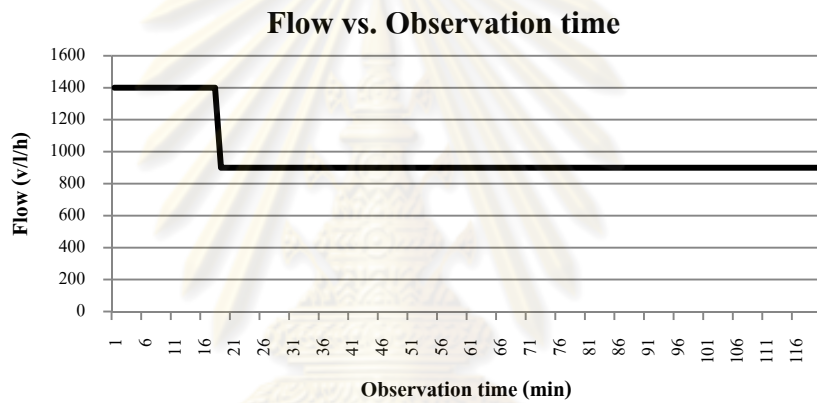
รูปที่ 5: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$



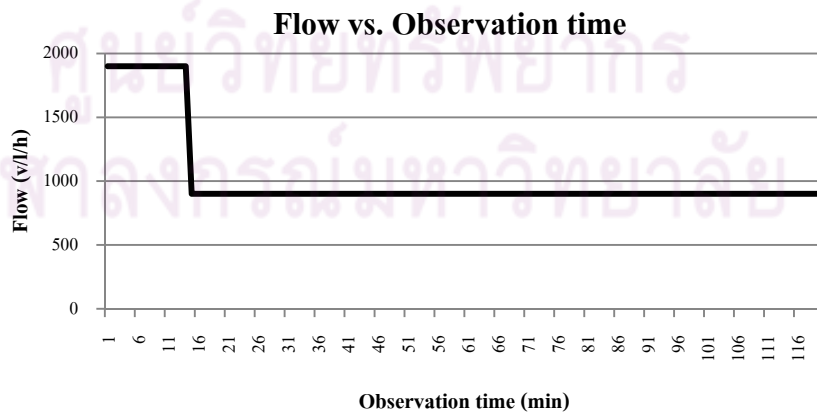
รูปที่ 6: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$



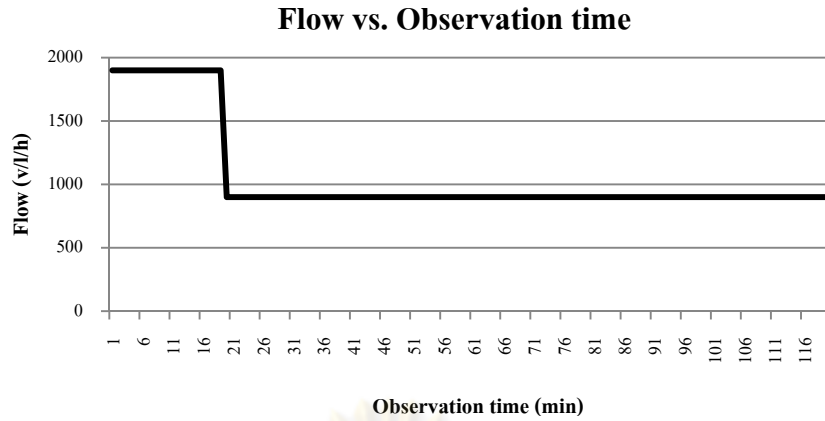
รูปที่ 7: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 8: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 1

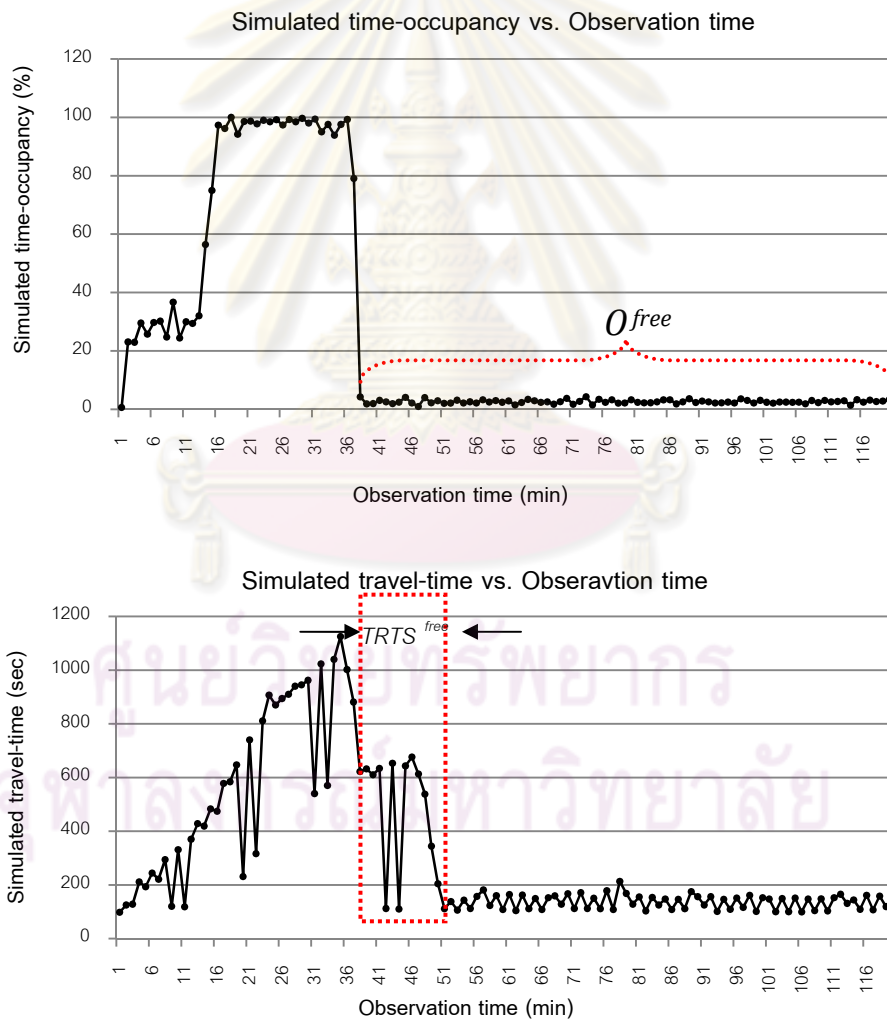


รูปที่ 9: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 2

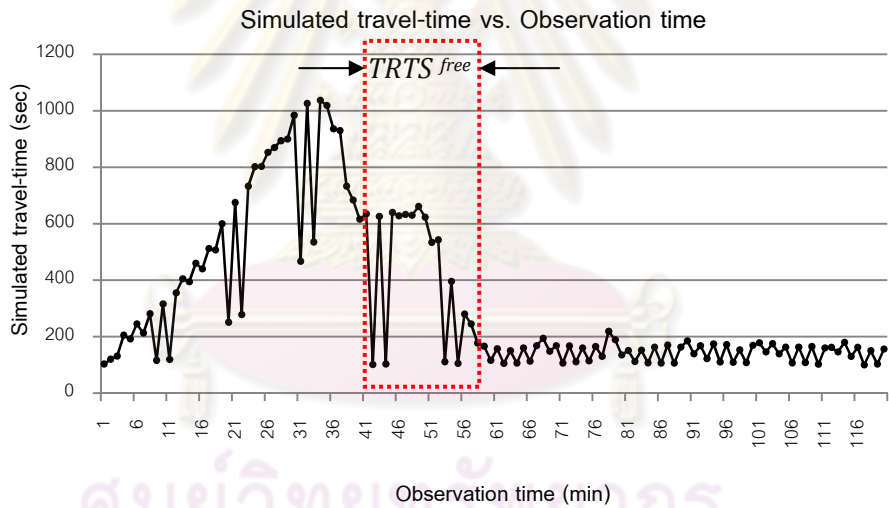
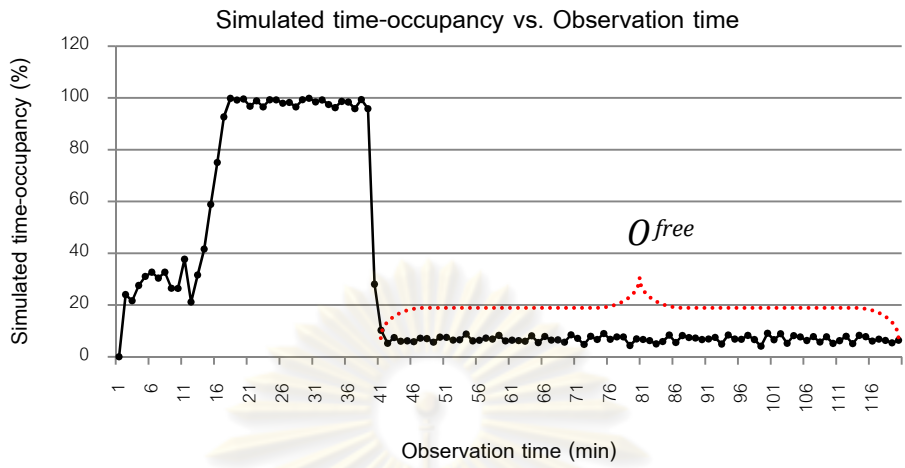


รูปที่ 10: ค่าปริมาณการไหล สำหรับรูปแบบ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$ กรณีตัวอย่างที่ 1

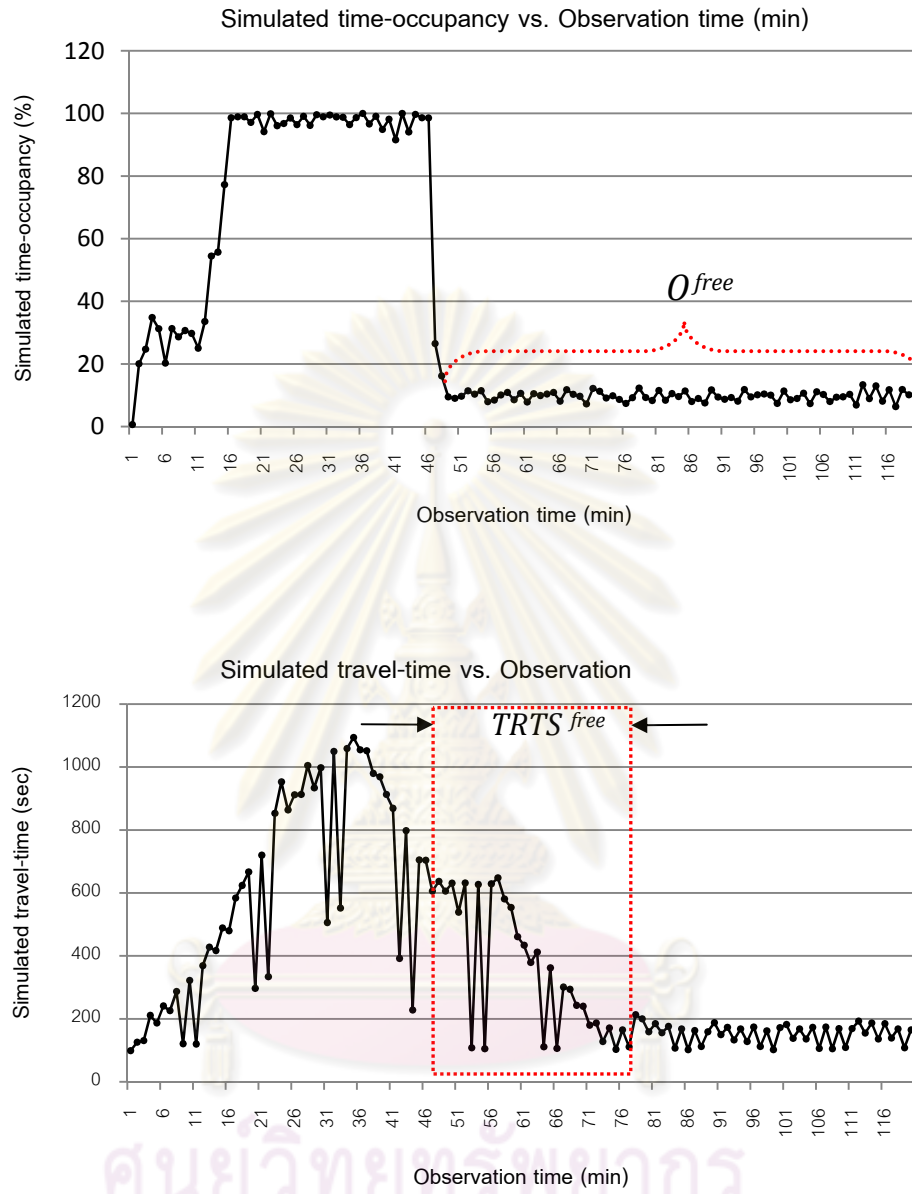
2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $TRTS^{free}$ และ O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$



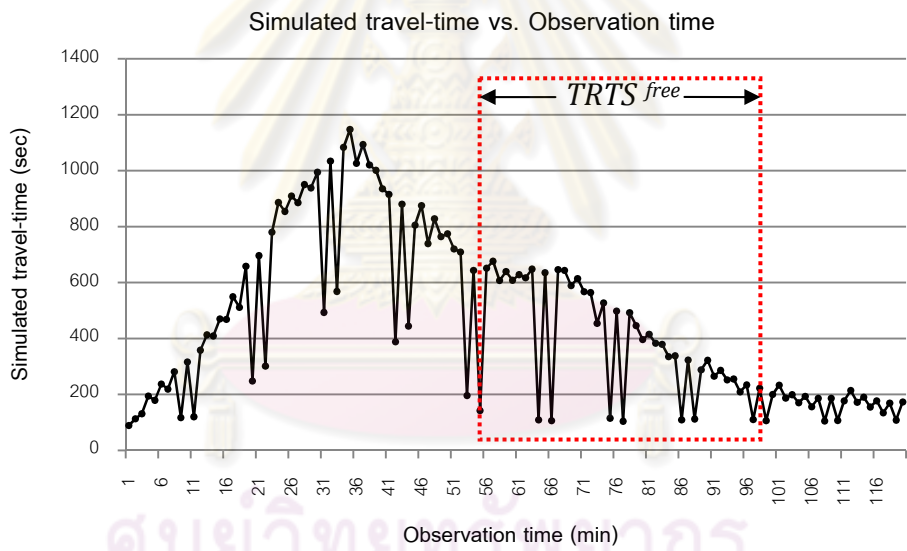
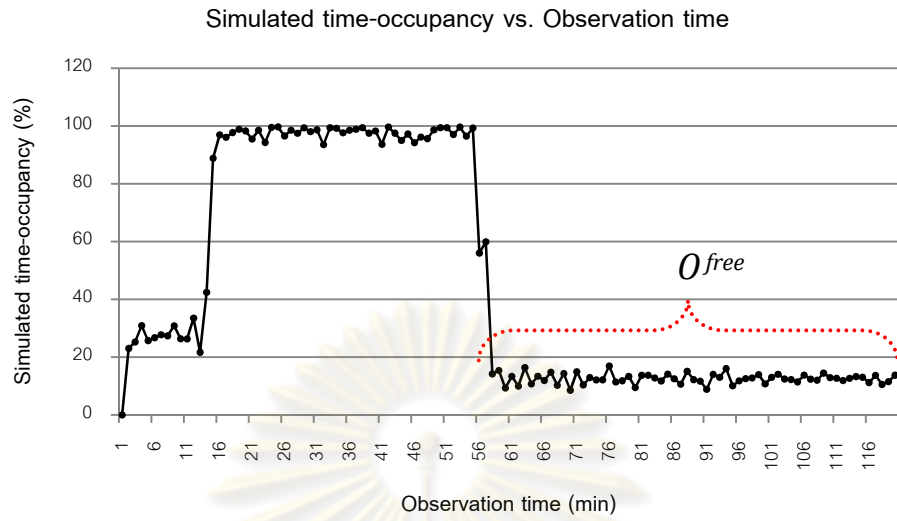
รูปที่ 11: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_t = 200$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}



รูปที่ 12: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_t = 500$ v/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

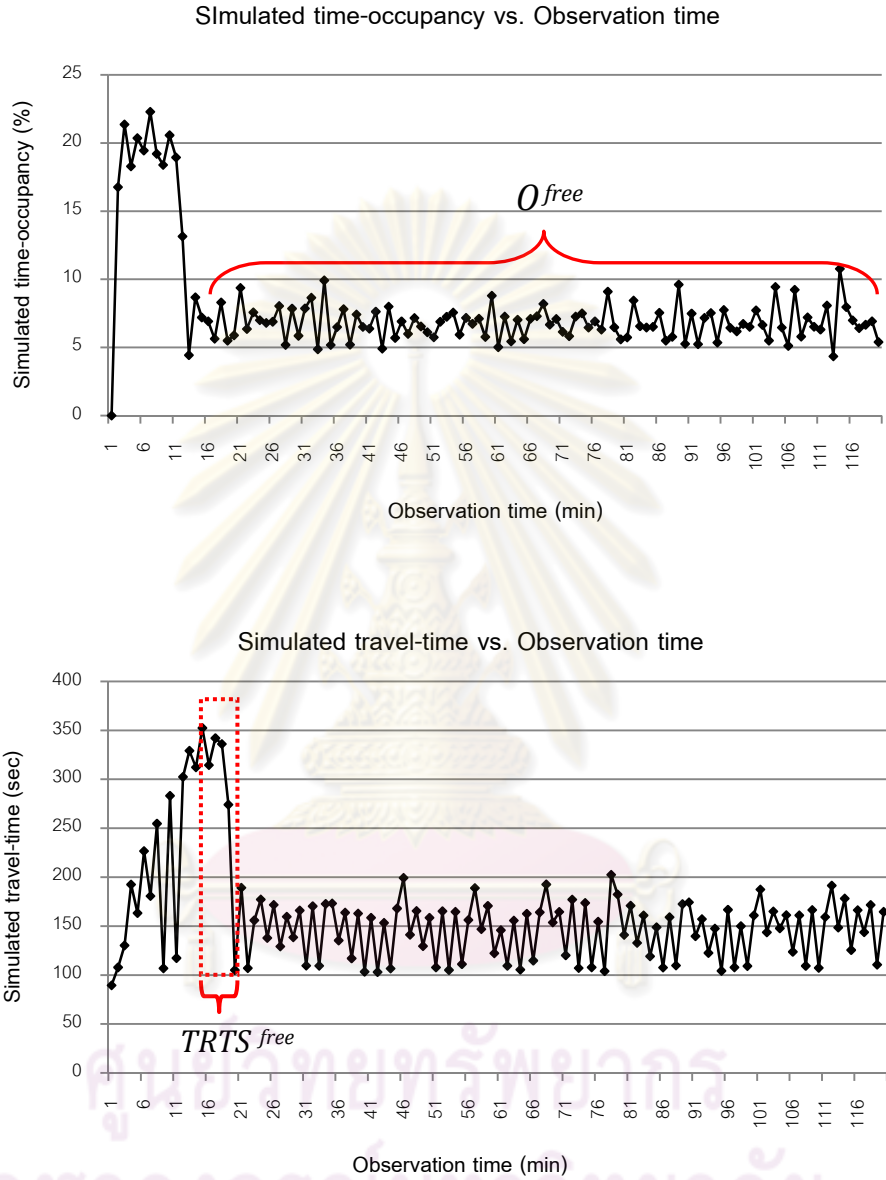


รูปที่ 13: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_i = 700$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}

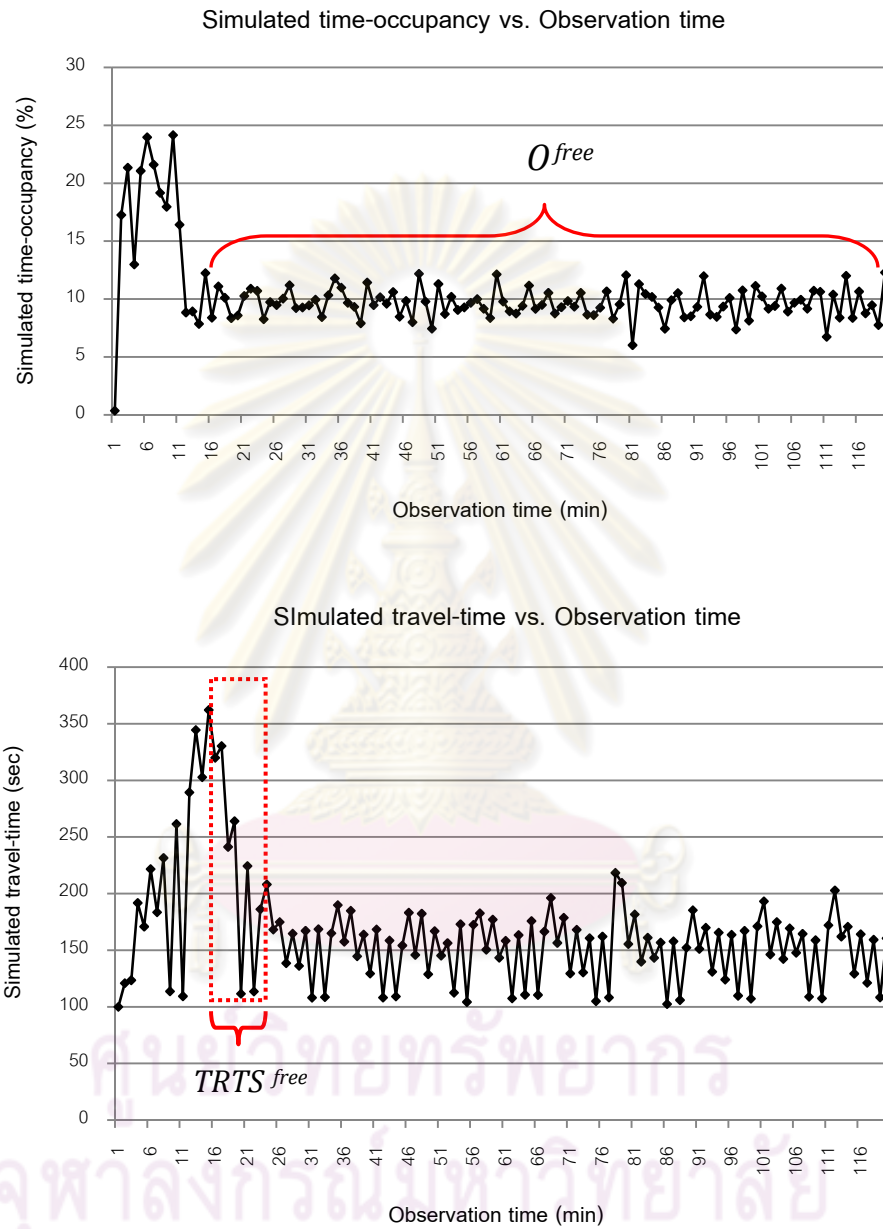


รูปที่ 14: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_t = 900$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}

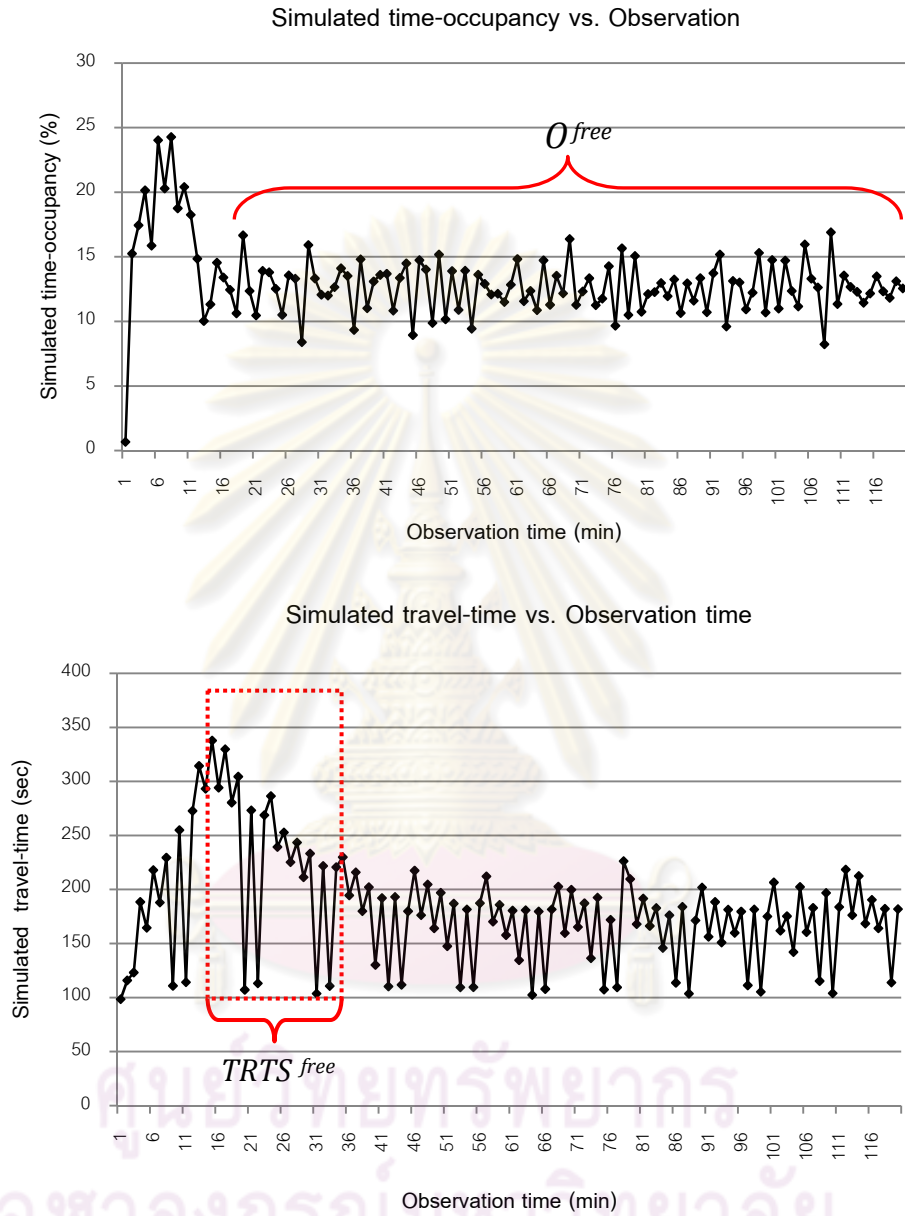
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $TRTS^{free}$ และ O^{free} สำหรับ $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$



รูปที่ 15: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_t = 500$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}



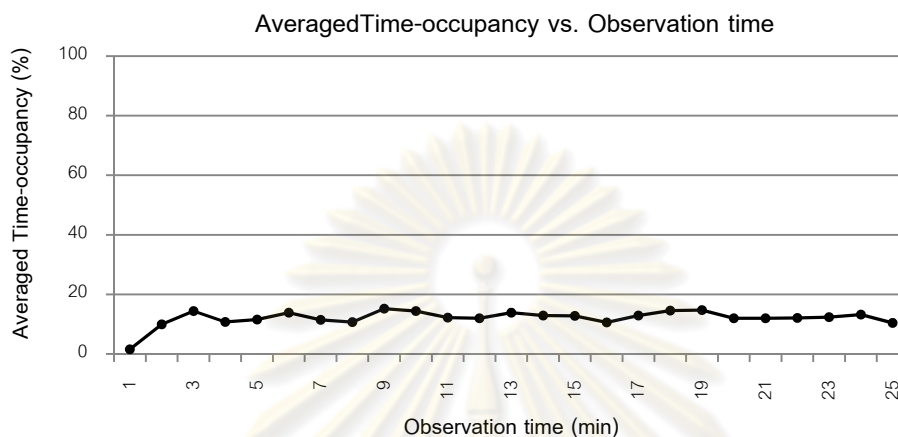
รูปที่ 16: สำหรับกรณีที่ป้อน $F = 700$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}



รูปที่ 17: สำหรับกรณีที่ป้อน $F_t = 900$ v/l/h ในสภาวะปัจจุบัน เพื่อตรวจวัดค่า O^{free}

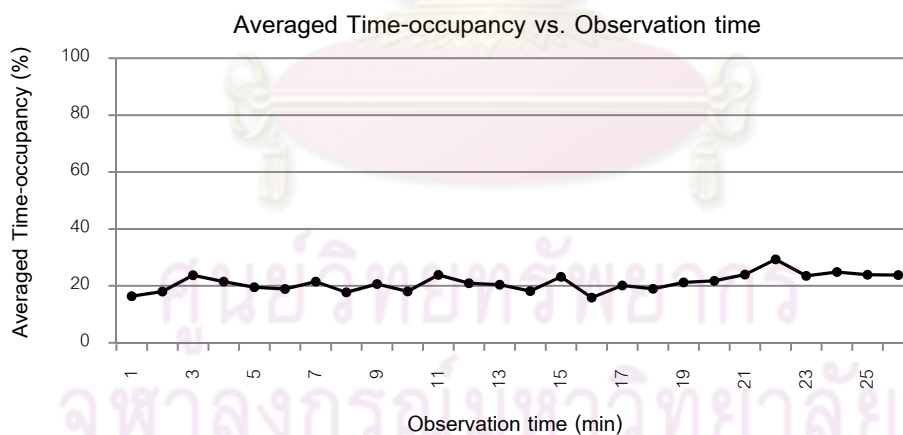
3. ชุดข้อมูลพารามิเตอร์ ที่ป้อนเข้าสู่ระบบสมการ (input parameter) สำหรับการทดสอบการประมาณระยะเวลาการเดินทาง ในสภาวะต่างๆ

3.1. สภาวะจราจรคล่องตัว (free flow state)



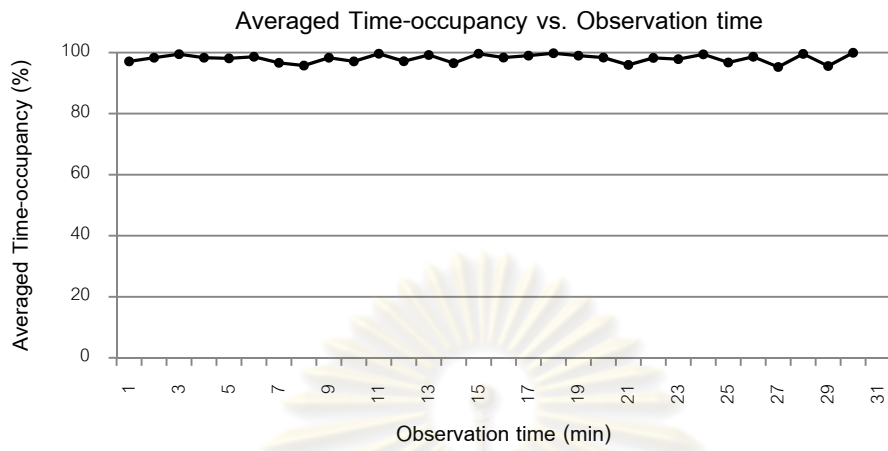
รูปที่ 18: กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

3.2. สภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง (saturated flow state)

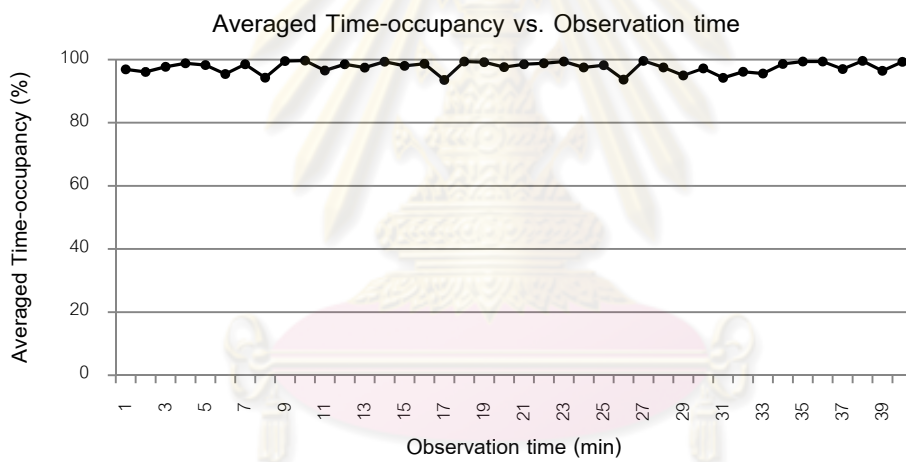


รูปที่ 19: กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1600 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

3.3. สภาวะจราจรคับคั่ง (over-saturated flow state)

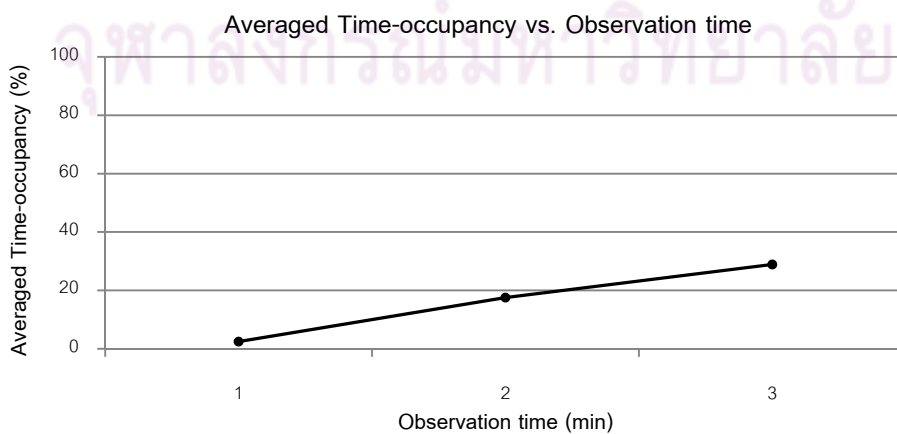


รูปที่ 20: กรณีสถานการณ์ที่ค่าโดยเฉลี่ยของ T_{max} ประมาณเท่ากับ 900s



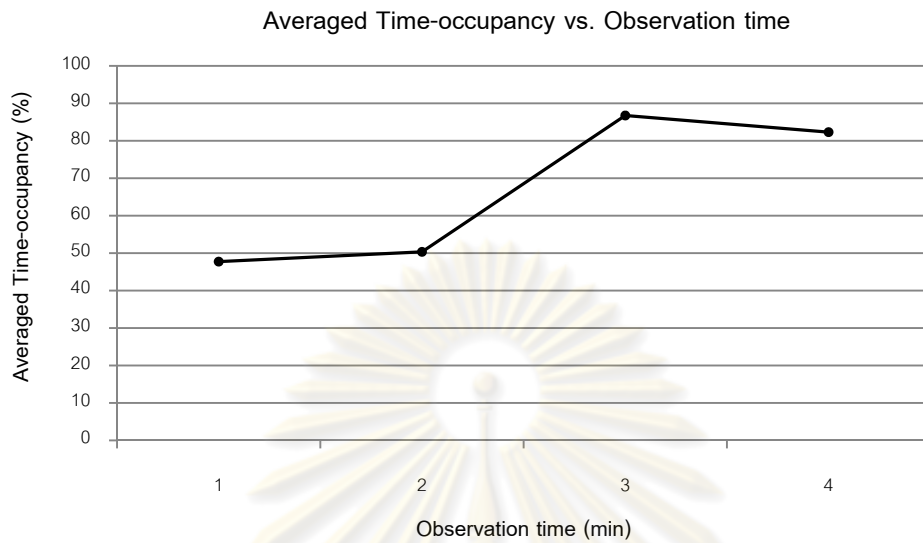
รูปที่ 21: กรณีสถานการณ์ที่ค่าโดยเฉลี่ยของ T_{max} ประมาณเท่ากับ 1020s

3.4. สภาวะจราจรคล่องตัว เปลี่ยนไปสู่ หนาแน่นปานกลาง



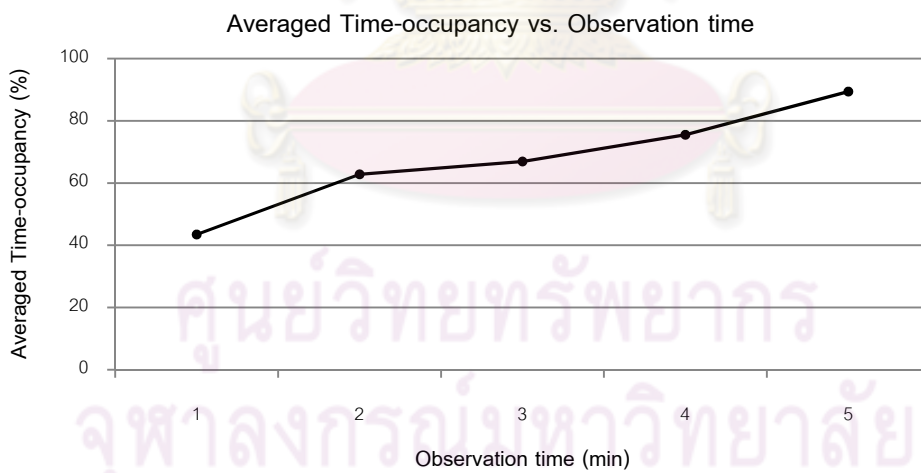
รูปที่ 22: กรณีสถานการณ์ที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 1900 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

3.5. สภาวะจราจรหนาแน่นปานกลาง เปลี่ยนไปสู่ คับคั่ง



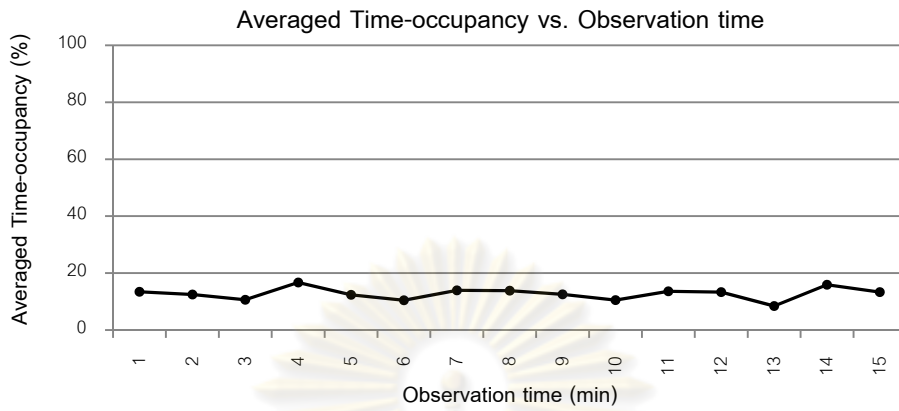
รูปที่ 23: กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 2400 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

3.6. สภาวะจราจรคล่องตัว เปลี่ยนไปสู่ คับคั่ง

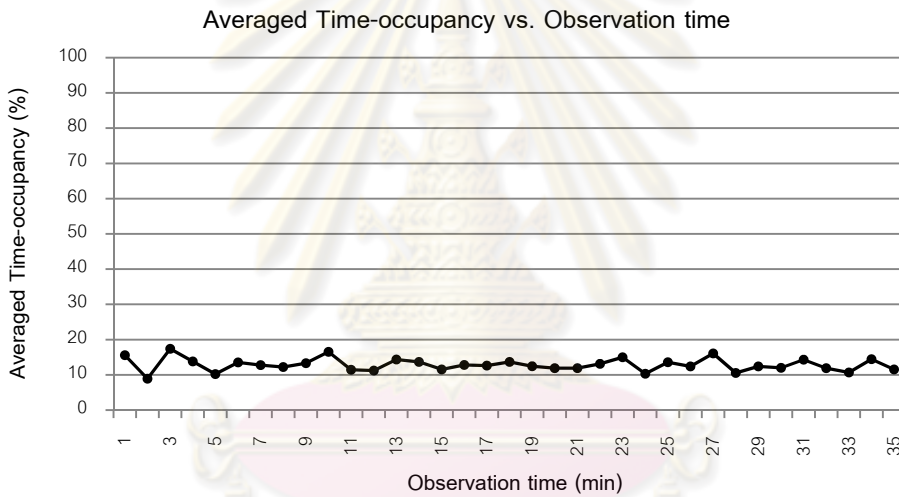


รูปที่ 24: กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมงต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

3.7. สภาพจราจรหนาแน่นปานกลาง เปลี่ยนไปสู่ คล่องตัว

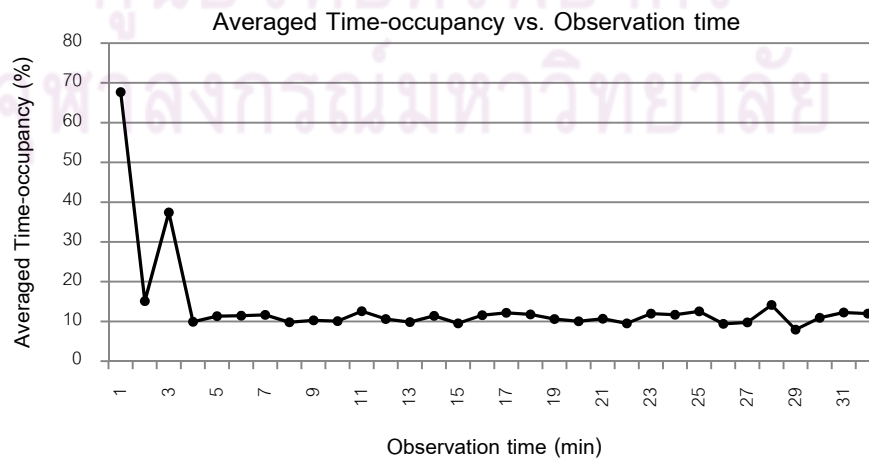


รูปที่ 25: กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 600 วินาที



รูปที่ 26: กรณีที่ค่า t_{t-1}^{sat} เท่ากับ 1400 วินาที

3.8. สภาพจราจรคับคั่ง เปลี่ยนไปสู่ คล่องตัว

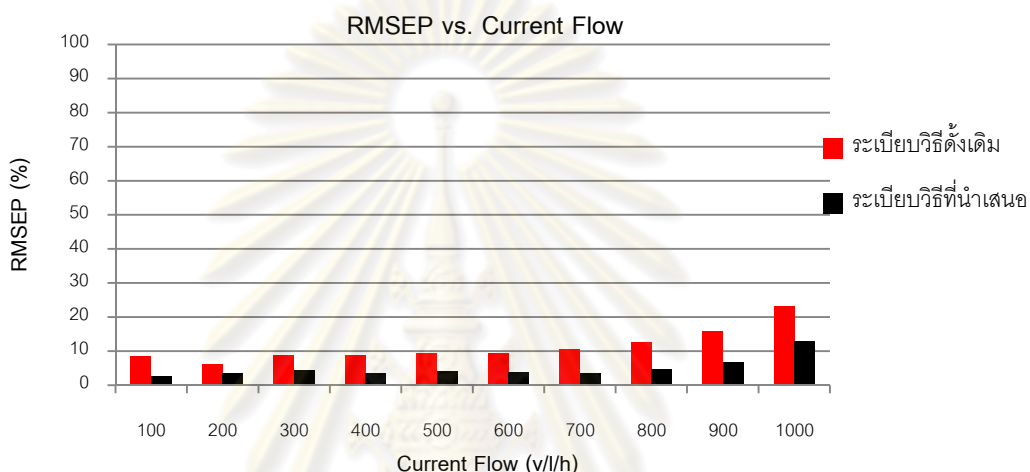


รูปที่ 27: กรณีที่ค่าปริมาณการไหล ณ ช่วงเวลาในอดีตมีค่าเท่ากับ 800 คันต่อชั่วโมง ต่อหนึ่งช่องทางเดินรถยนต์

4. แสดงผลการทดสอบความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอ กับสถานการณ์ต่าง ๆ

4.1. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$

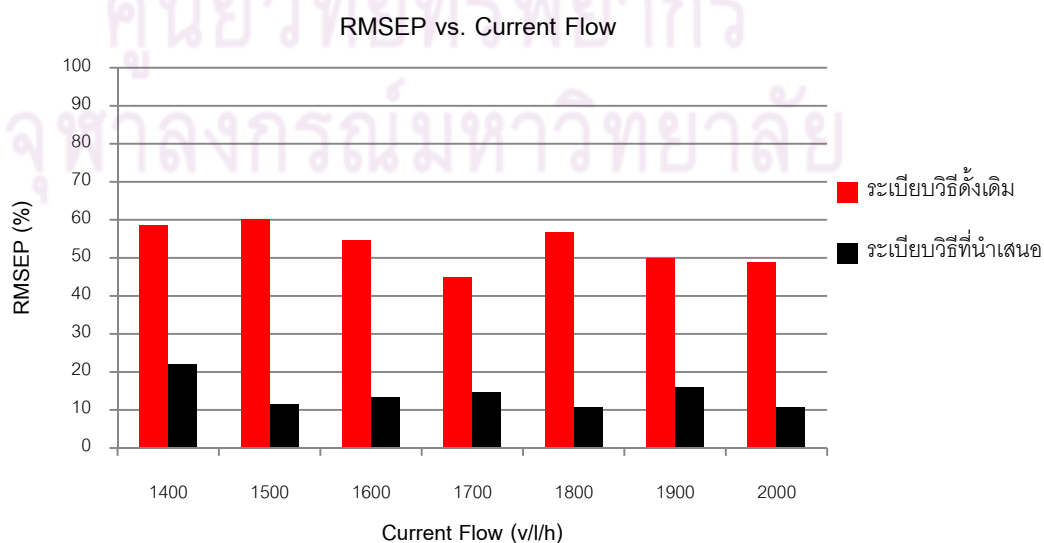
- กรณีที่ปรับค่าการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (F_t) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะคล่องตัว (Free flow state)



รูปที่ 28: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{free}$

4.2. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$

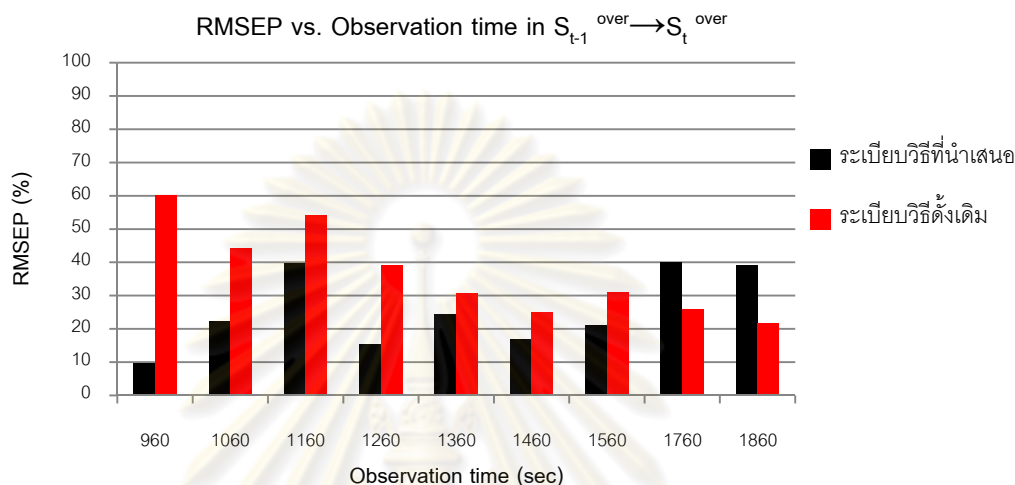
- กรณีที่ปรับค่าการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (F_t) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะหนาแน่นปานกลาง (Saturated-flow state)



รูปที่ 29: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{sat}$

4.3. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$

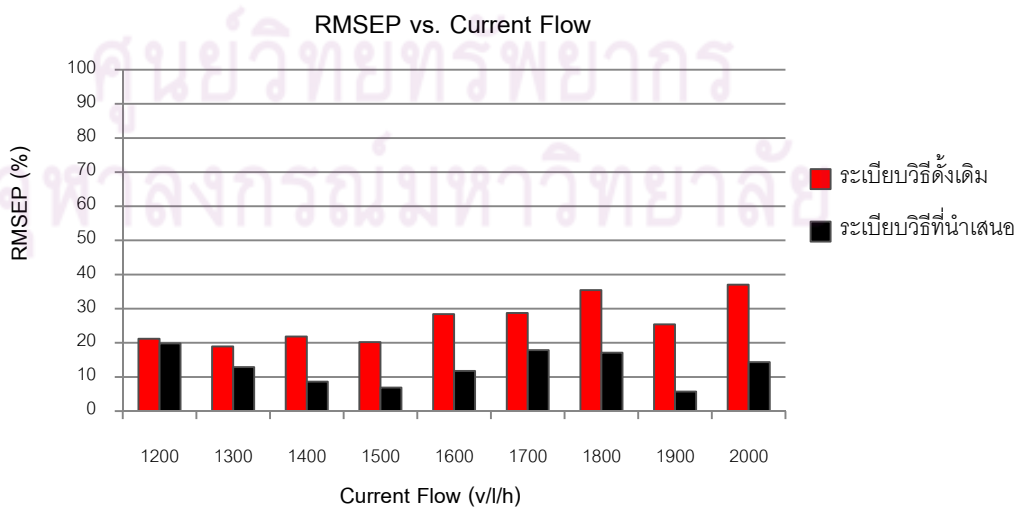
- กรณีที่ปรับค่าเวลาของการอยู่ในสภาวะการจราจรคับคั่ง (t^{over}) เพื่อตรวจวัดค่า T_{max} ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 30: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{over}$

4.4. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

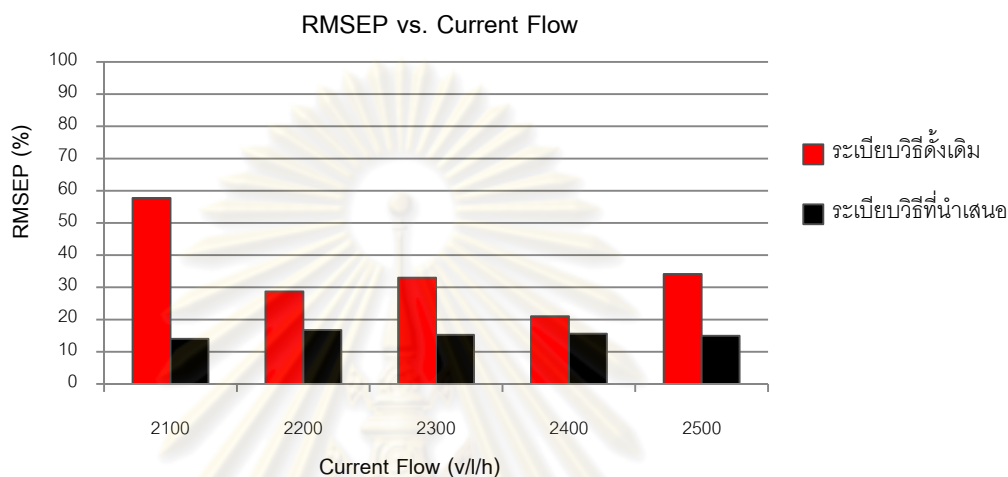
- กรณีที่ปรับค่าการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (F_t) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสถานะหนาแน่นปานกลาง (Saturated flow state)



รูปที่ 31: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{sat}$

4.5. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$

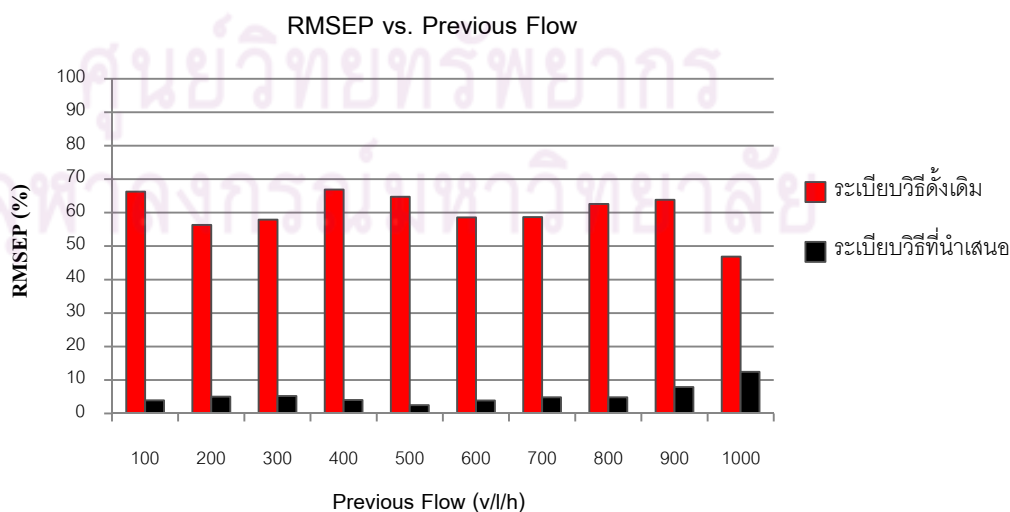
- กรณีที่ปรับค่าการไหล ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (F_t) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะคับคั่ง (Over-saturated flow state)



รูปที่ 32: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{over}$

4.6. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$

- กรณีที่ปรับค่าการไหลในอดีต (F_{t-1}) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาในอดีต (O_{t-1}) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะคล่องตัว (Free flow state)

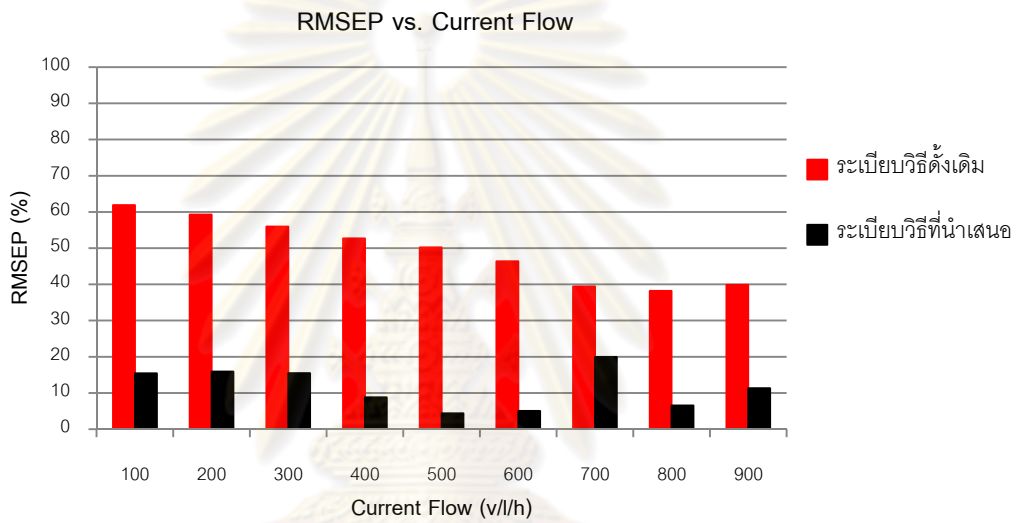


รูปที่ 33: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $RMSEP$ สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{free} \rightarrow S_t^{over}$

4.7. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

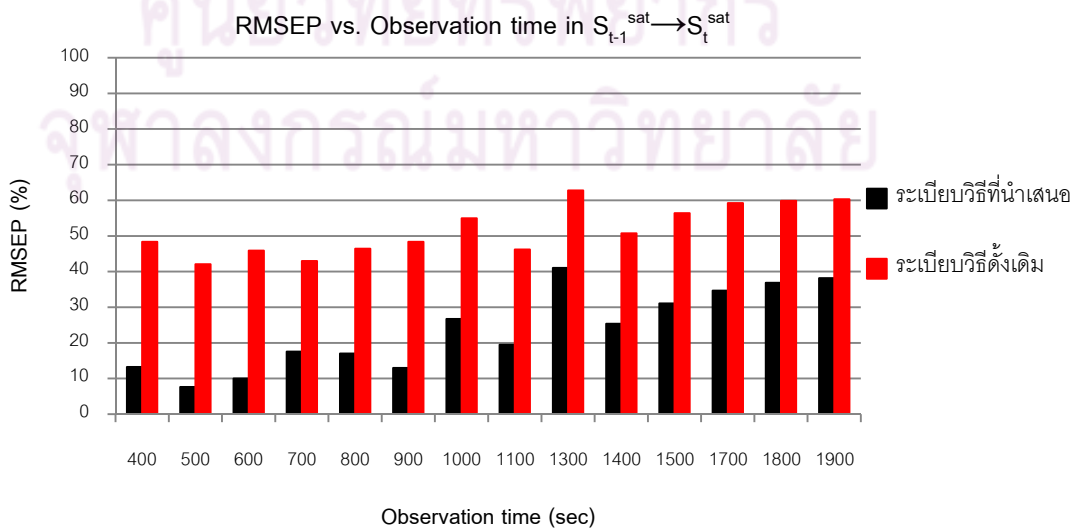
ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 ว่า การเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาการเดินทางสำหรับสภาวะนี้ จะขึ้นกับสองตัวแปรหลัก ได้แก่ T_{max} และ O_t ดังนั้น ผลการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนที่ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ปรับค่าการไหล (F) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะคล่องตัว (Free flow state)



รูปที่ 34: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ RMSEP สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

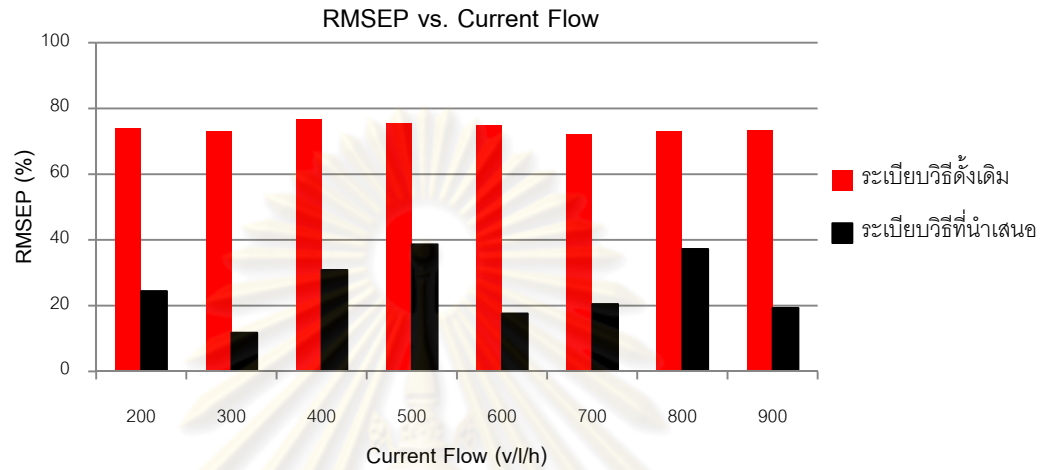
- กรณีที่ปรับค่า t_{t-1}^{sat} เพื่อตรวจวัดค่า T_{max} ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 35: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ RMSEP สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{sat} \rightarrow S_t^{free}$

4.8. สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

- กรณีที่ปรับค่าการไหล (F_t) เพื่อตรวจวัดค่าอัตราการเข้าครอบครองเชิงเวลา ณ ปัจจุบัน (O_t) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ภายในสภาวะคล่องตัว (Free flow state)



รูปที่ 36: กราฟแสดงการเปรียบเทียบ RMSEP สำหรับสภาวะจราจร $S_{t-1}^{over} \rightarrow S_t^{free}$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชรี ไพลีสฐนากร เกิดเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 จังหวัดชลบุรี เป็นบุตรของนายไพบูลย์ ไพลีสฐนากร และนางสุวรรณา ไพลีสฐนากร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษาถัดมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติตามสัญญาสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย เลขที่ TGIST 01-51-090

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

Patcharee PAISITTANAKORN, Wasan PATTARA-ATIKOM and Chaiyachet SAIVICHIT. Accuracy Improvement of Travel Time Estimation in Urban Environment using State Transition-Dependent Time-Occupancy. The Proceeding of the First International Conference of the Thai Society for Transportation and Traffic Studies 2010: The Future of Human Mobility, January 2010, Phuket, Thailand

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย