

การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอ้อมตัว



นายทวี วิชัยเมธาวิ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

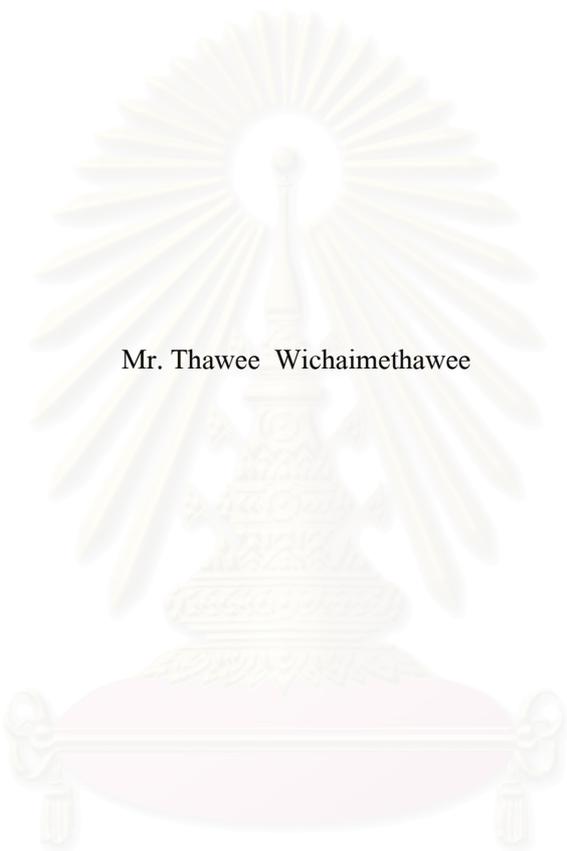
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0910-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF TRAFFIC SIGNAL CONTROL STRATEGIES
FOR SATURATED TRAFFIC CONDITIONS



Mr. Thawee Wichaimethawee

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0910-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมครึม
โดย	นายทวิ วิชัยเมธาวิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุศักดิ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

..... กรรมการ
(ดร.ประพนธ์ วงศ์วิเชียร)

ทวี วิชัยเมธาวี : การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัว.

(Development of Traffic Signal Control Strategies for Saturated Traffic Conditions)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.สรวิศ นฤปิติ, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :

อาจารย์ ดร. สืบสกุล พิภพมงคล, 123 หน้า. ISBN 974-17-0910-2.

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอึมตัวและอึมตัวมาก โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS ที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับ โปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) ถูกนำมาใช้พัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟ หลักการของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่พัฒนาขึ้น คือ การปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับข้อมูลการจราจรแบบทันกาลและป้องกันการเกิดแถวคอยกีดขวางทางแยกด้านทาง วิธีควบคุมที่พัฒนาขึ้นได้ทำการทดสอบบนโครงข่ายถนนที่มีระยะห่างระหว่างทางแยกเท่ากันจำนวน 2 โครงข่าย โดยใช้ระยะห่างระหว่างทางแยก รูปแบบและปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกแตกต่างกัน ตัววัดประสิทธิภาพของการควบคุม ได้แก่ จำนวนขบวนรถที่ตกค้างในโครงข่าย จำนวนขบวนรถที่ออกจากโครงข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่ขบวนรถวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ขบวนรถใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การปรับสัญญาณไฟที่เวลาที่เหมาะสมตั้งแต่ปริมาณจราจรเริ่มเพิ่มมากขึ้นสามารถช่วยบรรเทาสภาพจราจรติดขัดได้ดี แต่ถ้าวการปรับสัญญาณไฟไม่เหมาะสมในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นจะทำให้การจราจรติดขัดแผ่ขยายเป็นวงกว้างและใช้เวลานานเพื่อปรับสภาพจราจรให้กลับสู่สภาวะปกติ ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดและจุดของเวลาที่ใช้เปลี่ยนวิธีควบคุมส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของวิธีควบคุม สำหรับสภาพการจราจรและโครงข่ายถนนที่ใช้ในการวิจัยนี้ พบว่า ในสภาพจราจรอึมตัว วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นวิธีควบคุมที่ให้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว ในสภาพจราจรอึมตัวมาก วิธีควบคุมนี้ก็มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4370308221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD : SIGNAL CONTROL / SATURATED TRAFFIC CONDITIONS / API

THAWEE WICHAIMETHAWEE : DEVELOPMENT OF TRAFFIC SIGNAL CONTROL STRATEGIES FOR SATURATED TRAFFIC CONDITIONS. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. SORAWIT NARUPITI, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : SUEBSKUL PHIPHOBMONGKOL, Ph.D., 123 pp. ISBN 974-17-0910-2.

This research aimed at developing signal control strategies that are effective in saturated and over-saturated traffic conditions. The microscopic simulation, PARAMICS, was used with an interface to developed control strategies using Application Programming Interface (API). The principles underlying the developed control strategies were to adapt signal timing using real-time traffic information (responsive signals) and to prevent spillback. The control strategies were tested on two closed grid networks having different distances between adjacent signalized junctions, and different levels of flow and flow profiles. The performance indicators of the control included vehicles containing in the network, vehicles discharging out of the network, average speed, stoppage time, total mileage of travel (vehicle-kilometers), total travel time (vehicle-hours) and travel time.

The results indicated that the adaptation of signal timing at an appropriate time at the beginning of congestion could markedly relief traffic congestion. On the other hand, inappropriate signal timing during this increasing traffic flow would increase traffic congestion spreading into other areas in the network and lengthen the recovery time. The maximum cycle length and time to toggle the control strategies directly affect the control performances. With the traffic condition and road network in this research, the responsive signal control altering green time by degree of saturation yielded better performance than the Webster's fixed time control and the responsive signal control allocating green time by queue index in the saturated traffic conditions. In the over-saturated traffic conditions, the same control method yielded better performance than short cycle length method and storage capacity method.

Department	Civil Engineering	Student's signature.....
Field of study	Civil Engineering	Advisor's signature.....
Academic year	2002	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. สืบสกุล พิภพมงคล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้ความรู้ เอกสาร แนวคิด และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาวิจัยนี้ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุศักดิ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา และ ดร.ประพนธ์ วงศ์วิเชียร ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ผู้เขียนรู้สึกสำนึกในพระคุณของบิดา มารดา ที่ช่วยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณครู-อาจารย์ทั้งหลายที่ได้อบรมสั่งสอน ถ่ายทอดประสบการณ์และวิชาความรู้ ตลอดจนพี่น้องและเพื่อนๆ ที่ช่วยส่งเสริมและสนับสนุนในด้านต่างๆ และขอขอบคุณบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือผู้เขียนอีกหลายท่านซึ่งมิได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้หากขาดความมุ่งมั่น ความมานะพยายามและการสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ดังนั้นคุณค่าความดีทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงขอมอบแด่บิดา มารดา ครู-อาจารย์ และบุคคลต่างๆ ที่มีส่วนร่วมช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ สุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและมีส่วนช่วยเหลือประเทศชาติได้ในระดับหนึ่ง

ทวิ วิชัยเมธาวิ

กุมภาพันธ์ 2546

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 การทบทวนแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การควบคุมทางแยก.....	7
2.2 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรไม่อึดตัว.....	8
2.3 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึดตัว.....	20
2.4 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร.....	34
บทที่ 3 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร.....	44
3.1 ระดับของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร.....	44
3.2 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน.....	45
3.3 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร.....	47
3.4 การคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพจราจร.....	50
3.5 โปรแกรม PARAMICS.....	52
บทที่ 4 การออกแบบการศึกษา.....	62
4.1 ข้อสมมติฐาน.....	62
4.2 โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบ.....	63
4.3 การจัดเส้นทางการเดินทาง.....	65
4.4 การสร้างตารางการเดินทาง.....	65
4.5 การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง.....	66
4.6 สภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ.....	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7	วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ทดสอบ..... 69
4.8	การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟโดย API..... 73
4.9	การวิเคราะห์ผล..... 74
บทที่ 5	ผลการศึกษา..... 78
5.1	ผลการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจร..... 78
5.2	ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟ..... 83
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 102
6.1	สรุปผลการวิจัย..... 102
6.2	ปัญหาและอุปสรรค..... 105
6.3	ข้อเสนอแนะ..... 106
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก.....	111
ภาคผนวก ก. ตารางการเดินทาง.....	113
ภาคผนวก ข. ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีควบคุมต่างๆ.....	115
ภาคผนวก ค. สภาพจราจรจากแบบจำลอง.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	ระยะทางที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับจากเส้นหยุด..... 14
2.2	ลักษณะการจราจรในสภาพอึมตัว..... 21
2.3	การจัดการแถวคอย..... 23
2.4	ระบบการควบคุมการจราจรในเมือง..... 35
2.5	การทำงานของโปรแกรมคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของระบบ SCOOT..... 37
2.6	การเปรียบเทียบการทำงานของระบบ UTCS SCOOT และ SCAT..... 42
2.7	ความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจราจรของระบบ ITCS..... 43
2.8	วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรของระบบ ITCS..... 43
3.1	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเมือง..... 48
3.2	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรจำแนกตามวัตถุประสงค์ในการควบคุม..... 49
3.3	การคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพจราจร..... 51
3.4	การนำโปรแกรม PARAMICS ไปประยุกต์ใช้..... 52
3.5	ตัวแปรพื้นฐานของการจราจร..... 55
3.6	ประเภทขบวน..... 57
4.1	ตัววัดประสิทธิภาพจราจร..... 67
4.2	ลักษณะของเส้นทางการเดินทางที่ใช้ทดสอบ..... 75
5.1	ความถูกต้องของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่าย..... 79
5.2	ความกว้างช่องจราจรกับ Mean headway..... 81
5.3	การเปรียบเทียบตัววัดประสิทธิผลในกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก..... 101

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 อัตราการไหลของปริมาณจราจรในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว.....	8
2.2 ปริมาณจราจรกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่จัดให้.....	11
2.3 ความล่าช้าเฉลี่ยกับการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ.....	12
2.4 หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ.....	13
2.5 การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น.....	15
2.6 การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยน จังหวะสัญญาณไฟ.....	15
2.7 รูปแบบของอุปกรณ์ตรวจนับที่ผิวจราจร.....	16
2.8 การให้สัญญาณไฟเขียวพร้อมกันทุกทางแยก.....	19
2.9 การให้สัญญาณไฟเขียวในทิศทางตรงข้าม.....	19
2.10 การควบคุมสัญญาณไฟเพื่อกำจัดแถวคอยในชั่วโมงเร่งด่วน.....	22
2.11 การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย.....	27
2.12 การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่าย.....	27
2.13 ความยาวรอบสัญญาณไฟกับปริมาณจราจร.....	29
2.14 การเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว.....	31
2.15 จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน.....	32
2.16 การควบคุมทางแยกเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน.....	32
2.17 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจนับของระบบ SCOOT.....	36
2.18 รูปแบบการไหลของจราจรใน 1 รอบสัญญาณไฟ.....	36
2.19 การส่งข้อมูลในระบบ SCOOT.....	37
2.20 การประมาณแถวคอยในระบบ SCOOT.....	38
2.21 การจำกัดปริมาณจราจร (Gating) ในระบบ SCOOT.....	39
2.22 วิธีกำหนดช่วงถนนที่มีความแออัด.....	40
2.23 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจนับของระบบ SCAT.....	41
2.24 การเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟเมื่อสภาพจราจรอึมครึมในระบบ SCAT.....	41
2.25 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจนับสภาพจราจรในระบบ ITCS.....	42
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความหนาแน่นจราจรและปริมาณจราจร.....	45
3.2 ความสามารถในการจำลองของโปรแกรม PARAMICS.....	53
3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม PARAMICS.....	55

สารบัญญภาพ (ต่อ)

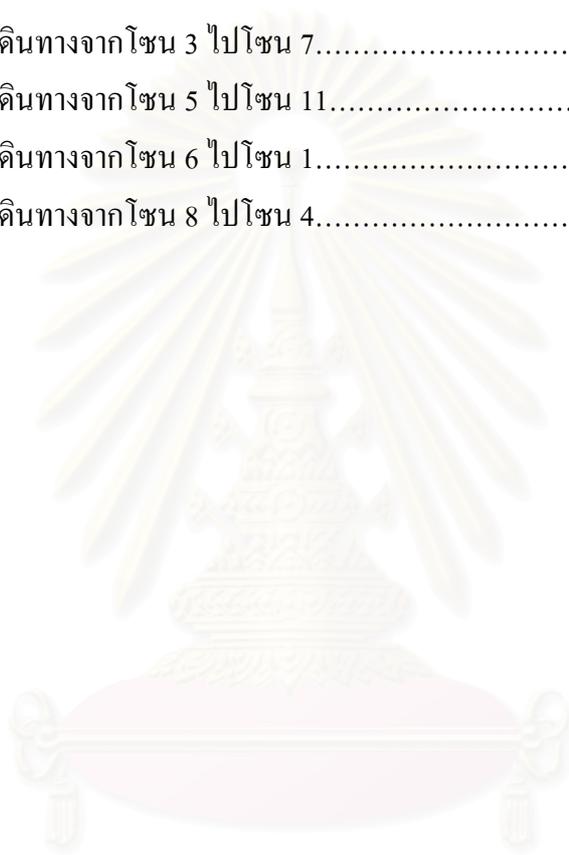
ภาพประกอบ	หน้า
4.1	โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบ..... 63
4.2	ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 5..... 64
4.3	ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 2 4 6 และ 8..... 64
4.4	ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 1 3 7 และ 9..... 64
4.5	จังหวัดสัญญาณไฟ..... 65
4.6	เส้นแสดงปริมาณการเดินทาง..... 66
4.7	รูปแบบปริมาณจราจรกรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 69
4.8	รูปแบบปริมาณจราจรกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก..... 69
4.9	ขั้นตอนการทำงานของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น..... 72
4.10	รหัสข้อมูลเพื่อทำการตรวจนับปริมาณจราจร..... 73
4.11	การส่งคืนค่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว..... 74
4.12	เส้นทางการเดินทางที่ใช้ทดสอบ..... 76
5.1	การกระจายตัวของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่าย..... 79
5.2	ปริมาณการไหลอึมตัวจากแบบจำลอง..... 80
5.3	ระดับความอึมตัวของทางแยกกับความยาวรอบสัญญาณไฟ..... 82
5.4	การเปรียบเทียบระดับความอึมตัวของทางแยก..... 83
5.5	จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบ ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุด (วิธีที่ 2)... 84
5.6	เวลาหยุดนิ่งของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง ปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุด (วิธีที่ 2)..... 85
5.7	จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่าย กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 86
5.8	ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 86
5.9	ความเร็วเฉลี่ยสะสม กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 86
5.10	จำนวนขบวนที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 87
5.11	จำนวนขบวนสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 87
5.12	เวลาหยุดนิ่ง กรณีสภาพจราจรอึมตัว..... 87
5.13	จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนของวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)... 90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.14 ความเร็วเฉลี่ยสะสมของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5).....	90
5.15 จำนวนขบวนที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5).....	91
5.16 จำนวนขบวนสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)..	91
5.17 เวลาหยุดนิ่งของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5).....	91
5.18 ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)...	92
5.19 ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5).....	92
5.20 จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6).....	93
5.21 จำนวนขบวนที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)	93
5.22 ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6).....	93
5.23 เวลาหยุดนิ่งของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6).....	94
5.24 จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7).....	94
5.25 จำนวนขบวนสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)	95
5.26 จำนวนขบวนที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7).....	95
5.27 ความเร็วเฉลี่ย ณ เวลาใดของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7).....	95
5.28 เวลาหยุดนิ่งของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7).....	96
5.29 ระยะเวลาที่ขบวนใช้บนโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7).....	96
5.30 จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่าย กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก.....	97
5.31 ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก.....	97
5.32 ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก.....	97

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5.33 จำนวนขบวนการสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก.....	98
5.34 จำนวนขบวนการที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก.....	98
5.35 ความเร็วเฉลี่ย กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก.....	98
5.36 เวลาหยุดนิ่งกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก.....	99
5.37 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 3 ไปโซน 7.....	99
5.38 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 5 ไปโซน 11.....	100
5.39 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 6 ไปโซน 1.....	100
5.40 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 8 ไปโซน 4.....	100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าการจราจรและขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตามเรายังพบว่าในเขตเมืองของประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนาหลายประเทศที่ใช้สัญญาณไฟจราจรควบคุมการจราจรที่ทางแยกยังคงเผชิญอยู่กับปัญหาการจราจรติดขัด (traffic congestion) ที่ทวีความรุนแรงและต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลทำให้ทรัพยากรสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ และทำให้ระดับมลพิษทางอากาศและเสียงสูงขึ้น ปัญหาการจราจรติดขัดจึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน แนวทางที่ใช้เพื่อบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดสามารถทำได้หลายวิธี Quinn (1992) แนะนำให้ใช้วิธีการเพิ่มความสามารถให้บริการ (capacity) เช่น การขยายช่องจราจร การสร้างระบบทางด่วน การสร้างสะพานลอยข้ามทางแยก เป็นต้น แต่วิธีการดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลานานในการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์โครงการ และต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก นอกจากนี้ยังต้องมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง จากข้อจำกัดข้างต้นจึงมีผู้เสนอแนะให้ใช้วิธีการปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีประสิทธิภาพแทน ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ประหยัด มีความยืดหยุ่นสูง และมีประสิทธิภาพดี จากการศึกษาของ Gartner (1992) พบว่า การปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกสามารถทำให้ความสามารถให้บริการของทางแยกเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 10 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของครรชิต ผิวนวล และสินิทธิ์ บุญสิทธิ์ (2532 อ้างถึงใน ครรชิต ผิวนวล, 2538) ที่กล่าวว่า การควบคุมการจราจรที่ทางแยกที่เหมาะสมสามารถเพิ่มความสามารถให้บริการของทางแยกได้อย่างน้อยร้อยละ 12-15 โดยที่ไม่ต้องทำการปรับปรุงองค์ประกอบอย่างอื่น

วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในอดีตที่ผ่านมาอาจแบ่งเป็นวิธีควบคุมสำหรับสภาพจราจรปกติหรือไม่อิ่มตัว (normal or undersaturated condition) และวิธีควบคุมสำหรับสภาพจราจรอิ่มตัว (saturated condition) วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรสำหรับสภาพจราจรปกติที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธีควบคุมของเวปสเตอร์ (Webster) ที่เสนอวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (fixed-time signal control) ซึ่งทำได้โดยการให้เจ้าหน้าที่ออกไปเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางแยกและปริมาณจราจรเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาความยาวรอบสัญญาณไฟ (cycle length) จังหวะสัญญาณไฟ (stage) และการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (split) ที่เหมาะสม เพื่อทำให้ความล่าช้ารวมที่ทางแยกต่ำที่สุด แต่การควบคุมด้วยวิธีนี้มีข้อด้อย คือ ต้องใช้คนจำนวนมากและระยะเวลานานในการจัดเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล และเนื่องจากปริมาณจราจรที่ทางแยกภายในโครงข่ายถนนแต่ละวันมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุบัติการณ์ (incident) และสภาพแวดล้อมอื่นๆ การควบ

คุมด้วยวิธีนี้จึงไม่สอดคล้องกับสภาพจราจรที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ทำให้ต้องจัดเก็บข้อมูลปริมาณจราจรใหม่เมื่อสภาพจราจรเปลี่ยนไปหรือเมื่อเวลาผ่านไป จากการศึกษาของ May, Montgomery และ Quinn (1988) พบว่า การควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟแดงที่ในสภาพจราจรอึมตัวจะทำให้เกิดแถวคอยสั้นทางแยก ต่อมาภายหลังจึงได้มีการนำอุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจร (detector) มาใช้แทนการนับด้วยมือ และพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจร (actuated signal control) ที่สามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ ทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพดีกว่าการคำนวณโดยใช้หลักการของ เวปสเตอร์ แต่วิธีควบคุมนี้ก็มีข้อจำกัด คือ เมื่อนำมาใช้ในสภาพจราจรอึมตัวจะทำให้ความล่าช้ารวมสูงขึ้นมากและทำให้โอกาสที่ความยาวแถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทาง (upstream junction) สูงขึ้น ดังนั้นวิธีควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึมตัวจึงต้องใช้วิธีการที่ต่างออกไปจากวิธีควบคุมที่มีอยู่เดิม

วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวหรือสภาพจราจรอึมตัวมาก (oversaturated condition) มีนักวิชาการและนักวิจัยได้นำเสนอวิธีควบคุมไว้จำนวนมาก เช่น Gordon (1969) เสนอให้ใช้วิธีจัดการแถวคอยโดยพิจารณาจากพื้นที่ว่างของทางแยกต้นทาง (upstream storage capacity) เพื่อป้องกันไม่ให้แถวคอย (queue) สั้นทางแยก May (1991) Quinn, 1992) เสนอให้เพิ่มความสามารถให้บริการโดยการเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟเป็นสองเท่า (Double Cycle Time) หรือเพิ่มช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้กับจังหวะสัญญาณไฟที่มีความอึมตัวของจราจรสูง Quinn (1992) เสนอวิธีให้ข้อมูลการเดินทางแก่ผู้ขับขี่ด้วยป้ายบอกข่าวสารจราจรที่สามารถเปลี่ยนแปลงข้อความได้ (Variable Message Sign, VMS) เพื่อแจ้งให้ผู้ขับขี่หลีกเลี่ยงเส้นทางที่การจราจรแออัดหรือใช้แนะนำเส้นทางที่เหมาะสม McShane, Roess และ Prassas (1998) เสนอให้ใช้วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับ (Reverse Progression) เพื่อช่วยให้ยานพาหนะที่มาจากทางแยกต้นทางสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกปลายทาง (downstream junction) ได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดและลดความล่าช้าในการเดินทาง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใดส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพของการควบคุมการจราจรในสภาพจราจรแออัดหรือสภาพจราจรอึมตัวมากน้อยเพียงใดและวิธีควบคุมแบบใดเป็นวิธีที่เหมาะสม

ประมาณช่วงปี ค.ศ. 1970 นอกจากการริเริ่มพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึมตัว ในขณะเดียวกันก็มีการริเริ่มพัฒนาระบบควบคุมการจราจร (traffic control system) ที่ทำการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกโดยพิจารณาตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในภาพรวมเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ ระบบควบคุมการจราจรที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบแรก คือ ระบบ UTCS (Urban Traffic Control System) ต่อมาได้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในปัจจุบันมีระบบควบคุมมากกว่า

10 ระบบ แต่ระบบที่ได้รับความนิยมและทำการติดตั้งในเขตเมืองจำนวนมาก คือ ระบบ SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) และ ระบบ SCAT (Sydney Coordinated Traffic Adaptive System) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Bretherton (1989) พบว่า ระบบ SCOOT จะมีประสิทธิภาพดีในสภาพจราจรติดขัดน้อยถึงปานกลาง (light or medium congestion) และจะมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรในสภาพจราจรอึดตัวมาก สอดคล้องกับ Moore II และคณะ (1999) ที่กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วการควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยระบบ SCOOT นอกช่วงเวลาเร่งด่วนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในช่วงเวลาเร่งด่วน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดว่าระบบควบคุมการจราจรใดสามารถใช้ควบคุมการจราจรในสภาพจราจรอึดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทางแยกในเขตเมืองอยู่ใกล้กันมากและมีลักษณะเป็นตาราง (closed grid network)

การศึกษาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ผ่านมาในอดีตนิยมใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจร (simulators) ที่สามารถนำมาใช้จำลองสภาพจราจรในภาคสนาม และช่วยคำนวณแทนการคำนวณด้วยมือ ซึ่งการใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรนี้มีข้อดีหลายประการ คือ ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบการจราจรมีความซับซ้อนมาก ช่วยให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติเหตุต่างๆที่ไม่สามารถสมมติให้เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม ช่วยให้สามารถมองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจรในภาพรวมและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต สามารถทดสอบซ้ำได้ตามที่ต้องการ และตัววัดประสิทธิภาพการจราจรสามารถได้จากการจำลองสภาพจราจรโดยตรงไม่จำเป็นต้องไปจัดเก็บในภาคสนาม การจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์การควบคุมการจราจรจึงได้รับความนิยมอย่างมากและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน Bernauer และคณะ (1998) สำรวจความคิดเห็นของหน่วยงานวิจัย องค์กรและบริษัทที่ปรึกษาในระดับนานาชาติที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการจราจรและขนส่งพบว่า จำนวนผู้ที่ตอบแบบสอบถามร้อยละ 55 แสดงความคิดเห็นว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ และร้อยละ 32 แสดงความคิดเห็นว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ และจากการศึกษาของ Algiers และคณะ (1998) พบว่า มากกว่าร้อยละ 80 ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเพื่อการออกแบบและทดสอบกลยุทธ์การควบคุม (control strategies) แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปมีข้อจำกัด คือ โปรแกรมจำลองสภาพจราจรส่วนมากถูกออกแบบมาให้ใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรปกติหรือสภาพจราจรไม่อึดตัว และโปรแกรมจำลองสภาพจราจรส่วนมากสามารถใช้จำลองวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามที่โปรแกรมต้นแบบได้ออกแบบไว้เท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบวิธีควบคุมที่แตกต่างออกไปได้ แต่จากความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทำให้ประมาณปี ค.ศ. 1993 สามารถพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพจราจร PARAMICS ที่สามารถใช้

จำลองการเคลื่อนที่ของขดขานและพฤติกรรมการจับจีของขดขานแต่ละคันได้ ทำให้การจำลองสภาพจรรยา มีสภาพเสมือนจริงมากขึ้น โปรแกรมนี้มีข้อได้เปรียบโปรแกรมอื่น คือ ความสามารถในการจำลองการจับจีได้ทั้งแบบชิดขวาและชิดซ้าย มีการแสดงผลการจำลองที่ดีมาก และมีตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมหรือปรับปรุงวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรภายในโปรแกรมตามที่ต้องการได้

ดังนั้นปัญหาสภาพจราจรติดขัดหรือสภาพจราจรอึมตัวในเขตเมืองที่ส่งผลกระทบต่อสังคมทั้งในทางตรงและทางอ้อมนั้น จึงยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดว่า ควรใช้วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบใดและให้ประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด แต่จากความก้าวหน้าของการพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพจราจรทำให้ผู้ใช้หรือวิศวกรสามารถทดสอบ เพิ่มเติมหรือปรับปรุงวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวได้ตามที่ต้องการ ซึ่งการพัฒนาวิธีควบคุมขึ้นใช้เองนี้ มีข้อดี คือ ประหยัด ง่ายต่อการแก้ไขรายละเอียดการทำงานภายในแต่ละขั้นตอน สามารถตรวจสอบการทำงานได้ ซึ่งมีข้อดีมากกว่าการซื้อระบบควบคุมจราจรที่พัฒนาขึ้นโดยชาวต่างชาติที่มีราคาแพง ค่าบำรุงรักษาสูง และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีมาใช้ นอกจากนี้ประโยชน์ที่ได้รับ คือ เป็นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองควบคุมการจราจรต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษามีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อทบทวนและสรุปแนวความคิด ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจร และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัว
- 2) เพื่อให้สามารถเพิ่มเติมหรือปรับปรุงวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรใน โปรแกรม PARAMICS นอกเหนือจากที่โปรแกรมต้นแบบได้ออกแบบไว้ โดยการใช้ตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ของโปรแกรม PARAMICS
- 3) เพื่อพัฒนาและทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรสำหรับสภาพจราจรอึมตัวที่ทางแยกระดับโครงข่ายถนน โดยการนำวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวที่นำเสนอในทางทฤษฎีแต่ละวิธีมาผสมผสานกันพร้อมทั้งนำเสนอข้อดี ข้อจำกัด และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวิธีควบคุมที่พัฒนาขึ้น
- 4) เพื่อนำเสนอผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัว โดยใช้รูปแบบของปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก และปริมาณจราจรที่แตกต่างกัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การพัฒนาและทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรจะใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ กรณีสภาพจราจรอึมตัวและสภาพจราจรอึมตัวมาก วิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดของกรณีสภาพจราจรอึมตัวจะถูกนำไปใช้เป็นวิธีควบคุมพื้นฐานสำหรับการทดสอบเพิ่มเติมในกรณีสภาพจราจรอึมตัวมากอีกครั้งหนึ่ง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

การศึกษาวิจัยประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินวิจัยทั้งหมด 9 ขั้นตอน ดังมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) การทบทวนแนวความคิดและผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน
- 2) การทบทวนและเปรียบเทียบความเหมาะสมของโปรแกรมที่นิยมใช้ในการจำลองสภาพจราจร
- 3) การคัดเลือกและศึกษาโปรแกรมที่จะใช้จำลองสภาพจราจรและควบคุมสัญญาณไฟจราจร
- 4) การสร้างแบบจำลองสภาพจราจร
- 5) การออกแบบและคัดเลือกวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและสภาพจราจรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย
- 6) การศึกษาการควบคุมและเขียนโปรแกรมที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจร
- 7) การทดสอบ ตรวจสอบความถูกต้อง วิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้
- 8) การสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ
- 9) การจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลลัพธ์จากการวิจัยซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรจราจร ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบดูแลการควบคุมสัญญาณไฟจราจรและผู้ที่เกี่ยวข้อง มีดังต่อไปนี้

- 1) ทราบถึงวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมในในสภาพจราจรที่แตกต่างกัน
- 2) ทราบถึงประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ทดสอบในสภาพจราจรอึมตัว
- 3) ช่วยเพิ่มทางเลือกวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่มีประสิทธิภาพที่ระดับโครงข่ายถนนในสภาพจราจรอึมตัว
- 4) ส่งเสริมให้มีการพัฒนาบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองควบคุมการจราจร

5) ส่งเสริมให้มีการนำตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ของโปรแกรม PARAMICS ไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการจราจรในเมือง ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ระบบการขนส่งอัจฉริยะ(Intelligent Transport System, ITS) และใช้ทดสอบมาตรการจัดการจราจรและการควบคุมจราจรต่อไปในอนาคต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การทบทวนแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ได้ทบทวนทฤษฎี แนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัย การทบทวนดังกล่าวได้แบ่งแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการควบคุมทางแยก ส่วนที่ 2 เป็นการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรไม่อึดตัว ส่วนที่ 3 เป็นการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึดตัว และส่วนที่ 4 เป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร

2.1 การควบคุมทางแยก

การควบคุมทางแยกเป็นการจัดการให้ยานพาหนะและคนเดินเท้าที่ต้องการเดินทางผ่านทางแยกได้รับความพึงพอใจและความปลอดภัย ในกรณีที่ทางแยกมีปริมาณจราจรไม่คับคั่ง การควบคุมทางแยกสามารถกระทำได้ง่ายด้วยการใช้ป้ายจราจร (stop sign หรือ yield sign) แต่เมื่อปริมาณจราจรที่ทางแยกเพิ่มขึ้น กระแสจราจรที่ทางแยกจะเริ่มขัดแย้งกันมากขึ้น ส่งผลให้มีการเร่งและหยุดรถบ่อยครั้ง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเช่นนี้ทำให้อากาศที่จะเกิดอุบัติเหตุสูงขึ้น แนวทางการแก้ไขปัญหาที่ประหยัดและมีความยืดหยุ่นสูง คือ การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรจะจัดให้ยานพาหนะที่ผ่านทางแยกไปตามจังหวะสัญญาณไฟที่จัดไว้ ความล่าช้าและจำนวนครั้งที่รถหยุดจะลดลง ช่วยลดปัญหาที่เกิดจากยานพาหนะที่ต้องการเลี้ยว ลดปัญหาการชนกันด้านข้างและการชนกันเป็นมุมฉาก ลดจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับคนเดินเท้า หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาว่าทางแยกใดควรติดตั้งสัญญาณไฟจราจรสามารถศึกษาได้จาก MUTCD (Manual on Uniform Traffic Control Devices) ฉบับปี ค.ศ. 2000

ทางแยกที่ต้องควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรส่วนมากจะอยู่ในเขตเมืองหรือชานเมืองที่เป็นพื้นที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรม การจราจรในพื้นที่เหล่านี้มีลักษณะ (characteristics) ที่แตกต่างกันตามความซับซ้อนของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น ปริมาณจราจรบนถนนแต่ละทิศทางแตกต่างกันมาก บางทางแยกมีปริมาณจราจรมาก บางทางแยกมีปริมาณจราจรน้อย การควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟเพียงรูปแบบเดียวจึงไม่สามารถจัดการให้การจราจรที่ทางแยกมีประสิทธิภาพได้ ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันมีนักวิชาการและนักวิจัยพยายามพัฒนาและคิดค้นวิธีการควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟไว้จำนวนมาก ซึ่งแต่ละวิธีมีวัตถุประสงค์และข้อจำกัดในการควบคุมที่แตกต่างกัน โดยอาจแบ่งการควบคุมสัญญาณไฟจราจรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรไม่อึดตัว และการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึดตัว

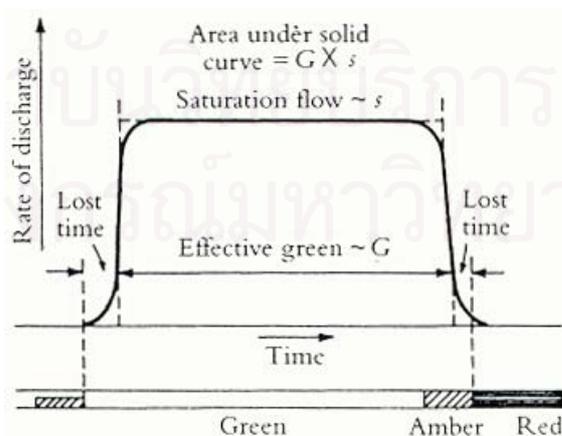
2.2 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรไม่อึมตัว

สภาพจราจรปกติหรือสภาพจราจรไม่อึมตัวที่มีการไหลของปริมาณจราจรเป็นแบบไม่ถูกรบกวน (uninterrupted flow) มีวัตถุประสงค์ของการควบคุมเพื่อลดความล่าช้า ลดจำนวนครั้งที่รถหยุด เพิ่มประสิทธิภาพ เพิ่มความปลอดภัยและป้องกันไม่ให้เกิดสภาพจราจรแออัด (Quinn, 1992) วิธีควบคุมในสภาพจราจรปกตินี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

2.2.1 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ (Fixed- or Pre-time Control)

วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่จะใช้เมื่อปริมาณจราจรที่ต้องการผ่านทางแยกในแต่ละทิศทาง (approach) ก่อนข้างคงที่ โดยการควบคุมนี้จะกำหนดให้ในแต่ละรอบสัญญาณไฟมีความยาวรอบสัญญาณไฟ และช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟคงที่ ซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลการจราจรเฉลี่ยในอดีตที่ผ่านมา แต่เนื่องจากปริมาณจราจรในช่วงเวลาระหว่างวันไม่คงที่ จึงจัดให้มีชุดการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่มากกว่า 1 ชุด เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเฉลี่ยในแต่ละช่วงของวัน เช่น แบ่งเป็นชุดการควบคุมในช่วงเวลาเช้า กลางวัน เย็น และหลังเที่ยงคืน

วิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลาย คือ วิธีการคำนวณด้วยสมการของเวปสเตอร์ (Webster, 1969) เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวหรือทางแยกที่อยู่ห่างกันมาก การคำนวณตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกก่อนข้างคงที่และกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม (stochastic) วัตถุประสงค์หลักของการควบคุม คือ ทำให้ความล่าช้าที่ทางแยกให้ต่ำที่สุด ความยาวรอบสัญญาณไฟและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ สามารถคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 อัตราการไหลของปริมาณจราจรในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Garber และ Hoel, 1996)

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i} \quad (2.1)$$

- โดยที่
- C_0 คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่คิที่สุด (วินาที)
 - L คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไป (lost time) ใน 1 รอบสัญญาณไฟ (วินาที)
 - Y_i คือ อัตราส่วนที่มีค่ามากที่สุดของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิ่มตัว (saturation flow) ในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ
 - ϕ คือ จำนวนจังหวะสัญญาณไฟ
 - I คือ ลำดับจังหวะสัญญาณไฟ

$$I_i = G_{ai} + \tau_i - G_{ei} \quad (2.2)$$

- โดยที่
- I_i คือ ช่วงเวลาที่สูญเสียไปที่จังหวะสัญญาณไฟ i (วินาที)
 - G_{ai} คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริง (actual green time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที)
 - τ_i คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง (yellow time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (วินาที)
 - G_{ei} คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวประสิทธิภาพ (effective green time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (วินาที)

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} I_i + R \quad (2.3)$$

- โดยที่
- R คือ เวลาที่การจราจรทุกทิศทางได้รับสัญญาณไฟแดงใน 1 รอบสัญญาณไฟ (all-red) (วินาที)

$$G_{te} = C - L = C - \left(\sum_{i=1}^{\phi} I_i + R \right) \quad (2.4)$$

- โดยที่
- C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่แท้จริง (วินาที)

G_{ie} คือ ผลรวมของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงใน 1 รอบสัญญาณไฟ (วินาที)

$$G_{ei} = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_\phi} G_{ie} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} G_{a1} &= G_{e1} + I_1 - \tau_1 \\ G_{a2} &= G_{e2} + I_2 - \tau_2 \\ G_{a3} &= G_{e3} + I_3 - \tau_3 \\ G_{a\phi} &= G_{e\phi} + I_\phi - \tau_\phi \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่ G_{a1} คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงที่จังหวัดสัญญาณไฟที่ 1 (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที)

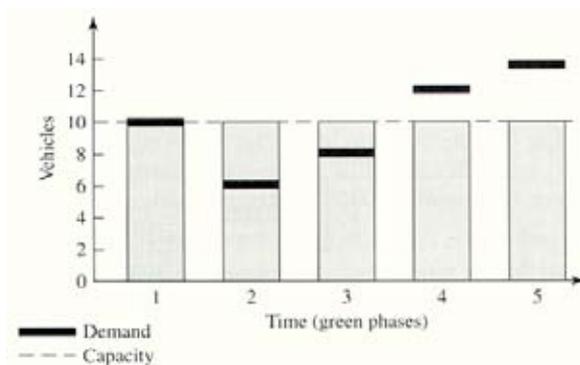
$G_{a\phi}$ คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงที่จังหวัดสัญญาณไฟ ϕ (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที)

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ความล่าช้าที่ทางแยกจะต่ำที่สุดเมื่ออัตราส่วนที่มีค่ามากที่สุดของปริมาณจราจรต่อปริมาณจราจรอ้อมตัวของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟไม่มากกว่า 0.9 (ปณิษฐ์ พุกโพธิ์, 2542)

2.2.2 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจร (Actuated Control)

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ในหัวข้อที่ผ่านมานั้น ใช้ได้กับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละทิศทางคงที่ แต่เมื่อปริมาณจราจรแต่ละทิศทางที่เข้าสู่ทางแยกไม่คงที่ จะทำให้เกิดแถวคอยและความล่าช้าที่ไม่จำเป็น ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.2 เมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟไม่คงที่ แต่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่จัดให้จังหวัดสัญญาณไฟที่ 2 และ 3 คงที่ ส่งผลให้ความสามารถให้บริการใช้ได้ไม่เต็มที่ และในจังหวัดสัญญาณไฟที่ 4 และ 5 ส่งผลให้ขบวนรถค้างอยู่ในแถวคอยทั้งหมด 6 คัน ทั้งที่จำนวนขบวนรถทั้งหมดที่เข้าสู่ทางแยกเท่ากับความสามารถให้บริการ คือ 50 คัน

ปัญหาดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาวิธีควบคุมตามปริมาณจราจรที่สามารถปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ การควบคุมที่ปรับปรุงใหม่จะให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวสอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟ ทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลง



รูปที่ 2.2 ปริมาณจราจรกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่จัดให้

(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

หลักการที่ใช้ควบคุม คือ การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรหรือคนเดินเท้าที่ตรวจนับได้จากอุปกรณ์ตรวจนับ โดยที่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะอยู่ในขอบเขตสูงสุดหรือต่ำสุดตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า การควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวไม่ควรใช้กับทางแยกที่มีการเชื่อมต่อกัน เพราะการควบคุมนี้ไม่สามารถควบคุมจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว (offset) ระหว่างทางแยก

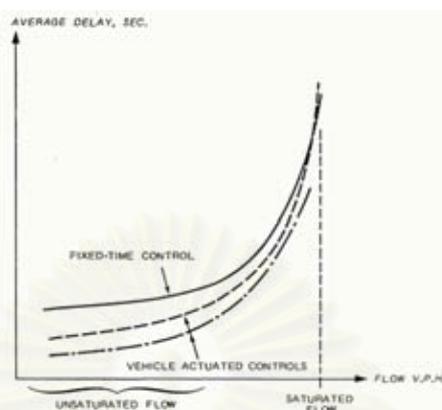
2.2.2.1 การควบคุมสัญญาณไฟกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-actuated Control)

การควบคุมแบบนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับบนถนนสายรองเท่านั้นและให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรมากเป็นหลัก โดยจะเปลี่ยนไปให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายรองเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับที่ติดตั้งไว้ตรวจพบปริมาณจราจรหรือเมื่อสัญญาณไฟเขียวบนถนนสายหลักสิ้นสุด การควบคุมนี้มีข้อเสีย คือ ในบางเหตุการณ์ที่ปริมาณจราจรบนถนนสายรองมากจะทำให้ความล่าช้าบนถนนสายหลักสูงมาก การควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้ดีเฉพาะกรณีที่ถนนสายรองมีปริมาณจราจรเบาบางหรือเมื่อต้องการให้กลุ่มยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงในบางช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ถนนสายหลักที่เชื่อมต่อกับทางเข้า-ออกที่พักอากาศ สำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น

2.2.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Control)

ภายใต้การควบคุมนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรทุกทิศทางและจะทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก การควบคุมแบบนี้ควรใช้ควบคุมทางแยกเดี่ยว จะช่วยให้ความล่าช้าที่ทางแยกต่ำกว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณจราจรเข้าใกล้ขีดความสามารถให้บริการจะทำให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้น

อย่างรวดเร็วและมากกว่าความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ (OECD, 1981) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความล่าช้าเฉลี่ยกับการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (OECD, 1981)

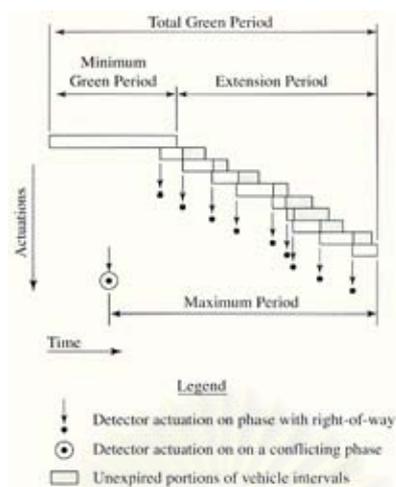
ในขั้นตอนแรกของการควบคุมจะกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (minimum green) โดยการคำนวณจากเวลาที่ขบวนทั้งหมดที่มีได้ระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$G_{min} = 4 + \left[2 \times \text{Integer} \left(\frac{d}{20} \right) \right] \quad (2.7)$$

โดยที่

- G_{min} คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุด (วินาที)
- d คือ ระยะทางระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับ (ฟุต)
- 20 คือ ระยะห่างระหว่างขบวนที่จอดอยู่ในแนวแถวคอยนับจากกันชนหน้าของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (ฟุต)
- 4 คือ เวลาที่ขบวนคันแรกเริ่มเคลื่อนที่ภายหลังได้รับสัญญาณไฟเขียว (start-up time) (วินาที)
- 2 คือ ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาในสภาพจราจรอัมต้ว (วินาที)

ถ้าในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดไม่มีการตรวจพบขบวนและมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นจะเป็นการสิ้นสุดจังหวะสัญญาณไฟปัจจุบัน แต่ถ้ามีการตรวจพบขบวนจะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (passage time หรือ unit extension) ต่อจากเวลาที่ตรวจพบขบวนนั้น และถ้าในระหว่างเวลาของส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมีการตรวจพบขบวน ก็จะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอีกครั้งต่อจาก



รูปที่ 2.4 หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ

(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

เวลาที่ตรวจพบรถยนต์ขณะนั้น ทำเช่นนี้ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งไม่มีการตรวจพบรถยนต์หรือเมื่อช่วงเวลาไฟเขียวถึงช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด (maximum green) และมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น สัญญาณไฟเขียวปัจจุบันจะสิ้นสุด ดังนั้นช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด แต่บางครั้งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอาจยาวนานกว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุดเมื่อไม่มีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้ คือ เวลาที่รถยนต์ใช้เดินทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P = \frac{d}{1.46S} \quad (2.8)$$

โดยที่

- P คือ ส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
- d คือ ระยะทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด (ฟุต)
- S คือ ความเร็วบนช่วงถนน (ไมล์ต่อชั่วโมง)

โดยปกติกำหนดให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุดเท่ากับ 1.25 หรือ 1.50 เท่าของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรคงที่ (McShane, Roess และ Prassas, 1998) ส่วนระยะทางจากเส้นหยุดถึงอุปกรณ์ตรวจนับหรือระยะทางที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระยะทางที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับจากเส้นหยุด

(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

Approach Speed		Detector Set-Back (To front of loop)		Minimum Green	Passage Time
mph	kph	ft	m	sec	sec
15	24	40	12	8.0	3.0
20	32	60	18	10.0	3.0
25	40	80	24	12.0	3.0
30	48	100	30	14.0	3.5
35	56	135	41	18.0	3.5
40	64	170	52	22.0	3.5
45+	72+	Volume-density or multiple detectors recommended.			

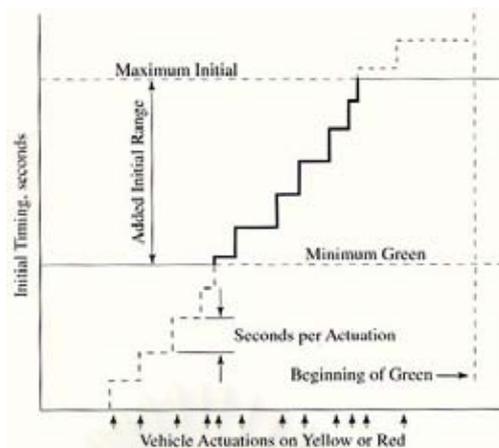
Note: Volume-density could be considered at speeds of 35 mph (56 kph) or above.

[Used with permission of Institute of Transportation Engineers, from *Traffic Detector Handbook*, 2nd Ed., JHK & Associates, p. 67 and 69 Copyright © Institute of Transportation Engineers.]

2.2.2.3 การควบคุมโดยใช้ปริมาณจราจรและความหนาแน่นจราจร (Volume-density Control)

การควบคุมแบบนี้คล้ายกับการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ แต่เพิ่มความสามารถในการควบคุม โดยให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในช่วงเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงได้ (variable initial timing) และสามารถปรับลดช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (gap time) ทำให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น การควบคุมนี้มักใช้กับอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นผิวหรือแบบจุดที่ติดตั้งห่างจากทางแยกค่อนข้างมากและใช้กับถนนที่ขบวนวิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 35 ไมล์ต่อชั่วโมง (มากกว่า 56 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

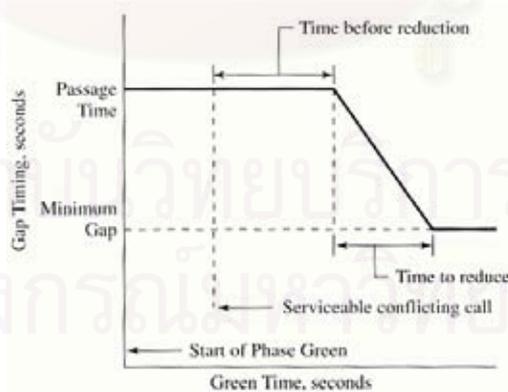
ขั้นตอนแรกของการควบคุม คือ การกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวเริ่มต้นน้อยที่สุด (ต่างจากการควบคุมตามปริมาณจราจร) ให้เท่ากับ 5-8 วินาที และจะเพิ่มส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เมื่อมีการตรวจพบขบวนในระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองหรือช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงก่อนหน้า แต่ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะไม่เกินช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นมากที่สุดที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดของการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ การให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นสามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อแก้ไขแนวความคิดการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบที่มีข้อสมมติฐานว่า ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดเป็นเวลาที่ขบวนที่มีได้ทั้งหมดระหว่างเส้นหยุดและอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก แต่ในความเป็นจริงความยาวแถวคอยอาจไม่ถึงอุปกรณ์ตรวจนับ ใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก แต่ในความเป็นจริงความยาวแถวคอยอาจไม่ถึงอุปกรณ์ตรวจนับ ทำให้สูญเสียเวลาสัญญาณไฟเขียวโดยเปล่าประโยชน์ การปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น

(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟให้ลดลง มีแนวความคิดมาจากอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้มักติดตั้งไกลจากเส้นหยุดมาก ทำให้มีโอกาสมากที่จะขยายต่อส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว ส่งผลให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพ จึงให้ลดส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ด้วยการกำหนดช่วงเวลาก่อนการลด (time before reduction) และ ช่วงเวลาที่ใช้ลด (time to reduce) การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และเนื่องจากการปรับปรุงนี้ช่วยทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น จึงมีการนำไปใช้ในระบบ SCOOT และ SCAT

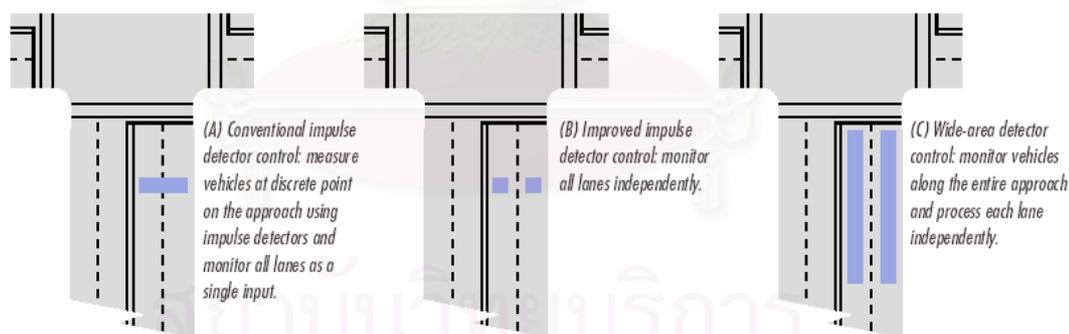


รูปที่ 2.6 การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณา

เพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (McShane, Roess และ Prassas, 1998)

การควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับที่ผิวจราจรซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ อุปกรณ์ตรวจจับแบบธรรมดา (conventional impulse detector) อุปกรณ์

ตรวจนับแบบปรับปรุง (improved impulse detector) และอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้าง (wide-area detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 มีข้อสังเกต คือ การใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดาจะทำให้ช่องว่างระหว่างขดขานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้อาจน้อยกว่าค่าที่แท้จริง เพราะขดขานคั่นหน้าและคั่นที่จับตามอาจไม่ได้อยู่ในช่องจรจรเดียวกัน ทำให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้มากเกินไป การปรับปรุงทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุงหรือแบบแยกช่องจรจร แต่จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น อย่างไรก็ตามช่องว่างระหว่างขดขานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้ยังคงมีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง เพราะอุปกรณ์ตรวจนับจะสิ้นสุดการวัดช่องว่างระหว่างขดขานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ เมื่อส่วนท้ายของขดขานคั่นหลังผ่านอุปกรณ์ตรวจนับ ดังนั้นค่าช่องว่างระหว่างขดขานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่แท้จริง คือ ผลต่างของช่องว่างระหว่างขดขานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้กับเวลาที่ขดขานใช้วิ่งผ่านอุปกรณ์ตรวจนับ (occupancy) ส่วนอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้างเป็นแบบที่มีต้นทุนสูง แต่ให้ประสิทธิภาพและความถูกต้องในการตรวจนับได้ดี อุปกรณ์ตรวจนับประเภทอื่นๆ ได้แก่ แบบใช้ความดัน แบบใช้คลื่นแม่เหล็ก แบบตรวจนับการรบกวนของลำแสงที่ใช้ตรวจจับขดขาน แบบใช้การเปลี่ยนความถี่ของคลื่นเรดาร์ แบบใช้การเปลี่ยนสนามแม่เหล็กในขดลวดเหนี่ยวนำ แบบใช้กล้องบันทึกภาพหรือกล้องวิดีโอ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 รูปแบบของอุปกรณ์ตรวจนับที่ผิวจราจร (Coifman และคณะ, 1997)

Coifman และคณะ (1997) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจนับทั้ง 3 รูปแบบในสภาพจราจรไม่อึดตัว พบว่า เมื่อใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุงจะช่วยลดความล่าช้าที่ทางแยกได้สูงสุดถึงร้อยละ 29 และเมื่อใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้างจะช่วยลดความล่าช้าที่ทางแยกได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 และสรุปว่า การใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุงช่วยลดความล่าช้าได้ดีกว่าการใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดา แต่มีข้อด้อย คือ ไม่สามารถตอบสนองต่อ

ปริมาณจราจรหรือความยาวแถวคอยที่ลดลงได้อย่างทันที ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้างแทน

นอกจากนี้ Hansen และ Martin (1997) สรุปว่า ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจนับแถวคอยที่ดีที่สุดในสภาพจราจรอึมครึมสำหรับช่องจราจรที่อนุญาตให้เลี้ยวซ้าย เมื่อจำนวนช่องจราจรของการจราจรในทิศทางตรงที่ขัดแย้งกัน (opposing through traffic) เท่ากับ 1-2 ช่องจราจร คือ ตำแหน่งหลังขั้วคานคันที่ 3 ที่อยู่ในแถวคอย และเมื่อจำนวนช่องจราจรของการจราจรในทิศทางตรงที่ขัดแย้งกันเท่ากับ 3 ช่องจราจร คือ ตำแหน่งหลังขั้วคานคันที่ 4 ที่อยู่ในแถวคอย

2.2.3 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ตอบสนองต่อปริมาณจราจร (Traffic Responsive Control)

ภายใต้การควบคุมนี้จะทำการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟตามข้อมูลจราจรที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสภาพจราจรในปัจจุบัน โดยมีเทคนิคที่ใช้ควบคุมมี 3 แบบ คือ

2.2.3.1 การทำนายสภาพการจราจรอนาคต (Future Traffic Prediction)

การควบคุมนี้ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้รับจากอุปกรณ์ตรวจนับกับข้อมูลในอดีต ทำนายปริมาณจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อทำการควบคุมสัญญาณไฟ

2.2.3.2 การใช้ข้อมูลจากสภาพจราจรในขณะนั้น (Vehicle Actuated)

การควบคุมนี้ใช้ข้อมูลช่องว่างระหว่างขั้วคานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟและการไหลของขั้วคานที่เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจนับในขณะนั้น (vehicle actuation) ในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว โดยไม่ได้ใช้ข้อมูลที่ได้มาจากการทำนาย

2.2.3.3 การเลือกรูปแบบการควบคุมในอดีต (Pattern Matching)

การควบคุมนี้ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรและช่วงเวลาที่ขั้วคานครอบครองบนอุปกรณ์ตรวจนับ (occupancy) ไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการไหลของการจราจรในอดีต แล้วจึงคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรในอดีตมาใช้ควบคุม

2.2.4 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบก้าวหน้า (Progression Traffic Signal Control)

วิธีการควบคุมนี้เหมาะสำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและปริมาณจราจรบนถนนสายรองแตกต่างกันมาก วัตถุประสงค์หลักของการควบคุม คือ ให้ขั้วคานบนถนนสายหลักเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้โดยไม่ต้องหยุดและมีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยที่ความยาวรอบ

สัญญาณไฟและการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวได้จากการคำนวณด้วยสมการของเวปสเตอร์ แต่มีการเพิ่มค่าจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว เพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ของการควบคุมสัญญาณไฟ ระหว่างทางแยก โดยคำนวณได้จาก

$$t_{ideal} = \frac{L}{S} - (Qh - Loss) \quad (2.9)$$

โดยที่	t_{ideal}	คือ	จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวในอุดมคติ (วินาที)
	L	คือ	ความยาวของถนน (เมตร)
	S	คือ	ความเร็วโดยประมาณของกลุ่มยาน (เมตรต่อวินาที)
	Q	คือ	จำนวนยานในแถวคอยต่อช่องจราจร (คัน)
	h	คือ	ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาในสภาพจราจรอึมตัว (วินาที)
	$Loss$	คือ	ช่วงเวลาที่ขบวนคันแรกที่ทางแยกปลายทางใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ภายหลังจากได้รับสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

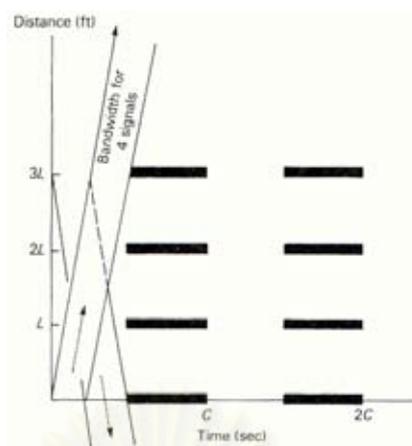
นอกจากนี้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบก้าวหน้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภท ตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการควบคุมและข้อจำกัดทางกายภาพที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.2.4.1 การให้เวลาสัญญาณไฟเขียวพร้อมกันทุกทางแยก (Simultaneous Control)

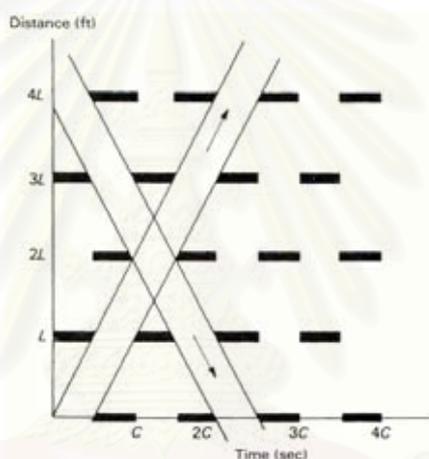
วิธีการควบคุมนี้ใช้สำหรับการควบคุมทางแยกบนถนนที่มีแนวทางตรงกันและมีระยะห่างระหว่างทางแยกตั้งแต่ 300 ถึง 500 ฟุตเท่าๆกัน โดยที่แต่ละทางแยกต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน การควบคุมนี้จะให้สัญญาณไฟเขียวพร้อมกันทุกทางแยกทำให้การจราจรบนถนนสายหลักในแนวตรงเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้วหยุดเพื่อให้สัญญาณไฟเขียวกับถนนสายรอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

2.2.4.2 การให้สัญญาณไฟเขียวสำหรับการจราจรในทิศทางตรงข้าม (Alternate Control)

วิธีการควบคุมนี้ใช้สำหรับการควบคุมทางแยกที่อยู่ติดกันและมีระยะห่างเท่ากัน ตั้งแต่ 1000 ถึง 2000 ฟุต โดยที่ทางแยกในกลุ่มต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน การควบคุมนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของขบวนยานในทิศทางตรงข้ามมีความต่อเนื่องกัน ควรใช้เมื่อปริมาณจราจรไม่เกิน 900 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 การให้สัญญาณไฟเขียวพร้อมกันทุกทางแยก
(McShane, Roess และ Prassas, 1998)



รูปที่ 2.9 การให้สัญญาณไฟเขียวสำหรับการจราจรในทิศทางตรงข้าม
(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

2.2.4.3 การให้สัญญาณไฟเขียวเมื่อมีข้อจำกัดทางกายภาพ (Limited or Simple Control)

วิธีการควบคุมนี้ใช้สำหรับการควบคุมทางแยกที่มีระยะห่างไม่เท่ากัน แต่ความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวของแต่ละทางแยกจึงแตกต่างกัน โดยปกติแล้วจะใช้การควบคุมแบบนี้เมื่อปริมาณจราจรค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดวัน

2.2.4.4 การให้สัญญาณไฟเขียวแบบยืดหยุ่น (Flexible Control)

วิธีการควบคุมนี้มีลักษณะคล้ายกับการให้เวลาสัญญาณไฟเขียวเมื่อมีข้อจำกัดทางกายภาพ แต่ให้มีการปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟตามสภาพจราจรได้ โดยที่จุด

เริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวของแต่ละทางแยกมีความแตกต่างกัน เนื่องจากระยะห่างระหว่างทางแยกไม่เท่ากัน

วิธีควบคุมทางแยกในสภาพจราจรไม่อึดตัวทั้งหมดข้างต้นเป็นวิธีที่พยายามปรับความยาวรอบสัญญาณไฟ การจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวและกำหนดจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพจราจรที่ทางแยกหรือกลุ่มทางแยก การควบคุมแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน จึงยังไม่มีวิธีควบคุมที่สามารถใช้ควบคุมการจราจรที่ทางแยกได้ในทุกสถานการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสภาพจราจรมีความแออัดหรือมีความอึดตัวสูง ทั้งนี้เพราะว่าในสภาพจราจรอึดตัวที่การไหลของการจราจรถูกรบกวน (interrupted flow) มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมแตกต่างจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรไม่อึดตัว คือ การควบคุมพยายามให้ปริมาณจราจรผ่านทางแยกได้มากที่สุด ป้องกันไม่ให้แถวคอยกีดขวางการจราจรที่ทางแยกก่อนหน้า และรักษาระดับของความสามารถให้บริการ (Quinn, 1992) และจากการศึกษาของ May, Montgomery และ Quinn (1988) กล่าวว่า การควบคุมทางแยกด้วยสัญญาณไฟคงที่ในสภาพจราจรอึดตัวจะทำให้เกิดแถวคอยล้นทางแยก ดังนั้นวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึดตัวจึงเป็นวิธีควบคุมโดยเฉพาะ รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อต่อไป

2.3 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึดตัว

การศึกษาการควบคุมจราจรในสภาพจราจรอึดตัวหรือสภาพจราจรแออัดที่ผ่านมาในอดีต ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้ให้คำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาที่แตกต่างกัน เช่น สถาบันโพลีเทคนิคของรัฐนิวยอร์กได้ให้คำนิยามของสภาพจราจรในรายงานการศึกษาเรื่องการควบคุมจราจรในโครงข่ายถนนที่มีความอึดตัว ดังนี้

- 1) สภาพจราจรแออัด (congested operations) คือ สภาพจราจรที่ปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางมากกว่าหรือเท่ากับความสามารถให้บริการและทำให้เกิดแถวคอยขึ้น
- 2) สภาพจราจรอึดตัว (saturated operations) คือ สภาพจราจรแออัดที่แถวคอยส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของทางแยกที่มีแถวคอยเท่านั้น
- 3) สภาพจราจรอึดตัวมาก (oversaturated operation) คือ สภาพจราจรแออัดที่แถวคอยที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของทางแยกข้างเคียง เช่น แถวคอยที่เกิดปิดกั้นการจราจรของทางแยกก่อนหน้า

Longley (1968) กล่าวว่า ระดับของการจราจรแออัดสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ความแออัดปฐมภูมิ (primary congestion) คือ การจราจรที่ทางแยกมีแถวคอยสะสมที่ทางแยก แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อทางแยกข้างเคียง

2) ความแออัดทุติยภูมิ (secondary congestion) คือ การจราจรที่ทางแยกมีแถวคอยสะสมที่ทางแยกและส่งผลกระทบต่อทางแยกข้างเคียง เช่น กีดขวางการจราจร

Pignataro และคณะ (1978) กล่าวว่า สภาพจราจรสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1) สภาพจราจรไม่แออัด (uncongested operation) คือ สภาพจราจรที่บางครั้งมีแถวคอยสะสมเป็นช่วงเวลาสั้นและอัตราส่วนปริมาณจราจรต่อความสามารถให้บริการน้อยกว่า 1 ($v/c < 1$)

2) สภาพจราจรแออัด (congested conditions) คือ สภาพจราจรที่อัตราส่วนปริมาณจราจรต่อความสามารถให้บริการเท่ากับหรือมากกว่า 1 ($v/c \geq 1$) แบ่งออกเป็น

2.1) สภาพจราจรอิ่มตัว (saturated operation) คือ มีแถวคอยสะสมที่ทางแยก แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อทางแยกข้างเคียง

2.2) สภาพจราจรอิ่มตัวมาก (oversaturated operation) คือ มีแถวคอยสะสมที่ทางแยกและส่งผลกระทบต่อทางแยกข้างเคียง

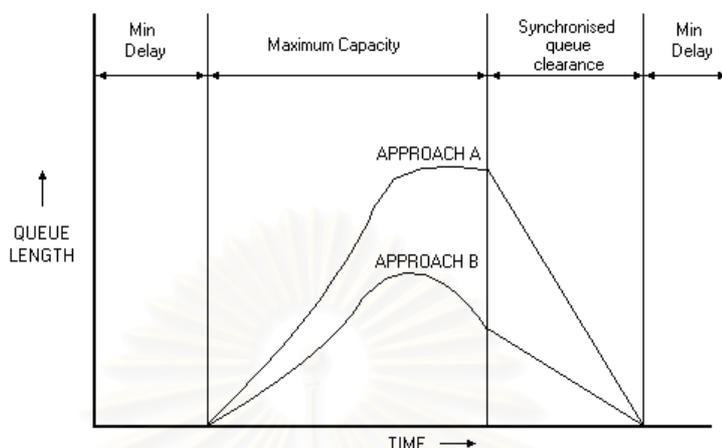
รายงานของ Road Research เรื่องการควบคุมจราจรในสภาพอิ่มตัว ปี ค.ศ. 1985 ได้ให้นิยามว่า องค์ประกอบของโครงข่ายถนนจะอยู่ในสภาพอิ่มตัว เมื่อเกิดอุบัติเหตุที่ทำให้สภาพจราจรแย่งหรือเมื่อมีปริมาณจราจรที่ทำให้ความสามารถในการให้บริการขององค์ประกอบในโครงข่ายและการควบคุมแย่งอย่างรวดเร็ว รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการจราจรในสภาพอิ่มตัว (OECD, 1981)

Unsaturated	Saturated		Gangrenous Saturation
	Local saturation		
	Stable	Unstable	
ไม่มีแถวคอยตกค้างเกิดขึ้น	มีแถวคอยตกค้างเกิดขึ้น แต่ไม่เพิ่มมากขึ้น, เกิดความล่าช้าเฉพาะที่บางครั้ง	มีแถวคอยตกค้างเกิดขึ้นและเพิ่มมากขึ้น, เกิดความล่าช้าเฉพาะที่ตลอดเวลา	มีแถวคอยตกค้างเกิดขึ้นและเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งกีดขวางการจราจรที่ทางแยกก่อนหน้า

แนวความคิดการควบคุมการจราจรในสภาพอิ่มตัวของ Gazis และ Potts (1963) ที่ศึกษาแนวทางเพื่อลดความล่าช้าที่ทางแยกสัญญาณไฟคงที่ในสภาพจราจรอิ่มตัวมาก พบว่า ถ้ามีปริมาณจราจรอิ่มตัว 2 ทิศทางเท่ากัน ความล่าช้าจะน้อยที่สุดเมื่อควบคุมให้แถวคอยทั้ง 2 ทิศทางหมดลงพร้อมกัน ดังแสดงในรูป 2.10 และสรุปว่าในสภาพจราจรอิ่มตัวไม่ควรทำให้ความล่าช้าหรือตัวแปร

ที่สัมพันธ์กับความล่าช้าต่ำที่สุด แต่ควรเพิ่มความสามารถให้บริการมากที่สุดหรือเพิ่มช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวสำหรับทิศทางที่มีปริมาณจราจรอิมตัวสูงสุด เพื่อกำจัดแถวคอยให้หมดไป



รูปที่ 2.10 การควบคุมสัญญาณไฟเพื่อกำจัดแถวคอยในช่วงโมงเร่งด่วน (Quinn, 1992)

Longley (1968) กล่าวว่า สภาพจราจรอิมตัวใน โครงข่ายโดยปกติมักเกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยเฉพาะหรือหลายๆจุดพร้อมกัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกีดขวางการจราจร เช่น รถเสีย การจอดรถส่งของที่กีดขวางการจราจร การศึกษาสภาพจราจรอิมตัวจึงควรสนใจว่า สภาพจราจรอิมตัวจะเกิดขึ้นเมื่อใด ที่ไหน และจะบรรเทาปัญหาหรือจัดการให้สภาพจราจรอิมตัวกลับสู่สภาพปกติให้เร็วที่สุดได้อย่างไร ดังนั้นการควบคุมการจราจรในสภาพจราจรอิมตัวจึงควรป้องกันไม่ให้เกิดความแออัดทุติภูมิหรือทำให้เกิดขึ้นช้าที่สุด โดยสังเกตจากตัววัดประสิทธิภาพการจราจรหรือความยาวแถวคอยที่เพิ่มขึ้น เพราะถ้าแถวคอยเพิ่มขึ้นจนกีดขวางการจราจรที่มาจากทางแยกต้นทางจะทำให้ความสามารถให้บริการของทางแยกลดลงอย่างมากและเป็นผลทำให้การจราจรติดขัดและขยายเป็นวงกว้างอย่างรวดเร็ว เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า De facto red และเป็นผลทำให้เวลาที่ต้องการใช้เพื่อแก้ไขปัญหากการจราจรติดขัดเพิ่มมากขึ้น

Quinn (1992) สรุปในรายงานการทบทวนกลยุทธ์การจัดการแถวคอย (A Review of Queue Management Strategies) ว่า วัตถุประสงค์โดยรวมของการควบคุมการจราจรในสภาพจราจรอิมตัว คือ การพยายามลดอัตราส่วนของอุปสงค์ต่ออุปทาน และถ้าพิจารณาในด้านอุปทาน คือ การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพเพื่อเพิ่มความสามารถให้บริการหรือใช้อุปกรณ์ต่างๆ (facilities) ที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งอาจทำได้โดยการปรับปรุงการควบคุมการจราจรหรือการจัดการจราจร

Gordon (1969) เสนอว่า เมื่อสภาพจราจรใกล้อึมตัวหรือสภาพจราจรอึมตัวมากให้ใช้การจัดการแถวคอย โดยใช้พื้นที่ว่างบนถนนของทางแยกต้นทางรองรับปริมาณจราจรที่ต้องการเดินทางไปทางแยกปลายทางแต่ไม่สามารถเดินทางไปได้ เนื่องจากไม่มีพื้นที่ว่างเพียงพอ

Rathi (1988) สรุปว่า การควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวด้วยการป้องกันแถวคอยไม่ให้เส้นทางแยกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการจัดการให้รถยนต์เคลื่อนที่แบบก้าวหน้า

Gray และ Ibbetson (1991) ทบทวนวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัว พบว่า การควบคุมการจราจรในเมืองส่วนมากใช้วิธีการกรองปริมาณจราจรโดยใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (Gating and Metering-storage) ส่วนเมืองที่เหลือใช้วิธีให้ความยาวรอบสัญญาณไฟมากกว่าปกติ (Longer Cycle Times) เพื่อให้ปริมาณจราจรสามารถออกจากพื้นที่สภาพจราจรแออัดได้มากที่สุด วิธีบังคับและหน่วงช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Forced and Held Greens) ใช้สำหรับให้ทางในกรณีฉุกเฉิน วิธีให้ข้อมูลสภาพจราจรเพื่อแนะนำให้ผู้ขับขี่หลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีสภาพจราจรแออัด (Diversion Signing) วิธีนี้มีใช้ในเมืองกลาสโกว์ (Glasgow) และลอนดอน (London) วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับมีใช้ที่เมืองลีดส์ (Leeds) และลิเวอร์พูล (Liverpool) เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ระหว่างวัน และจากการศึกษาที่ได้สอบถามผู้ควบคุมการจราจรในเมืองลีดส์ในปี ค.ศ. 1992 คำแนะนำที่ได้รับคือ เมื่อเกิดอุบัติเหตุที่กีดขวางการจราจรและทำให้เกิดสภาพจราจรแออัด วิธีการกรองปริมาณจราจรเป็นวิธีควบคุมที่ช่วยจำกัดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบได้ดี สำหรับสภาพจราจรแออัดมาก แนะนำให้ใช้วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวเป็นลบ (Negative Offset) และเมื่อมีแถวคอยยาวมากให้ใช้วิธีเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Extended Greens) เพื่อเพิ่มความสามารถให้บริการของการจราจรในทิศทางนั้น

Quinn (1992) แนะนำว่า วิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมการจราจรตามแนวเส้น (corridor) คือ การใช้วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับร่วมกับวิธีการกรองปริมาณจราจร

Clark และคณะ (1995) แนะนำวิธีควบคุมการจราจรสำหรับสภาพจราจรแออัดในเมืองโดยใช้การจัดการแถวคอย (Queue Management) จากการจัดลำดับตามระบบการให้คะแนนที่ให้โดยผู้เชี่ยวชาญ ลำดับของวิธีควบคุมที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 การจัดการแถวคอย (Clark และคณะ, 1995)

ลักษณะการควบคุม	วิธีควบคุม	คะแนน
การส่งผ่านข้อมูล	Auto-Gating Family (Four types)	8.12
จากระยะไกล	Double Cycle Times at Critical Junctions	6.48
(Telematics)	Starting and Stopping Waves and Signal Control	6.24

ตารางที่ 2.3 การจัดการแควคอย (Clark และคณะ, 1995) (ต่อ)

ลักษณะการควบคุม	วิธีควบคุม	คะแนน
การส่งผ่านข้อมูล จากระยะไกล (Telematics)	Horizontal Queue Model	6.24
	External Metering	4.91
	Variable Message Signs	4.12
	Shorter Cycle Times for Congestion Recovery	2.24
	Identification of Links for Queue Storage	0.42
	Restrict Turning into Congested Arterial	-3.39
	Queue Storage	-3.82
	Tidal Flow	n/a
	Flared Green Times in Networks	n/a
การปรับปรุง ลักษณะทางกายภาพ (Physical)	Separate Stage (Phase) for Turning Traffic	6.91
	Maximize Signalized Junction Capacity	5.76
	Turn Bans	4.73
	Separate Turning Lanes at Critical Junctions	3.27

2.3.1 วิธีจำกัดปริมาณจราจร (Auto-Gating)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ ลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่าย ลดความล่าช้าทั้งหมดในโครงข่าย ลดจำนวนครั้งที่แควคอยปิดกั้นทางแยก ลดปริมาณไอเสียจากรถยนต์ โดยมีหลักการที่ใช้ในการควบคุม คือ ป้องกันไม่ให้ความยาวแควคอยบนทุกช่วงถนนปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกด้านทาง ทำได้โดยการจัดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟที่ทางแยกด้านทางให้สัมพันธ์กับที่ว่างหลังแควคอยบนช่วงถนนของทางแยกปลายทาง ซึ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้อาจต้องอยู่ภายในขอบเขตต่ำสุดและขอบเขตสูงสุด Quinn (1992) อธิบายว่า วิธีจำกัดปริมาณจราจรนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ตามหลักการควบคุมย่อยที่แตกต่างกัน คือ การควบคุมด้วยวิธี MX (MX Strategy) การควบคุมเป็นพื้นที่แบบย้อนกลับ (Local Feedback Control) การควบคุมย้อนกลับแบบประสานกันโดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Quadratic Co-ordinated Feedback Control) และการควบคุมแบบ LQI โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Quadratic Integral LQI Control)

2.3.2 วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 2 เท่าที่ทางแยกวิกฤต (Double Cycle Times at Critical Junctions)

วิธีควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดใน โครงข่าย และลดปริมาณไอเสียจากรถยนต์ การควบคุมจะใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นที่ทางแยกต้นทางและจะใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ทางแยกวิกฤตเป็น 2 เท่าของทางแยกต้นทาง เพื่อเพิ่มความสามารถให้บริการที่ทางแยกวิกฤตพร้อมกับลดความยาวแถวคอยที่ทางแยกต้นทางและช่วยลดความล่าช้าที่คนเดินเท้าต้องรอข้ามทางแยกต้นทาง การใช้วิธีนี้ควรระวังไม่ให้ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ทางแยกวิกฤตมากเกินไป เพราะมีแนวโน้มที่จะทำให้คนเดินเท้าและขบวนฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดงสูงขึ้น และถ้าในกรณีที่ทางแยกต้นทางมีปริมาณจราจรสูงมากอาจใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 2 เท่า ก็ได้ (May, 1991; May และคณะ, 1988)

2.3.3 วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับ (Negative Offset หรือ Reverse Progression Signal Offset)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ ลดโอกาสที่แถวคอยจากทางแยกวิกฤตปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นทาง ลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดใน โครงข่าย และรักษาระดับของความสามารถให้บริการของทางแยกต้นทาง ทำได้โดยการจุดสัญญาณไฟเขียวของทางแยกให้เชื่อมต่อกันด้วยการใช้จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่มีค่าเท่ากับผลต่างของช่วงเวลาที่ขบวนจากทางแยกต้นทางใช้เคลื่อนที่ถึงเส้นหยุดที่ทางแยกปลายทางกับเวลาที่ใช้กำจัดแถวคอยที่ทางแยกปลายทาง ทำให้ขบวนที่มาจากทางแยกต้นทางสามารถเคลื่อนที่ตามแถวคอยที่ตกค้างผ่านทางแยกปลายทางได้โดยไม่ต้องหยุด (McShane, Roess และ Prassas, 1998)

$$t = \frac{L}{V} - \frac{Q}{R} \quad (2.10)$$

โดยที่

t คือ จุดเริ่มต้นเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

L คือ ความยาวของถนน (เมตร)

V คือ ความเร็วโดยประมาณของกลุ่มขบวน (เมตรต่อวินาที)

Q คือ จำนวนขบวนในแถวคอย (คันต่อช่องจราจร)

R คือ ความเร็วของรถที่ออกจากเส้นหยุด (คันต่อวินาที)

ในสภาพจราจรเบาบางหรือไม่มีจำนวนขบวนในแถวคอย จุดเริ่มต้นเวลาสัญญาณไฟเขียวนี้จะมีค่าเป็นบวก (ทางแยกถัดไปจะได้รับสัญญาณไฟเขียวภายหลังจากทางแยกที่

กำลังพิจารณาเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียวแล้ว) แต่เมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้น แล้วยาวจะยาวขึ้น จุดเริ่มต้นเวลาไฟเขียวนี้จะเป็นลบ (ทางแยกถัดไปจะได้รับสัญญาณไฟเขียวก่อนทางแยกที่กำลังพิจารณา)

2.3.4 วิธีใช้ความเร็วหน้าคลื่นผานกับการควบคุมสัญญาณไฟ (Starting and Stopping Waves and Signal Control)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ ลดโอกาสที่แถวคอยจากทางแยกวิกฤตปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นทาง ลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่าย และรักษาระดับของความสามารภให้บริการของทางแยกต้นทาง หลักการที่ใช้ในการควบคุม คือ ทำให้ขบวนคันแรกที่จากทางแยกต้นทางมาถึงขบวนคันสุดท้ายที่ทางแยกปลายทางขณะเริ่มเคลื่อนที่พอดี (Quinn, 1992; May และคณะ, 1988)

2.3.5 วิธีการใช้แบบจำลองแถวคอยในแนวระดับ (Horizontal Queue Model)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมเพื่อปรับปรุงการประมาณความยาวแถวคอยให้มีความถูกต้องมากขึ้น ทำให้สามารถป้องกันแถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทางได้ดีขึ้น วิธีควบคุมนี้มิใช่เฉพาะในระบบควบคุมการจราจร SPOT ที่พัฒนาโดย Mizar Automaziane การควบคุมเริ่มต้นจากการคำนวณหาตัวแปรที่ทำให้การจัดสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกปลายทางดีที่สุด จากนั้นทำการประมาณความยาวแถวคอยในแนวระดับของแต่ละช่วงถนน ส่งข้อมูลความยาวแถวคอยในแนวระดับไปที่ทางแยกต้นทาง ทำการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อป้องกันไม่ให้ปริมาณจราจรที่มาจากทางแยกต้นทางมากกว่าที่ว่างหลังแถวคอยทางยอมรับได้ (Lanteri, 1993)

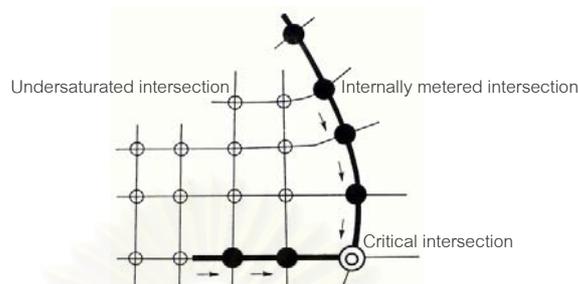
2.3.6 วิธีการกรองปริมาณจราจร (Filtering หรือ Metering)

การกรองปริมาณจราจรใช้หลักการการกระจายความแออัดบนถนนที่มีความต้องการเดินทางมากกว่าความสามารถให้บริการ เพื่อให้ทางแยกหรือพื้นที่วิกฤตมีสภาพจราจรดีขึ้น เทคนิคที่นิยม คือ

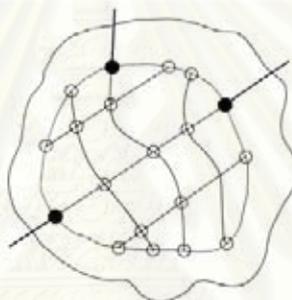
2.3.6.1 การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย (Internal Metering) เป็นการควบคุมปริมาณจราจรที่ทางแยกต่างๆภายในโครงข่ายที่ต้องการผ่านทางแยกวิกฤต

2.3.6.2 การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่าย (External Metering) เป็นการควบคุมปริมาณจราจรที่ต้องการเข้าสู่ทางแยกโดยรอบพื้นที่ศึกษา เพื่อรักษาสภาพจราจรภายในโครงข่ายให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จากการศึกษาของ Rathi และ Lieberman, 1991 (Quinn, 1992) พบว่า วิธีควบคุมนี้ช่วยปรับปรุงสภาพจราจรภายในพื้นที่ศึกษาและสภาพจราจรบนถนนในทิศทางการจราจร

มุ่งเข้าสู่พื้นที่วิกฤต และ Quinn (1992) กล่าวว่าวิธีควบคุมนี้สามารถช่วยลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดภายในพื้นที่วิกฤต



รูปที่ 2.11 การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย
(McShane, Roess และ Prassas, 1998)



รูปที่ 2.12 การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่าย
(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

2.3.6.3 การกรองปริมาณจราจรจากจุดกำเนิดการเดินทางเข้าสู่ถนนในโครงข่าย (Release Metering) เป็นการกรองปริมาณจราจรที่เดินทางเข้า-ออกจากสถานที่หรือพื้นที่ต่างๆภายในโครงข่าย เช่น ปริมาณจราจรที่เข้า-ออกที่จอจรด ปริมาณจราจรที่ออกจากซอย เป็นต้น

การกรองปริมาณจราจรทั้ง 3 รูปแบบข้างต้น สามารถทำได้โดยใช้วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวผสมผสานกันตามความเหมาะสมและตามสภาพแวดล้อมของการจราจร หรือใช้การจัดการจราจร เช่น การห้ามขบวนยานบางประเภทเข้าพื้นที่ในช่วงโมงเร่งด่วน การเก็บค่าผ่านทาง เป็นต้น วิธีการนี้มีใช้ในระบบควบคุมการจราจร SCOOT และ SCAT

2.3.7 วิธีให้ข้อมูลการเดินทางด้วยป้ายบอกข่าวสารจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้

วิธีควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายถนนให้น้อยที่สุด การควบคุมทำได้โดยการให้ข้อมูลเส้นทางเดินทางแก่ผู้ขับขี่ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้เส้นทางที่มี

การจราจรแออัดหรือเส้นทางที่มีความล่าช้าในการเดินทางสูง วิธีการให้ข้อมูลข่าวสารอาจใช้ หน้าจอแสดงแผนที่และแนะนำเส้นทางการเดินทางที่ติดตั้งภายในยานพาหนะหรือใช้วิทยุสื่อสาร แต่ต้องแจ้งให้ผู้ขับขี่ทราบล่วงหน้าก่อนถึงจุดหมายและสำรองเวลาที่ผู้ขับขี่ต้องใช้เพื่อตอบสนองต่อข้อมูลและตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทาง (Quinn, 1992)

2.3.8 วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (Short Cycle Length)

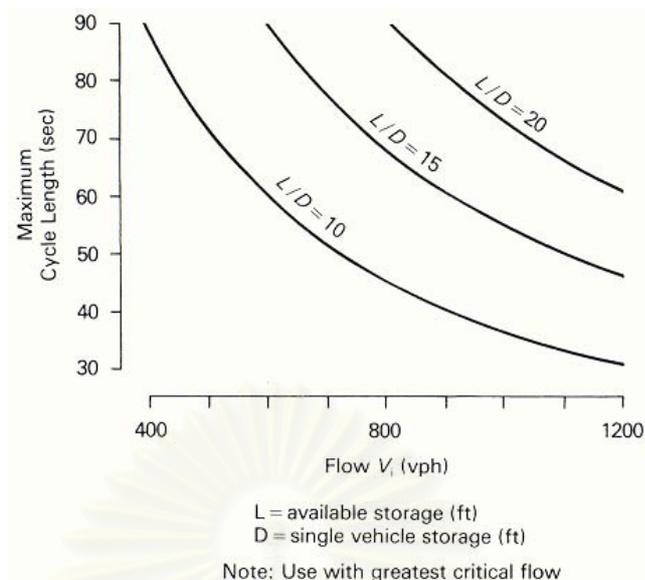
การเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟช่วยลดเวลาที่สูญเสียในระหว่างการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ ทำให้ความสามารถให้บริการที่ทางแยกเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางปฏิบัติ พบว่า ช่วยให้ความสามารถให้บริการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ทำให้ความยาวแถวคอยและ โอกาสที่แถวคอยสั้นทางแยกเพิ่มมากขึ้น (McShane, Roess และ Prassas, 1998; Quinn, 1992) ในทางตรงข้ามการใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นจะช่วยให้ยานที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกมีความอึดตัวสูง ทำให้โอกาสที่จะกำจัดขบวนที่ปิดกั้นทางแยกสูงขึ้น และช่วยให้ความล่าช้าที่คนเดินเท้าได้รับเมื่อต้องการข้ามทางแยกลดน้อยลง วัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ ลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายถนนให้น้อยที่สุด หลักการควบคุมที่ใช้ คือ ความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจะต้องไม่มากกว่าความยาวของช่วงถนน Quinn (1992) แนะนำให้ใช้วิธีควบคุมนี้เมื่อปริมาณจราจรที่ทางแยกวิกฤตเริ่มลดลง เพื่อให้ทางแยกวิกฤตกลับสู่สภาพจราจรปกติ (congestion recovery)

$$c \leq \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{3600}{v}\right) \quad (2.11)$$

โดยที่

- c คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
- L คือ ระยะทางระหว่างทางแยก (ฟุต)
- D คือ ระยะทางจากกันชนหน้าของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (ฟุต)
- v คือ ปริมาณจราจรต่อช่องจราจรที่ออกจากทางแยกปลายทาง (คันต่อชั่วโมง)

ในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทางแยกอยู่ใกล้กันมากหรือปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดที่ยอมรับได้จะน้อยลง



รูปที่ 2.13 ความยาวรอบสัญญาณไฟกับปริมาณจราจร
(McShane, Roess และ Prassas, 1998)

2.3.9 วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยบนถนนของทางแยกปลายทาง (Queue Storage Capacity)

วิธีควบคุมนี้นำเสนอโดย OECD (1981) ซึ่งเป็นการนำหลักการควบคุมของวิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นมาประยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์การควบคุมเพื่อป้องกันความยาวแถวคอยไม่ให้ปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นทาง การควบคุมจะจำกัดปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกต้นทางไม่ให้มากกว่าที่ว่างหลังแถวคอยบนแต่ละช่วงถนนที่ทางแยกปลายทางยอมรับได้ ในกรณีที่มีการจราจรแออัด ความยาวรอบสัญญาณไฟของทางแยกต้นทางสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C = \left(\frac{3600}{f} \right) \left(\frac{L}{d} \right) \quad (2.12)$$

โดยที่

- C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
- f คือ ปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกต้นทาง (คันต่อชั่วโมง)
- L คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอยบนช่วงถนนของทางแยกปลายทาง (ฟุต)
- d คือ ระยะทางจากกันชนหน้าของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (ฟุต)

2.3.10 วิธีการสำรองแถวคอยบนช่วงถนนที่ทางแยกด้านทาง (Identification of Links for Queue Storage หรือ Gating)

วิธีการควบคุมมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายให้น้อยที่สุด โดยการป้องกันแถวคอยไม่ให้ปิดกั้นทางแยกด้านทาง ระบบจะพยายามหาช่วงถนนวิกฤต (critical link) ที่มีสภาพจราจรแออัดหรือมีแถวคอยยาวมาก โดยการพิจารณาจากช่วงถนนที่มีอัตราส่วนปริมาณจราจรต่อความสามารถให้บริการมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยวิศวกร จากนั้นจึงกำหนดให้ช่วงถนนที่ทางแยกด้านทางที่มีที่ว่างหลังแถวคอยเพียงพอใช้เพื่อสำรองแถวคอยหรือปริมาณจราจรที่มากกว่าความสามารถให้บริการของทางแยกปลายทาง (gating links) โดยที่ช่วงถนนวิกฤตและช่วงถนนที่ใช้สำรองแถวคอยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพจราจร วิธีการนี้มีกรณีนำไปใช้ในระบบ SCOOT (Quinn, 1992; Shepherd, 1992; Bretherton และ Bowen, 1990)

2.3.11 วิธีจำกัดปริมาณจราจรที่เลี้ยวจากถนนสายรองเข้าสู่ถนนสายประธานที่มีการจราจรแออัด (Restrict Turning into Congested Arterial)

การควบคุมนี้ใช้กับทางแยกวิกฤตบนถนนสายประธานที่ทำให้เกิดแถวคอยยาวบนถนนสายประธาน วัตถุประสงค์ของการควบคุมนี้คือ รักษาการไหลของการจราจรบนถนนสายประธานให้มีความต่อเนื่องและป้องกันผู้ขับขี่เปลี่ยนเส้นทางการเดินทาง โดยที่การควบคุมนี้จะลดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเพื่อจำกัดปริมาณจราจรจากถนนสายรองที่ต้องการเลี้ยวเข้าสู่ถนนสายประธาน วิธีการนี้มีกรณีนำไปใช้ในระบบ SCOOT (Quinn, 1992; Pignataro และคณะ, 1978)

2.3.12 วิธีจัดให้แถวคอยมีความหนาแน่นจราจรสูงสุด (Queue Storage)

วิธีการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดโอกาสที่แถวคอยจะปิดกั้นทางแยกด้านทาง รักษาความสามารถให้บริการของทางแยกด้านทาง และลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายให้น้อยที่สุด หลักการที่ใช้ควบคุมคือ ทำให้ขบวนรถที่อยู่ในแถวคอยมีความหนาแน่นจราจรสูงสุด (jam density) ซึ่งจะช่วยให้ความยาวแถวคอยสั้นลง สามารถทำได้โดยการกระจายแถวคอยให้เท่ากันทุกช่องจราจรหรือใช้วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับ (May และคณะ, 1988)

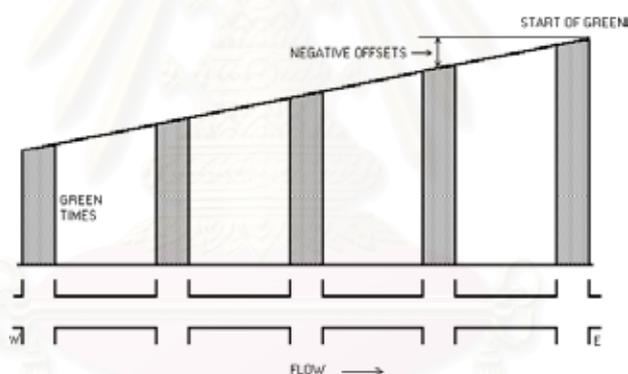
2.3.13 วิธีจัดให้เดินรถสลับทิศทางตามช่วงเวลาระหว่างวัน (Tidal Flow)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมคือ ทำให้ความสามารถให้บริการของทางแยกมากที่สุด การควบคุมแบบนี้จะจัดให้มีการเดินรถสลับทิศทางในบางช่องทางจราจร เพื่อให้สามารถรองรับ

ปริมาณจราจรหรือรูปแบบการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาระหว่างวัน การควบคุมมักใช้คู่กับเครื่องหมายแสดงทิศทางการจราจรที่ติดตั้งอยู่บนศรีษะ (overhead gantry-mounted signal)

2.3.14 วิธีเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Flared green)

วิธีควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่ายถนนให้มีค่าน้อยที่สุด มักจะใช้กับทิศทางการจราจรเพียงทิศทางเดียวบนถนนสายหลัก การควบคุมจะเป็นการเพิ่มช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้กับการจราจรในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนตัวของจราจร ผลจากการควบคุมนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าความยาวแถวคอยบนถนนสายหลักจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงข้าม หากลดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะเป็นการกรองปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกถัดไป วิธีควบคุมนี้เหมาะสมที่จะใช้กับทางแยก 2 แห่งที่อยู่ใกล้กันมากเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแถวคอยตักค้างเกิดขึ้น Quinn (1992) และ Rathi (1988) ใช้วิธีเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวกับถนนตัดขวางควบคู่กับการใช้วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับบนถนนสายหลัก เพื่อรักษาให้การไหลของการจราจรบนถนนสายหลักมีความต่อเนื่อง



รูปที่ 2.14 การเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Quinn, 1992)

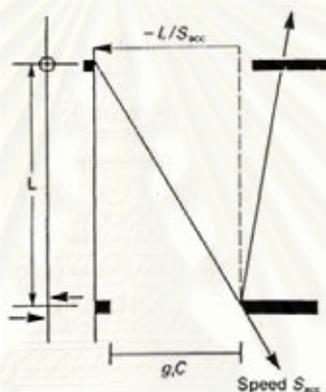
2.3.15 วิธีจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน (Equity Offset)

Pignataro และคณะ (1978) เสนอวิธีตั้งค่าจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน โดยใช้หลักการของจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวย้อนกลับ วิธีนี้ใช้สำหรับสภาพจราจรแออัดที่มีแถวคอยปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นทางจนไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ หลักการควบคุมนี้ คือ การให้สัญญาณไฟเขียวกับการจราจรบนถนนสายหลักที่ทางแยกปลายทางจนกระทั่งขบวนที่ปิดกั้นการจราจรที่ทางแยกต้นเริ่มทางเคลื่อนตัวออกไป จึงให้สัญญาณไฟเขียวกับการจราจรบนถนนสายรองทำให้ขบวนสามารถเข้าสู่ถนนสายหลักได้ แต่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ไว้ต้องไม่มากเกินไป เพื่อป้องกันแถวคอยที่อาจเกิดขึ้นกีดขวางการจราจรบนถนนสายหลัก จุดเริ่มต้นเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้คำนวณจากสมการ ดังนี้

$$t_{equity} = g_1 C - \frac{L}{S_{acc}} \quad (2.13)$$

โดยที่

- t_{equity} คือ จุดเริ่มต้นเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
 g_1 คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของทางแยกต้นทาง
 C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
 L คือ ระยะทางระหว่างทางแยก (ฟุต)
 S_{acc} คือ ความเร็วหน้าคลื่นของขบวนยานที่ออกจากทางแยกปลายทาง
 (acceleration wave) มีค่าประมาณ 16 ฟุตต่อวินาที



รูปที่ 2.15 จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน
 (McShane, Roess และ Prassas, 1998)



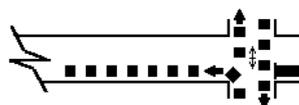
Green begins for the principal movement at the critical intersection (CI)



The oversaturated direction receives green until the vehicles blocking the upstream junction just begin to move



Green at the upstream junction is then given to cross traffic



รูปที่ 2.16 การควบคุมทางแยกเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน (Quinn, 1992)

2.3.16 วิธีจัดให้มีจังหวะสัญญาณไฟสำหรับรถเลี้ยวโดยเฉพาะ (Separate Phase for Turning Traffic)

การควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระดับการอึดตัว (degree of saturation) ของทางแยก หรือเพิ่มความสามารถให้บริการของทางแยกให้มากที่สุด การควบคุมจะคำนวณว่าควรจัดให้มีจังหวะสัญญาณไฟสำหรับขบวนที่ต้องการเลี้ยวโดยเฉพาะหรือไม่ (Akcelik, 1981)

2.3.17 วิธีเพิ่มความสามารถให้บริการที่ทางแยกมากที่สุด (Maximize Signalized Junction Capacity)

การควบคุมนี้ใช้หลักการว่า เมื่อความสามารถให้บริการที่ทางแยกมากที่สุด พื้นที่ของช่วงถนนที่ถูกใช้โดยขบวนที่อยู่ในแถวคอยจะลดลง ทำให้โอกาสที่แถวคอยจะปิดกั้นทางแยกต้นทางลดน้อยลงด้วย การควบคุมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การขยายจำนวนช่องจราจรมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ห้ามจอดรถและส่งสินค้าบนถนน การจัดให้มีช่องทางพิเศษสำหรับขบวนที่ต้องการเลี้ยวโดยเฉพาะ (slip lane) การจัดตำแหน่งป้ายจอดรถโดยสารประจำทางให้มีระยะห่างจากทางแยกต้นทางและทางแยกปลายทางที่พอเหมาะ (Quinn, 1992; Akcelik, 1981)

2.3.18 วิธีการห้ามเลี้ยวที่ทางแยก (Turn Bans)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม คือ เพิ่มความสามารถให้บริการที่ทางแยกวิกฤต และลดเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดในโครงข่าย การควบคุมจะห้ามการจราจรเลี้ยวในบางทิศทางที่ทางแยกต้นทางหรือทางแยกปลายทาง โดยจะคำนวณเปรียบเทียบว่า เมื่อห้ามเลี้ยวในจังหวะสัญญาณไฟนั้นแล้วทำให้ความสามารถให้บริการของทางแยกเพิ่มขึ้นหรือไม่ การนำวิธีควบคุมนี้ไปใช้ควรตรวจสอบด้วยว่าปริมาณจราจรที่ถูกห้ามเลี้ยวเปลี่ยนไปใช้เส้นทางอื่นที่ทำให้สภาพจราจรโดยรวมแย่ลงหรือไม่ หรือทำให้ทางแยกข้างเคียงมีสภาพจราจรแออัดหรือไม่ (Pignataro, 1978)

2.3.19 วิธีจัดให้มีช่องทางสำหรับเลี้ยวโดยเฉพาะ (Separate Turning Lanes at Critical Intersections)

ทางแยกวิกฤตที่มีทิศทางการจราจรวิกฤตมากกว่า 1 ทิศทาง ควรจัดแบ่งให้มีช่องทางจราจร โดยเฉพาะ เพื่อแบ่งแยกการเคลื่อนที่ของการจราจรในทิศทางที่มีความอึดตัวสูง จะช่วยทำให้ระดับความอึดตัวของทางแยกลดลง (Akcelik, 1981)

2.4 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร

การควบคุมการจราจรที่ทางแยกสัญญาณไฟในสภาพจราจรปกติในหัวข้อ 2.2 เป็นการควบคุมที่ทางแยกเดี่ยว และการควบคุมทางแยกสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิมตัวในหัวข้อ 2.3 เป็นการควบคุมทางแยกเดี่ยว หรือกลุ่มทางแยกจำนวน 2-3 ทางแยก และถึงแม้ว่าการควบคุมการจราจรที่ทางแยกดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพดี แต่ทางแยกข้างเคียงอาจเริ่มมีปัญหาการจราจรแออัด ในบางครั้งการควบคุมทางแยกสัญญาณไฟดังกล่าวจึงเป็นเพียงการย้ายสถานที่ที่เกิดสภาพจราจรแออัด จึงทำให้เกิดแนวความคิดใหม่ที่ใช้ควบคุมทางแยกสัญญาณไฟจราจร คือ การควบคุมจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของการควบคุมโดยรวมเป็นหลัก การควบคุมแบบนี้ เรียกว่า ระบบควบคุมการจราจร โดยระบบควบคุมการจราจรในยุคแรก คือ ระบบ UTCS ภายหลังมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบันระบบควบคุมการจราจรที่นิยมใช้กันมาก คือ ระบบ SCOOT และระบบ SCAT ส่วนระบบควบคุมการจราจรที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ ระบบ ITCS (Integrated Traffic Control Systems)

2.4.1 ระบบการควบคุมจราจรในเมือง (Urban Traffic Control System, UTCS)

เริ่มกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ. 1970 พัฒนาโดย Federation Highway Administration เป็นระบบการควบคุมการจราจรจากศูนย์กลาง การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟทุกทางแยกในระบบใช้วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่หรือแบบปรับเปลี่ยนแผนควบคุมตามช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลการจราจรในอดีตแต่ละช่วงเวลาของวัน แต่ละวันของสัปดาห์เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการควบคุม ในระบบ UTCS บางระบบอนุญาตให้มีการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟที่ทางแยกวิกฤตตามปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป (Critical Intersection Control, CIC) การควบคุมสัญญาณไฟด้วยระบบ UTCS นี้มีความก้าวหน้าในการพัฒนา 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 การควบคุมยุคแรก (First Generation Control, 1-GC)

ระบบจะใช้แผนการควบคุมที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลการจราจรในอดีต แผนการควบคุมสามารถกำหนดให้มีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน หรือใช้วิธีการตรวจวัดสภาพจราจรในขณะนั้นแล้วเลือกแผนการควบคุมจากฐานข้อมูลในอดีตที่ทำการบันทึกไว้ โปรแกรมจะทำการปรับปรุงการควบคุมสัญญาณไฟทุกๆ 15 นาที โดยแต่ละครั้งของการปรับปรุงจะเพิ่มหรือลดค่าของตัวแปรที่ใช้ในควบคุมสัญญาณไฟเพียงเล็กน้อย

2.4.1.2 การควบคุมยุคที่ 2 (Second Generation Control, 2-GC)

ระบบจะใช้ข้อมูลการจราจรในอดีตและปัจจุบันทำนายการไหลของการจราจรในอนาคตเพื่อทำการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยใช้หลักการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimization) การคำนวณจะทำซ้ำทุกๆ 5 นาที และให้มีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรครั้งต่อไปเมื่อเวลาห่างกันอย่างน้อย 10 นาที

2.4.1.3 การควบคุมยุคที่ 3 (Third Generation Control, 3-GC)

ระบบจะใช้การควบคุมที่ตอบสนองต่อสภาพจราจรอย่างความสมบูรณ์คือ ใช้ข้อมูลการจราจรในปัจจุบันเพื่อจัดแผนการควบคุมในทันที รอบของเวลาสำหรับการปรับเปลี่ยนแผนการควบคุมใช้เวลาเพียง 3 ถึง 5 นาที

ตารางที่ 2.4 ระบบการควบคุมการจราจรในเมือง

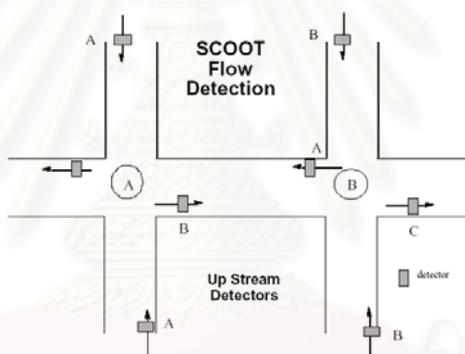
Feature	First Generation Control (1-GC)	Second Generation Control (2-GC)	Third Generation Control (3-GC)
Update interval	15 minutes	5-10 minutes	3-5 minutes
Control plan generation	Off line optimization selection from a library by time of day, traffic responsive, or manual mode	On-line optimization	On-line optimization
Traffic prediction	None	Historically based	Smoothed current values
Cycle length determination	Fixed within each section	Fixed within variable groups of intersections	Variable in time and space. Predetermined for control period.

ที่มา: Gartner, Nathan, Chronis Stamatindius, and Phillip Tarnoff. Development of Advanced Traffic Signal Control Strategies for ITS. Transportation Research Record 1494, 1996

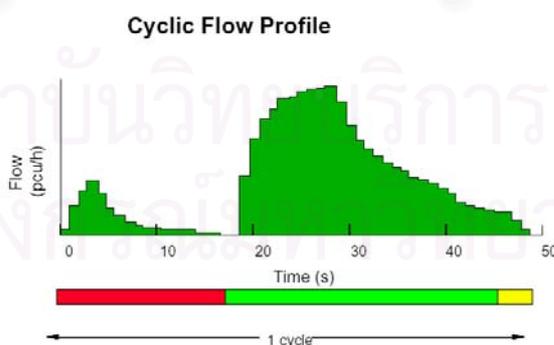
2.4.2 ระบบ SCOOT

ระบบ SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) พัฒนาขึ้นโดย TRL (Transport Research Laboratory) เมื่อปลายปี ค.ศ. 1970 สัญญาณไฟจราจรจะถูกควบคุมจากศูนย์กลาง (centralized system) และระบบสามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมอัตโนมัติตามสภาพจราจร (adaptive control) ที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจนับ โดยไม่จำเป็นต้องเรียกใช้แผนการควบคุมจราจรใน

ฐานข้อมูล การควบคุมจะจัดแบ่งทางแยกออกเป็นพื้นที่ย่อย (regions) ซึ่งทางแยกภายในพื้นที่ย่อยเดียวกันจะมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อการควบคุมสัญญาณไฟจราจรระหว่างทางแยก ทางแยกที่อยู่ส่วนปลายสุดของแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีระยะห่างโดยประมาณ 1 กิโลเมตร เพื่อให้แน่ใจว่าการควบคุมทางแยกที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ย่อยเดียวกันเป็นอิสระต่อกัน อุปกรณ์ตรวจนับที่ใช้จะติดตั้งที่ส่วนปลายของทุกช่วงถนน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ข้อมูลการจราจรที่ตรวจวัดได้จะถูกเปลี่ยนหน่วยจากคันให้เป็น Ipu (link profile units) ซึ่งระบบจะนำไปใช้ในการสร้างรูปแบบการไหลของจราจรใน 1 รอบสัญญาณไฟ (cyclic flow profile) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 เพื่อคำนวณหาช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวและความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุดโดยใช้โปรแกรมจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุด (Split Optimizer) โปรแกรมคำนวณจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุด (Offset Optimizer) และ โปรแกรมคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด (Cycle Time Optimizer) ที่ใช้หลักการคำนวณพื้นฐานของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร TRANSYT



รูปที่ 2.17 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจนับของระบบ SCOOT (Day, 1998)



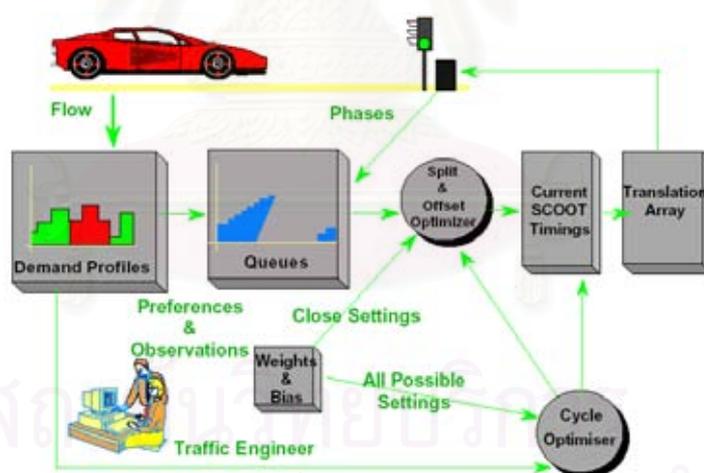
รูปที่ 2.18 รูปแบบการไหลของจราจรใน 1 รอบสัญญาณไฟ (Day, 1998)

โปรแกรมจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุดจะคำนวณหาช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวและช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงทุกครั้งก่อนที่จะมีการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ โดยจะปรับ

เพิ่มหรือลดเป็นเวลา 1-4 วินาทีหรือให้มีค่าคงเดิม วัตถุประสงค์เพื่อให้ระดับความอึดตัวเท่ากันทุกจังหวะสัญญาณไฟ

โปรแกรมคำนวณจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุดจะคำนวณออฟเซตใหม่เมื่อครบรอบสัญญาณไฟจราจร โดยใช้รูปแบบการไหลของจราจรใน 1 รอบสัญญาณไฟของแต่ละช่วงถนนเป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยจะปรับเพิ่มหรือลดเป็นเวลา 4 วินาทีหรือให้มีค่าคงเดิม วัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้ารวมต่อชั่วโมง (vehicle-hour/hour) จำนวนครั้งที่รถหยุดรวมต่อชั่วโมง (vehicle-stops/hour) และระยะเวลาที่สภาพจราจรอึดตัวต่อชั่วโมง (interval/hour) ให้น้อยที่สุด

โปรแกรมคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุดจะคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟในแต่ละพื้นที่ย่อยทุก 5 นาที โดยปกติ หรือทุก 2.5 นาทีเมื่อมีการเพิ่มหรือลดความยาวรอบสัญญาณไฟมาก ระบบจะทำการหาทางแยกวิกฤตในแต่ละพื้นที่ย่อย เพื่อปรับความยาวรอบสัญญาณไฟให้ทางแยกวิกฤตมีความอึดตัวเท่ากับร้อยละ 90 ของความสามารถให้บริการสูงสุดของทางแยก (practical capacity) โดยจะปรับเพิ่มหรือลดเป็นเวลา 4, 8 หรือ 16 วินาทีหรือให้มีค่าคงเดิม วัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าให้น้อยที่สุด ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วระบบ SCOOT สามารถช่วยลดความล่าช้าได้ประมาณร้อยละ 12-20



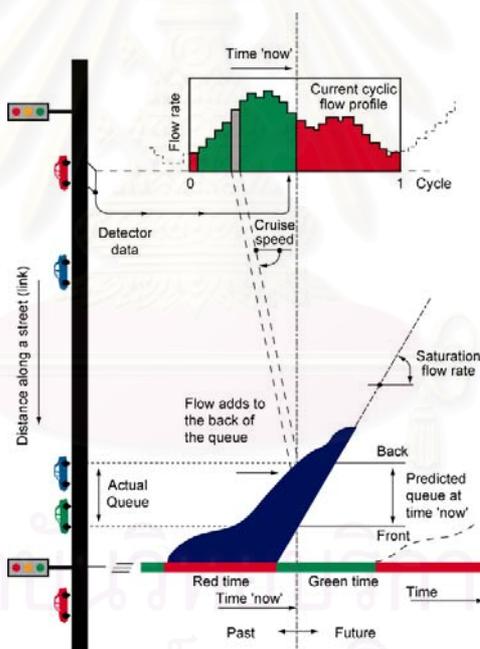
รูปที่ 2.19 การส่งข้อมูลในระบบ SCOOT (Day, 1998)

ตารางที่ 2.5 การทำงานของโปรแกรมคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (optimizers) ของระบบ SCOOT (Day, 1998)

โปรแกรมคำนวณ	เวลาที่ทำการคำนวณซ้ำ	การปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
การจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุด	ทุกจังหวะสัญญาณไฟ	-4, 0, +4 (แบบชั่วคราว) -1, 0, +1 (แบบถาวร)

ตารางที่ 2.5 การทำงานของโปรแกรมคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (optimizers) ของระบบ SCOOT (Day, 1998) (ต่อ)

โปรแกรมคำนวณ	เวลาที่ทำการคำนวณซ้ำ	การปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
จุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุด	ทุกรอบสัญญาณไฟ	-4, 0, +4
ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด	ทุก 2.5 หรือ 5 นาที	-4, 0, +4 (สำหรับความยาวรอบสัญญาณไฟ 32 ถึง 64 วินาที) -8, 0, +8 (สำหรับความยาวรอบสัญญาณไฟ 64 ถึง 128 วินาที) -16, 0, +16 (สำหรับความยาวรอบสัญญาณไฟ 128 ถึง 240 วินาที)

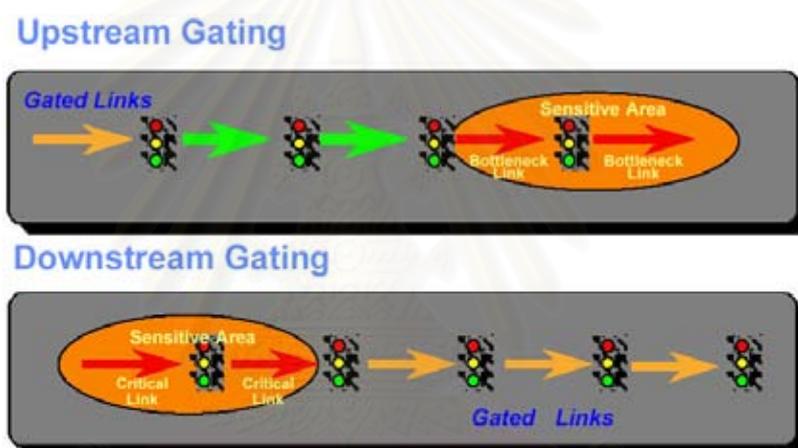


รูปที่ 2.20 การประมาณแถวคอยในระบบ SCOOT (Day, 1998)

ระบบ SCOOT สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการจราจร (traffic management) ร่วมกับป้ายบอกข่าวสารการจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้ที่บริเวณทางเข้าที่จอดรถ เพื่อให้ข้อมูลจำนวนช่องจอดขบวนที่เหลือ หรือใช้ให้ทางกับรถฉุกเฉินหรือรถดับเพลิง หรือใช้กับป้ายบอกข่าวสารการจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้เพื่อแจ้งให้ผู้ขับขี่หลีกเลี่ยงเส้นทางที่สภาพจราจรแออัด

สำหรับในสภาพจราจรแออัด ระบบ SCOOT ได้มีการจัดเตรียมวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรไว้โดยเฉพาะ 4 วิธี คือ วิธีจำกัดปริมาณจราจร วิธีตัวคูณความแออัด (congestion importance factor) วิธีกำหนดจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวให้กับช่วงถนนที่มีความแออัด (congestion offset per link) และวิธีกำหนดช่วงถนนที่มีความแออัด (congestion link facility)

วิธีจำกัดปริมาณจราจรใช้เพื่อควบคุมปริมาณจราจรที่เข้าและออกจากบริเวณที่มีการจราจรอึมตัวหรือเพื่อกระจายแถวคอยไปยังทางแยกที่มีความอึมตัวน้อยกว่า แบ่งเป็นการสำรองแถวคอยส่วนเกินให้อยู่บนช่วงถนนที่ทางแยกต้นทาง (upstream gating) เพื่อลดปริมาณจราจรที่ต้องการเข้าสู่ทางแยกวิกฤต และการสำรองพื้นที่ว่างหลังแถวคอยบนช่วงถนนที่ทางแยกปลายทาง (downstream gating) เพื่อให้ทางแก่ปริมาณจราจรที่ต้องออกจากทางแยกวิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 2.21



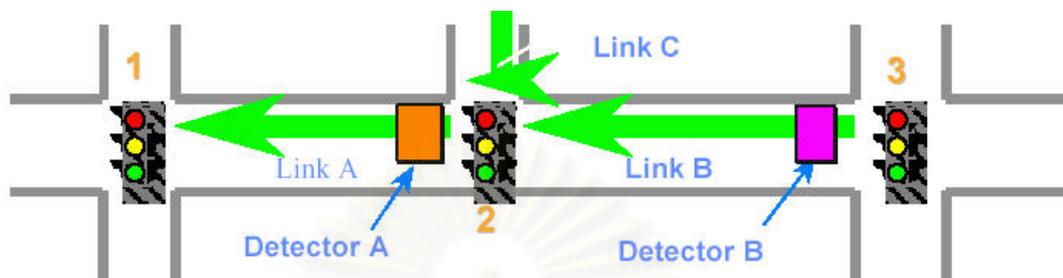
รูปที่ 2.21 การจำกัดปริมาณจราจรของระบบ SCOOT (Day, 1998)

วิธีตัวคูณความแออัด ระบบจะใช้ตัวคูณความแออัดเพื่อถ่วงน้ำหนักในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวโดยจังหวะสัญญาณไฟที่มีความแออัดมากจะได้รับสัญญาณไฟเขียวมากกว่าจังหวะสัญญาณไฟอื่น

วิธีกำหนดจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวให้กับช่วงถนนที่มีความแออัด วิศวกรจราจรจะเป็นผู้กำหนดค่าจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่เป็นค่าคงที่ ใช้ระหว่างทางแยกที่มีการจราจรแออัดทางแยกต้นทางจะได้รับสัญญาณไฟเขียวเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรที่ทางแยกปลายทางจะไม่มีขบวนรถบัสหรือมีที่ว่างให้ขบวนรถที่มาจากทางแยกต้นทางเคลื่อนที่เข้าไปได้

วิธีกำหนดช่วงถนนที่มีความแออัดเป็นการส่งข้อมูลช่วงถนนที่มีแถวคอยยาวมากไปให้ทางแยกปลายทางเพื่อขอให้เปิดสัญญาณไฟเขียว ตัวอย่างในรูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแถวคอยจากทางแยกหมายเลข 1 มาถึงทางแยกหมายเลข 2 เป็นผลต่อเนื่องทำให้แถวคอยยาวมาถึง

อุปกรณ์ตรวจจับ B ระบบจะกำหนดให้ช่วงถนน B เป็นช่วงถนนที่มีความแออัดและจะแจ้งให้ทางแยกหมายเลข 1 เปิดสัญญาณไฟเขียวที่สัมพันธ์กับสัญญาณไฟเขียวที่ทางแยก 2 เพื่อกำจัดแถวคอยระหว่างทางแยกหมายเลข 1 กับทางแยกหมายเลข 3 ทำให้การจราจรบนถนนสายหลักเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.22 วิธีกำหนดช่วงถนนที่มีความแออัด (Day, 1998)

อย่างไรก็ตาม Bretherton (1989) กล่าวว่า ระบบ SCOOT จะมีประสิทธิภาพดีในสภาพจราจรอึมครึมถึงปานกลาง และจะมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรในสภาพจราจรอึมครึมมาก เพราะเมื่อแถวคอยยาวไปถึงทางแยกต้นทาง ระบบจะเข้าใจว่า ในทิศทางนั้นมีปริมาณจราจรน้อยจึงลดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว ส่งผลให้การจราจรติดขัดมากขึ้น นอกจากนี้ Moore II และคณะ (1999) กล่าวว่า โดยทั่วไปแล้วการควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยระบบ SCOOT นอกช่วงเวลาเร่งด่วนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าในช่วงโมงเร่งด่วน

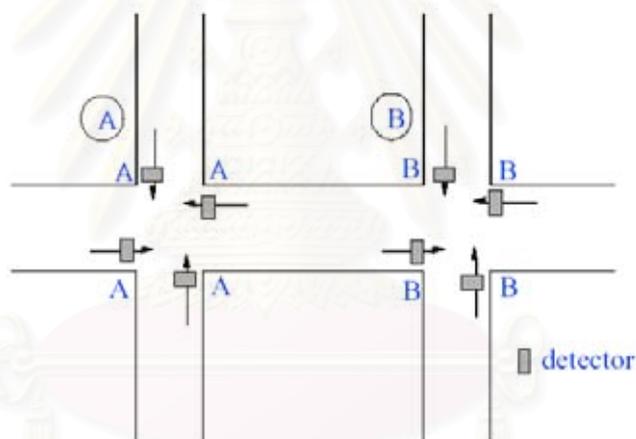
ระบบ SCOOT ที่กล่าวถึงนี้ได้รับการติดตั้งและใช้ในหลายเมือง เช่น โตรอนโต (Toronto) ซานดิเอโก (San Diego) เซาเปาโล (Sao Paulo) ลอนดอน (London) มาดริด (Madrid) ไชปรัส (Cyprus) ดูไบ (Dubai) ปักกิ่ง (Beijing) ฮองกง (Hong Kong) กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่

2.4.3 ระบบ SCAT

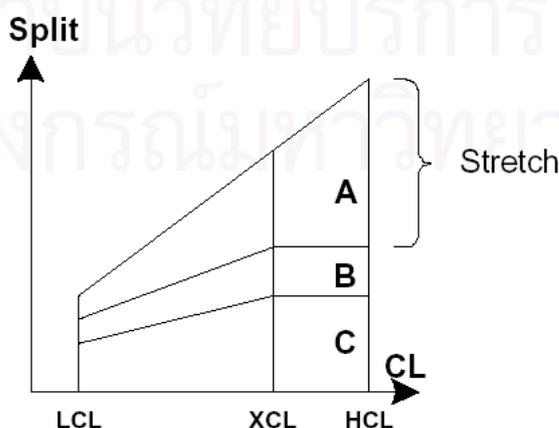
ระบบ SCAT (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) พัฒนาขึ้น โดย Roads and Traffic Authority of New South Wales ประเทศออสเตรเลีย ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 ติดตั้งใช้จริงปี ค.ศ.1980 ในหลายเมือง เช่น เซี่ยงไฮ้ (Shanghai) เซินหยาง (Shenyang) กัวลาลัมเปอร์ (Kuala Lumpur) และดับลิน (Dublin) เป็นระบบควบคุมแบบกระจายจากศูนย์กลาง (distributive system) โดยจะแบ่งการควบคุมออกเป็นพื้นที่ย่อย ซึ่งระบบสามารถปรับเปลี่ยนขอบเขตหรือจำนวนทางแยกภายในพื้นที่ย่อยได้เอง ในแต่ละพื้นที่ย่อยจะประกอบด้วยทางแยกตั้งแต่ 1-10 ทางแยกที่มีลักษณะการจราจรเฉพาะตัวแตกต่างจากพื้นที่ย่อยอื่นๆและมีทางแยกวิกฤตที่มีระดับการอึมครึมตัวสูงสุดเพียงทางแยกเดียว เพราะทางแยกวิกฤตนี้จะใช้เป็นทางแยกหลักในการปรับปรุงความยาวรอบ

สัญญาณไฟและสัดส่วนเวลาไฟเขียวที่ดีที่สุด ส่วนทางแยกที่เหลือจะถูกปรับสัดส่วนเวลาไฟเขียว และจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวที่ดีที่สุดให้สอดคล้องกับการควบคุมที่ทางแยกวิกฤต โดยที่ส่วนเพิ่มหรือลดของความยาวรอบสัญญาณไฟแต่ละครั้ง คือ 6 วินาที วัตถุประสงค์ที่ใช้การควบคุม คือ ทำให้จำนวนครั้งที่รถหยุด ความล่าช้าและเวลาที่ใช้เดินทางทั้งหมดให้น้อยที่สุด การควบคุมจะใช้ข้อมูลการไหลของปริมาณจราจรและระยะเวลาที่ขบวนรถจอดอยู่บนอุปกรณ์ตรวจจับแบบกลยุทธ์ (strategic detectors) ที่ติดตั้งใกล้เส้นหยุด ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และอาจทำการเพิ่มอุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะแห่ง (tactical detectors) ที่ติดตั้งบริเวณส่วนปลายของช่วงถนนปลายทางเพื่อใช้พิจารณาการต่อขยายหรือให้สิ้นสุดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ

การควบคุมในสภาพจราจรอึมทึมมากที่มีระดับการอึมทึมมากกว่า 1 ระบบจะใช้การเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟ (stretch effect) เพื่อให้ปริมาณจราจรผ่านทางแยกได้มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจจับของระบบ SCAT (Gross, 1998)



รูปที่ 2.24 การเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟเมื่อสภาพจราจรอึมทึมในในระบบ SCAT (Gross, 2000)

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบ UTCS SCOOT และ SCAT

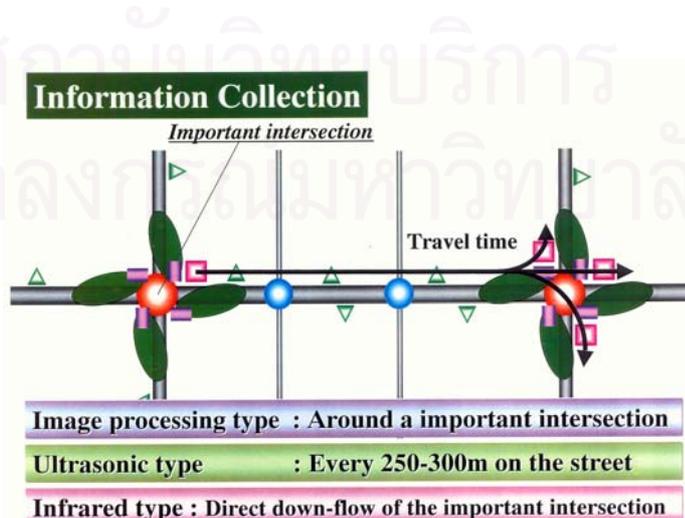
Operations	UTCS	SCOOT	SCATS
Control	Central	Central	Distributed
Offsets	Pre-determined	Dynamic	Pre-determined
Traffic Responsive	Plan matching using system detectors	Traffic projection algorithms using system detectors	Split adjustment for existing traffic using occupancy detectors
Contact	Honeywell Sperry, etc.	TRRL, GE, Fortran Systems	New South Wales Department of Roads, Phillips, AW

ที่มา: Kagolanu, K.A Comparative Study of Traffic Control Systems.

Institute of Transportation Engineers 1994 Compendium of Technical Papers.

2.4.4 ระบบ ITCS

ระบบควบคุมจราจรนี้พัฒนาขึ้นโดย Sumitomo Electric Industrials มีการควบคุมและสั่งการจากศูนย์กลาง เก็บข้อมูลจราจรโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก คลื่นอินฟราเรดและกล้องวิดีโอ บันทึกสภาพจราจร ตำแหน่งที่ติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.25 ความสามารถในการตรวจนับข้อมูลจราจรดังแสดงในตารางที่ 2.7 วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้จะแตกต่างกันตามสภาพจราจร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.8 โดยที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะถูกปรับปรุงใหม่ทุกๆ 2.5 นาที ระบบ ITCS นี้ถูกกล่าวถึงว่าเป็นระบบควบคุมจราจรในเมืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีใช้ในเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น จากการใช้งานจริงภาคสนาม พบว่า สามารถช่วยลดอุบัติเหตุ เวลาที่ใช้เดินทาง และช่วยบรรเทาสภาพจราจรติดขัด



รูปที่ 2.25 ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจนับสภาพจราจรในระบบ ITCS

ตารางที่ 2.7 ความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลจราจรของระบบ ITCS

Information Collection				
	Vehicle detector	Ultrasonic type	Image pro. type	Infrared type
Collected data	Vehicle volume	✓	✓	✓
	Occupancy	✓	✓	✓
	Speed		✓	
	Vehicle type		✓	✓
	Queue		✓	
	Accidents		✓	
	Up-Link data			
Travel time				✓
	Destination			Future
Down-Link data				
	Traffic information			✓

ตารางที่ 2.8 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรของระบบ ITCS

Traffic Signal Control

Concept of MODERATO

Condition	Criterion	Control (Macro, Micro)
Light	Safety flow within speed limit	Delay minimum Dilemma control Speed control
Near-saturated	Restraint of congestion	Congestion control Right turn control
Over-saturated	Balancing waiting time	Balanced control

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

โปรแกรมจำลองสภาพจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองสภาวะการจราจรจากสถานที่จริงหรือสถานการณ์ที่สมมติขึ้น โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจร ตัวอย่างการจำลอง เช่น การจำลองการควบคุมทางแยก การจำลองสภาพจราจรในเมือง เป็นต้น การจำลองสภาพจราจรมีข้อดีหลายประการ คือ ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบการจราจรมีความซับซ้อนมาก ทำให้ศึกษาผลกระทบต่อการจราจรเมื่อเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่ไม่สามารถสมมติให้เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม ทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจรโดยรวมอย่างเป็นระบบและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต การจำลองสภาพจราจรจึงสามารถใช้ทดสอบการควบคุมจราจรรูปแบบใหม่ๆ และทดสอบซ้ำได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การจำลองจะให้ค่าตัววัดประสิทธิภาพการจราจรโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องไปจัดเก็บข้อมูลในภาคสนาม อย่างไรก็ตามการจำลองสภาพจราจรก็มีข้อด้อยบางประการ เช่น ต้องการข้อมูลพื้นฐานจำนวนมาก ใช้เวลามากในการสร้างโครงข่ายถนนและแบบจำลอง ใช้เวลาและงบประมาณมากเพื่อปรับเทียบ (calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ของแบบจำลอง แต่เนื่องจากข้อดีที่ได้รับจากการจำลองสภาพจราจรมีมากกว่าข้อด้อยและเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว ทำให้การจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์และควบคุมการจราจรได้รับความนิยมอย่างมากและมีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สอดคล้องกับผลการสำรวจความคิดเห็นของหน่วยงานวิจัย องค์กรและบริษัทที่ปรึกษาในระดับนานาชาติที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการจราจรและขนส่งที่ศึกษาโดย Bernauer และคณะ (1998) ที่พบว่า จำนวนผู้ที่ตอบแบบสอบถามร้อยละ 55 แสดงความคิดเห็นว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ และร้อยละ 32 แสดงความคิดเห็นว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ และจากการศึกษาของ Algiers และคณะ (1998) พบว่ามากกว่าร้อยละ 80 ที่ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจร เพื่อการออกแบบและทดสอบกลยุทธ์การควบคุม (control strategies)

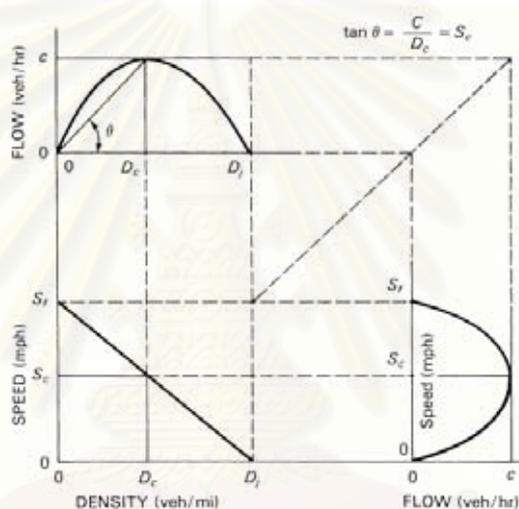
3.1 ระดับของโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรจำนวนมากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถจำแนกตามลักษณะของการจำลองสภาพจราจรได้เป็น 3 ระดับ คือ ระดับจุลภาค (microscopic) ระดับมหภาค (macroscopic) และระดับกึ่งจุลภาค (mesoscopic)

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคมักใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของรถยนต์ (car-following model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (lane-changing model) เป็น

หลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของยานแต่ละคัน การจับขี้นของยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็วและหยุด จะมีผลต่อการจับขี้นของยานที่จับตามมา แต่มักจะไม่มีผลคำนึงถึงพฤติกรรมการจับขี้นที่ได้รับผลกระทบมาจากพฤติกรรมการจับขี้นของยานข้างเคียง (ยกเว้นกรณีของการแซงหรือเปลี่ยนช่องทาง)

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (speed) ความหนาแน่นจราจร (density) และปริมาณจราจร (flow) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองกลุ่มยาน โดยสมมติฐานว่า การวิเคราะห์ค่าการจราจรหาได้จากการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรการจราจรมหภาคที่ไม่คำนึงถึงหรือพิจารณาถึงค่าการจราจรหรือพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความหนาแน่นจราจรและปริมาณจราจร
(Papacostas และ Prevedouros, 2001)

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค นำเอาลักษณะการจำลองสภาพจราจรทั้งระดับมหภาคและระดับจุลภาคมาผสมผสานกัน

3.2 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร

สืบเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสื่อสารและคอมพิวเตอร์ที่มีอย่างต่อเนื่อง ทำให้การพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพจราจรมีความก้าวหน้าและมีให้เลือกใช้จำนวนมากในปัจจุบัน แต่โปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูงในการนำไปประยุกต์ใช้และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องพร้อมกับได้รับการยอมรับนั้นมีอยู่ไม่มากนัก ในส่วนนี้จึงกล่าวถึง โปรแกรมจำลองสภาพจราจร

ระดับจุลภาคที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันในระดับสากลเท่านั้น ได้แก่ โปรแกรม AIMSUN2 CORSIM DRACULA PARAMICS และ VISSIM (Woolley, 2001)

3.2.1 โปรแกรม AIMSUN2

โปรแกรม AIMSUN2 (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) พัฒนาโดย J. Barcelo และ J.L. Ferrer ที่มหาวิทยาลัยโพลีเทคนิคในแคว้นกาตาลัน (Polytechnic University of Catalunya) เมืองบาร์เซโลน่า ประเทศสเปน ปี ค.ศ. 1994 เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองและระหว่างเมือง สามารถประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System, ITS) ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม AIMSUN2 เชื่อมต่อกับระบบ SCOOT ในโครงการอุดหนุนการวิจัย DGVII

3.2.2 โปรแกรม CORSIM

โปรแกรม CORSIM (CORridor Microscopic SIMulation) พัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration ในปี ค.ศ. 1996 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย FRESIM ใช้จำลองสภาพจราจรบนทางหลวง (freeway) และ NETSIM ใช้จำลองสภาพจราจรในเมือง เป็นโปรแกรมระดับแนวหน้าที่ได้มีการนำมาใช้ทดสอบการออกแบบลักษณะทางกายภาพ (geometric configuration) สามารถใช้จำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่และสัญญาณไฟปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร แต่ไม่มีเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณเพื่อให้การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟที่ดีที่สุด

3.2.3 โปรแกรม DRACULA

โปรแกรม DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro-simulation) พัฒนาโดยสถาบันการศึกษาด้านการขนส่งของมหาวิทยาลัยลีดส์ (Institute for Transport Studies, University of Leeds) เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จัดเส้นทางการเดินทางในเมือง (urban traffic assignment model) ที่สามารถจำลองสภาพจราจรแต่ละวันได้ต่อเนื่องกันตลอด 24 ชั่วโมง ผู้ขับขี่แต่ละคนจะเลือกเส้นทางเดินทางตามสภาพจราจรและประสบการณ์ที่เรียนรู้จากแบบจำลองย่อย (learning sub-model)

3.2.4 โปรแกรม PARAMICS

โปรแกรม PARAMICS (Parallel Micro Simulation) เริ่มต้นพัฒนาขึ้นที่ ศูนย์คอมพิวเตอร์ขนานในเอดินเบอร์ (Edinburgh Parallel Computing Center) ประเทศสก็อตแลนด์ ปี ค.ศ. 1992 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ใช้จำลองสภาพจราจรที่พิจารณาการขับขี่ของยานแต่ละคันในโครงข่ายถนนที่มีการจราจรแออัด (congested network) สามารถแสดงผลการจำลองยานแต่ละคันผ่านทางหน้าจอแสดงผลในมุมมอง 3 มิติ และสามารถแสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างชัดเจน โดยใช้สี สามารถใช้ทดสอบการแนะนำเส้นทาง (route guidance) การเลือกเส้นทางเดินทาง (route choice) และสามารถตรวจวัดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจราจรได้ เหมาะสมสำหรับใช้วางแผนจัดการจราจรและประเมินนโยบายการขนส่งทั้งในระดับพื้นที่ย่อย (local level) และระดับกลยุทธ์ (strategic level) สนับสนุนการวิเคราะห์ด้านระบบขนส่งอัจฉริยะ การจำลองอุบัติเหตุและการใช้ป้ายบอกข่าวสารการจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้

3.2.5 โปรแกรม VISSIM

โปรแกรม VISSIM พัฒนาโดย PTV System Software and Consulting GMBH ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน เป็นโปรแกรมระดับจุลภาคที่มีความยืดหยุ่นสูง ใช้สำหรับจำลองสภาพจราจรในเมืองและการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ใช้ประเมินทางเลือกด้านการจัดการจราจร สามารถแสดงผลการจำลองสภาพจราจรในมุมมอง 3 มิติ และสามารถรายงานค่าสถิติต่างๆ ได้ เช่น รายละเอียดเวลาที่ใช้เดินทางและสถิติความล่าช้า สถิติความยาวแถวคอย รายละเอียดข้อมูลการจัดจังหวะควบคุมสัญญาณไฟจราจร การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับและการขอสัญญาณไฟเขียวจากยานพาหนะในระบบขนส่งมวลชน สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางเคลื่อนที่ได้ของยานกับเวลา (time space diagram) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (speed profile)

3.3 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร

การจำลองสภาพจราจรใดๆ ที่แตกต่างกันจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเสมอ อาจสังเกตได้จากการเคลื่อนที่ของยานบนถนนหรือความยาวแถวคอยบนหน้าจอแสดงผล แต่ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าการจำลองสภาพจราจรแบบใดมีประสิทธิภาพดีหรือการจำลองสภาพจราจรแบบนั้นมีผลกระทบต่อจราจรที่ทางแยก ถนนหรือการจราจรในภาพรวมอย่างไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการจำลองสภาพจราจรมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น การปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร การห้ามเลี้ยวที่ทางแยกบางแห่ง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพของการจำลองสภาพจราจรได้ โปรแกรมจำลองสภาพจราจรจึงจัดเตรียมรายงานผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพจราจรในเชิงปริมาณที่เรียกว่า ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร (indicators) ซึ่งตัววัดประสิทธิภาพการจราจรของแต่ละโปรแกรมอาจจะมีเหมือนกัน คล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกันตามการออกแบบของแต่ละโปรแกรม

Biora และคณะ (1995) แนะนำตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเชิงปริมาณจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการควบคุมจราจรในเมือง ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเมือง (Biora และคณะ, 1995)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร
ประสิทธิภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์ (economic efficiency)	<ul style="list-style-type: none"> - ความล่าช้าของขบวนยานแต่ละประเภทที่ทางแยก - ความล่าช้าที่เกิดขึ้นกับคนเดินเท้าที่ทางข้าม - มูลค่าของเวลาและค่าใช้จ่ายจริงในการเดินทาง - ความผันแปรของเวลาที่ใช้เดินทางจำแนกตามประเภทของการเดินทาง - ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (costs of operating) จำแนกตามการให้บริการขนส่ง
การอนุรักษ์สภาพแวดล้อม (environmental protection)	<ul style="list-style-type: none"> - ระดับเสียง - ระดับความสั่นสะเทือน - ระดับมลพิษ (CO HCs NO_x ฝุ่น)
ความปลอดภัย (safety)	<ul style="list-style-type: none"> - จำนวนคนที่ได้รับอุบัติเหตุจำแนกตามถนน ทางแยก และโครงข่าย
ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ (accessibility)	<ul style="list-style-type: none"> - ประเภทของกิจกรรมที่สามารถทำได้ภายในเวลาและค่าใช้จ่ายที่กำหนดสำหรับแต่ละจุดเริ่มต้นการเดินทางและรูปแบบการขนส่ง (mode) - ค่าถ่วงน้ำหนักของเวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้เดินทางโดยเฉลี่ยสำหรับแต่ละรูปแบบการขนส่ง
การพัฒนาแบบยั่งยืน (sustainability)	<ul style="list-style-type: none"> - เหมือนในหัวข้อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ความปลอดภัย และความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ - ปริมาณ CO₂ ทั้งหมดในพื้นที่ - ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองทั้งหมดในพื้นที่

ตารางที่ 3.1 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในเมือง (Biora และคณะ, 1995) (ต่อ)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร
การฟื้นฟูสภาพเศรษฐกิจ (economic regeneration)	- เหมือนในหัวข้อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ แต่จำแนกตามพื้นที่และภาคเศรษฐกิจ (economic sector)
การเงิน (finance)	- ต้นทุนการดำเนินการจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง - ต้นทุนการดำเนินงานและรายได้จากค่าจอดรถและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ - รายได้จากการจัดเก็บภาษีการใช้รถ
ความเสมอภาคหรือความเท่าเทียมกัน (equity)	- เหมือนในหัวข้อทั้งหมดข้างต้น แต่จำแนกตามกลุ่มที่ได้รับผลกระทบ

Algers และคณะ (1998) แนะนำว่า ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่นิยมใช้อาจจัดแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการควบคุมออกได้เป็น 5 กลุ่ม พร้อมกันนี้ได้แสดงร้อยละของตัววัดประสิทธิภาพที่โปรแกรมจำลองสภาพจราจรส่วนใหญ่ได้จัดเตรียมไว้ ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรจำแนกตามวัตถุประสงค์ในการควบคุม
(Algers และ คณะ, 1998)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร	ร้อยละ
ประสิทธิภาพ (efficiency)	- ความเร็ว	87
	- เวลาที่ใช้เดินทาง	87
	- ระดับความแออัด	71
	- ความผันแปรของเวลาที่ใช้เดินทาง (travel time variability)	68
	- ความยาวแถวคอย (queue length)	65
	- ความสม่ำเสมอในการให้บริการขนส่งสาธารณะ (public transport regularity)	26
	- การจัดแบ่งสัดส่วนของรูปแบบการเดินทาง (modal split)	16

ตารางที่ 3.2 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรจำแนกตามวัตถุประสงค์ในการควบคุม
(Algers และ คณะ,1998) (ต่อ)

วัตถุประสงค์ของการควบคุม	ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร	ร้อยละ
ความปลอดภัย (safety)	- ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยเวลา	42
	- การแซง (overtaking)	26
	- จำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุ (number of accidents)	16
	- ความรุนแรงของอุบัติเหตุ (accident severity)	16
	- จำนวนครั้งที่ชนกัน (time to collision)	16
	- ความปลอดภัยของคนเดินเท้า (interactions with pedestrians)	16
	- การปล่อยไอเสียรถยนต์ (exhaust emissions)	52
สิ่งแวดล้อม (environment)	- ระดับมลพิษข้างถนน (roadside pollution level)	16
	- ระดับเสียง (noise level)	13
	- ความสะดวกสบายที่ได้รับจากการใช้บริการ (physical comfort)	3
ความสะดวกสบาย (comfort)	- ความเครียด (stress)	0
	- การบริโภคเชื้อเพลิง (fuel consumption)	48
ผลผลิตภาพ (technical performance)	- ค่าใช้จ่ายในการใช้รถยนต์ (vehicle operating costs)	6

3.4 การคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นำมาใช้ในงานวิจัย จะต้องผ่านหลักเกณฑ์การคัดเลือกที่กำหนดไว้ เพื่อให้สามารถจำลอง พัฒนาและประเมินวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรในตัวได้ โดยมีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือก ดังต่อไปนี้

1) โปรแกรมจำลองสภาพจราจรต้องเป็น โปรแกรมระดับจุลภาคและได้รับการยอมรับ เพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมการขับขี่ของรถยนต์แต่ละคันที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันได้ ทำให้สภาพจราจรที่จำลองขึ้นเสมือนจริง

ดังจะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษาวิจัย คือ โปรแกรม PARAMICS เพราะมีข้อได้เปรียบจากความสามารถในการจำลองการขับขี่ได้ทั้งแบบขับชิดซ้าย และขับชิดขวา มีการแสดงผลการจำลองสภาพจราจรผ่านทางหน้าจอผลที่ดีมาก และที่สำคัญ คือ มีตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ ทำให้สามารถเขียนรหัสทำงาน (source code) เพื่อเพิ่มเติมวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามรูปแบบที่ผู้ใช้งานต้องการเข้าไปในโปรแกรมได้

3.5 โปรแกรม PARAMICS

PARAMICS ย่อมาจาก **Parallel Micro Simulation** เริ่มต้นการพัฒนาปี ค.ศ. 1992 ที่ Quadstone Ltd และได้รับการพัฒนาต่อภายใต้โครงการวิจัย IMAURO และ The Edinburgh Parallel Computing Centre (EPCC) โปรแกรมออกจำหน่ายครั้งแรกในปี ค.ศ. 1993 ต่อมาในปี ค.ศ. 1994 โปรแกรมได้รับรางวัล Scottish Strategic IT Award for Technology Transfer ปี ค.ศ. 1995 และ 1996 ได้รับรางวัล Computerworld Smithsonian Prize for Outstanding Contribution to Information Technology ปี ค.ศ. 1996 Quadstone Ltd ร่วมมือกับ SIAS Ltd จัดตั้ง Paramics Traffic Simulation Limited (PTSL) เพื่อพัฒนาให้โปรแกรมให้มีความสามารถสูงขึ้น แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 บริษัททั้ง 2 แห่งมีความคิดเห็นแตกต่างกันในการพัฒนา จึงแยกกันพัฒนาโปรแกรม PARAMICS ในรูปแบบของตนเอง จนกระทั่งในปัจจุบันโปรแกรมนี้สามารถใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและได้รับความนิยมอย่างหลาย

ปัจจุบันมีหน่วยงานวิจัย สถาบันการศึกษาและบริษัทต่าง ๆ นำโปรแกรมไปใช้การวิเคราะห์ และศึกษาวิจัยในอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.4 การนำโปรแกรม PARAMICS ไปประยุกต์ใช้ (ปรับปรุงจาก Woolley, 2001)

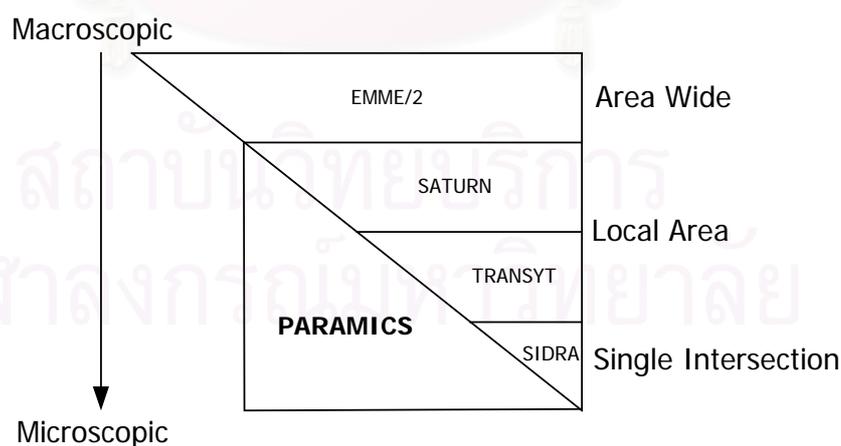
ประเทศ	องค์กร	การนำไปใช้
Australia	Transport Systems Centre, University of South Australia	General Research and Calibration, Emissions and ITS modeling
Australia	University of Queensland	ITS modeling (VMS)
Australia	RTA and VicRoads	Major Project Investigation
United States	Institute of Transport Studies, University of California, Irvine	ITS benchmarking
United States	CALTRANS	Freeway modeling
Canada	University of Toronto	ITS modeling
Singapore	LTA	Transportation Planning

ตารางที่ 3.4 การนำโปรแกรม PARAMICS ไปประยุกต์ใช้ (ปรับปรุงจาก Woolley, 2001) (ต่อ)

ประเทศ	องค์กร	การนำไปใช้
Singapore	National University of Singapore	General Research, Public Transport and ITS modeling
Thailand	Chulalongkorn University	ITS modeling and Traffic Management Applications

และเนื่องจากโปรแกรมมีตัวกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ และมีการแสดงผลที่ดีมาก ทำให้โปรแกรมได้รับความนิยมอย่างมากในการนำไปใช้วิเคราะห์ระบบควบคุมการจราจรและระบบขนส่งอัจฉริยะที่ผู้ใช้งานกำหนดขึ้นเอง

ความสามารถในการจำลองของของโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลองสภาพจราจรอื่นๆ McKay (1999 อ้างถึงใน Woolley, 2001) ให้ความเห็นว่า โปรแกรม PARAMICS สามารถใช้จำลองทางแยกเดี่ยวถึงระดับพื้นที่ย่อย ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จำลองสภาพจราจรระดับพื้นที่กว้าง อย่างไรก็ตาม โปรแกรม PARAMICS มีจุดเด่นที่สามารถจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่และการเคลื่อนที่ของยานแต่ละประเภท ความสามารถในการจำลองที่จอจรด ความสามารถในการจำลองการเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ผู้ใช้งานสามารถนำรูปภาพของภาพถ่ายทางอากาศหรือรูปภาพของพื้นที่ศึกษามาซ้อนทับกับโครงข่ายถนนจำลอง ทำให้เข้าใจองค์ประกอบของระบบการจราจรที่ทดสอบได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 3.2 ความสามารถในการจำลองของโปรแกรม PARAMICS
(McKay, 1999 อ้างถึงใน Woolley, 2001)

3.5.1 แบบจำลองย่อยภายในโปรแกรม

โปรแกรม PARAMICS ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยจำนวน 6 โปรแกรมที่มีความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

3.5.1.1 โปรแกรมจำลองการจราจร (Paramics Modeller) ใช้กำหนดตัวแปรพื้นฐานการจราจร สร้างโครงข่ายถนนทดสอบและแสดงการจำลองสภาพจราจรผ่านทางหน้าจอแสดงผล

3.5.1.2 โปรแกรมจำลองการจราจรในส่วนการทำงานแบบดูอย่างเดียว (Paramics Modeller in Viewer Mode) มีความสามารถในการทำงานใกล้เคียงกับโปรแกรมจำลองการจราจรแต่ไม่สามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆของการจำลองได้ ใช้เพื่อดูสภาพจราจรที่จำลองขึ้นผ่านทางหน้าจอแสดงผลเท่านั้น

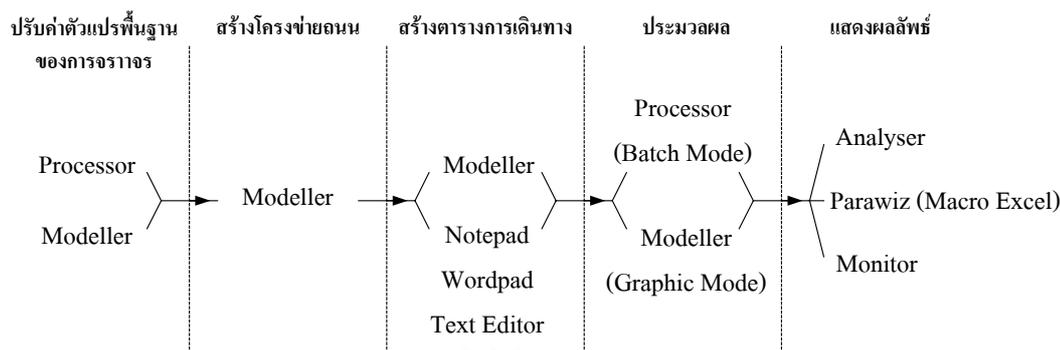
3.5.1.3 โปรแกรมประมวลผล (Paramics Processor) ใช้กำหนดตัวแปรพื้นฐานการจราจรและใช้ประมวลผลการจำลองสภาพจราจรแบบตัวอักษร (batch mode) การใช้แบบจำลองย่อยนี้จะช่วยให้การประมวลผลเร็วขึ้น แต่จะไม่สามารถใช้แสดงผลการจำลองสภาพจราจรผ่านทางหน้าจอแสดงผลได้

3.5.1.4 โปรแกรมวิเคราะห์สภาพจราจร (Paramics Analyser) ใช้แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรมจำลองการจราจรหรือโปรแกรมประมวลผลผ่านทางหน้าจอแสดงผล เช่น ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย ความหนาแน่นจราจร จำนวนขบวนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจนับ เป็นต้น

3.5.1.5 โปรแกรมสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ (Paramics Programmer) ช่วยผู้ใช้งานเขียนรหัสทำงานเพิ่มเติม เพื่อใช้ปรับปรุงตัวแบบการจำลองสภาพจราจรที่มีอยู่เดิมของโปรแกรม

3.5.1.6 โปรแกรมตรวจวัดมลภาวะ (Paramics Monitor) ใช้แสดงระดับมลพิษโดยรอบพื้นที่ศึกษาที่เป็นผลมาจากการจราจรบนถนนภายในโครงข่าย

จากแบบจำลองย่อยทั้งหมดข้างต้นอาจนำมาเขียนเป็นแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม PARAMICS

3.5.2 ตัวแปรพื้นฐานของการจราจร

ตัวแปรพื้นฐานของการจราจรของโปรแกรมที่มีผลต่อการจำลองการเคลื่อนที่ของขบวน การควบคุมสัญญาณไฟจราจรและการจัดเส้นทางการเดินทางที่ใช้ในการศึกษาวิจัย มีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรพื้นฐานด้านการจราจรของโปรแกรม PARAMICS

ตัวแปรพื้นฐาน	รายละเอียด
ตัวเลขแรกเริ่ม (initial seed)	ตัวเลขที่ใช้สร้างตัวเลขสุ่มที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ตามกันของขบวน การเปลี่ยนช่องจราจร การเคลื่อนที่ของขบวนที่ทางแยก
ความยาวของอุปกรณ์ตรวจนับ (loop length)	ความยาวของอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิวจราจร ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 2 เมตร
เวลาสัญญาณไฟเหลือง (amber time)	เวลาสัญญาณไฟเหลือง ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 3 วินาที และเท่ากับเวลาที่สูญหายไปที่ใช้คำนวณหาช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวประสิทธิผล
ระยะทางที่ใช้กำหนดสถานะของขบวนที่จัดอยู่ในแถวคอย (queue distance)	ระยะห่างมากที่สุดระหว่างขบวนคันหน้าและขบวนคันหลังที่ใช้พิจารณาว่าขบวนคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้าขบวนคันหลังมีระยะห่างมากกว่าค่านี้ ขบวนคันหลังจะไม่จัดอยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 10 เมตร
ความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของขบวนที่จัดอยู่ในแถวคอย (queue speed)	ความเร็วมากที่สุดของขบวนคันหลังที่ใช้พิจารณาว่าขบวนคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้าขบวนคันหลังมีความเร็วมากกว่าค่านี้ ขบวนคันหลังจะไม่อยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 7.19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรพื้นฐานของการจราจร (ต่อ)

ตัวแปรพื้นฐาน	รายละเอียด
ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่าง ขบวนรถในหน่วยของเวลา (mean headway)	ค่าเฉลี่ยของระยะห่างในหน่วยของเวลาระหว่างขบวนรถ 2 คันที่ เคลื่อนที่ตามกัน ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 1 วินาที
ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ ใช้โต้ตอบต่ออุบัติเหตุ (mean reaction time)	ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ผู้ขับขี่ขบวนรถใช้ตอบสนองต่ออุบัติเหตุ ค่าเริ่ม ต้นของโปรแกรมเท่ากับ 1 วินาที
ระยะเวลาของช่วงเวลาย่อย ใน 1 วินาที (timestep)	ระยะเวลาของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่า กับ 0.5 วินาที
จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที (timestep detail)	จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที มีค่าเท่ากับส่วนกลับของระยะเวลา ของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที ดังนั้นค่าเริ่มต้นของโปรแกรมจึงเท่า กับ 2
จำนวนช่วงเวลาย่อยที่ผู้ขับขี่ สามารถจดจำความเร็วได้ (speed memory)	จำนวนช่วงเวลาย่อยที่ผู้ขับขี่สามารถจดจำความเร็วได้ ถ้าจำนวน ช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที ลดลง เวลาที่ผู้ขับขี่ใช้ตอบสนองต่อเหตุ การณ์จะมากขึ้น ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 3
ระยะห่างของเวลาที่ใช้รับส่ง ข้อมูลจราจรในแต่ละครั้ง (feedback period)	ช่วงเวลาที่ใช้รับส่งความล่าช้าที่ทางแยกในแต่ละทิศทางการจราจร และค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน เพื่อใช้คำนวณการจัดเส้นทาง ทางการเดินทาง ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 5 นาที

3.5.3 การสร้างโครงข่ายถนนจำลอง

การสร้างโครงข่ายถนนจำลองจะใช้โปรแกรมจำลองการจราจรในการป้อนข้อมูล โดยที่องค์ประกอบของโครงข่ายถนนจำลองจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ จุด (nodes) ใช้แทนทางแยกหรือจุดเชื่อมต่อ โซน (zones) ใช้เป็นจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทาง และช่วงถนน (links) ที่เป็นเส้นตรงหรือส่วนโค้งเชื่อมที่เกิดจากเชื่อมต่อกันระหว่างจุด โดยที่ทางแยกอาจเป็นทางแยกเอก-โท (priority intersection) หรือทางแยกสัญญาณไฟจราจร ส่วนช่วงถนนที่กำหนดโดยโปรแกรมแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ถนนในเมือง (urban road) หมายถึง ถนนในแนวระดับที่ขบวนรถต้องหยุดก่อนผ่านทางแยก ทางหลวง (highway) หมายถึง ทางด่วน (motorway) หรือทางสายหลัก (trunk roads) ที่ขบวนรถสามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกด้วยความเร็วอิสระหรือมีจุดตัดเป็นทางแยกต่างระดับ ถนนสายหลัก (major road) หมายถึง ถนนสายหลัก ผู้ขับขี่ที่ไม่คุ้นเคยกับเส้นทาง

ในโครงข่ายจะใช้เป็นเส้นทางหลักในการเดินทาง ถนนสายรอง (minor road) หมายถึง ถนนสายรอง ผู้ขับขี่ที่คุ้นเคยกับเส้นทางในโครงข่ายจะใช้เป็นเส้นทางหลัก

3.5.4 การสร้างตารางการเดินทาง

ตารางการเดินทางสามารถใช้โปรแกรมจำลองการจราจรในการป้อนข้อมูลด้วยการกำหนดปริมาณจราจรระหว่างจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทางให้สอดคล้องกับจำนวนโชนในโครงข่ายถนนจำลอง ตารางการเดินทางนี้สามารถกำหนดให้เป็นตารางการเดินทางของขบวนแต่ละประเภท และจัดให้ปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่ายถนนจำลองตามช่วงเวลาต่างๆ (flow profile) โดยแยกตามประเภทของขบวนที่โปรแกรมกำหนดไว้ คือ รถยนต์ส่วนบุคคล (car) รถบรรทุกขนาดเล็ก (lgv) รถบรรทุกทุกประเภทแรก (ogv1) รถบรรทุกทุกประเภทที่สอง (ogv2) รถโดยสารขนาดใหญ่ (coach) รถโดยสารประจำทางขนาดเล็ก (minibus) และรถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่ (bus) รายละเอียดของขบวนแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ประเภทของขบวน

ประเภทขบวน	ความยาว (เมตร)	ความสูง (เมตร)	ความกว้าง (เมตร)	น้ำหนัก (ตัน)	ความเร็วสูงสุด (เมตร/วินาที)	ความเร่ง (เมตร/วินาที ²)	ความหน่วง (เมตร/วินาที ²)
car	4.0	1.5	1.6	0.8	158.4	2.5	4.5
lgv	6.0	2.6	2.3	2.5	126.0	1.8	3.9
ogv1	8.0	3.6	2.4	15.0	104.4	1.1	3.2
ogv2	11.0	4.0	2.5	38.0	118.8	1.4	3.7
coach	10.0	3.0	2.5	12.0	126.0	1.2	3.7
minibus	6.0	4.0	2.5	8.0	61.2	1.1	3.2
bus	10.0	4.0	2.5	12.0	61.2	0.9	3.2

ที่มา: Quadstone (2000)

3.5.5 การจัดเส้นทางการเดินทาง

การจัดเส้นทางการเดินทางของขบวนแต่ละคันจากจุดเริ่มต้นการเดินทางไปจุดสิ้นสุดการเดินทางเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งในการจำลองสภาพจราจร เพราะเส้นทางที่ขบวนเลือกเดินทางจะส่งผลต่อสภาพจราจรแต่ละทางแยกและสภาพจราจรโดยรวม ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทางเดินทางของขบวนแต่ละคันของโปรแกรมสามารถกำหนดได้โดยใช้โปรแกรมจำลองการจราจร ปัจจัยดังกล่าวอาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การจำลองโครงข่าย (network

coding) พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง (model parameters) และวิธีจัดเส้นทางการเดินทาง (assignment method)

การจำลองโครงข่ายที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการเดินทาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

ก) การจำกัดประเภทของขบวนที่อนุญาตให้ใช้ช่องจราจรและการห้ามเลี้ยวที่ทางแยกในบางทิศทาง (lane and turn restrictions) และการบอกข้อมูลข่าวสารการจราจรให้ผู้ขับขี่ทราบล่วงหน้าก่อนถึงจุดหมายปลายทางเพื่อเปลี่ยนเส้นทางการเดินทาง (sign posted routes)

ข) การกำหนดค่าตัวคูณของค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน (link cost factor) ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน (link cost) คำนวณจากผลคูณของเวลาที่ขบวนใช้เดินทางบนช่วงถนนด้วยความเร็วอิสระ (free-flow speeds) กับค่าตัวคูณของค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน วิธีการนี้ใช้ได้กับผู้ขับขี่ที่คุ้นเคยและไม่คุ้นเคยกับเส้นทางในโครงข่าย แต่ผู้ที่ไม่คุ้นเคยกับเส้นทางในโครงข่ายจะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนถนนสายรองเป็นสองเท่าของถนนสายหลัก

ค) การกำหนดค่าตัวคูณของค่าใช้จ่ายในการเดินทางสำหรับช่วงถนนแต่ละประเภท (link categories) วิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะกับผู้ขับขี่ที่ไม่คุ้นเคยเส้นทางและใช้กับถนนสายหลักเท่านั้น ตัวอย่างการนำไปใช้ เช่น เมื่อต้องการจำกัดปริมาณจราจรในเขตพื้นที่อยู่อาศัยในแบบจำลองให้มีสภาพจราจรสอดคล้องกับสภาพจราจรจริง ทำได้โดยการเพิ่มค่าตัวคูณของค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนนแต่ละประเภทของถนนที่ใช้เข้า-ออกพื้นที่พักอาศัย

พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการเดินทาง ได้แก่ ร้อยละของผู้ขับขี่ที่คุ้นเคยกับเส้นทางการเดินทางภายในโครงข่าย (percentage of familiar drivers) ผู้ขับขี่ที่คุ้นเคยกับเส้นทางจะมีแนวโน้มเลือกใช้เส้นทางรองในการเดินทางแทนเส้นทางบนถนนสายหลักที่มีการจราจรติดขัด เพราะคิดว่ารู้เส้นทางลัดเป็นอย่างดี ส่วนผู้ขับขี่ที่ไม่คุ้นเคยกับเส้นทางมีแนวโน้มจะเลือกใช้เส้นทางการเดินทางบนถนนสายหลักมากกว่าถนนสายรอง และตัวแปรที่มีผลต่อการเลือกเส้นทางการเดินทางอีกตัวหนึ่ง คือ สัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม (generalized cost coefficient) ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ของระยะทาง เวลา และค่าผ่านทาง (toll) โดยสัมประสิทธิ์ของค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม (generalized cost) ที่ผู้ขับขี่แต่ละคนรับรู้สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$Cost = aT + bD + cP \quad (3.1)$$

โดยที่ $Cost$ คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม (นาท)

- a คือ สัมประสิทธิ์ของช่วงเวลาที่ใช้เดินทางบนช่วงถนน (นาทีต่อนาที)
- b คือ สัมประสิทธิ์ของความยาวของช่วงถนน (นาทีต่อกิโลเมตร)
- c คือ สัมประสิทธิ์ของค่าผ่านทาง (นาทีต่อบาท)
- T คือ ช่วงเวลาที่ผู้ขายน่าใช้เดินทางผ่านช่วงถนนด้วยความเร็วอิสระ (นาที)
- D คือ ความยาวของช่วงถนน (กิโลเมตร)
- P คือ ค่าผ่านทาง (บาท)

ซึ่งค่าเริ่มต้นของโปรแกรมกำหนดให้ $a=1.00$ $b=0.00$ และ $c=0.00$ หรือให้การจัดเส้นทางการเดินทางพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางช่วงถนนด้วยความเร็วอิสระเท่านั้น

วิธีจัดเส้นทางการเดินทางในโปรแกรมมี 3 วิธี คือ วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบทั้งหมดหรือไม่เลย (All or Nothing Assignment, AON) วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบสุ่ม (Stochastic Assignment) และวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางย้อนกลับแบบพลวัต (Dynamic Feedback Assignment)

3.5.5.1 วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบทั้งหมดหรือไม่เลยมีข้อสมมติฐานว่า ผู้ขับขี่ทุกคนที่เดินทางจากจุดเริ่มต้นการเดินทางและมีจุดสิ้นสุดการเดินทางเดียวกันจะใช้เส้นทางเดียวกันและปริมาณจราจรบนช่วงถนนไม่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนนเปลี่ยนแปลง วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จัดเส้นทางการเดินทางในเมืองที่มีสภาพจราจรอึดอัด

3.5.5.2 วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบสุ่มมีข้อสมมติฐานว่า ผู้ขับขี่แต่ละคนรับรู้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนแต่ละช่วงถนนไม่แน่นอน แต่อยู่ภายในช่วงที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หรือขบวนการที่มีจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทางที่เหมือนกัน ไม่จำเป็นต้องมีเส้นทางการเดินทางที่เหมือนกัน โดยที่ความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงเส้นทางนี้จะเป็นผลมาจากปัจจัยรบกวน (perturbation factor) ค่าใช้จ่ายในการเดินทางด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ วิธีร้อยละ (percentage algorithm) และวิธีรากที่สอง (square root algorithm)

$$\text{วิธีร้อยละ} \quad \dot{c} = \left(\frac{100-P}{100} + N \right) c \quad (3.2)$$

- โดยที่
- \dot{c} คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมบนแต่ละช่วงถนนที่มีความไม่แน่นอนที่ผู้ขับขี่รับรู้
 - c คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมบนแต่ละช่วงถนนที่ผู้ขับขี่รับรู้
 - P คือ ปัจจัยรบกวน

N คือ ตัวเลขจากการสุ่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง $\frac{2P}{100}$

$$\text{วิธีการที่สอง} \quad \dot{C} = \left(C + \frac{(N-5)P\sqrt{C}}{500} \right) \quad (3.3)$$

โดยที่ N คือ ตัวเลขจำนวนเต็มจากการสุ่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 10

3.5.5.3 วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางย้อนกลับแบบพลวัตมีข้อสมมติฐานว่า ผู้ขับขี่ที่คุ้นเคยกับเส้นทางการเดินทางในโครงข่ายจะเปลี่ยนเส้นทางการเดินทางไปตามสภาพการจราจรในขณะนั้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่ทางแยกกับค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนช่วงถนน โดยที่ความล่าช้าที่ทางแยกสำหรับแต่ละทิศทางจราจรจะถูกคำนวณใหม่ทุกๆครั้งตามช่วงเวลาที่กำหนดโดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมกำหนดให้ช่วงเวลาที่กำหนดเท่ากับ 5 นาที ดังนั้นความล่าช้าที่ทางแยกสำหรับแต่ละทิศทางจราจรในช่วงเวลา 0-5 นาที 5-10 นาที และ 10-15 นาที สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$DT_{(0to5)} = \frac{\sum_{(0to5)} \text{times of turning vehicles}}{\sum_{(0to5)} \text{vehicles making the turn}} \quad (3.4)$$

$$DT_{(5to10)} = \frac{\sum_{(5to10)} \text{times of turning vehicles}}{\sum_{(5to10)} \text{vehicles making the turn}} \times 0.5 + 0.5 \times [DT_{(5to10)}] \quad (3.5)$$

$$DT_{(10to20)} = \frac{\sum_{(10to20)} \text{times of turning vehicles}}{\sum_{(10to20)} \text{vehicles making the turn}} \times 0.5 + 0.25 \times [DT_{(5to10)}] + 0.25 \times [DT_{(5to10)}] \quad (3.6)$$

โดยที่ DT คือ ความล่าช้าของแต่ละทิศทางจราจร

3.5.6 การใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์

โปรแกรมสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ที่มีขนาดเล็กแต่มีความสามารถสูงนี้ถูกพัฒนาขึ้นจากความช่วยเหลือของสถาบันศึกษาการขนส่ง (Institute of Transportation Studies) ที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (University of California) และสถาบันวิจัยระบบสังคม (Social System Research Institute) ที่เมืองโตเกียว (Tokyo) ทำให้โปรแกรม PARAMICS สามารถติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual C++ ได้ การติดต่อสื่อสารกันได้นี้เป็นข้อได้เปรียบโปรแกรมจำลองสภาพจราจรอื่นๆทั่วไปคือ โปรแกรมสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์อำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถจำลองหรือปรับเปลี่ยนพฤติกรรมจราจร ขั้วขั้วขยาน การเคลื่อนที่ของขั้วขยาน รวมถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจราจรอื่นๆ

ของโปรแกรม PARAMICS ที่พัฒนาขึ้นมาจากลักษณะการจับขั้วขดยานและลักษณะของขดยานในประเทศสหราชอาณาจักรให้สามารถจำลองลักษณะการจับขั้วและสภาพแวดล้อมของการจับขั้วสอดคล้องกับการจราจรในแต่ละท้องถิ่นที่มีลักษณะการจับขั้วที่แตกต่างกันไปตามวัฒนธรรมและสภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ การติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรม PARAMICS กับโปรแกรมประยุกต์สามารถทำได้โดยการเขียนรหัสทำงานในรูปแบบของภาษาซี (C language) โดยใช้โปรแกรม Visual C++ ต่อจากนั้นจึงทำการประมวลผลเพื่อเปลี่ยนรหัสทำงานที่สร้างขึ้นให้เป็นไดนามิกลิงค์ไลบรารี (dynamic link library, dll) ที่ประกอบด้วยชุดคำสั่งและฟังก์ชันการทำงานที่โปรแกรม PARAMICS สามารถนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้พัฒนาการควบคุมการจราจรอื่นๆได้ เช่น การนำไปใช้พัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยก (Liu, Chu และ Recker, 2001) การนำไปใช้ทดสอบพฤติกรรมของผู้จับขั้วที่มีต่อป้ายบอกข่าวสารการจราจรที่สามารถปรับเปลี่ยนข้อความได้ การนำไปใช้เปรียบเทียบค่าการจราจรสำหรับท้องถิ่น เป็นต้น การศึกษาวิจัยจึงดำเนินการเขียนรหัสทำงานเพื่อควบคุมและปรับเปลี่ยนวิธีควบคุมสัญญาณไฟมาตรฐานของโปรแกรม PARAMICS ต่อจากนั้นนำรหัสทำงานไปประมวลผลให้เป็นไดนามิกลิงค์ไลบรารี หลังจากนั้นจึงนำไดนามิกลิงค์ไลบรารีเก็บไว้ภายในไดเรกทอรี (directory) ของโปรแกรม PARAMICS ซึ่งไดนามิกลิงค์ไลบรารีนี้จะถูกเรียกใช้โดยอัตโนมัติเมื่อมีการเรียกใช้โปรแกรมจำลองการจราจรหรือโปรแกรมประมวลผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการศึกษาที่ใช้ในการวิเคราะห์วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัวและสภาพจราจรอึมตัวมาก ประกอบด้วยข้อสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบ การจัดเส้นทางการเดินทาง การสร้างตารางการเดินทาง การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง สภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ทดสอบ และการวิเคราะห์ผล

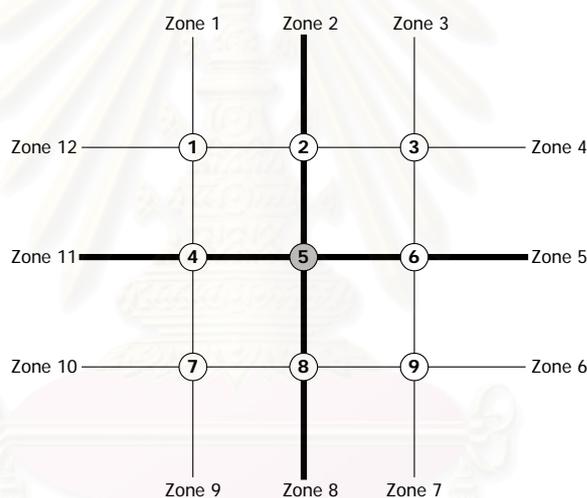
4.1 ข้อสมมติฐาน

การศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดข้อสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจร เพื่อให้การจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพจราจรในประเทศไทยให้มากที่สุด และลดความไม่แน่นอนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ รายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้

- 1) การจำลองโครงข่ายถนนจะใช้ระบบการจับชีพแบบชิดซ้าย เพื่อให้สอดคล้องกับการจราจรในประเทศไทย
- 2) การจำลองทางเลี้ยวที่ทางแยกอนุญาตให้เลี้ยวได้ทุกทิศทาง และเนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาการจำลองทางแยกสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึมตัว การจราจรในทิศทางเลี้ยวขวาจึงจัดอยู่ในจังหวะสัญญาณไฟที่ไม่ขัดแย้งกับการจราจรในทิศทางตรงที่มาจากทิศทางตรงข้าม (opposing straight forward)
- 3) กำหนดให้ปริมาณจราจรในโครงข่ายถนนมาจากโซนภายนอก (external zone) เท่านั้น
- 4) กำหนดให้ทางแยกไม่มีช่องจราจรพิเศษ (pocket lane) สำหรับการจราจรเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้าย เพื่อไม่ให้ความยาวแถวคอยจากขบวนในทางเลี้ยวกีดขวางการจราจรในทิศทางตรง
- 5) ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรต่ำที่สุดกำหนดให้เท่ากับ 30 วินาที และความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรมากที่สุดกำหนดให้เท่ากับ 210 วินาที (Khisty and Lall, 1998)
- 6) ประเภทขบวนที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจร คือ รถยนต์ส่วนบุคคล (car) เท่านั้น
- 7) ระบบหน่วยของมาตรวัดต่างๆจะใช้ระบบเมตริกซ์ (metric) คือ ระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร ความเร็วมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที² ความหนาแน่นจราจรมีหน่วยเป็นคันต่อกิโลเมตร
- 8) ประเภทของถนนที่ใช้ในการศึกษา คือ ถนนสายหลักและถนนสายรองในเมือง และผู้ขับขี่ส่วนมากมีความคุ้นเคยกับเส้นทางในโครงข่ายถนนเป็นอย่างดี (familiarity = 85%)

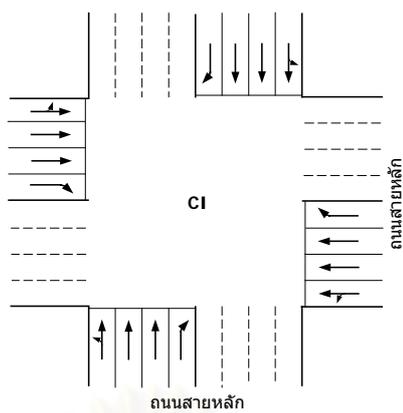
4.2 โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบ

โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบเป็นโครงข่ายถนนแบบปิด (closed network) ที่มีลักษณะเป็นตาราง (grid Network) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 มีทางแยกหมายเลข 5 เป็นทางแยกวิกฤต (Critical Intersection, CI) ที่เกิดจากการตัดกันของถนนสายหลักจำนวน 2 สาย ขนาด 8 ช่องจราจร ส่วนทางแยกหมายเลข 2 4 6 และ 8 เป็นทางแยกไม่วิกฤต (Non-Critical Intersection, NCI) ที่เกิดจากการตัดกันของถนนสายหลักขนาด 8 ช่องจราจรและถนนสายรองขนาด 6 ช่องจราจร ส่วนทางแยกหมายเลข 1 3 7 และ 9 เป็นทางแยกไม่วิกฤตเช่นเดียวกัน แต่เกิดจากการตัดกันของถนนสายรอง 2 สาย ขนาด 6 ช่องจราจร โดยที่ระยะห่างระหว่างทางแยกจะขึ้นอยู่กับกรณีที่ใช้ทดสอบ รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อที่ 4.6 และทางแยกวิกฤตในที่นี้ หมายถึง ทางแยกหมายเลข 5 ที่มีระดับการให้บริการสูงสุด

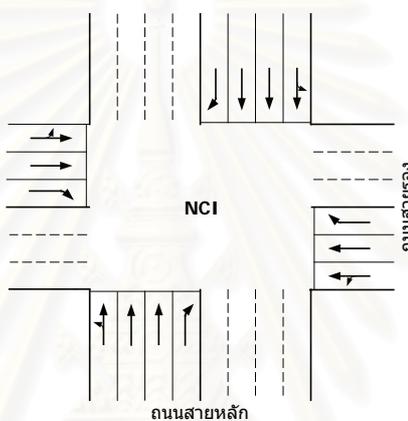


รูปที่ 4.1 โครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบ

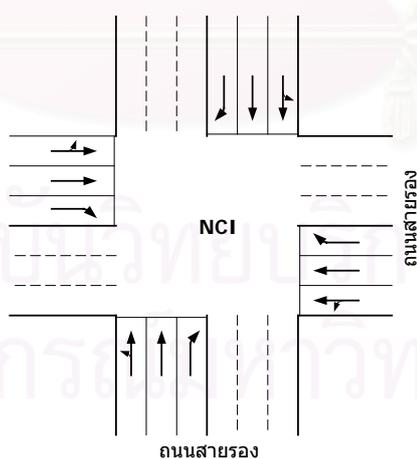
ลักษณะทางกายภาพ (physical layout) และเครื่องหมายจราจรที่ผิวทาง (road markings) ที่แสดงการเคลื่อนที่ของขบวนรถในแต่ละช่องจราจรของทางแยกหมายเลข 5 ทางแยกหมายเลข 2 4 6 และ 8 และทางแยกหมายเลข 1 3 7 และ 9 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ สำหรับจังหวัดสัญญาณไฟของทางแยกต่างๆ ใช้จังหวัดสัญญาณไฟที่ให้ความล่าช้ารวมที่ทางแยกต่ำที่สุดที่ได้จากการทดสอบด้วยโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค Synchro ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 5



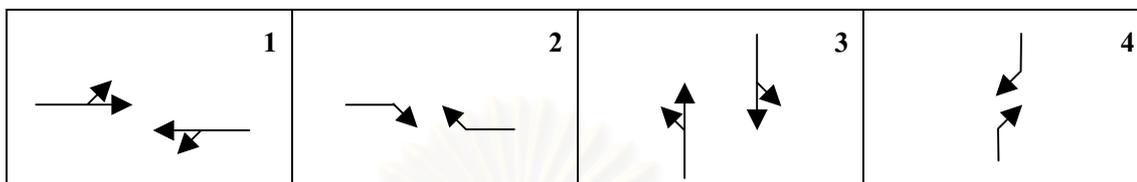
รูปที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 2 4 6 และ 8



รูปที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของทางแยกหมายเลข 1 3 7 และ 9

สำหรับความเร็วของแต่ละถนนที่ใช้ในการจำลอง คู่มือการใช้โปรแกรมจำลองการจราจร แนะนำให้ใช้ค่าความเร็วอิสระและไม่ควรใช้ความเร็วที่สำรวจได้จากภาคสนาม จึงกำหนดให้เท่า

กับขีดจำกัดความเร็วของถนนในเมืองของกรุงเทพมหานคร 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าความเร็วที่กำหนดให้นี้มีส่วนสำคัญในการคำนวณความล่าช้า รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 4.8 ส่วนความกว้างของช่องจราจรที่ใช้เท่ากับ ความกว้างของช่องจราจรทั่วไป คือ 3.30 เมตร (มาตรฐานความกว้างถนนของ กทม. ที่ใช้อยู่ในช่วง 2.75 ถึง 3.50 เมตรต่อช่องจราจร)



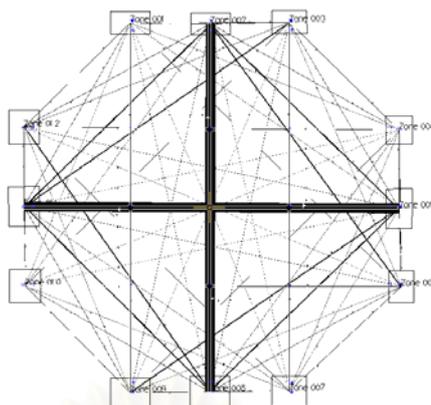
รูปที่ 4.5 จังหวะสัญญาณไฟ

4.3 การจัดเส้นทางการเดินทาง

วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางในสภาพจราจรที่แออัดที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบสุ่ม ซึ่งมีข้อได้เปรียบเหนือวิธีการจัดเส้นทางการเดินทางแบบทั้งหมดหรือไม่เลย คือ ผู้ขับขี่แต่ละคนจะรับรู้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางบนแต่ละช่วงถนนไม่เท่ากัน แต่อยู่ภายในช่วงที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ดังนั้นถึงแม้ว่าการเดินทางจะมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางเหมือนกัน แต่เส้นทางที่ใช้ในการเดินทางอาจแตกต่างกันได้ สำหรับความไม่แน่นอนของค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมที่ผู้ขับขี่รับรู้เลือกใช้วิธีการที่สอง โดยสมมติให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่ผู้ขับขี่แต่ละคนรับรู้เป็นผลเนื่องมาจากเวลาที่ใช้เดินทางบนช่วงถนนด้วยความเร็วอิสระเท่านั้น (ไม่ได้คิดความล่าช้าที่ทางแยก) ดังนั้นเส้นทางที่ผู้ขับขี่เลือกใช้จึงไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีทางเลือกได้มากกว่า 1 เส้นทาง ส่วนสาเหตุที่ไม่เลือกใช้วิธีการจัดเส้นทางการเดินทางย้อนกลับแบบพลวัต เนื่องจากเส้นทางที่ผู้ขับขี่เลือกใช้จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพจราจร ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกจึงมีความไม่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแต่ละวิธีได้

4.4 การสร้างตารางการเดินทาง

จากความรู้ในหัวข้อ 4.3 ทำให้สามารถประมาณปริมาณจราจรจากแต่ละจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทางที่จะเดินเข้าสู่แต่ละทางแยกได้ ดังนั้นจึงสามารถสร้างตารางการเดินทางที่ทำให้เกิดสภาพจราจรตามที่ต้องการได้ ตัวอย่างเส้นแสดงปริมาณความต้องการเดินทางที่ใช้ทดสอบ กรณีสภาพจราจรอึมครึม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ส่วนรายละเอียดตารางการเดินทางที่ใช้ทดสอบ กรณีสภาพจราจรอึมครึมและอึมครึมมาก ดังแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.6 เส้นแสดงปริมาณการเดินทาง

4.5 การเปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นและมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ปัญหาจราจร แต่หากนำโปรแกรมจำลองสภาพไปใช้อย่างไม่เหมาะสมหรือไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองจะทำให้เกิดความสูญเสียมากเช่นกัน ตัวแปรที่มีผลต่อการจำลองสภาพจราจร การเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ตัวเลขแแรกเริ่ม เป็นตัวเลขที่ใช้สร้างตัวเลขสุ่มที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการขับขี่ของยานพาหนะ การเคลื่อนที่ตามกันของยานพาหนะ การเปลี่ยนช่องจราจร การเลือกเส้นทางการเดินทางและการปล่อยยานพาหนะเข้าสู่โครงข่าย การศึกษานี้จะใช้วิธีจำลองสภาพจราจร 5 ครั้ง โดยใช้ค่า Initial Seed ที่แตกต่างกัน แล้วทำการเลือกตัวแทนของกลุ่มไปใช้วิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป

2) การกระจายตัวของความก้าวร้าวในการขับขี่ (aggressiveness distribution) และการกระจายตัวของความระมัดระวังในการขับขี่ (awareness distribution) เกี่ยวข้องกับการจำลองพฤติกรรมขับขี่ของผู้ขับขี่แต่ละคน โปรแกรมใช้รูปแบบการกระจายตัวแบบปกติที่ได้มาจากการศึกษาวิจัยโดย Transportation Research Laboratory (Jeffreys, 1994) ยานพาหนะแต่ละคันที่เข้าสู่โครงข่ายจะมีความก้าวร้าวและความระมัดระวังในการขับขี่ที่สุ่มเลือกมาจากรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ ผู้ขับขี่ที่มีความก้าวร้าวมาก จะมีผลทำให้ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาน้อยลง มีแนวโน้มที่จะใช้ช่องจราจรที่สามารถขับขี่ได้เร็วและจะแซงยานพาหนะที่ขับขี่ช้ากว่า แต่ถ้าผู้ขับขี่มีความระมัดระวังมาก จะมีผลทำให้ผู้ขับขี่ลดความเร็วเพื่อให้ยานพาหนะที่มีความเร็วมากกว่าแซง การเปลี่ยนช่องจราจรก่อนถึงทางเลี้ยวจะมีการเตรียมพร้อมล่วงหน้า (Cottman และ Dia, 2000)

3) ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาและระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้ได้ตอบสนองต่ออุบัติเหตุเป็นตัวแทนสำคัญที่มีผลต่อความถูกต้องของการจำลองสภาพจราจร Johanson และคณะ (1971) ทำการวัดระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้ได้ตอบสนองต่ออุบัติเหตุพบว่ามีค่า

อยู่ในช่วง 0.3-2.0 วินาที และระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยวดยานมีค่าเท่ากับ 0.66 วินาที การศึกษาของ Abdulhai และคณะ (1999) พบว่า ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาเท่ากับ 1.65 วินาที และระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้ได้ตอบสนองต่ออุบัติเหตุเท่ากับ 0.42 วินาที เป็นค่าเหมาะสมที่สุด Quadstone (2000) แนะนำว่าในสภาพจราจรอึมตัวควรใช้ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาค่ากว่า 1.65 วินาที ส่วนค่าเริ่มต้นของโปรแกรมกำหนดคให้ตัวแปรทั้งสองเท่ากับ 1 วินาที ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาและระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่ใช้ได้ตอบสนองต่ออุบัติเหตุ จากการศึกษาอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 Mean headway และ Mean reaction time (McMillan, 2001)

Researcher/Engineer	Road type	Mean headway (seconds)	Mean reaction time (seconds)
Der Hong Lee and P Chandrasekar (National University of Singapore)	Freeway	0.615	0.415
Diane Jacobs (Caltrans)	Freeway	0.72	0.52
Jeremy Woolley (University of South Australia)	Non-freeway	1.90	0.40
Paul McMillian (Urbitran Associates)	Congested urban grid	0.40	0.07

4) ระยะเวลาของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที คือ ช่วงเวลาของหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นวินาที ใช้ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 0.5 วินาที

5) จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที คือ จำนวนช่วงเวลาใน 1 วินาที มีค่าเท่ากับส่วนกลับของระยะเวลาของช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาที จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า โดยทั่วไปโครงข่ายถนนในเมืองที่มีลักษณะเป็นตารางควรใช้ ค่านี้เท่ากับ 4 หรือ 5 ซึ่งจะทำให้การจำลองมีสภาพจราจรใกล้เคียงกับสภาพจราจรในภาคสนามมากกว่าการใช้ค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (เท่ากับ 2) การศึกษาของ Juckes (2001) และ Trapp (2001) มีความเห็นตรงกัน ว่า การจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองที่มีสภาพจราจรแออัด ถ้าใช้ค่าของตัวแปรนี้เท่ากับ 5 จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับสภาพจราจรจริงมากขึ้น และช่วยลดปัญหาที่ยวดยานเปลี่ยนช่องจราจรใกล้ทางแยกอย่างฉับพลัน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดขวงการจราจรในทิศทางอื่นและเกิดแถวคอยที่ไม่จำเป็นขึ้น การศึกษานี้จึงเลือกใช้จำนวนช่วงเวลาย่อยใน 1 วินาทีเท่ากับ 5

นอกจากตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ในการศึกษานี้จะทำการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจรของโปรแกรมในเบื้องต้น ดังนี้

- 1) ตารางการเดินทางกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายจริง
- 2) การนับปริมาณจราจรโดยอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิว
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยานในหน่วยของเวลาและปริมาณการไหลอ้อมตัว
- 4) ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของช่องจราจรกับปริมาณการไหลอ้อมตัว
- 5) การนับปริมาณจราจรเฉลี่ยที่ทางแยก
- 6) ระดับความอ้อมตัวของทางแยกจากการคำนวณด้วยมือและจากการจำลอง

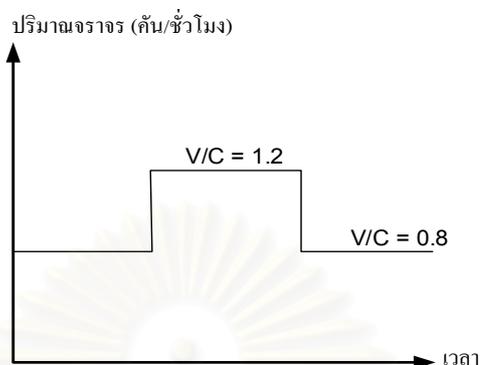
4.6 สภาพแวดล้อมที่ใช้ทดสอบ

การศึกษาครั้งนี้ใช้การจำลองสภาพจราจรติดขัดบนถนนในเมืองที่เกิดขึ้นเฉพาะบางช่วงของเวลา (recurring) ที่คล้ายกับสภาพจราจรที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาเร่งด่วนคือ เมื่อเวลาผ่านไปสภาพจราจรอ้อมตัวจะกลับสู่สภาพปกติได้เองเนื่องจากปริมาณจราจรภายหลังชั่วโมงเร่งด่วนมีแนวโน้มลดลง สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะแบ่งเป็น 2 กรณี ตามองค์ประกอบของรูปแบบปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายถนนและลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายที่แตกต่างกัน คือ กรณีสภาพจราจรอ้อมตัว และกรณีสภาพจราจรอ้อมตัวมาก

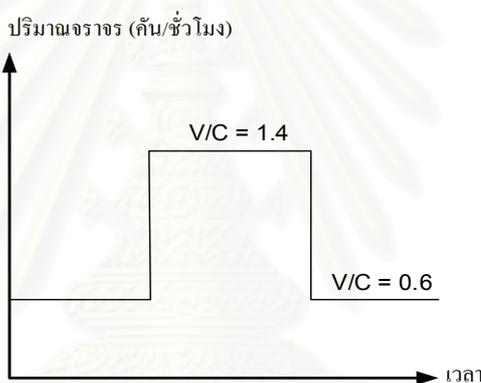
กรณีสภาพจราจรอ้อมตัว จะทำการทดสอบบนโครงข่ายถนนที่มีระยะห่างระหว่างทางแยกสัญญาณไฟเท่ากัน คือ 600 เมตร ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายถนนจะแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาแรก 07:00:00 ถึง 07:20:00 เป็นช่วงเวลาที่ทางแยกวิกฤตไม่อ้อมตัว (ทางแยกหมายเลข 5) ช่วงเวลาที่สอง 07:20:00 ถึง 07:50:00 เป็นช่วงเวลาที่ทางแยกวิกฤตอ้อมตัว และช่วงเวลาที่สาม 07:50:00-08:00:00 เป็นช่วงเวลาที่ทางแยกวิกฤตไม่อ้อมตัวอีกครั้งหนึ่ง รูปแบบของปริมาณจราจรจากตารางการเดินทางที่เข้าสู่ทางแยกหมายเลข 5 ดังแสดงในรูป 4.7 โดยที่ตารางการเดินทางในเวลาที่สองได้มาจากการคูณตารางการเดินทางในช่วงเวลาแรกด้วยค่าคงตัว รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

กรณีสภาพจราจรอ้อมตัวมาก จะทำการทดสอบบนโครงข่ายถนนที่มีระยะห่างระหว่างทางแยกสัญญาณไฟเท่ากัน คือ 450 เมตร ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายถนนจะแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลาเหมือนกรณีสภาพจราจรอ้อมตัว แต่ในช่วงเวลาแรกและช่วงเวลาที่สาม ทางแยกวิกฤตจะมีระดับความอ้อมตัวของทางแยกต่ำกว่าในกรณีสภาพจราจรอ้อมตัว และในช่วงเวลาที่สอง ทางแยกวิกฤตจะมีระดับความอ้อมตัวของทางแยกมากกว่าในกรณีสภาพจราจรอ้อมตัว ดังแสดงในรูป 4.8 ทั้งนี้เพื่อทดสอบความสามารถของวิธีควบคุมในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรและการ

เปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างทางแยก นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถแสดงความแตกต่างของประสิทธิภาพการควบคุมแต่ละวิธีที่พัฒนาขึ้นได้อย่างชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 4.7 รูปแบบปริมาณจราจรกรณีสภาพจราจรอึมตัว



รูปที่ 4.8 รูปแบบปริมาณจราจรกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก

4.7 วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ทดสอบ

วิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่จะใช้ทดสอบที่โครงข่ายระดับถนนจะใช้หลักการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้แถวคอยกีดขวางการจราจรที่ทางแยกต้นทาง พยายามให้ปริมาณจราจรสามารถผ่านทางแยกได้มากที่สุด (ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรได้ดี) และรักษาระดับของความสามารถให้บริการของทางแยก การออกแบบและทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรจะแบ่งเป็นการทดสอบกรณีสภาพจราจรอึมตัวและกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก

4.7.1 วิธีควบคุมกรณีสภาพจราจรอึมตัว

การทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟในกลุ่มนี้จะใช้ระยะทางระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ 600 เมตร และระดับความอึมตัวสูงสุดของทางแยกวิกฤตเท่ากับ 1.2 วิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกลุ่มจะถูกนำไปพัฒนาและทดสอบเพิ่มเติมในกรณีสภาพจราจรอึมตัวมากต่อไป

4.7.1.1 วิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 1)

ความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟได้จากการคำนวณด้วยวิธีของเวปสเตอร์ (รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 2.2.1) ประกอบด้วยชุดการควบคุมสำหรับช่วงเวลาที่ทางแยกไม่อ้อมตัว (ช่วงเวลา 07:00:00 ถึง 07:20:00 และ 07:20:00 ถึง 07:50:00) และชุดการควบคุมสำหรับช่วงเวลาที่ทางแยกอ้อมตัว (ช่วงเวลา 07:20:00 ถึง 07:50:00)

เมื่อเริ่มทำการจำลองสภาพจราจรที่เวลา 07:00:00 โปรแกรมจะควบคุมสัญญาณไฟด้วยค่าเริ่มต้นที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเอง และเมื่อเวลาเท่ากับ 07:00:05 รหัสทำงานจะตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวสำหรับแต่ละทางแยก ค่าที่ตั้งนี้ไว้จะเริ่มทำงานเมื่อเข้าสู่รอบสัญญาณไฟต่อไป ในทำนองเดียวกันที่เวลา 07:20:05 รหัสทำงานจะเลือกชุดการควบคุมสำหรับช่วงเวลาที่ทางแยกอ้อมตัว และที่เวลา 07:50:05 รหัสทำงานจะเลือกใช้ชุดการควบคุมสำหรับช่วงเวลาที่ทางแยกไม่อ้อมตัวอีกครั้งหนึ่ง

4.7.1.2 วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อปริมาณจราจร แบบที่ 1 (วิธีที่ 2)

เมื่อเริ่มทำการจำลองสภาพจราจรที่เวลา 07:00:00 โปรแกรมจะควบคุมสัญญาณไฟด้วยค่าเริ่มต้นที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นเองพร้อมกับนับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกโดยใช้อุปกรณ์ตรวจนับที่ทางแยกต้นทางและนับปริมาณจราจรเลี้ยวที่ทางแยกโดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณแล้วทำนายสภาพการจราจรอนาคตโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจร 3 รอบสัญญาณไฟล่าสุด (ใช้หลักการของวิธีควบคุมในหัวข้อ 2.2.3.1) จากนั้นจึงทำการคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟใหม่โดยใช้วิธีของเวปสเตอร์ และจัดแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวตามสัดส่วนของระดับความอ้อมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ การปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวจะทำการปรับปรุงใหม่ทุกรอบสัญญาณไฟตั้งเริ่มต้นการจำลองจนสิ้นสุดการจำลอง การทดสอบด้วยวิธีควบคุมนี้จะแบ่งเป็นการทดสอบเมื่อความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 210 วินาที (วิธีที่ 2-1) 180 วินาที (วิธีที่ 2-2) 150 วินาที (วิธีที่ 2-3) และ 120 วินาที (วิธีที่ 2-4) ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อทดสอบความอ่อนไหวของวิธีควบคุมต่อความยาวรอบสัญญาณไฟและเพื่อหาความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม

4.7.1.3 วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อปริมาณจราจร แบบที่ 2 (วิธีที่ 3)

การควบคุมด้วยวิธีนี้จะคล้ายกับวิธีที่ 2 คือ การคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟจะใช้วิธีของเวปสเตอร์ และปรับปรุงใหม่ทุกรอบสัญญาณไฟ แต่การจัดแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวให้ใช้สัดส่วนของดัชนีความยาวแฉกคอยสูงสุดในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ซึ่งดัชนีความยาวแฉกคอยนี้เท่ากับสัดส่วนของความยาวแฉกคอยในแต่ละช่องจราจรต่อความยาวของช่วงถนน การทดสอบด้วยวิธีควบคุมนี้จะแบ่งเป็นการทดสอบเมื่อความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 210 วินาที (วิธีที่ 3-1) 180 วินาที (วิธีที่ 3-2) 150 วินาที (วิธีที่ 3-3) และ 120 วินาที (วิธีที่ 3-4) ตามลำดับ

4.7.2 วิธีควบคุมกรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก

การทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟในกลุ่มนี้จะใช้ระยะทางระหว่างทางแยกน้อยลง คือ 450 เมตร และระดับความอึมตัวสูงสุดของทางแยกวิกฤตเท่ากับ 1.4 เมตร ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะทางระหว่างทางแยกน้อยลง ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตจะใช้เวลาน้อยลง ดังนั้นวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ดีควรสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกได้ดี วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ทดสอบในกลุ่มนี้ มี 4 วิธี ประกอบด้วย

4.7.2.1 วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (วิธีที่ 4)

การควบคุมด้วยวิธีนี้เหมือนกับวิธีที่ 1 ทุกประการ ใช้เพื่อเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับวิธีควบคุมอื่นๆ

4.7.2.2 วิธีควบคุมที่ดีที่สุดจากกรณีสภาพจราจรอึมตัว (วิธีที่ 5)

วิธีควบคุมที่ดีที่สุดจากกรณีสภาพจราจรอึมตัวจะถูกนำมาทดสอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการควบคุมกรณีสภาพจราจรอึมตัวมากและเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมด้วยวิธีที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

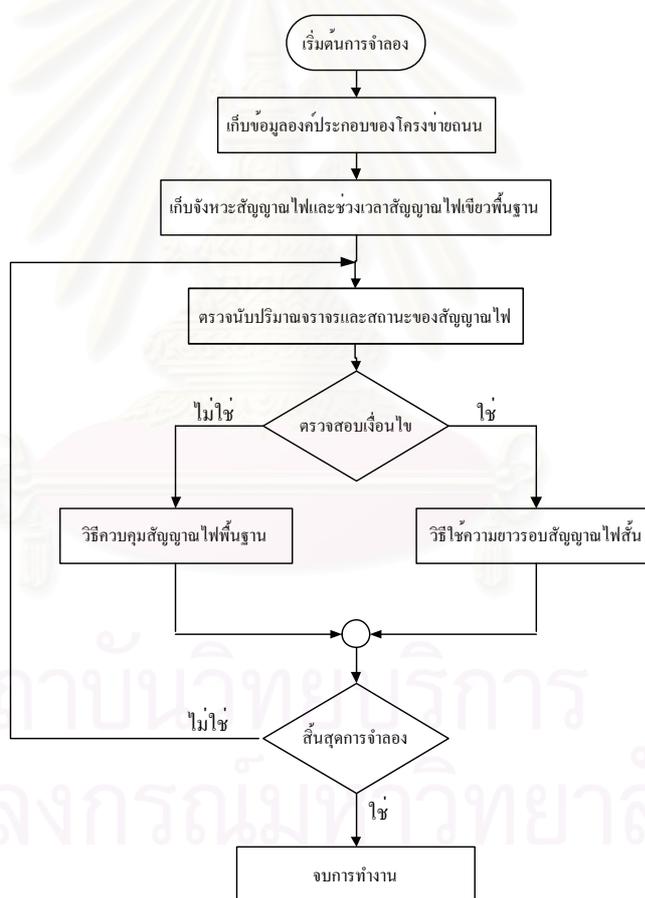
4.7.2.3 วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)

การควบคุมด้วยวิธีการนี้กำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 210 วินาที และนำวิธีควบคุมที่ดีที่สุดจากกรณีสภาพจราจรอึมตัวเป็นวิธีควบคุมพื้นฐาน และจะปรับเปลี่ยนไปใช้วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 2.3.8) เมื่อระดับความอึมตัวของทางแยกมีค่าถึงเกณฑ์ที่กำหนด โดยกำหนดให้ทำการทดสอบที่ระดับความอึมตัวของทางแยกแตกต่างกัน คือ 1.00 (วิธีที่ 6-1) 0.90 (วิธีที่ 6-2) และ 0.80 (วิธีที่ 6-3) เพื่อทดสอบหลัก

เกณฑ์ที่เหมาะสม เมื่อต้องการนำวิธีนี้มาใช้ ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของวิธีควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4.9

4.7.2.4 วิธีใช้ความยาวของพื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)

การควบคุมด้วยวิธีการนี้จะนำวิธีควบคุมที่ดีที่สุดจากกรณีสภาพจราจรอ้อมตัวเป็นวิธีควบคุมพื้นฐาน โดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 210 วินาที และจะปรับเปลี่ยนไปใช้วิธีความยาวของพื้นที่ว่างหลังแถวคอย (รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 2.3.9) เมื่อระดับความอ้อมตัวของทางแยกมีค่าถึงเกณฑ์ที่กำหนด โดยกำหนดให้ทำการทดสอบที่ระดับความอ้อมตัวของทางแยกแตกต่างกัน คือ 1.00 (วิธีที่ 7-1) 0.90 (วิธีที่ 7-2) และ 0.80 (วิธีที่ 7-3) ตามลำดับลำดับขั้นตอนการทำงานโดยรวมของวิธีควบคุมนี้มีขั้นตอนคล้ายกับในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการทำงานของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น

4.8 การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์

การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ของโปรแกรม PARAMICS ในการศึกษาที่ใช้โปรแกรม Visual C++ เขียนรหัสทำงานในรูปแบบของภาษาซี โดยรหัสข้อมูลที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยฟังก์ชันมาตรฐานของโปรแกรม PARAMICS คือ ฟังก์ชันควบคุม (control function) และฟังก์ชันเรียกคืนค่า (callback function) ฟังก์ชันควบคุมเป็นฟังก์ชันที่ใช้กำหนดตัวแปร (parameter) หรือตัวชี้ (pointer) ขององค์ประกอบที่สนใจหรือต้องการควบคุม ส่วนฟังก์ชันเรียกคืนค่าจะใช้สำหรับให้โปรแกรมจำลองการจราจรหรือโปรแกรมประมวลผลส่งคืนค่าตัวแปรที่ได้จากการจำลองเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมหรือรับค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณภายนอกกลับไปใช้ต่อในแบบจำลอง ตัวอย่างค่าของตัวแปรที่สามารถเรียกคืนได้ เช่น ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลา จำนวนทางแยก จำนวนช่วงถนน จำนวนขบวนที่เขียว เป็นต้น ส่วนค่าของตัวแปรที่ส่งคืน เช่น ความยาวรอบสัญญาณไฟเขียว เป็นต้น แต่ฟังก์ชันเรียกคืนค่านี้อาจใช้ภายใต้ฟังก์ชันควบคุมเท่านั้น ตัวอย่าง คำสั่งการเขียนรหัสดังกล่าวเพื่อทำการตรวจนับปริมาณจราจรทางตรงที่ออกจากทางแยกหมายเลข 8 บนถนนที่มีชื่ออ้างอิง 8:5 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และรหัสดังกล่าวเพื่อเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวให้จังหวะสัญญาณไฟที่ 1 โดยการลดเวลาสัญญาณไฟเขียวของจังหวะสัญญาณไฟที่ 2 เพื่อให้ความยาวรอบสัญญาณไฟไม่เปลี่ยนแปลง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.11

```

void vehicle_link_action(void *linkp,void *Vp)
{
    void *link_p;
    link_p = link_ref("8:5");
    if(linkp! = link_p) return;
    v_count = link_turncount(linkp,2);
}

```

ฟังก์ชันควบคุมใช้นับรถ

ฟังก์ชันเรียกคืนค่ารถที่นับได้

รูปที่ 4.10 รหัสทำงานเพื่อทำการตรวจนับปริมาณจราจร

```

nodep = node_ref("west32");
phase = 1;
action = API_ACTION_CURRENT_GREEN;
mode = API_ACTIONMODE_INCREMENT;
balance = 2;
g1extnd = 3.0;
signal_action(node, phase, balance, action, mode, g1extnd)

```

รูปที่ 4.11 การส่งคืนค่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว

ในการศึกษานี้รหัสทำงานจำนวนมากที่ได้พัฒนาขึ้นจะมีหน้าที่ในการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ 1 รหัสทำงานสำหรับใช้ตรวจนับสภาพจราจร ได้แก่ การนับจำนวนรถยนต์ที่เข้าสู่ทางแยก การนับจำนวนรถยนต์ที่ทางแยก การวัดความยาวแถวคอยสูงสุด กลุ่มที่ 2 รหัสทำงานใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ด้านการจราจร ได้แก่ การคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟ ระดับความอึมตัวของแต่ละทิศทางจราจร ระดับความอึมตัวของทางแยก การจัดแบ่งเวลาสัญญาณไฟเขียว กลุ่มที่ 3 เป็นรหัสทำงานใช้สำหรับตรวจสอบสถานะของจังหวะสัญญาณไฟที่ทางแยกและใช้กำหนดเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณได้ให้กับทางแยก ซึ่งรายละเอียดลำดับขั้นตอนการสร้างรหัสข้อมูลและการนำไปใช้ ได้แสดงไว้ในเอกสารการสร้างวิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ของโปรแกรม PARAMICS (ทวี, 2545)

4.9 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลในการศึกษานี้จะแบ่งเป็นการวิเคราะห์กรณีสภาพจราจรอึมตัวและสภาพจราจรอึมตัวมาก โดยวิธีควบคุมในกรณีสภาพจราจรอึมตัวที่มีประสิทธิภาพดีจะถูกนำไปใช้พัฒนาวิธีควบคุมเพิ่มเติมเพื่อทดสอบในกรณีสภาพจราจรอึมตัวมากอีกครั้งหนึ่ง โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีควบคุมในแต่ละกรณีจะใช้ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรของโปรแกรม PARAMICS ที่ได้จัดเตรียมไว้ให้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) จำนวนรถยนต์ที่สามารถออกจากพื้นที่ (คัน) ใช้บอกประสิทธิภาพของวิธีควบคุมโดยรวม คือ ถ้าปริมาณจราจรสามารถออกจากโครงข่ายถนนได้มาก แสดงว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟนั้น ช่วยให้การไหลของการจราจรผ่านโครงข่ายถนนได้ดี

2) ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ใช้บอกความสามารถในการเคลื่อนที่ของขบวนภายในโครงข่าย วิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีควรอำนวยความสะดวกให้ขบวนสามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทางมาก ใช้วัดคุณภาพของการบริการ (quality of service)

3) ระยะเวลาที่ขบวนไ้บนโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ใช้บอกผลรวมของเวลาที่ขบวนแต่ละคันใช้ในการเดินทาง ถ้าเวลาที่ขบวนใช้ในการเดินทางมาก หมายถึง ขบวนเคลื่อนที่ได้ช้าหรือการจราจรติดขัด ใช้วัดคุณภาพของการบริการ

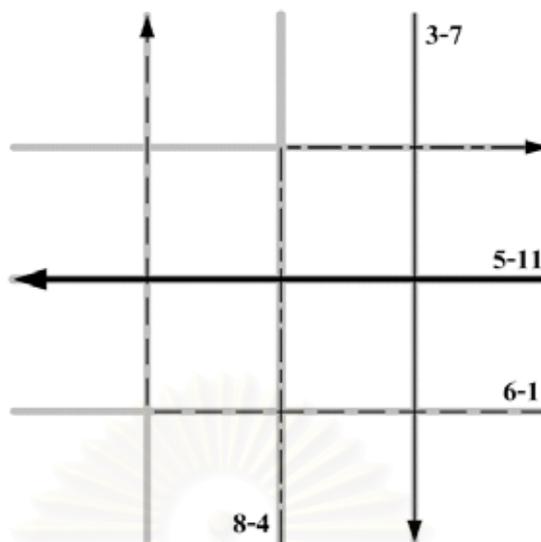
4) ความเร็วเฉลี่ยของขบวนในโครงข่าย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ใช้บอกแนวโน้มสภาพการจราจรภายในโครงข่าย วิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีควรสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรภายในโครงข่ายได้ดีและช่วยให้ความเร็วเฉลี่ยของขบวนภายในโครงข่ายสูงขึ้น ใช้วัดคุณภาพของการบริการ

5) เวลาหยุดนิ่ง (stoppage time) คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ขบวนเคลื่อนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของขบวนที่จัดอยู่ในแถวคอยที่กำหนด มีหน่วยเป็น วินาที ใช้วัดระดับของการติดขัด (intensity of congestion)

6) เวลาที่ใช้เดินทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทาง (วินาที) คือ เวลาที่ขบวนใช้ในการเดินทางโดยเฉลี่ย โดยเวลาที่ใช้เดินทางนี้จะถูกบันทึกเมื่อขบวนถึงจุดหมายปลายทาง ใช้ตรวจสอบแนวโน้มของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางโดยเฉลี่ยภายใต้วิธีควบคุมแต่ละวิธีเพื่อวัดระดับของการติดขัด ซึ่งในการศึกษานี้ได้สุ่มเลือกเส้นทางจำนวน 4 เส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยแต่ละเส้นทางมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเส้นทางการเดินทางที่ใช้ทดสอบ

เส้นทาง	จุดเริ่มต้น-จุดปลายทาง	จำนวนครั้งที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลัก	จำนวนครั้งที่ผ่านทางแยกบนถนนสายรอง
1	3-7	1	2
2	8-4	3	1
3	5-11	3	0
4	6-1	2	3



รูปที่ 4.12 เส้นทางการเดินทางที่ใช้ทดสอบ

นอกจากนี้ยังมีตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้วัดขนาดของการติดขัด คือ ความยาวแถวคอย ซึ่งโปรแกรมได้นิยามว่า ยวดยานจะอยู่ในแถวคอยหรือไม่ให้พิจารณาจากระยะทางที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอยและความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย โดยที่ระยะทางที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย คือ ระยะห่างมากที่สุดระหว่างส่วนหน้าของยวดยานคันหน้าและส่วนท้ายของยวดยานคันหลัง ใช้พิจารณาว่ายวดยานคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้ายวดยานมีระยะห่างมากกว่าระยะทางที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย ยวดยานนั้นจะไม่อยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 10 เมตร ส่วนความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย คือ ความเร็วมากที่สุดของยวดยานคันหลัง ใช้พิจารณาว่ายวดยานคันหลังอยู่ในแถวคอยหรือไม่ ถ้ายวดยานคันหลังมีความเร็วมากกว่าความเร็วที่ใช้กำหนดสถานะของยวดยานที่จัดอยู่ในแถวคอย ยวดยานนั้นจะไม่อยู่ในแถวคอย ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมเท่ากับ 7.19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่จากการตรวจสอบการรายงานผลที่ได้จากโปรแกรมจำลองการจราจร พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับการแสดงผลบนหน้าจอ แต่อย่างไรก็ดี ความยาวแถวคอยเป็นตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้ตรวจสอบการกีดขวางทางแยกในสภาพจราจรอึมครึมได้ดี การศึกษานี้จึงได้พยายามรวบรวมรายงานจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกจากโปรแกรมวิเคราะห์การจราจรที่สามารถใช้เป็นตัววัดขนาดของการติดขัดแทนความยาวแถวคอยได้ โดยจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกจะพิจารณาบนช่วงถนนที่ใช้เข้า-ออกทางแยกวิกฤต ซึ่งมีแนวโน้มว่า แถวคอยจะสั้นทางแยก

สำหรับความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที) ใช้บอกความล่าช้าเฉลี่ยที่ผู้ขับขี่แต่ละคนได้รับ ใช้วัดระดับของการติดขัด คำนวณจากผลต่างของเวลาที่ใช้เดินทางจริง (actual travel time) กับเวลาที่ใช้

เดินทางด้วยความเร็วอิสระ (free-flow time) โดยเวลาที่ใช้เดินทางด้วยความเร็วอิสระ คือ สัดส่วนของความยาวของถนนต่อค่าน้อยที่สุดระหว่างขีดจำกัดความเร็วบนถนนกับความเร็วสูงสุดของขบวน แต่เนื่องจากโปรแกรม PARAMICS ในเวอร์ชัน (version) 3 ซึ่งเป็นเวอร์ชันล่าสุดที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้สามารถรายงานได้เฉพาะความล่าช้าเฉลี่ยบนช่วงถนนเท่านั้น ไม่สามารถรายงานความล่าช้าเฉลี่ยที่ทางแยกได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้เวลาหยุดนิ่งที่สามารถใช้วัดระดับของการติดขัดได้เช่นกันเป็นตัวแทน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึมตัวครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS ที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ ช่วยให้สามารถสร้างวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ในการศึกษานี้ตามที่ต้องการได้ (รายละเอียดของการใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ ดังแสดงในเอกสารการสร้างวิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ ของโปรแกรม PARAMICS (ทวี, 2545)) และแม้ว่าโปรแกรมนี้ได้ผ่านการตรวจสอบและยอมรับในต่างประเทศ แต่เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างใหม่และในประเทศไทยยังมีผู้ใช้ไม่กว้างขวางนัก การศึกษานี้จึงทำการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจรในเบื้องต้น โดยจะเน้นศึกษาองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้จึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผลการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจร และผลลัพธ์ที่ได้จากทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟ

5.1 ผลการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจร

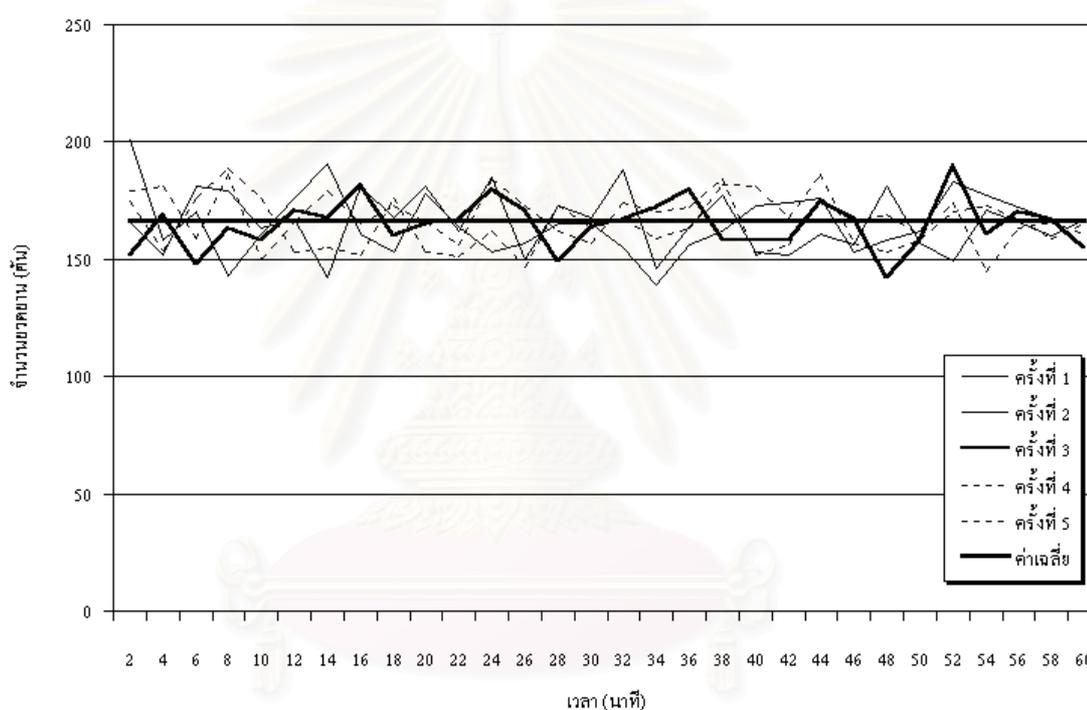
เนื้อหาในส่วนนี้แสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากทดสอบความสามารถในการจำลองของโปรแกรม การทำงานของอุปกรณ์ตรวจนับ และฟังก์ชันการใช้งาน เพื่อให้แน่ใจว่าโปรแกรมสามารถจำลองสภาพจราจรตามรหัสทำงานที่พัฒนาขึ้นได้อย่างถูกต้อง รายละเอียดการตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ตารางการเดินทางกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายจริง

ภายหลังจากการสร้างตารางการเดินทางได้มีการตรวจสอบเส้นทางการเดินทางปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก และปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายจริง พบว่า เส้นทางการเดินทางมีความถูกต้อง ส่วนปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายทำการทดสอบโดยกำหนดให้ปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่ายเท่ากับ 5000 คันต่อชั่วโมง และใช้ตัวเลขแรกเริ่มที่แตกต่างกันในการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง พบว่า ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายจริงมีแนวโน้มน้อยกว่าปริมาณจราจรที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 5.1 สอดคล้องกับค่ากล่าวในคู่มือการใช้โปรแกรมจำลองการจราจร คือ ปริมาณจราจรที่ออกจากโหนด จะมีส่วนต่างอยู่ในช่วงไม่เกินร้อยละ 3 และปริมาณจราจรที่ออกจากโหนดจะมีแนวโน้มน้อยกว่าปริมาณจราจรที่กำหนด สำหรับการกระจายของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายทุกๆ 2 นาที ค่อนข้างจะคงตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความถูกต้องของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่าย

ครั้งที่	ปริมาณจราจรที่ออกจากโชน (คันต่อชั่วโมง)	ร้อยละของส่วนต่าง
1	4969	-0.62
2	4966	-0.68
3	4947	-1.06
4	4963	-0.74
5	5024	+0.48



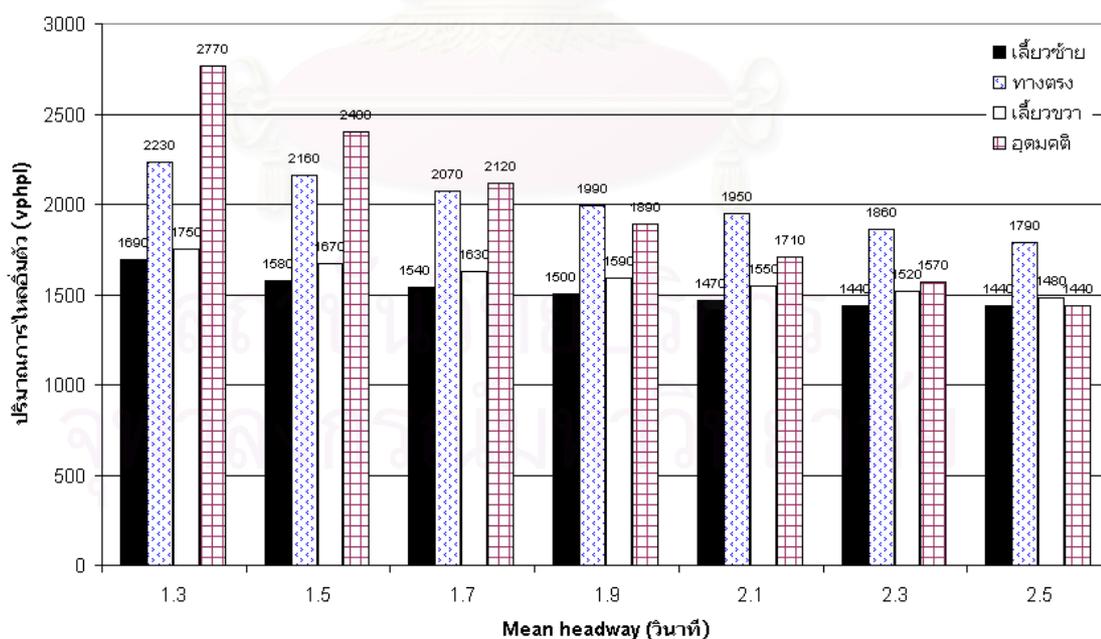
รูปที่ 5.1 การกระจายตัวของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่าย

5.1.2 การนับปริมาณจราจรโดยอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิว

การศึกษาในส่วนนี้ได้ทำการตรวจสอบการนับปริมาณจราจรที่เล่นผ่านอุปกรณ์ตรวจนับบนพื้นผิว ในการตรวจสอบจำนวน 5 ครั้ง ที่ใช้ตัวเลขแรกเริ่มแตกต่างกัน ทดสอบโดยการนับจำนวนรถยนต์ 100 คัน ที่วิ่งผ่านอุปกรณ์ตรวจนับแล้วทำการเปรียบเทียบกับตัวเลขนับบนอุปกรณ์ตรวจนับ พบว่า อุปกรณ์ตรวจนับสามารถนับจำนวนรถยนต์ได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาและปริมาณการไหลล้มตัว

ในการศึกษาวิธีควบคุมสัญญาณไฟ ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อการคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟ คือ ปริมาณการไหลล้มตัว ถึงแม้ว่าในคู่มือการใช้โปรแกรมจำลองการจราจรได้มีการกล่าวถึงปริมาณการไหลล้มตัวที่ใช้ในโปรแกรมนั้นอ้างอิงมาจากมาตรฐานของสหราชอาณาจักร โดยปริมาณการไหลล้มตัวของช่องจราจรชิดขอบทางมีค่าเท่ากับ 1,940 คันต่อชั่วโมง และปริมาณการไหลล้มตัวของช่องจราจรที่ไม่ได้ชิดขอบทางมีค่าเท่ากับ 2,080 คันต่อชั่วโมง แต่เพื่อให้เกิดความแน่ใจจึงได้ทำการทดสอบความอ่อนไหวของ ระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการจำลองสภาพจราจรโดยรวม จึงทำการเก็บข้อมูลระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาจากการจำลองโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับวิธีที่ใช้สำรวจในภาคสนาม โดยเริ่มต้นนับระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาจากขบวนคันที่ 6 ผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5.2 และเนื่องจากข้อมูลการศึกษาปริมาณการไหลล้มตัวของทางแยกบริเวณที่การจราจรแออัดในเขตกรุงเทพมหานคร (Chomsri และคณะ, 2002) พบว่าปริมาณการไหลล้มตัวของรถทางตรงพบว่า เท่ากับ 2,026 คันต่อชั่วโมง ในการศึกษานี้จึงใช้ค่าระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาเท่ากับ 1.81 วินาที



รูปที่ 5.2 ปริมาณการไหลล้มตัวจากแบบจำลอง

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรกับปริมาณการไหลอ้อมตัว

ในทางปฏิบัติความกว้างของช่องจราจรส่งผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่ และมีอิทธิพลต่อปริมาณการไหลอ้อมตัว ดังนั้นจึงมีประเด็นคำถามที่ว่า ความกว้างของช่องจราจรมีอิทธิพลต่อปริมาณการไหลอ้อมตัวเหมือนกับในทางปฏิบัติหรือไม่ ในการศึกษาได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณการไหลอ้อมตัวกรณีความกว้างช่องจราจรเท่ากับ 2.8 3.3 และ 4.0 เมตร ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ความกว้างช่องจราจรกับระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยานในหน่วยของเวลา

	ความกว้างช่องจราจร 2.80 เมตร				ความกว้างช่องจราจร 3.30 เมตร				ความกว้างช่องจราจร 4.00 เมตร			
	เฉลี่ยซ้าย	ทางตรง1	ทางตรง2	เฉลี่ยขวา	เฉลี่ยซ้าย	ทางตรง1	ทางตรง2	เฉลี่ยขวา	เฉลี่ยซ้าย	ทางตรง1	ทางตรง2	เฉลี่ยขวา
จำนวนข้อมูล	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
ค่าน้อยที่สุด	2.15	1.59	1.65	2.12	2.24	1.64	1.59	2.09	2.20	1.61	1.65	2.10
ค่ามากที่สุด	2.49	1.84	1.86	2.38	2.45	1.88	1.85	2.45	2.45	1.88	1.85	2.35
พิสัย	0.34	0.26	0.21	0.27	0.22	0.24	0.26	0.36	0.25	0.27	0.21	0.25
ค่าเฉลี่ย	2.34	1.74	1.76	2.22	2.35	1.74	1.74	2.21	2.34	1.75	1.75	2.24
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07

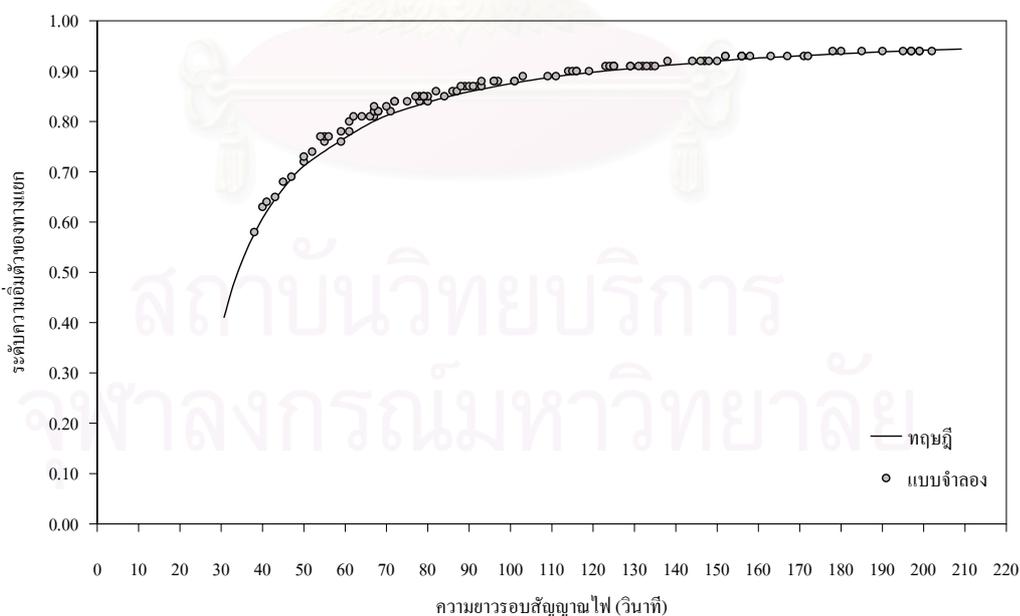
จากทดสอบด้วยค่ามาตรฐาน (Z) พบว่า การเพิ่มความกว้างของช่องจราจรไม่ทำให้ปริมาณการไหลอ้อมตัวหรือส่วนกลับของระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างยานในหน่วยของเวลาแตกต่างกันสำหรับทุกทิศทางจราจรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรืออาจกล่าวได้ว่า รัศมีวงเลี้ยวที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ปริมาณการไหลอ้อมตัวแตกต่างกัน ดังนั้นการจำลองด้วยโปรแกรม PARAMICS ในเวอร์ชัน 3 จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงความละเอียดของความกว้างช่องจราจรมากนัก

5.1.5 การนับปริมาณจราจรเลี้ยวที่ทางแยก

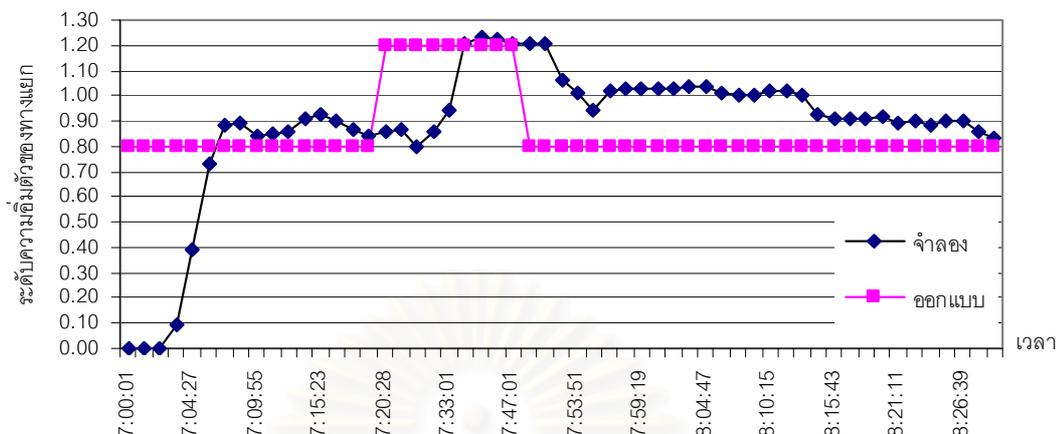
การตรวจสอบการนับปริมาณจราจรเลี้ยวที่ทางแยกทำโดยใช้ฟังก์ชันการคำนวณของโปรแกรมชื่อ `turn_count()` เพื่อประมาณสัดส่วนของปริมาณจราจรเลี้ยวซ้าย ทางตรง และเลี้ยวขวา จากการตรวจสอบพบข้อผิดพลาดของโปรแกรม PARAMICS คือ ถ้ากำหนดให้โปรแกรมจับเก็บค่าสถิติของปริมาณจราจรเลี้ยวที่ทางแยกโดยการเพิ่มชุดคำสั่งในแฟ้มข้อมูล (file) ชื่อ `measurement` จะทำให้จำนวนยานที่นับได้เปลี่ยนเป็นศูนย์ สำหรับทุกช่วงเวลาที่กำหนดให้เก็บข้อมูล เช่น ทุก 5 นาที เป็นต้น อย่างไรก็ตามได้มีการตรวจสอบการนับปริมาณจราจรเลี้ยว ซึ่งพบว่ามีความถูกต้อง

5.1.6 ระดับความอึดตัวของทางแยกจากการคำนวณด้วยมือและจากการจำลอง

นอกจากการตรวจสอบการจำลองสภาพจราจร เส้นทางการเดินทาง และปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกแล้ว ยังได้ศึกษาเปรียบเทียบระดับความอึดตัวของทางแยกวิกฤต (ทางแยกหมายเลข 5) กับความยาวรอบสัญญาณไฟที่คำนวณได้โดยใช้วิธีของเวปสเตอร์ กรณีสภาพจราจรอึดตัว ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และในรูปที่ 5.4 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบระดับความอึดตัวของทางแยกที่ได้จากการจำลองกับระดับความอึดตัวของทางแยกที่ได้ออกแบบไว้ พบว่า มีความใกล้เคียงกัน และสามารถแสดงการเลื่อนของเวลาของปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก เหตุการณ์นี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายมาจากโซนภายนอกและต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการเดินทางเพื่อเข้าถึงทางแยก ซึ่งคล้ายกับการเดินทางเข้าเขตเมืองในช่วงเร่งด่วนเช้า และเมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายลดลงอย่างรวดเร็ว (ณ เวลา 07:50:00) ปริมาณจราจรหรือระดับความอึดตัวของทางแยกจะค่อยๆลดลงและมีลักษณะคล้ายขั้นบันได ทั้งนี้เนื่องมาจากการสะสมของปริมาณจราจรที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเลื่อนของเวลาในช่วงเวลาก่อนหน้า อนึ่งในวิเคราะห์สภาพจราจรโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรไม่ควรรวมช่วงเวลาเริ่มต้นที่ใช้ปล่อยให้ยานเข้าสู่โครงข่ายถนนจนกระทั่งมีสภาพจราจรใกล้เคียงกับสภาพจราจรในภาคสนาม แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาโดยใช้โครงข่ายสมมติและเป็นการศึกษาเปรียบเทียบ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองในช่วงเวลาแรกไว้ด้วย



รูปที่ 5.3 ระดับความอึดตัวของทางแยกกับความยาวรอบสัญญาณไฟ



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบระดับความอึดตัวของทางแยก

5.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟ

การวิเคราะห์วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นกรณีศึกษาเมื่อสภาพจราจรอึดตัว โดยมีระยะทางระหว่างทางแยกเท่ากับ 600 เมตร และทางแยกวิกฤตมีระดับความอึดตัวสูงสุดเท่ากับ 1.2 และกลุ่มที่สองเป็นกรณีศึกษาเมื่อสภาพจราจรอึดตัวมากโดยระยะทางระหว่างทางแยกเท่ากับ 450 เมตร และทางแยกวิกฤตมีระดับความอึดตัวสูงสุดเท่ากับ 1.4 โดยวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดของกลุ่มแรก จะถูกนำไปใช้พัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟในกลุ่มที่สองต่อไป ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีควบคุมอีกครั้งหนึ่ง

5.2.1 ผลการศึกษากรณีสภาพจราจรอึดตัว

ผลการศึกษากรณีสภาพจราจรอึดตัวเป็นการประเมินประสิทธิภาพระหว่างวิธีควบคุมสัญญาณไฟจำนวน 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่

วิธีที่ 2 วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟในการจัดแบ่งสัญญาณไฟเขียว ซึ่งแบ่งเป็นการทดสอบที่จัดจำกัดความยาวรอบสัญญาณไฟที่แตกต่างกัน ได้แก่

วิธีที่ 2-1 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 210 วินาที

วิธีที่ 2-2 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 180 วินาที

วิธีที่ 2-3 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 150 วินาที

วิธีที่ 2-4 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 120 วินาที

วิธีที่ 3 เป็นวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจัดแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ซึ่งแบ่งเป็นการทดสอบที่จัดจำกัดความยาวรอบสัญญาณไฟที่แตกต่างกันได้แก่

วิธีที่ 3-1 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 210 วินาที

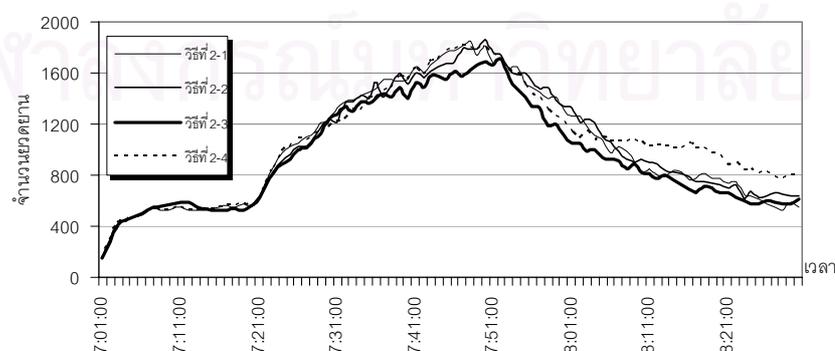
วิธีที่ 3-2 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 180 วินาที

วิธีที่ 3-3 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 150 วินาที

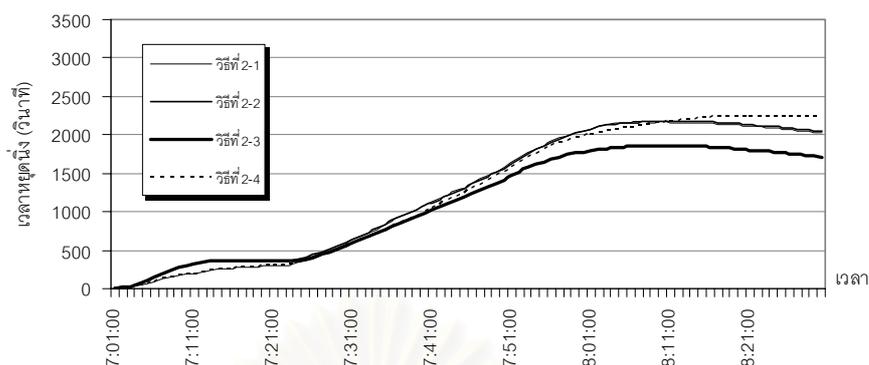
วิธีที่ 3-4 ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 120 วินาที

สำหรับการทดสอบแต่ละวิธีได้ทำการคัดเลือกตัวแทนสภาพจราจรจากการจำลองจำนวน 5 ครั้ง ที่ใช้ตัวแรกเริ่มที่แตกต่างกัน โดยใช้ปริมาณจราจรที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนน ความเร็วเฉลี่ยของขบวนและเวลาหยุดนิ่งเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือก

ผลลัพธ์จากการทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีที่ 2 ที่ใช้จัดจำกัดความยาวรอบสัญญาณไฟที่แตกต่างกัน พบว่า วิธีที่ 2-3 หรือเมื่อกำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพการควบคุมดีกว่าการใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 210 180 และ 120 วินาที โดยการพิจารณาจากความเร็วเฉลี่ย ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) จำนวนขบวนที่ออกจากพื้นที่ จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่ในโครงข่ายและเวลาหยุดนิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 การใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟมากจะทำให้ความสามารถให้บริการของทางแยกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ความล่าช้าและความยาวแถวคอยจะเพิ่มขึ้นมาก (McShane, Roess และ Prassas, 1998; Quinn, 1992)



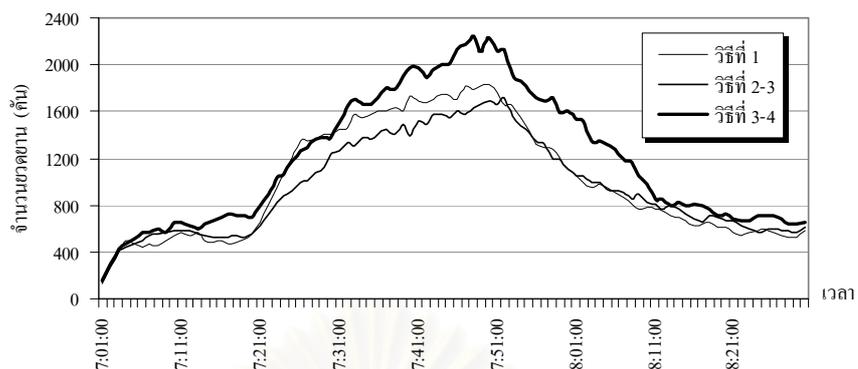
รูปที่ 5.5 จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุด (วิธีที่ 2)



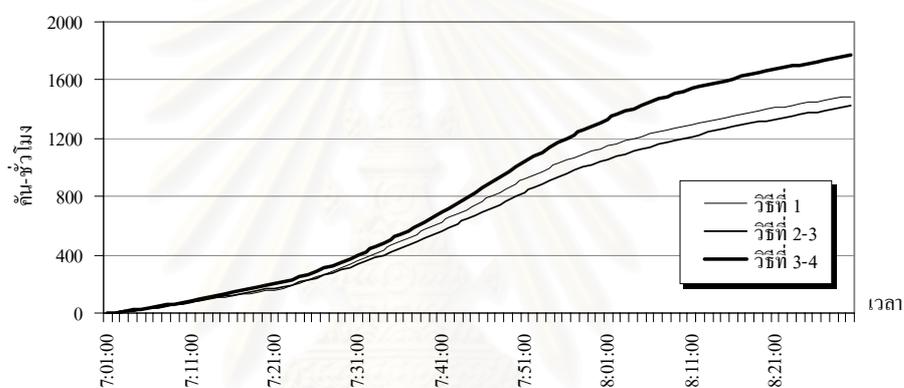
รูปที่ 5.6 เวลาหยุดนิ่งของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุด (วิธีที่ 2)

ในทางตรงกันข้าม ถ้าความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นมากจะทำให้ความล่าช้าเพิ่มมากขึ้น การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีที่ 3 พบว่า วิธีที่ 3-4 ที่ใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 120 วินาที เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพการควบคุมดีกว่าวิธีที่ 3-3 ที่ใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เพียงเล็กน้อยนั้น ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมสำหรับวิธีควบคุมสัญญาณไฟแต่ละวิธีนั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

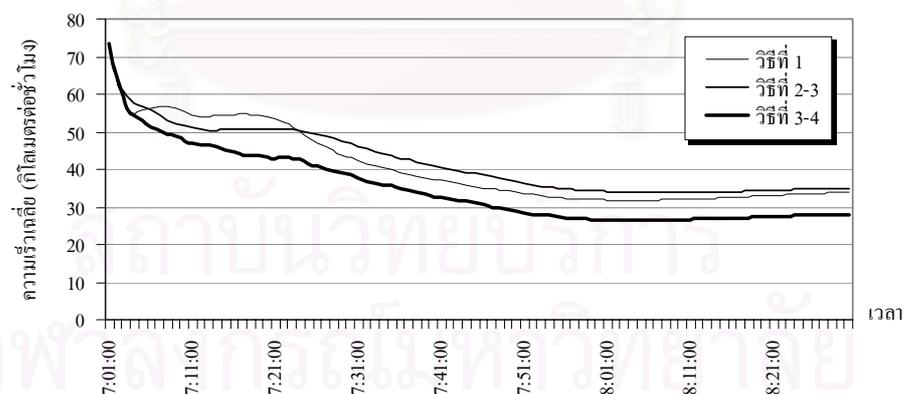
ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบวิธีควบคุมที่ดีที่สุดในการควบคุมแต่ละแบบของการควบคุมทั้ง 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธีที่ 2 (วิธีที่ 2-3) และวิธีที่ 3 (วิธีที่ 3-4) ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ถึง 5.12 แสดงให้เห็นว่า การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึดตัวนี้ วิธีที่ 2-3 เป็นวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งในรูปที่ 5.7 ณ เวลา 07:21:00 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ 2-3 สามารถปรับการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3-4 และการควบคุมด้วยวิธีที่ 2-3 นี้ช่วยให้จำนวนรถยนต์ในช่วงเวลาที่สอง (07:20:00-07:50:00) สามารถออกจากพื้นที่ได้ดีกว่า ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้ระยะเวลาที่รถยนต์ใช้ในระบบโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ในรูปที่ 5.9 มีค่ามากที่สุด และในรูปที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าวิธีที่ 2-3 ทำให้เวลาหยุดนิ่งต่ำที่สุดด้วย จึงสรุปว่าการควบคุมด้วยวิธีที่ 2-3 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกลุ่มนี้



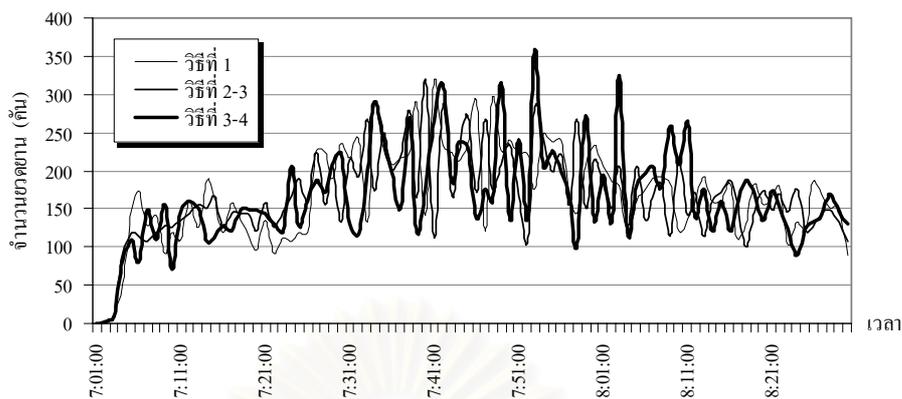
รูปที่ 5.7 จำนวนรถยนต์ที่ติดค้างอยู่บนโครงข่ายถนน กรณีสภาพจราจรอึมครึม



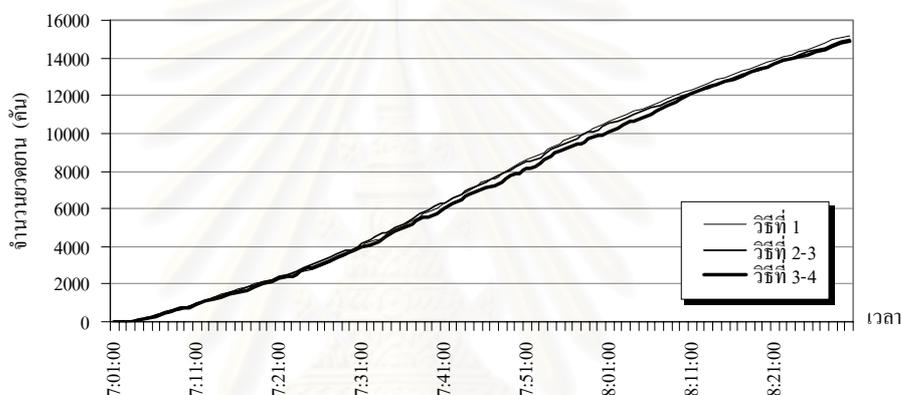
รูปที่ 5.8 ระยะเวลาที่รถยนต์ใช้ในโครงข่ายรวม (คั่น-ชั่วโมง) กรณีสภาพจราจรอึมครึม



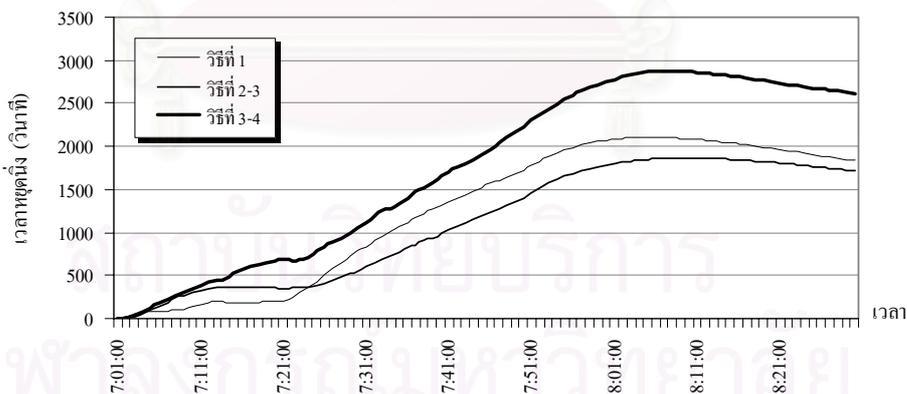
รูปที่ 5.9 ความเร็วเฉลี่ยสะสม กรณีสภาพจราจรอึมครึม



รูปที่ 5.10 จำนวนขบวนที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมครึม



รูปที่ 5.11 จำนวนขบวนสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึมครึม



รูปที่ 5.12 เวลาหยุดนิ่ง กรณีสภาพจราจรอึมครึม

ข้อสังเกตจากการทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีที่ 3-4 ซึ่งเป็นวิธีควบคุมที่พยายามกำจัดความยาวแถวคอยให้เร็วที่สุด โดยจังหวะสัญญาณไฟที่มีความยาวแถวคอยมากจะได้รับสัญญาณไฟเขียวมาก ทำให้ขบวนที่ออกจากทางแยกจึงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน ดังแสดงในรูป

ที่ 5.10 แต่ถ้าทางแยกปลายทางไม่มีที่ว่างเพียงพอก็จะทำให้เกิดความยาวแถวคอยเกิดขวางทางแยกได้ จำนวนขบวนรถที่ติดค้างอยู่บนโครงข่ายถนน (รูปที่ 5.7) ระยะเวลาที่ขบวนรถใช้ในระบบโครงข่ายรวม (รูปที่ 5.8) และเวลาหยุดนิ่ง (รูปที่ 5.12) ของวิธีที่ 3-4 นี้ มีค่ามากที่สุดตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา และความเร็วเฉลี่ยของขบวนรถ เวลาใดๆ (รูปที่ 5.9) มีค่าต่ำที่สุด และจำนวนขบวนรถสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ในช่วงเวลาที่สองมีจำนวนน้อยที่สุด (รูปที่ 5.11)

การศึกษาค้นคว้าควบคุมสัญญาณไฟกรณีสภาพจราจรอึมท้วมนี้ จึงสรุปได้ว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมท้วมสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟในการจัดแบ่งสัญญาณไฟเขียว ที่กำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที (วิธีที่ 2-3) เป็นวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด คือ สามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกและให้ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการจราจรของระยะเวลาที่ขบวนรถใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ในช่วงเวลาที่ 2 (สภาพจราจรอึมท้วม) ลดลงร้อยละ 8.6 และร้อยละ 21.6 เมื่อเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีสัญญาณไฟคงที่และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจัดแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ตามลำดับ และในช่วงเวลาที่ 3 (สภาพจราจรกลับสู่สภาพปกติ) ลดลงร้อยละ 6.9 และร้อยละ 25.8 ตามลำดับ ดังนั้นการควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่จัดแบ่งสัญญาณไฟเขียว โดยใช้ระดับความอึมท้วมของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ จึงถูกนำไปใช้เป็นวิธีควบคุมพื้นฐานสำหรับการทดสอบและพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมท้วมมากต่อไป

5.2.2 ผลการศึกษากรณีสภาพจราจรอึมท้วมมาก

การศึกษาวิธีควบคุมสัญญาณไฟเมื่อสภาพจราจรอึมท้วมมากเป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากกรณีสภาพจราจรอึมท้วม เพื่อทดสอบให้แน่ใจว่าวิธีที่ 2-3 ยังคงมีประสิทธิภาพในการควบคุมสัญญาณไฟได้ดีเมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและระยะทางระหว่างทางแยกน้อยลงหรือคงมีประสิทธิภาพดีบนโครงข่ายทางกายภาพอื่นๆหรือไม่ โดยการศึกษาเปรียบเทียบวิธีควบคุมทั้งหมดจำนวน 4 วิธี ได้แก่ วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (วิธีที่ 4 หรือเดิมเรียกว่าวิธีที่ 1) วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5 หรือเดิมเรียกว่าวิธีที่ 2-3) วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6) และวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)

วิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟเส้น (วิธีที่ 6) เป็นวิธีที่มีความสามารถปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรจากการคำนวณด้วยวิธีของเวปสเตอร์ และจะเปลี่ยนวิธีควบคุมเป็นวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟเส้นแทนเมื่อทางแยกมีระดับความอึดตัวถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งแท้จริงแล้ววิธีควบคุมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันความยาวแถวคอยเส้นทางแยก เพื่อทดสอบว่าเมื่อใดควรเปลี่ยนไปใช้วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟเส้น การศึกษานี้จึงแบ่งการทดสอบเป็น 3 วิธี คือ

วิธีที่ 6-1 วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟเส้น เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 1.00

วิธีที่ 6-2 วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟเส้น เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.90

วิธีที่ 6-3 วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟเส้น เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.80

วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7) เป็นวิธีที่มีความสามารถปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรจากการคำนวณด้วยวิธีของเวปสเตอร์ และจะเปลี่ยนวิธีควบคุมเป็นวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยแทนเมื่อทางแยกมีระดับความอึดตัวถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งแท้จริงแล้ววิธีควบคุมนี้เป็นการกรองปริมาณจราจรจากภายใน (รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อ 2.3.6) ซึ่งจะช่วยกระจายระดับความอึดตัวของทางแยกวิกฤตไปที่ทางแยกข้างเคียง และเพื่อทดสอบว่าเมื่อใดควรเปลี่ยนไปใช้วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย การศึกษานี้จึงแบ่งการทดสอบเป็น 3 วิธี คือ

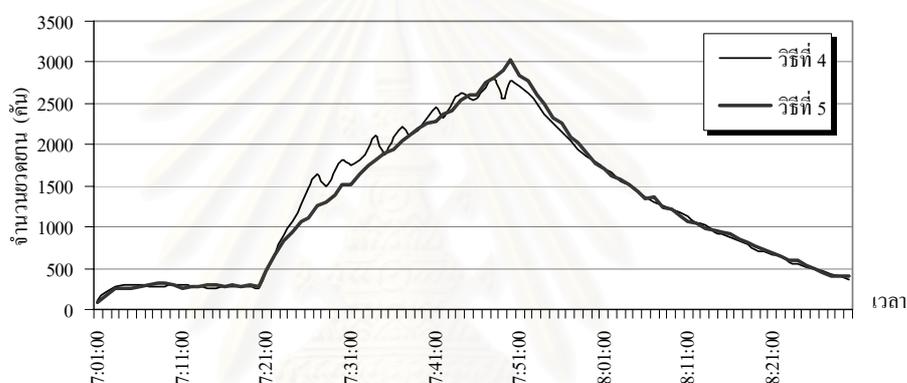
วิธีที่ 7-1 วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 1.00

วิธีที่ 7-2 วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.90

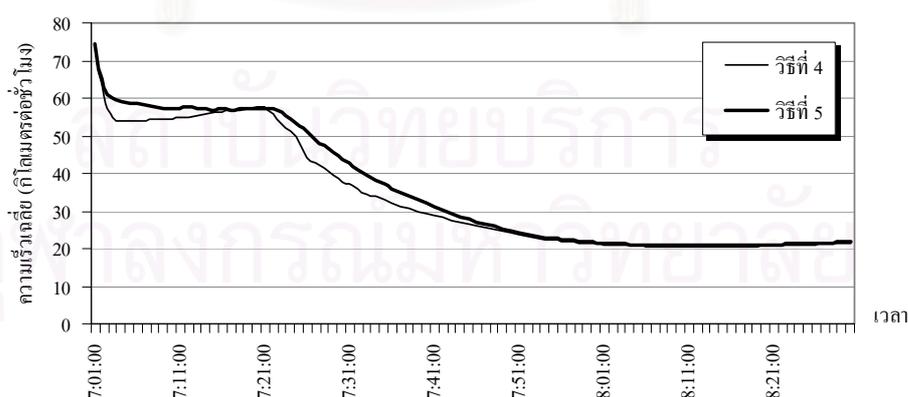
วิธีที่ 7-3 วิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.80

ผลลัพธ์จากการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่ 4 และวิธีที่ 5 ภายใต้โครงข่ายถนนที่มีข้อจำกัดมากกว่าเดิม (ความยาวช่องทางสั้นทำให้มีข้อจำกัดของความยาวแถวคอยมากขึ้น) และมีสภาพจราจรอึดตัวมากขึ้น ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ถึง 5.19 แสดงให้เห็นว่า การควบคุมด้วยวิธีที่ 5 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่ 4 ซึ่งในรูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่สอง การควบคุมด้วยวิธีที่ 5 ช่วยให้จำนวนรถยนต์ที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนน้อยกว่าวิธีที่ 4 สอด

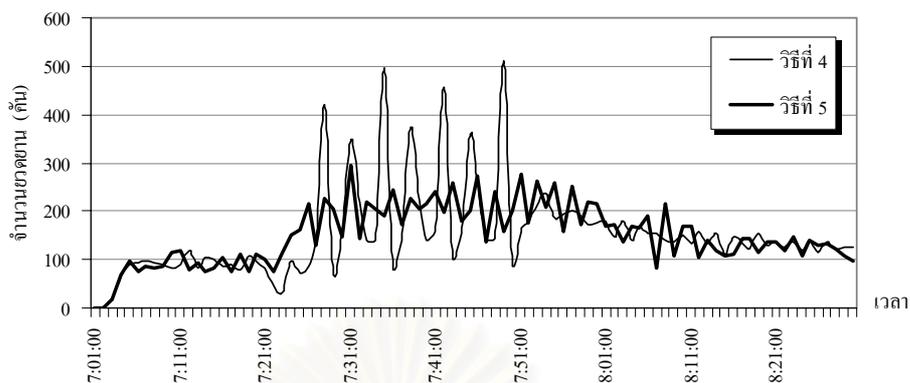
คล้องกับการศึกษาในกรณีสภาพจราจรอึมตัวในหัวข้อ 5.2.1 และมีความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าวิธีที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 5.14 หากพิจารณารูปที่ 5.15 ในช่วงเวลาที่สองซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงสุดพบว่า การควบคุมด้วยวิธีที่ 5 ช่วยให้ปริมาณจราจรสามารถออกจากพื้นที่ได้สม่เสมอกว่าวิธีที่ 4 และในรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่สอง วิธีที่ 5 ช่วยให้ปริมาณจราจรสามารถออกจากพื้นที่ได้มากกว่าวิธีที่ 4 ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องทำให้เวลาหยุดนิ่งจากการควบคุมด้วยวิธีที่ 5 ในรูปที่ 5.17 มีค่าต่ำกว่าการควบคุมด้วยวิธีที่ 4 ในส่วนนี้จึงสรุปว่า การควบคุมด้วยวิธีที่ 5 ยังคงมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่ 4 ส่วนผลลัพธ์ของระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) และระยะเวลาที่หยุดยานใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ



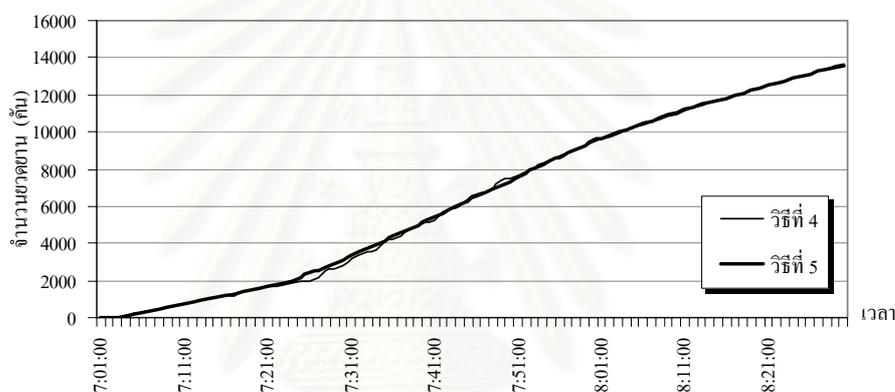
รูปที่ 5.13 จำนวนยานที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนของวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



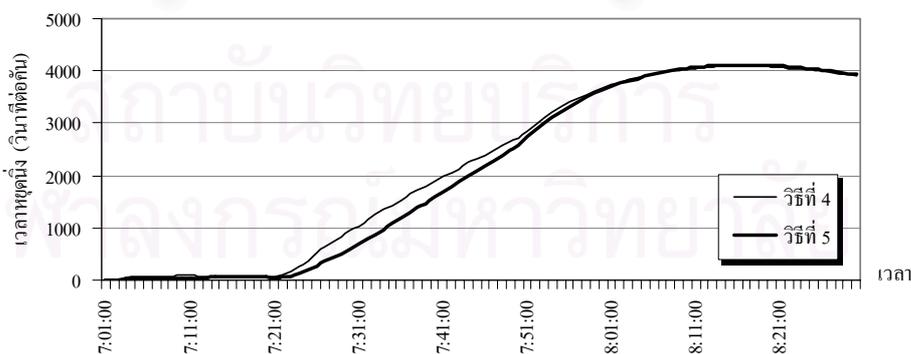
รูปที่ 5.14 ความเร็วเฉลี่ยสะสมของวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



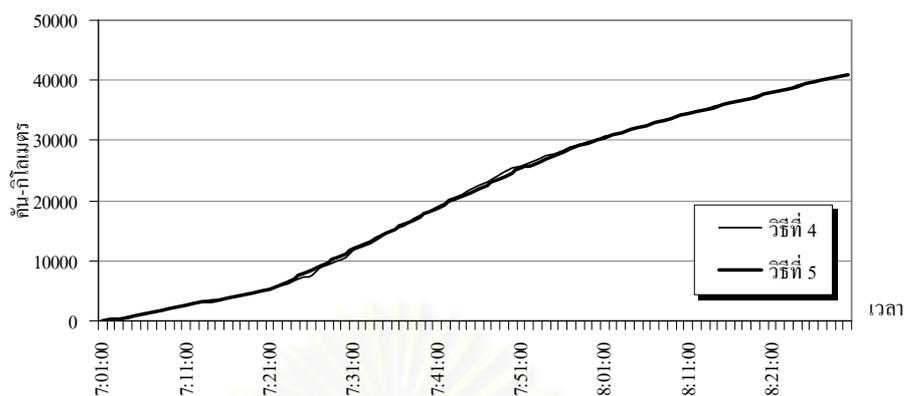
รูปที่ 5.15 จำนวนขบวนรถที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



รูปที่ 5.16 จำนวนขบวนรถสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



รูปที่ 5.17 เวลาหยุดนิ่งของของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



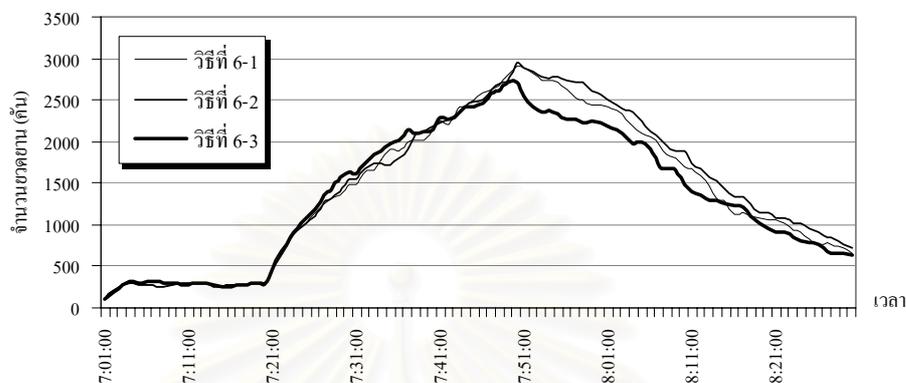
รูปที่ 5.18 ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (กิโลเมตร) ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)



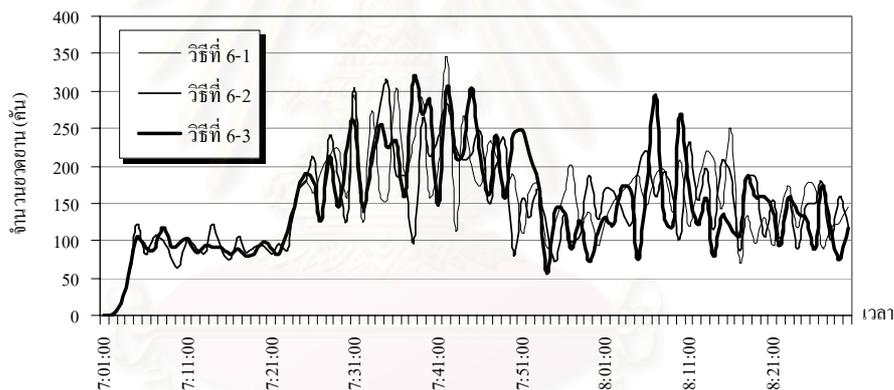
รูปที่ 5.19 ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (กัณ-ชั่วโมง) ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแดงที่ (วิธีที่ 4) และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5)

ผลการวิเคราะห์ในส่วนต่อไปนี้จะแสดงว่าควรใช้วิธีความยาวรอบสัญญาณสั้นเมื่อใด จากรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่า การใช้วิธีความยาวรอบสัญญาณสั้นก่อนทางแยกอ้อมตัวหรือเมื่อทางแยกมีระดับความอ้อมตัวเท่ากับ 0.80 (วิธีที่ 6-3) เป็นวิธีที่ดี ช่วยให้ขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนน้อยที่สุดและทำให้ขบวนสามารถออกจากพื้นที่ได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่สภาพจราจรเริ่มกลับสู่สภาพจราจรปกติ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ นอกจากนี้การควบคุมด้วยวิธีที่ 6-3 ยังทำให้ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (กัณ-ชั่วโมง) และเวลาหยุดนิ่งมีค่าต่ำที่สุดในช่วงเวลาที่สภาพจราจรเริ่มกลับสู่สภาพจราจรปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.22 และ 5.23 และเนื่องจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการควบคุมด้วยวิธีนี้ในช่วงเวลาแรกและช่วงเวลาที่สองมีความแตกต่างกันไม่มากนัก จึงสรุปได้ว่า การใช้วิธีความยาวรอบสัญญาณสั้นควรใช้ก่อนที่ทางแยก

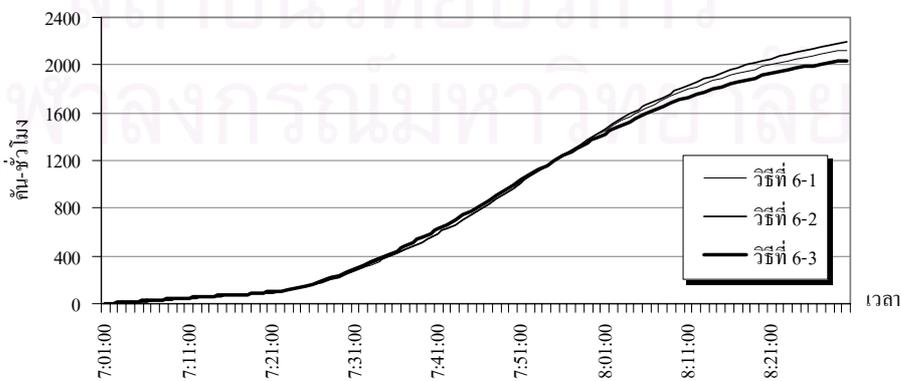
จะมีระดับความอึดตัวเท่ากับ 1.0 หรือเมื่อทางแยกมีระดับความอึดตัวเท่ากับ 0.80 จะช่วยปรับปรุงสภาพจราจรเมื่อเริ่มกลับเข้าสู่สภาพจราจรปกติได้ดีที่สุด



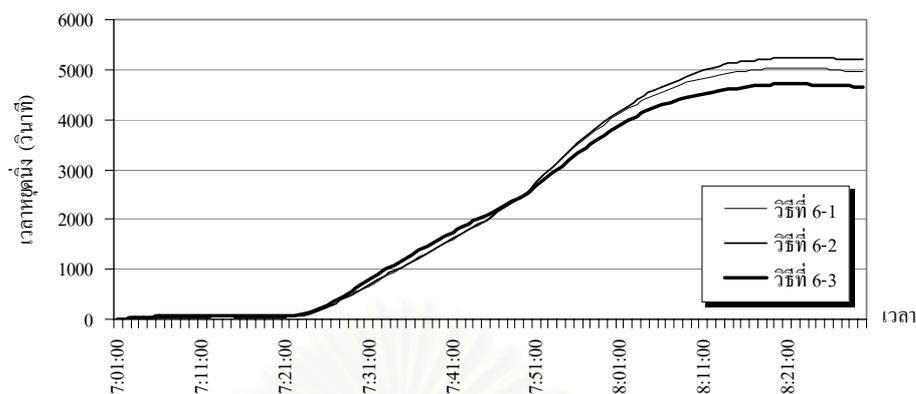
รูปที่ 5.20 จำนวนรถยนต์ที่ตกค้างอยู่บน โครงข่ายถนนของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)



รูปที่ 5.21 จำนวนรถยนต์ที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)

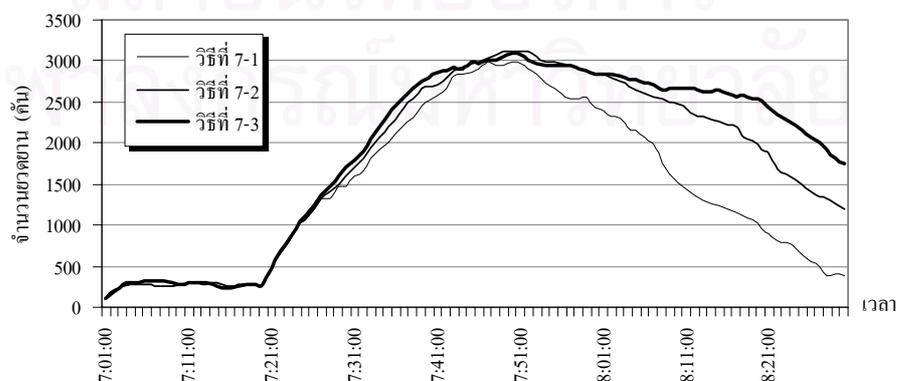


รูปที่ 5.22 ระยะเวลาที่รถยนต์ใช้บน โครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)

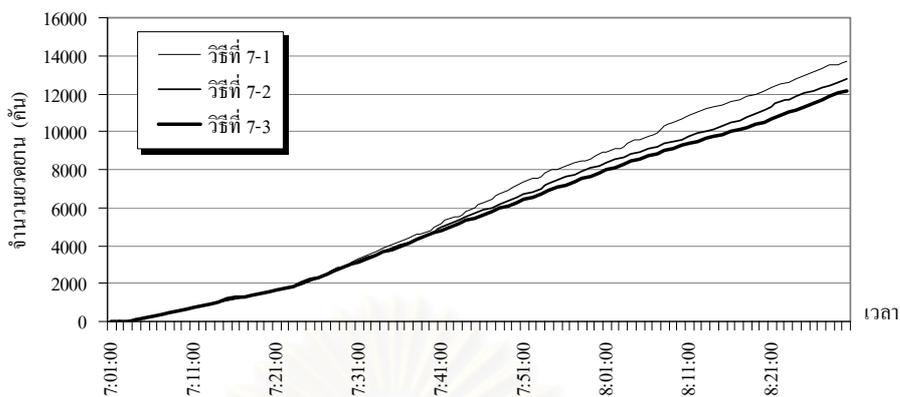


รูปที่ 5.23 เวลาหยุดนิ่งของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6)

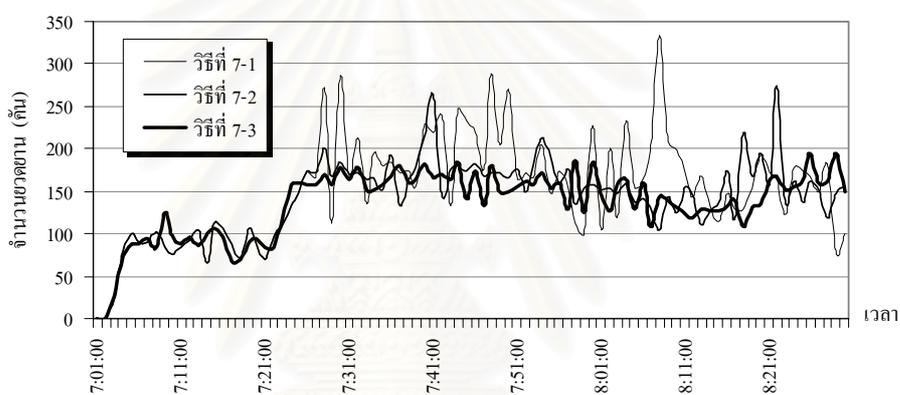
สำหรับผลลัพธ์จากการศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีพื้นที่ว่างหลังแถวคอย ดังแสดงในรูปที่ 5.24 ถึง 5.29 พบว่า ควรใช้วิธีควบคุมนี้เมื่อทางแยกวิกฤตมีระดับความอึดตัวเท่ากับ 1.00 (วิธีที่ 7-1) และไม่ควรใช้เมื่อระดับความอึดตัวของทางแยกวิกฤตน้อยกว่า 1.00 เพราะจะทำให้ขบวนที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตถูกกรองไว้ที่ทางแยกข้างเคียงก่อนเวลาที่ควรจะเป็น ทำให้จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายถนนและเวลาหยุดนิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.24 และ 5.28 ตามลำดับ ส่วนข้อดีของการควบคุมด้วยวิธีที่ 7-1 คือ ช่วยให้สภาพจราจรกลับสู่สภาพปกติได้รวดเร็วกว่าวิธีที่ 7-2 และ 7-3 ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการควบคุมในช่วงเวลาที่สอง วิธีที่ 7-1 ช่วยให้ขบวนสามารถเดินทางออกจากโครงข่ายถนนได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 5.25 และ 5.26 ประโยชน์ที่ได้รับ คือ ช่วยให้สภาพจราจรกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้รวดเร็วภายหลังจากช่วงเวลาปริมาณจราจรสูงสุดสิ้นสุดลงหรือสิ้นสุดช่วงเวลาที่สอง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากความเร็วเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 5.27 และเวลาหยุดนิ่งที่ลดลงในรูปที่ 5.28 นอกจากนี้ ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ที่ได้จากรหัสควบคุม 7-1 มีค่าต่ำสุด (รูปที่ 5.29)



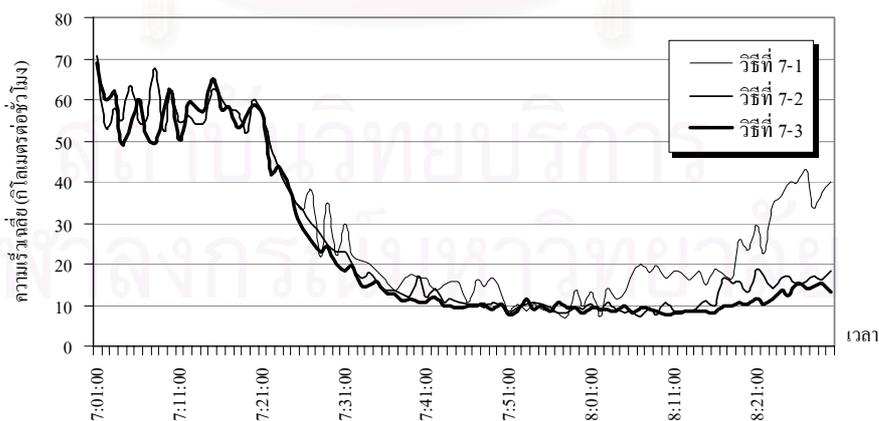
รูปที่ 5.24 จำนวนขบวนที่ตกค้างอยู่บนโครงข่ายของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)



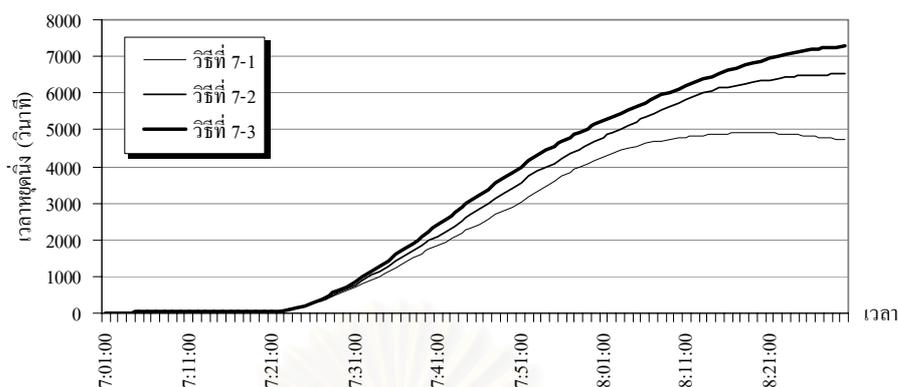
รูปที่ 5.25 จำนวนรถยนต์ที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)



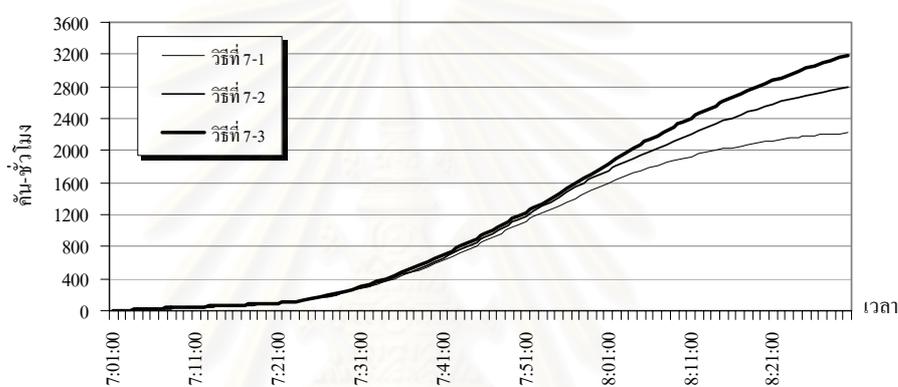
รูปที่ 5.26 จำนวนรถยนต์ที่สามารถออกจากพื้นที่ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)



รูปที่ 5.27 ความเร็วเฉลี่ย ณ เวลาใดของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)



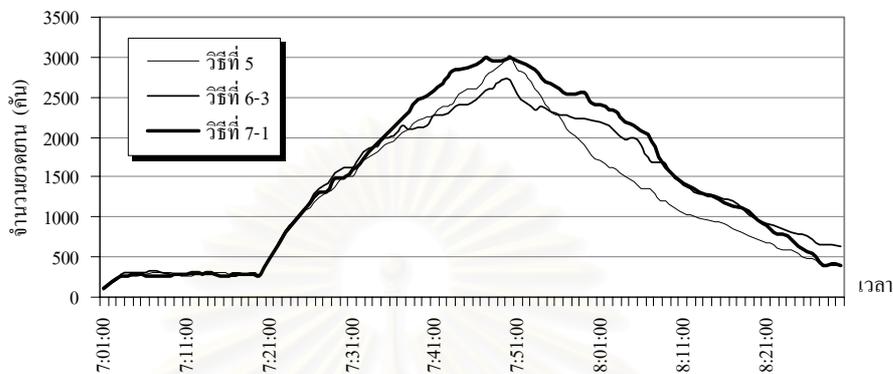
รูปที่ 5.28 เวลาหยุดนิ่งของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)



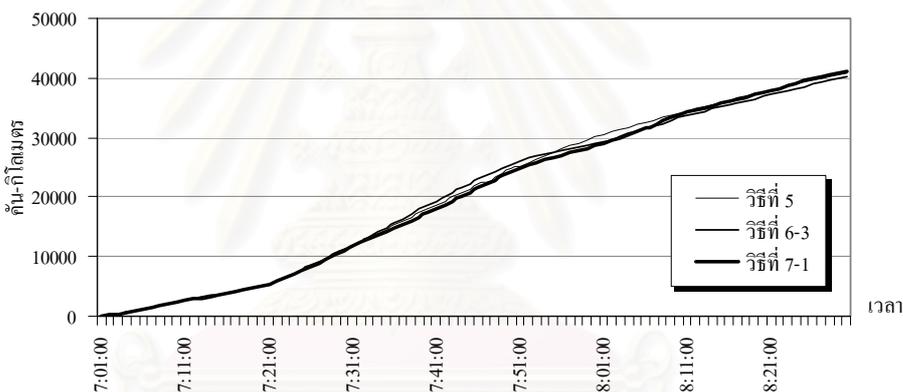
รูปที่ 5.29 ระยะเวลาที่ขบวนรถใช้บนโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7)

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า วิธีควบคุมแต่ละวิธีมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีควบคุมที่ดีที่สุดของวิธีที่ 5 และ 7 มาเปรียบเทียบกับในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อหาวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดี พบว่า วิธีที่ 5 เป็นวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยพิจารณาจากจำนวนขบวนรถที่ตกค้างอยู่บน โครงข่ายถนน ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ขบวนรถใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) จำนวนขบวนรถสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ จำนวนขบวนรถที่สามารถออกจากพื้นที่ ความเร็วเฉลี่ยและเวลาหยุดนิ่ง รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.30 ถึง 5.36 ตามลำดับ ชื่อนำสังเกต คือ ในรูปที่ 5.30 ถึงแม้ว่าเวลาที่ใช้ปรับให้สภาพจราจรกลับสู่สภาพปกติภายหลังจากที่ปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายเริ่มลดลงของวิธีที่ 7-1 และวิธีที่ 5 จะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 37 นาที ณ เวลาประมาณ 08:27:00 แต่วิธีที่ 5 ให้ประสิทธิภาพของการควบคุมดีกว่า คือ ในช่วงเวลาที่ 2 (สภาพจราจรอึมครึมมาก) มีจำนวนขบวนรถที่ตกค้างในโครงข่ายและเวลาหยุดนิ่งน้อยกว่าถึงร้อยละ 7 และร้อยละ 9 ตามลำดับ สำหรับในช่วงเวลาที่ 3

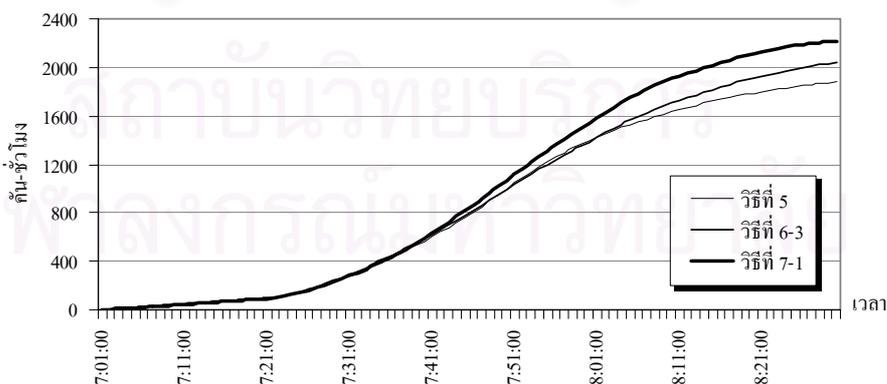
(สภาพจราจรกลับสู่สภาพปกติ) มีจำนวนขบวนที่ติดค้างในโครงข่ายและเวลาหยุดนิ่งได้น้อยกว่าถึงร้อยละ 26 และร้อยละ 17 ตามลำดับ



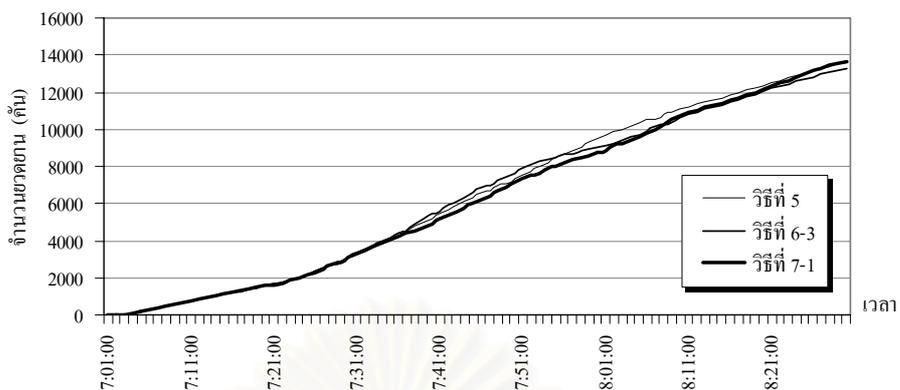
รูปที่ 5.30 จำนวนขบวนที่ติดค้างอยู่บนโครงข่ายถนน กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก



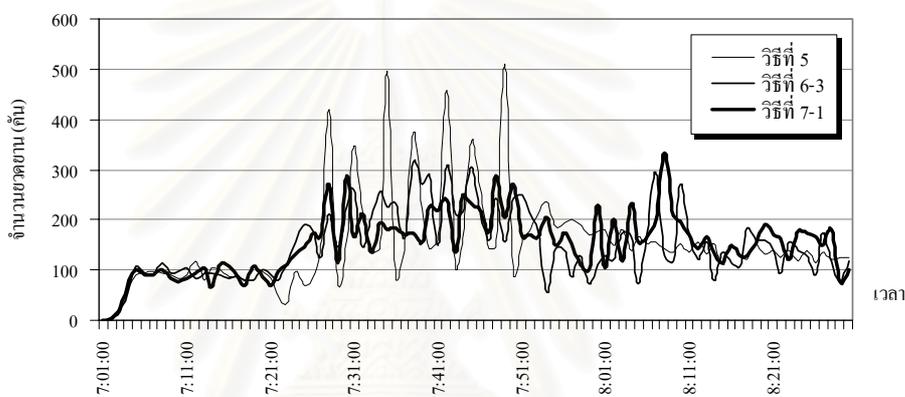
รูปที่ 5.31 ระยะทางวิ่งบนโครงข่ายรวม (คั่น-กิโลเมตร) กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก



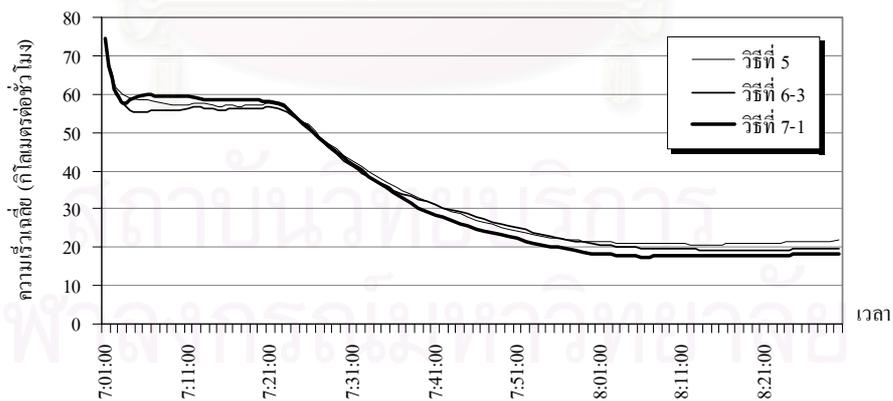
รูปที่ 5.32 ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คั่น-ชั่วโมง) กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก



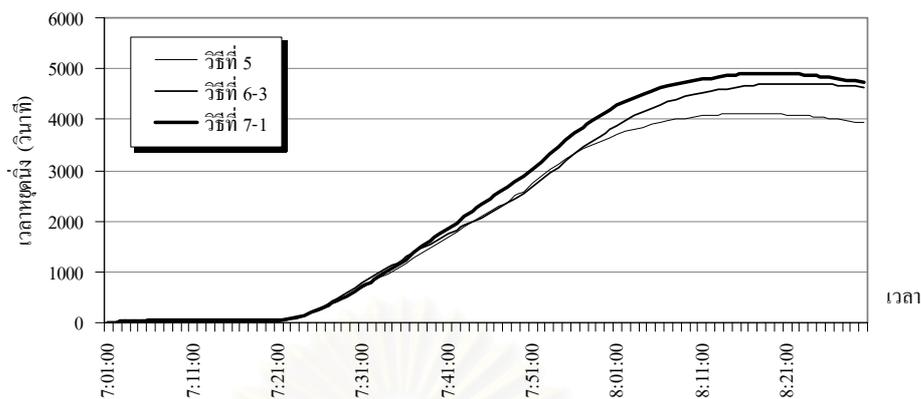
รูปที่ 5.33 จำนวนยอดขานสะสมที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึดตัวมาก



รูปที่ 5.34 จำนวนยอดขานที่สามารถออกจากพื้นที่ กรณีสภาพจราจรอึดตัวมาก

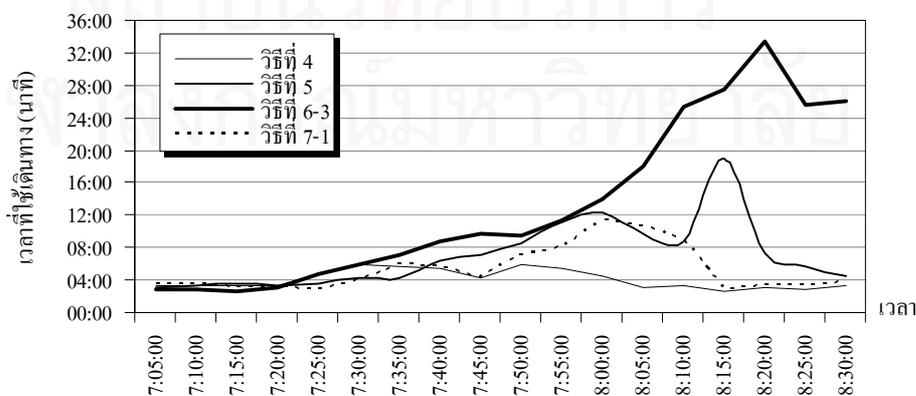


รูปที่ 5.35 ความเร็วเฉลี่ยสะสม กรณีสภาพจราจรอึดตัวมาก

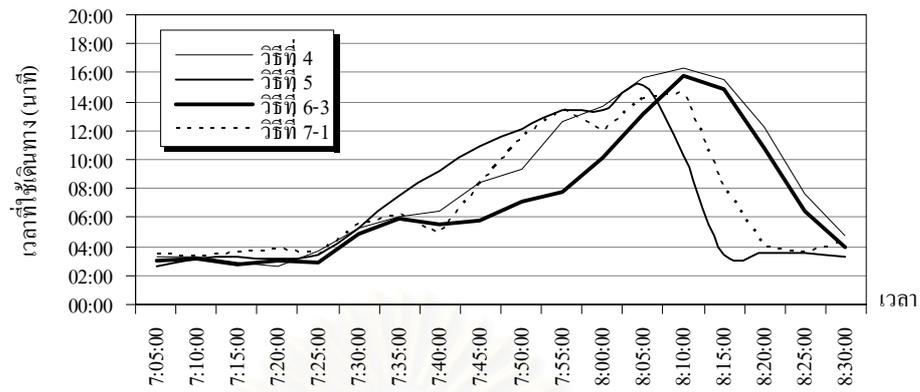


รูปที่ 5.36 เวลาหยุดนิ่ง กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก

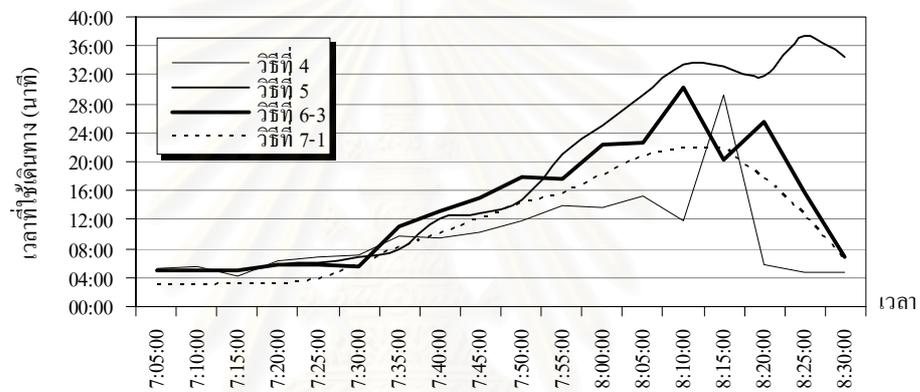
นอกจากนี้หากทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างคู่โซน ในรูปที่ 5.37 ถึง 5.40 พบว่าวิธีการควบคุมแต่ละวิธีมีอิทธิต่อเวลาที่ใช้ในการเดินทางของแต่ละเส้นทางที่แตกต่างกัน โดยเส้นทางที่ 1 เดินทางจากโซน 3 ไปโซน 7 การควบคุมด้วยวิธีที่ 4 เป็นวิธีควบคุมที่ใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.37 เส้นทางที่ 2 จากโซน 5 ไป 11 การควบคุมด้วยวิธีที่ 6-3 เป็นวิธีควบคุมที่ใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.38 เส้นทางที่ 3 จากโซน 6 ไป 1 การควบคุมด้วยวิธีที่ 4 เป็นวิธีควบคุมที่ใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.39 เส้นทางที่ 4 จากโซน 8 ไป 4 การควบคุมด้วยวิธีที่ 5 เป็นวิธีควบคุมที่ที่ใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.40 จากผลลัพธ์ข้างต้น จึงไม่สามารถกล่าวได้ว่า วิธีควบคุมใดเป็นวิธีที่ทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะเวลาที่ใช้ในการเดินทางขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพจราจรที่ทางแยก การควบคุมจังหวะสัญญาณไฟ เป็นต้น



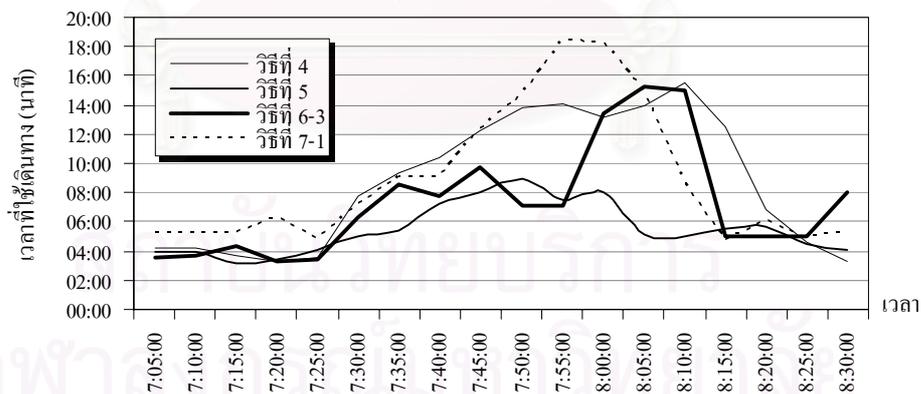
รูปที่ 5.37 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 3 ไปโซน 7



รูปที่ 5.38 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 5 ไปโซน 11



รูปที่ 5.39 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 6 ไปโซน 1



รูปที่ 5.40 เวลาที่ใช้เดินทางจากโซน 8 ไปโซน 4

ผลการศึกษาทั้งหมดในกรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก หากนำมาเขียนสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า ในภาพรวมวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5) ให้ประสิทธิภาพในการควบคุมดีกว่าวิธีควบคุมอื่น เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) ความเร็วเฉลี่ย และจำนวนครั้งที่

แถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทาง และถึงแม้ว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น (วิธีที่ 6) และวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย (วิธีที่ 7) จะช่วยกรองปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตและลดจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทางได้ถึงร้อยละ 35 เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีควบคุมด้วยสัญญาณไฟคงที่ แต่กลับให้ประสิทธิภาพของการควบคุมที่ด้อยกว่าวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (วิธีที่ 5) ที่พยายามปรับเวลาสัญญาณไฟเขียวตามระดับความอึดตัวของทิศทางจราจรตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ คือ ในช่วงเวลาที่ 1 (สภาพจราจรปกติ) ช่วงเวลาที่ 2 (สภาพจราจรอึดตัวมาก) และในช่วงเวลาที่ 3 (สภาพจราจรกลับสู่สภาพปกติ)

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบตัววัดประสิทธิผลในกรณีสภาพจราจรอึดตัวมาก

ตัววัดประสิทธิผล	วิธีที่ 4	วิธีที่ 5	วิธีที่ 6-3	วิธีที่ 7-1
จำนวนรถยนต์ที่เข้าสู่โครงข่ายถนน	14006	14009	13913	14052
จำนวนรถยนต์ที่ตกค้าง	355	402	629	390
จำนวนรถยนต์ที่สามารถออกจากโครงข่าย	13651	13607	13284	13662
คัน-กิโลเมตร	41011.8	40912.5	40186.0	41101.2
คัน-ชั่วโมง	1906.0	1878.0	2041.3	2217.5
ความเร็วเฉลี่ย	21.5	21.8	19.7	18.5
เวลาหยุดนิ่ง	3905.2	3929.2	4645.7	4735.1
จำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทาง	68	37	43	44

จากการศึกษาทั้งหมดข้างต้นสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าในสภาพจราจรอึดตัวและสภาพจราจรอึดตัวมากที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการจราจรที่เข้าสู่โครงข่ายและการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างทางแยก พบว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ระดับความอึดตัวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมอื่นที่ใช้ทดสอบ

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟในอดีตที่ผ่านมาสามารถทดสอบได้เฉพาะวิธีควบคุมที่โปรแกรมจัดเตรียมไว้ให้เท่านั้น การทดสอบวิธีควบคุมที่เป็นแนวคิดใหม่สามารถกระทำได้ยาก แต่ในการศึกษารุ่นนี้ได้ข้ามผ่านข้อจำกัดดังกล่าวด้วยการใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับ โปรแกรมประยุกต์ ช่วยให้สามารถสร้างรหัสทำงานเพื่อเพิ่มเติมวิธีควบคุมหรือเปลี่ยนแปลงวิธีการควบคุมต้นแบบของโปรแกรมที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพของวิธีควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึมตัวและอึมตัวมากในครั้งนี้ วิธีควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบมีจำนวน 5 วิธี คือ วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัด สัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น และวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอย

ผลการศึกษากรณีสภาพจราจรอึมตัว ปรากฏว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่โดยใช้วิธีการคำนวณของเวปสเตอร์ ทำให้ยวดยานตกค้างอยู่ภายใน โคร่งข่ายมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเริ่มเพิ่มขึ้น การควบคุมสัญญาณไฟไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องทำให้ในช่วงเวลาที่สองมีสภาพจราจรติดขัดเพิ่มมากขึ้น และมีจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกด้านทางมากกว่าวิธีควบคุมอื่นที่ใช้ทดสอบ ส่วนวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัด สัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่กำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เป็นวิธีควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว เนื่องจากความสามารถในการปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณจราจร ประกอบกับการใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดที่เหมาะสม เป็นผลทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวยวดยานสามารถออกจากพื้นที่ศึกษาได้มาก ยวดยานมีความเร็วเฉลี่ยสูง ระยะเวลาที่ยวดยานใช้ในโคร่งข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) และเวลาหยุดนิ่งต่ำกว่าวิธีควบคุมอื่นๆที่ใช้ทดสอบ แต่เมื่อสภาพจราจรเริ่มกลับเข้าสู่สภาพปกติ พบว่าประสิทธิภาพในการควบคุมใกล้เคียงกับการใช้วิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ สำหรับวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละ

จังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่พยายามเพิ่มสัดส่วนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวสำหรับทิศทางที่มีปริมาณจราจรอิมตัวสูงหรือแถวคอยยาวมาก เพื่อกำจัดแถวคอยให้หมดไป กลับทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมโดยรวมไม่ดี คือ ทำให้ปริมาณจราจร ณ เวลาใดๆ ตกค้างอยู่ในระบบมากที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะวิธีควบคุมพยายามย้ายกลุ่มก้อนของขบวนในแถวคอยจากทางแยกหนึ่ง ไปอีกทางแยกหนึ่ง แต่ไม่ได้มีการพิจารณาพื้นที่ว่างหลังแถวคอยที่สามารถรองรับปริมาณจราจรได้ จึงทำให้เกิดแถวคอยย้อนกลับ เป็นผลทำให้สภาพจราจรติดขัดเพิ่มมากขึ้น

ผลการศึกษากรณีสภาพจราจรอิมตัวมาก ปรากฏว่า วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นที่ต้องการทำให้ขบวนเคลื่อนที่ผ่านทางแยกมีความอิมตัวสูง เพื่อให้โอกาสกำจัดแถวคอยสูงขึ้น ควรใช้วิธีควบคุมนี้ก่อนที่ทางแยกจะมีระดับความอิมตัวเท่ากับ 1.00 หรือเมื่อทางแยกมีระดับความอิมตัวเท่ากับ 0.80 จะช่วยปรับปรุงสภาพจราจรเมื่อเริ่มกลับเข้าสู่สภาพจราจรปกติได้ดีที่สุด วิธีควบคุมนี้ทำให้จำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกสั้นทางน้อยกว่าการควบคุมด้วยวิธีสัญญาณไฟคงที่ อย่างไรก็ตามจำนวนขบวนที่ตกค้างเมื่อสิ้นสุดการจำลอง เวลาหยุดนิ่ง และจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกสูงกว่าการควบคุมด้วยวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอิมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด 150 วินาที ส่วนวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ใช้หลักการป้องกันแถวคอยสั้นทางแยกโดยพยายามลดอัตราส่วนของปริมาณจราจรที่ต้องการเข้าสู่ทางแยกต่อความสามารถให้บริการของถนนด้วยการกรองปริมาณจราจรไว้ที่ทางแยกก่อนหน้าหรือกระจายความแออัดไปที่ทางแยกก่อนหน้าโดยใช้วิธีการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟให้สอดคล้องตามพื้นที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป วิธีนี้ควรใช้เมื่อระดับความอิมตัวของทางแยกวิกฤตมากกว่าหรือเท่ากับ 1.00 เท่านั้น เมื่อสิ้นสุดการจำลอง วิธีควบคุมนี้จะทำให้จำนวนขบวนสามารถออกจากโครงข่ายมากที่สุด แต่เนื่องจากเมื่อทางแยกวิกฤตอิมตัว ปริมาณจราจรส่วนหนึ่งจะถูกกรองไว้ที่ทางแยกต้นทาง จึงทำให้ระยะเวลาที่ขบวนใช้บนโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) และเวลาหยุดนิ่งมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีควบคุมอื่นๆ ซึ่งเป็นผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยของขบวนในโครงข่ายต่ำที่สุดด้วย ส่วนจำนวนครั้งที่แถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทางมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น ชื่อนำสังเกตคือ ประสิทธิภาพผลของวิธีควบคุมนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพหรือความยาวของช่วงถนนที่ใช้รองรับปริมาณจราจรที่ต้องเข้าสู่ทางแยกวิกฤต ส่วนวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอิมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่กำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที พบว่า ในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเริ่มเข้าสู่ทางแยกเพิ่มมากขึ้น วิธีนี้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ

จราจรได้ดี คือ ช่วยให้ยานในช่วงเวลาที่สองออกจากโครงข่ายถนนได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนยานในช่วงเวลาที่สองออกจากโครงข่ายถนนที่ได้จากวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟ สันพบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่มากกว่าวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอย ร้อยละ 7 และภายหลังจากที่ปริมาณจราจรเริ่มลดลงในช่วงเวลาที่สาม วิธีควบคุมนี้ ช่วยให้ยานออกจากโครงข่ายได้มากกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอยมากขึ้น คิดเป็นร้อยละ 20 และ 26 ตามลำดับ แต่ถ้าพิจารณาถึงเวลาหยุดนิ่งแล้ว วิธีนี้ช่วยให้เวลาหยุดนิ่งในช่วงเวลาที่การจราจรอึดตัวมากกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอย คิดเป็นร้อยละ 4 และ 9 ตามลำดับ ภายหลังจากที่ปริมาณจราจรเริ่มลดลงในช่วงเวลาหลังการจราจรอึดตัว วิธีควบคุมนี้ช่วยให้เวลาหยุดนิ่งน้อยกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอยมากขึ้น คิดเป็นร้อยละ 10 และ 17 ตามลำดับ ส่วนตัววัดประสิทธิภาพอื่นๆของวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวก็มีประสิทธิภาพดีมากกว่าวิธีควบคุมอื่นๆที่ใช้ทดสอบเกือบตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสภาพจราจรเริ่มกลับเข้าสู่สภาพปกติในช่วงเวลาหลังการจราจรอึดตัว แต่มีข้อน่าสังเกตว่าจำนวนยานที่สามารถออกจากพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่สภาพจราจรอึดตัวมีลักษณะไม่แน่นอน โดยมีปริมาณมากน้อยในช่วงเวลาต่างๆกัน และสำหรับในช่วงเวลาก่อนที่ทางแยกวิกฤตจะมีสภาพจราจรอึดตัว วิธีควบคุมด้วยสัญญาณไฟคงที่ วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว วิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้ที่ว่างหลังแถวคอย มีตัววัดประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกันมาก

ผลการศึกษาจากกรณีสภาพจราจรอึดตัวและอึดตัวมากได้ข้อสรุปที่ตรงกัน คือ วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว และกำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมอื่นๆที่ใช้ทดสอบ เพราะในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นวิธีควบคุมนี้สามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกได้ดี ส่วนการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟให้สั้นลงด้วยวิธีความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นหรือการกรองปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตด้วยวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยในช่วงเวลาที่ทางแยกมีความอึดตัว จะให้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีน้อยกว่า ดังนั้นการปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเมื่อสภาพจราจรเริ่มอึดตัวตั้งแต่เริ่มต้น จึงเป็นหลักการสำคัญที่ใช้บรรเทาปัญหาสภาพจราจรติดขัดได้เป็นอย่างดี แต่หากการปรับสัญญาณไฟในช่วง

เวลาที่มีความอ่อนไหวนี้ไม่เหมาะสมจะทำให้สภาพจราจรติดขัดแผ่ขยายเป็นวงกว้างและใช้เวลานานกว่าสภาพจราจรจะกลับสู่สภาพปกติ

ถึงแม้ว่าผลการศึกษาค่าจะได้อัปเดตที่ตรงกัน แต่ศึกษาในครั้งนี้จำกัดโครงข่ายถนนที่ใช้ทดสอบเป็นแบบตารางที่มีระยะห่างระหว่างทางแยกเท่ากัน ผลการศึกษานี้จึงอาจจะใช้ไม่ได้กับโครงข่ายถนนที่มีลักษณะแตกต่างออกไป เช่น โครงข่ายถนนที่ไม่เป็นตาราง หรือมีระยะห่างระหว่างทางแยกไม่เท่ากัน เป็นต้น นอกจากนี้รูปแบบของปริมาณจราจรที่เข้าสู่โครงข่าย สัดส่วนปริมาณจราจรเฉลี่ยที่ทางแยก จำนวนช่องจราจร สัดส่วนของขบวนแต่ละประเภทในโครงข่ายก็อาจมีอิทธิพลทำให้ผลการวิเคราะห์เปลี่ยนไปได้เช่นกัน

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

โปรแกรม PARAMICS เป็นโปรแกรมที่มีจุดเด่น คือ การที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ทำให้การจำลองสภาพจราจรมีความยืดหยุ่นสูง แต่เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ค่อนข้างใหม่และอยู่ในระหว่างปรับปรุงพัฒนาและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม ประกอบกับเอกสารคู่มือการใช้โปรแกรมสำหรับติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์มีเนื้อหาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพียง 2 หน้า ซึ่งไม่เพียงพอต่อการศึกษาและการศึกษาครั้งนี้จึงใช้วิธีการเข้าไปอ่านในกระทู้คำถามบนสื่ออิเล็กทรอนิกส์ สอบถามผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ และติดต่อสอบถามปัญหาการจำลองสภาพจราจรของโปรแกรมกับผู้ฝึกอบรมโปรแกรม PARAMICS ที่ได้รับการยอมรับ (Approved Paramics Trainer, APT) ผ่านทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ แต่การติดต่อในส่วนหลังนี้ใช้เวลาโดยประมาณ 1 เดือน จึงจะได้รับคำตอบ ทำให้การพัฒนาที่มีข้อจำกัดสูงและใช้เวลานาน เนื่องจากการทดลองทำโดยการลองผิดลองถูก

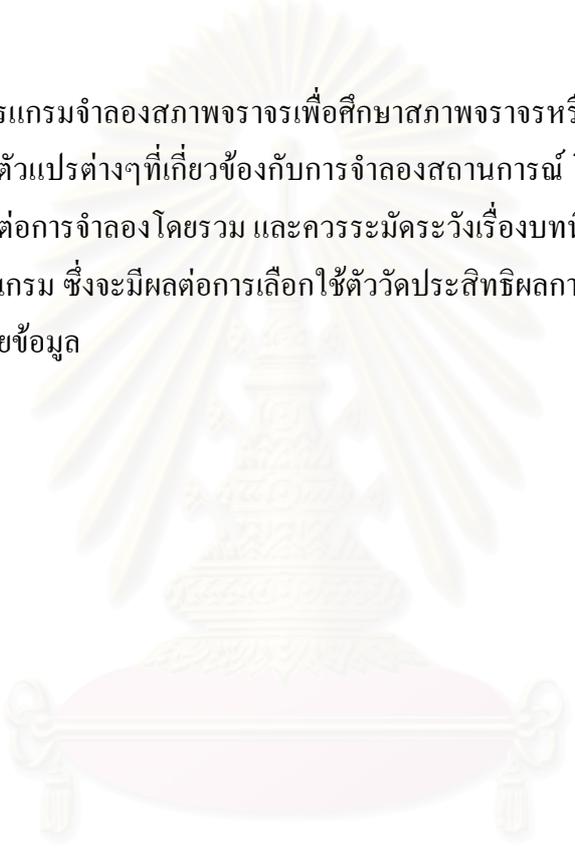
นอกจากนี้ปัญหาของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้ในการศึกษานี้ คือ ณ เวลา 07:20:00 และเวลา 07:50:00 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของทุกจังหวัดสัญญาณไฟจะถูกกำหนดค่าใหม่โดยอัตโนมัติให้เท่ากับค่าเริ่มต้นที่ผู้ใช้กำหนดไว้ ซึ่งมีผลทำให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก ส่งผลให้สภาพจราจรติดขัดมากขึ้นในช่วงเวลาที่สภาพจราจรอึมครึม ในการศึกษานี้จึงกำหนดให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยสุดเท่ากับ 7 วินาที เพื่อให้การควบคุมสัญญาณไฟในช่วงเวลาดังกล่าวกลับไปทำการควบคุมให้ทันกับสภาพจราจรในขณะนั้นได้เร็วที่สุด

ถึงแม้ว่าโปรแกรม PARAMICS จะแสดงผลและมีตัววัดประสิทธิภาพจราจรที่ดีมาก แต่เมื่อศึกษาถึงรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมปรากฏว่า ค่าจำกัดความของตัววัดประสิทธิภาพใน

โปรแกรมจำลองการจราจรและโปรแกรมวิเคราะห์สภาพจราจรไม่ตรงกันและไม่สื่อความหมาย เช่น ความล่าช้าเฉลี่ย (mean delay) ทำให้การนำไปใช้เกิดความสับสนและต้องระมัดระวังอย่างยิ่ง ตัววัดประสิทธิภาพบนช่วงถนนใน โปรแกรมจำลองการจราจร เช่น ความยาวแถวคอยให้ผลการรายงานไม่สอดคล้องกับภาพที่แสดงผ่านทางหน้าจอแสดงผล ตัววัดประสิทธิภาพของทางแยก เช่น ความล่าช้า ไม่มีการจัดเตรียมไว้ให้

6.3 ข้อเสนอแนะ

การใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเพื่อศึกษาสภาพจราจรหรือปฏิบัติการอื่นๆควรเริ่มต้นจากการเปรียบเทียบตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์ โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการใช้งานโดยรวม และควรระมัดระวังเรื่องบทนิยามหรือคำจำกัดความต่างๆที่กำหนดโดยโปรแกรม ซึ่งจะมีผลต่อการเลือกใช้ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร การวิเคราะห์ผลและการแปลความหมายข้อมูล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ครรชิต ผิวนวล. 2533. เทคนิคการจัดการและควบคุมการจราจร. กรุงเทพมหานคร : หน่วยวิจัยการจราจรและการขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ครรชิต ผิวนวล. 2538. การปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับสภาพการจราจรต่างๆกัน. ปัญหาารถติด..ต้องช่วยกันคิดช่วยกันแก้ ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- ทวี วิชัยเมธาวิ. 2545. การสร้างวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ Application Programming Interface ของโปรแกรม PARAMICS. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปณัสย์ พุกโพธิ์. 2542. การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิมตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Abdulhai, B., Sheu, J., and Recher, W. 1999. Simulation of ITS on the Irvine FOT area using "Paramics 1-5" scalable microscopic traffic simulator. PATH Research Report. California. Berkeley.
- Akcelik, R. 1981. Traffic signal : capacity and timing analysis. Australian Road Research Board. ARR No. 123.
- Algers, S., et al. 1998. Update specifications. SMARTTEST/D4. Leeds : Institute of Transport Studies. University of Leeds.
- Bernaer, E., et al. 1998. A review of micro-simulation models. Institute for Transport Studies. University of Leeds.
- Biora, F., et al. 1995. A best practice manual for innovative UTC schemes. DRIVE II Project V2016, Deliverable No.15. (n.p.) : PRIMAVERA.
- Bretherton, R. D. 1989. SCOOT urban traffic control system – philosophy and evaluation. IFAC Symposium on Control. Communications in Transportation : 237-239
- Chumsri, C. et al. 2002. Traffic saturation flow and shock wave study. Faculty of Engineering. Chulalongkorn University.

- Clark, S. et al. 1995. Initial Simulation Results. DRIVE II Project V2016, Deliverable No.9 (n.p.)
: PRIMAVERA
- Coifman, B., and Cassidy, M. 1997. Improved Vehicle-Actuated Traffic Signal Control.
Intellimotion Vol. 7 No. 1 : 4-7.
- Cottman N. J., and Hussein Dia. 2000. A methodology for modeling the environmental impacts of intelligent transport system (ITS). 22nd Conference of Australia Institute of Transport Research Australia National University.
- Day. I. 1998. SCOOT – split, cycle & offset optimization technique. TRB Mid-Year Meeting and Adaptive Traffic Control Workshop. Transportation Research Board.
- Garber, N.J., and Hoel., L. A. 1996. Traffic and highway engineering. 2nd ed. United States of America : PWS.
- Gartner, N. H., and Hou, D.L. 1992. Comparative Evaluation of Alternative Traffic Control Strategies. Transportation Research Record 906 : 75-81.
- Gartner, N. H., Stamatiadis, C., and Tarnoff, P.J. 1996. Development of Advanced Traffic Signal Control Strategies for Intelligent Transportation Systems: Multilevel Design.
Transportation Research Record 1494 : 98-105.
- Gazis, D. C., and Potts, R. B. 1963. The oversaturated Intersection. In Proc 2nd International Symposium on the Theory of Traffic Flow. London. : Paris OECD
- Gordon, R. L. 1969. A Technique for Control of Traffic at Critical Intersections. Transportation Science Vol.4 : 279-288.
- Gray, B. M., and Ibbetson, L. 1991. Operational Traffic Control Strategies for Congestion. Traffic Engineering and Control. Vol.32 (2) : 60-66.
- Gross N. R. 2000. SCATS adaptive traffic system workshop session 1 – principles.
TRANSCORE
- Jeffreys, W. 1994. Motorway lane discipline: motorway traffic modeling study. Technical Report : Transportation Research Laboratory.
- Johansson, G., and Rumar, H. 1971. Drivers break reaction times. Human Fact. Vol.13 no.1 : 23-27
- Juckes. M. 2001. Time step factors[Online]. Available from: [http://www.paramics-online.com/discussion/printthread.php?Cat=&Board=calibration\[2002, June 8\]](http://www.paramics-online.com/discussion/printthread.php?Cat=&Board=calibration[2002, June 8])
- Lanteri, F., Biora, F., and Shepherd, S. P. 1993. Implementation aspects report deliverable No.8, Drive II Project : PRIMAVERA

- Liu, X. H., Chu, L., and Recker, W. 2001. Paramics API development document for actuated signal, signal coordination and ramp control. Working Paper UCB-ITS-PWP-2001-11: University of California, Irvine.
- Longley, D. A. 1968. Control Strategy for a Congested Computer-Controlled Traffic Network. Transportation Research Vol.2 : 391-408.
- Hansen, B. G., Martin, P. T. 1997. Traffic signal design improvements: Queue detector location for permitted/protected traffic signal phasing. Journal of Undergraduate Research Vol. 8, No. 1.
- Hansen, B. G., Martin, P. T., and Perrin, H. J. 2000. SCOOT Real-Time Adaptive Control in a CORSIM Simulation Environment. Transportation Research Record 1727 : 27-31.
- Kagolanu, K.A. 1994. Comparative study of traffic control systems. Institute of Transportation Engineer. Compendium of Technical Paper.
- Khisty, C. J., and Lall, B. K. 1998. Transportation engineering: An introduction, 2 nd ed. New Jersey : Prentice-Hall.
- May, A. D., Montgomery F. O., and Quinn, D. J. 1988. Control of congestion in highly congested networks. Proc. CODATU IV Conference. Jakarta.
- McMilan, P. 2001. Headway and gap factors[Online]. Available from: [http://www.paramics-online.com/discussion/printthread.php?Cat=&Board=calibration\[2002, June 8\]](http://www.paramics-online.com/discussion/printthread.php?Cat=&Board=calibration[2002, June 8])
- McShane, W. R., Roess, R. P., and Prassas, E. S. 1998. Traffic engineering, 2 nd ed. New Jersey : Prentice-Hall.
- Moore II, J. E., et al. 1999. SCOOT Performance in Anaheim Advanced Traffic Control System. Intellimotion Vol. 8, No. 3.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. 1981. Traffic Control in Saturated Conditions. Paris : Road Research.
- Papacostas, C. S., and Prevedouros, P. D. 2001. Transportation engineering and planning, 3 rd ed. New Jersey : Prentice-Hall.
- Pignataro, L. J., et al. 1978. Traffic Control in Oversaturated Street Networks. National Cooperative Highway Research Program Report 194. Transportation Research Board. Washington D.C. : National Research Council.
- Quadstone. 2000. Paramics modeller V3.0 user guide.
- Quinn, D. J. 1992. A Review of Queue Management Strategies. Traffic Engineering and Control. Nov. : 600-605.

- Rathi, A. K. 1988. A Control Scheme for High Traffic Density Sectors. Transportation Research B Vol. 22B, No. 2 : 81-101.
- Sherpherd, SP. 1992. A review of traffic signal control. ITS Working Paper 349. United Kingdom : Institute for Transport Studies University of Leeds.
- Trapp, R. 2001. Calibration parameters[Online]. Available from: <http://www.paramics-online.com/discussion/printthread.php?Cat=&Board=calibration>[2002, June 8]
- Webster, F. V. 1969. Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39. London : Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory.
- Wooley, J. E. 2001. International workshop on applications of PARAMICS in traffic management and planning. Transport Research Centre (TRC) : Department of Civil Engineering, Khon Kaen University.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ตารางการเดินทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาแรก กรณีสภาพจราจรอึมตัว (20 นาที)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	6	6	6	6	6	6	6	12	12	12	12
2	12	0	12	12	6	6	6	306	12	12	61	12
3	12	12	0	12	12	6	6	6	6	6	61	12
4	12	12	12	0	6	6	6	6	6	6	6	12
5	12	61	12	12	0	12	6	6	6	6	306	12
6	6	61	12	12	12	0	12	12	6	6	6	6
7	6	6	12	12	12	12	0	6	6	6	6	6
8	6	306	12	12	61	12	12	0	12	12	6	6
9	6	6	6	6	61	12	12	12	0	12	12	6
10	6	6	6	6	6	12	12	12	12	0	6	6
11	12	6	6	6	306	12	12	61	12	12	0	12
12	12	12	6	6	6	6	6	61	12	12	12	0

ตารางที่ ก-2 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาที่สอง กรณีสภาพจราจรอึมตัว (30 นาที)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	16	16	16	16	16	16	16	32	32	32	32
2	32	0	32	32	16	16	16	789	32	32	158	32
3	32	32	0	32	32	16	16	16	16	16	158	32
4	32	32	32	0	16	16	16	16	16	16	16	32
5	32	158	32	32	0	32	16	16	16	16	789	32
6	16	158	32	32	32	0	32	32	16	16	16	16
7	16	16	32	32	32	32	0	16	16	16	16	16
8	16	789	32	32	158	32	32	0	32	32	16	16
9	16	16	16	16	158	32	32	32	0	32	32	16
10	16	16	16	16	16	32	32	32	32	0	16	16
11	32	16	16	16	789	32	32	158	32	32	0	32
12	32	32	16	16	16	16	16	158	32	32	32	0

ตารางที่ ก-3 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาที่สาม กรณีสภาพจราจรอึมตัว (50 นาที)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	13	13	13	13	13	13	13	24	24	24	24
2	24	0	24	24	13	13	13	612	24	24	122	24
3	24	24	0	24	24	13	13	13	13	13	122	24
4	24	24	24	0	13	13	13	13	13	13	13	24
5	24	122	24	24	0	24	13	13	13	13	612	24
6	13	122	24	24	24	0	24	24	13	13	13	13
7	13	13	24	24	24	24	0	13	13	13	13	13
8	13	612	24	24	122	24	24	0	24	24	13	13
9	13	13	13	13	122	24	24	24	0	24	24	13
10	13	13	13	13	13	24	24	24	24	0	13	13
11	24	13	13	13	612	24	24	122	24	24	0	24
12	24	24	13	13	13	13	13	122	24	24	24	0

ตารางที่ ก-4 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาแรก กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก (20 นาที)

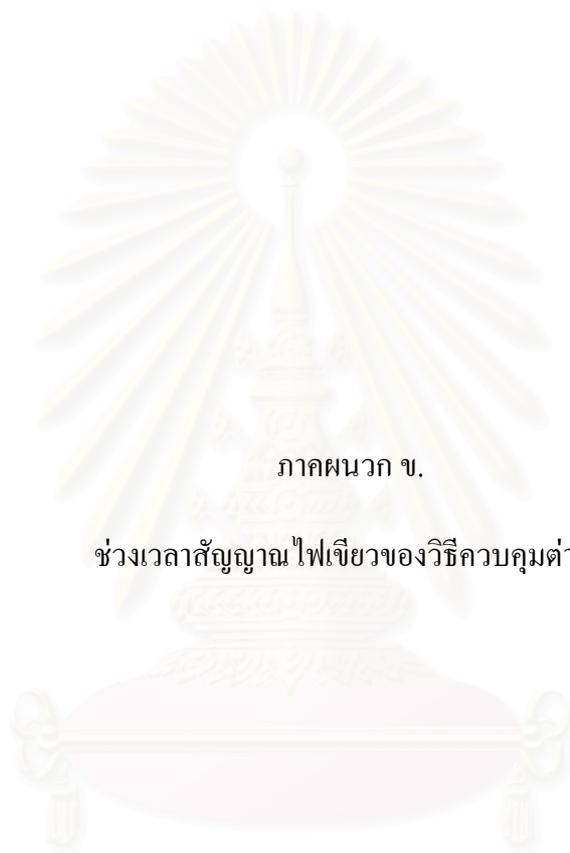
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	4	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8
2	8	0	8	8	4	4	4	201	8	8	40	8
3	8	8	0	8	8	4	4	4	4	4	40	8
4	8	8	8	0	4	4	4	4	4	4	4	8
5	8	40	8	8	0	8	4	4	4	4	201	8
6	4	40	8	8	8	0	8	8	4	4	4	4
7	4	4	8	8	8	8	0	4	4	4	4	4
8	4	201	8	8	40	8	8	0	8	8	4	4
9	4	4	4	4	40	8	8	8	0	8	8	4
10	4	4	4	4	4	8	8	8	8	0	4	4
11	8	4	4	4	201	8	8	40	8	8	0	8
12	8	8	4	4	4	4	4	40	8	8	8	0

ตารางที่ ก-5 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาที่สอง กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก (30 นาที)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	19	19	19	19	19	19	19	37	37	37	37
2	37	0	37	37	19	19	19	918	37	37	184	37
3	37	37	0	37	37	19	19	19	19	19	184	37
4	37	37	37	0	19	19	19	19	19	19	19	37
5	37	184	37	37	0	37	19	19	19	19	918	37
6	19	184	37	37	37	0	37	37	19	19	19	19
7	19	19	37	37	37	37	0	19	19	19	19	19
8	19	918	37	37	184	37	37	0	37	37	19	19
9	19	19	19	19	184	37	37	37	0	37	37	19
10	19	19	19	19	19	37	37	37	37	0	19	19
11	37	19	19	19	918	37	37	184	37	37	0	37
12	37	37	19	19	19	19	19	184	37	37	37	0

ตารางที่ ก-6 ตารางการเดินทางสำหรับช่วงเวลาที่สาม กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก (50 นาที)

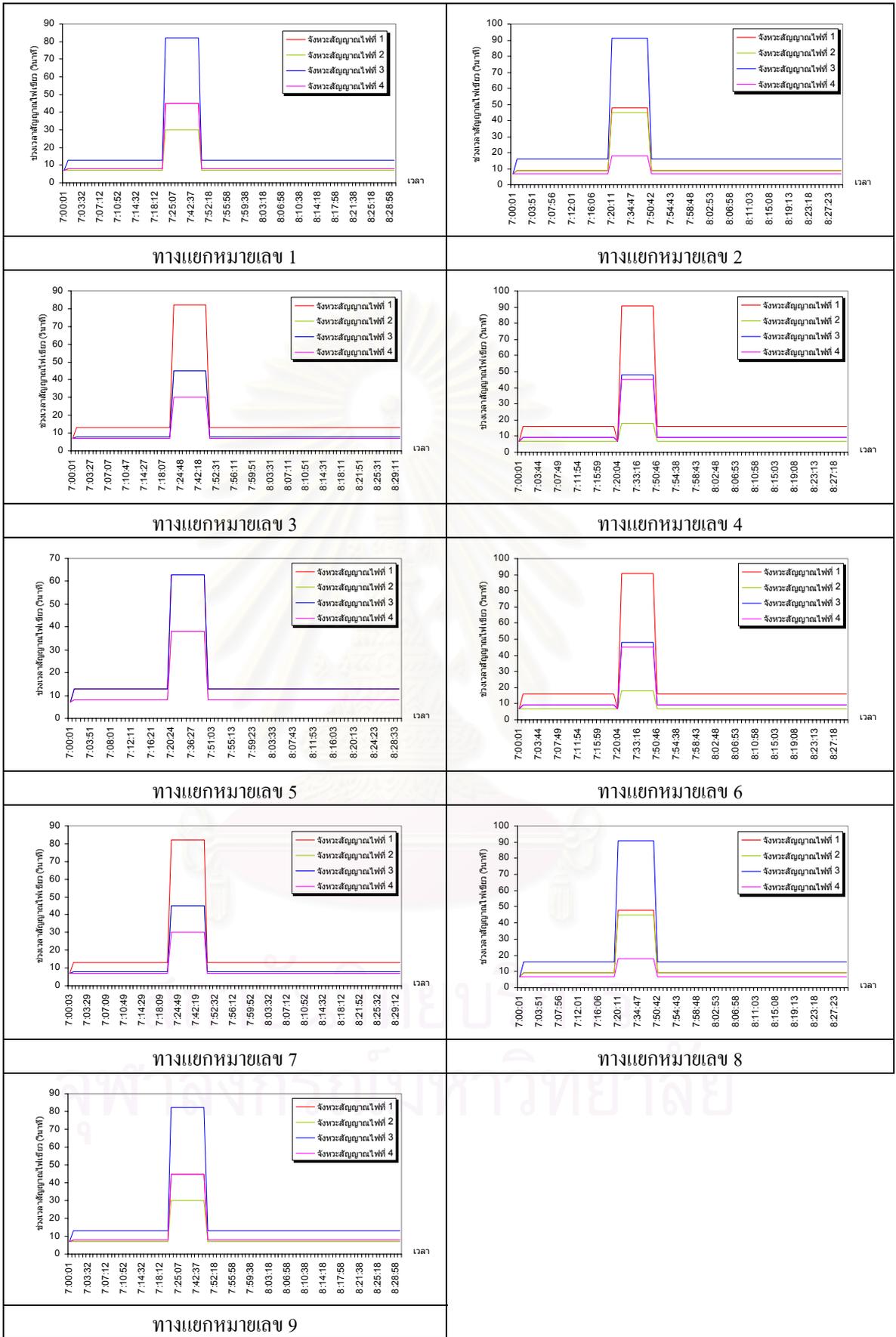
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	8	8	8	8	8	8	8	16	16	16	16
2	16	0	16	16	8	8	8	402	16	16	80	16
3	16	16	0	16	16	8	8	8	8	8	80	16
4	16	16	16	0	8	8	8	8	8	8	8	16
5	16	80	16	16	0	16	8	8	8	8	402	16
6	8	80	16	16	16	0	16	16	8	8	8	8
7	8	8	16	16	16	16	0	8	8	8	8	8
8	8	402	16	16	80	16	16	0	16	16	8	8
9	8	8	8	8	80	16	16	16	0	16	16	8
10	8	8	8	8	8	16	16	16	16	0	8	8
11	16	8	8	8	402	16	16	80	16	16	0	16
12	16	16	8	8	8	8	8	80	16	16	16	0



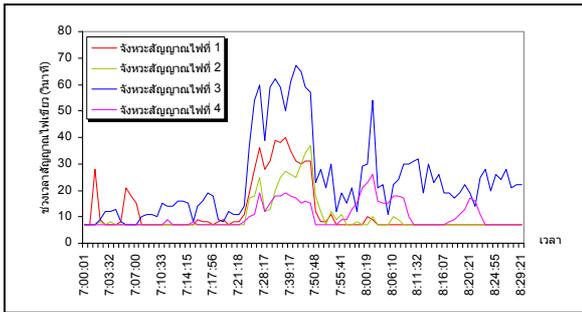
ภาคผนวก ข.

ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีควบคุมต่างๆ

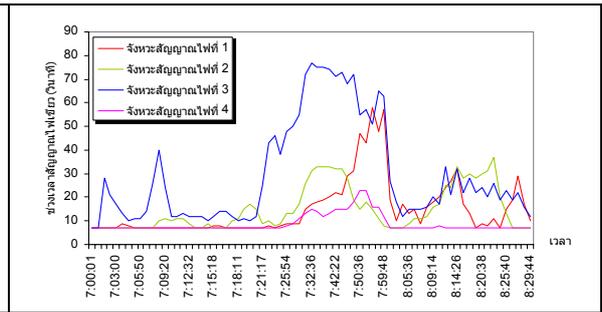
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



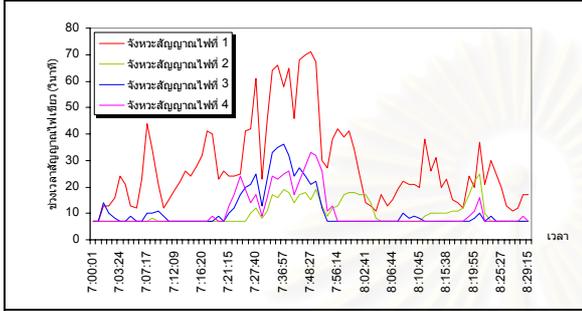
รูปที่ ข-1 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก



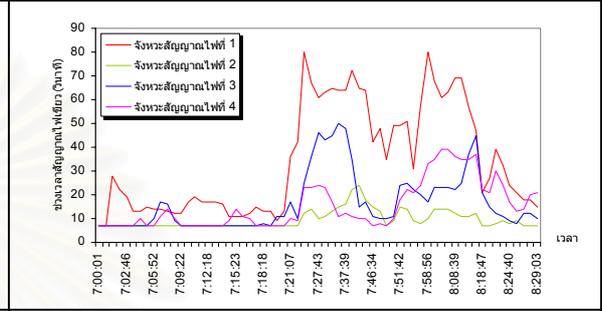
ทางแยกหมายเลข 1



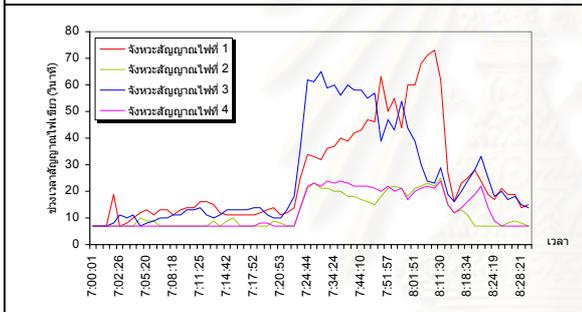
ทางแยกหมายเลข 2



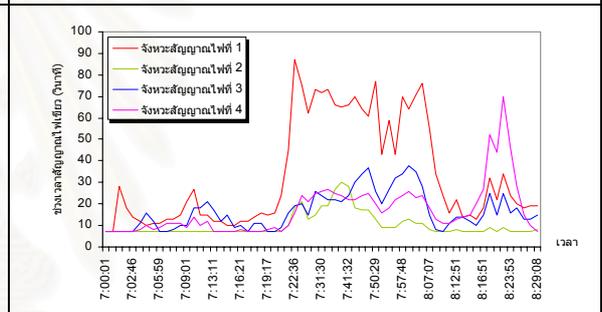
ทางแยกหมายเลข 3



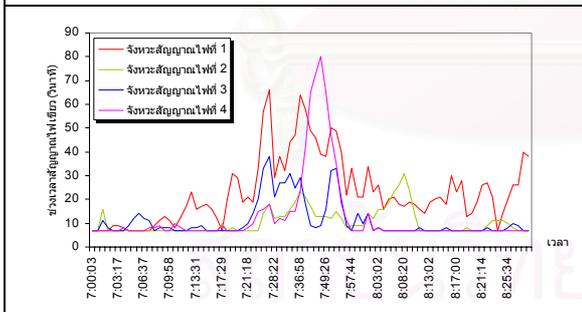
ทางแยกหมายเลข 4



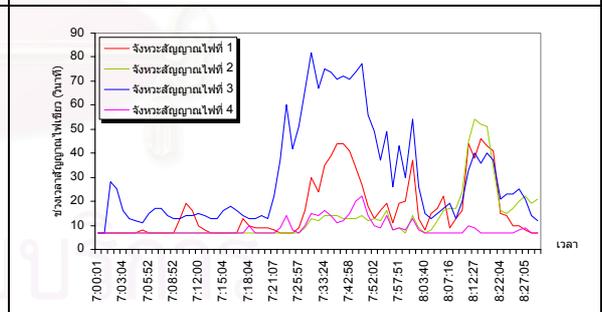
ทางแยกหมายเลข 5



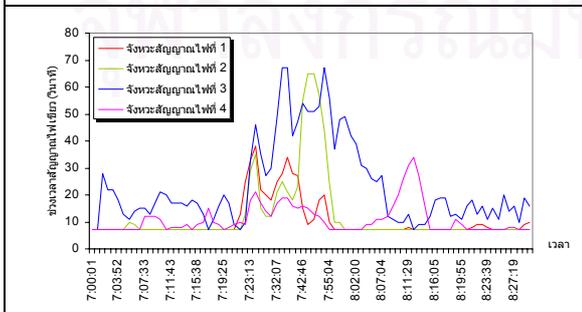
ทางแยกหมายเลข 6



ทางแยกหมายเลข 7

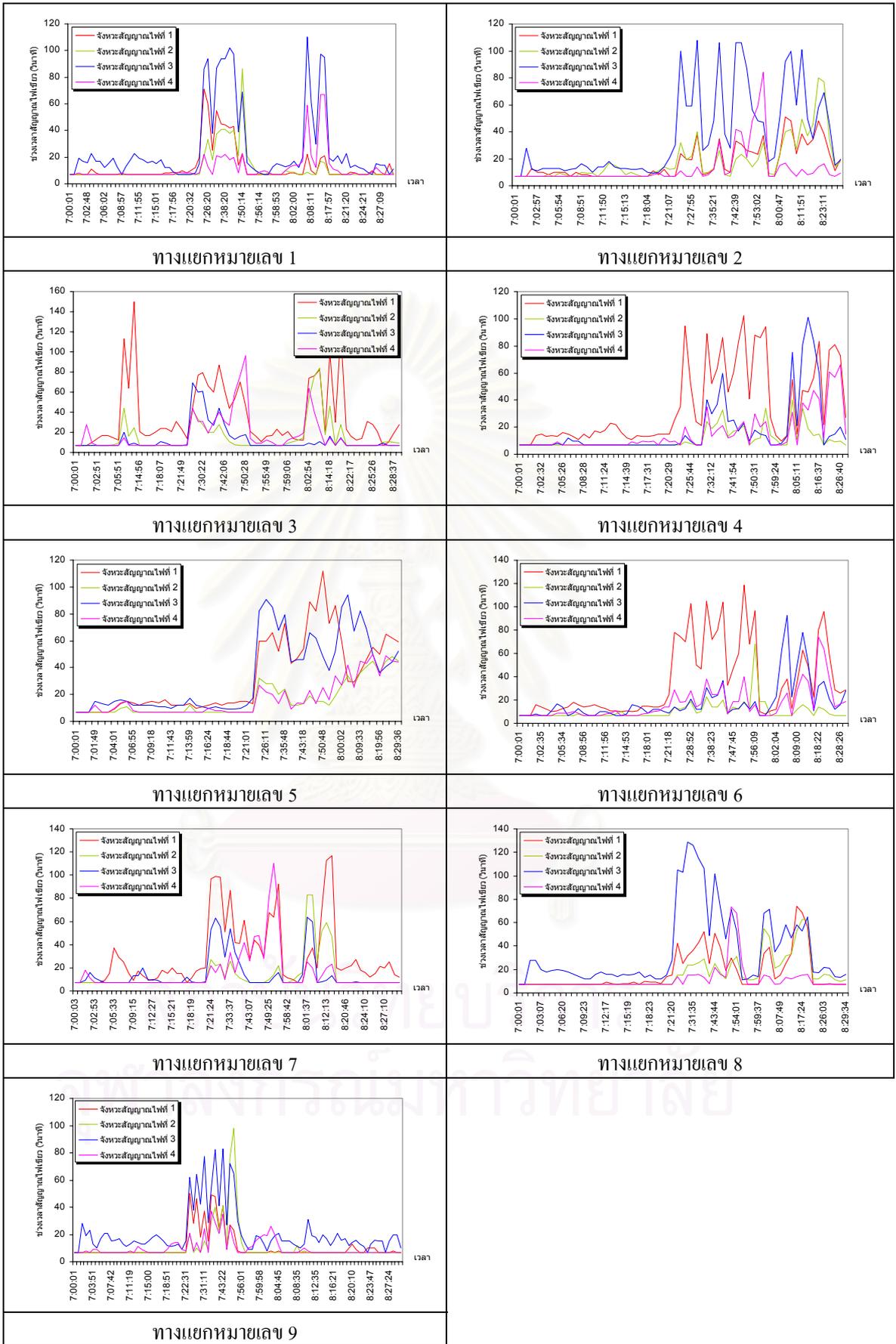


ทางแยกหมายเลข 8

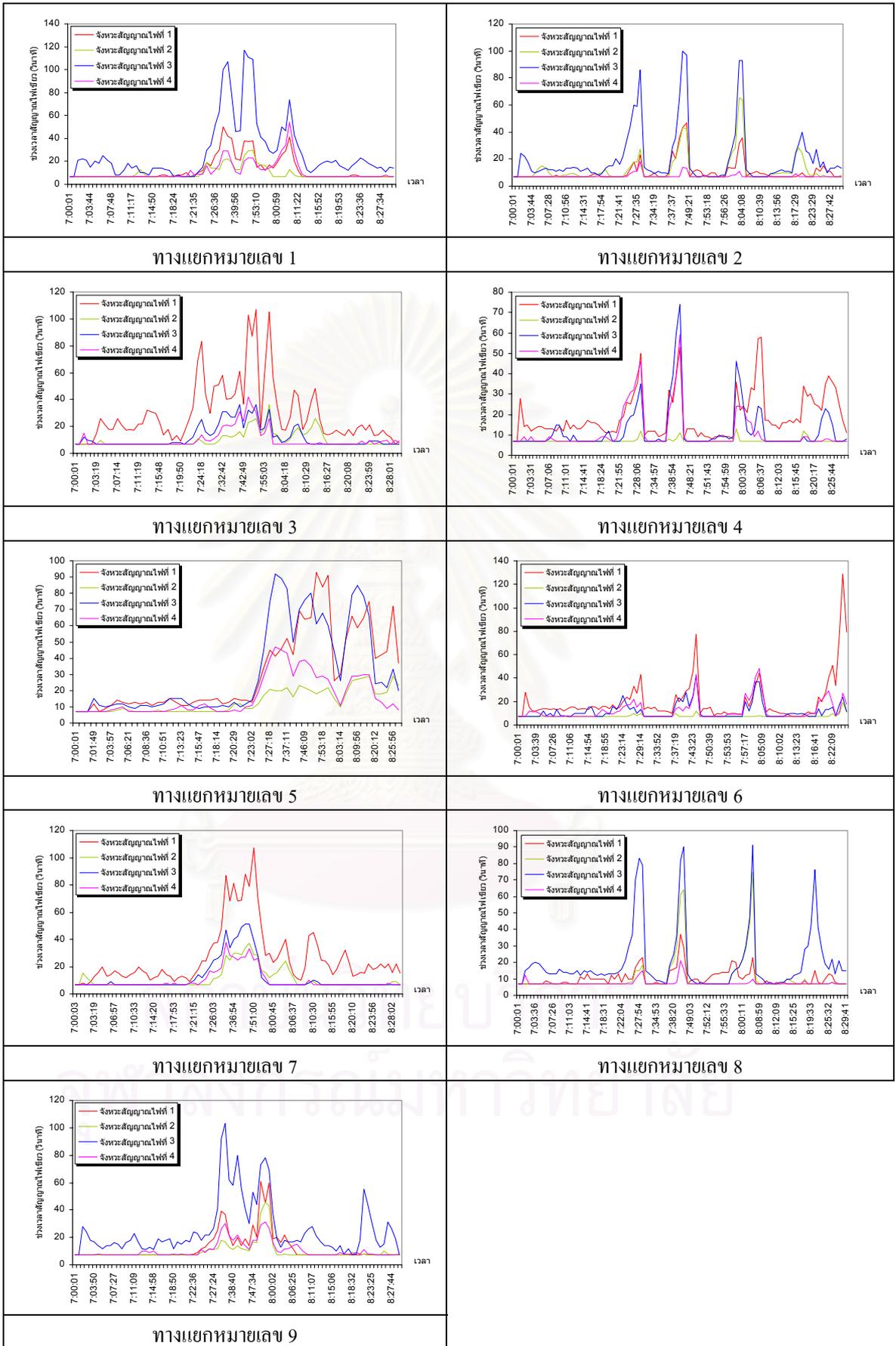


ทางแยกหมายเลข 9

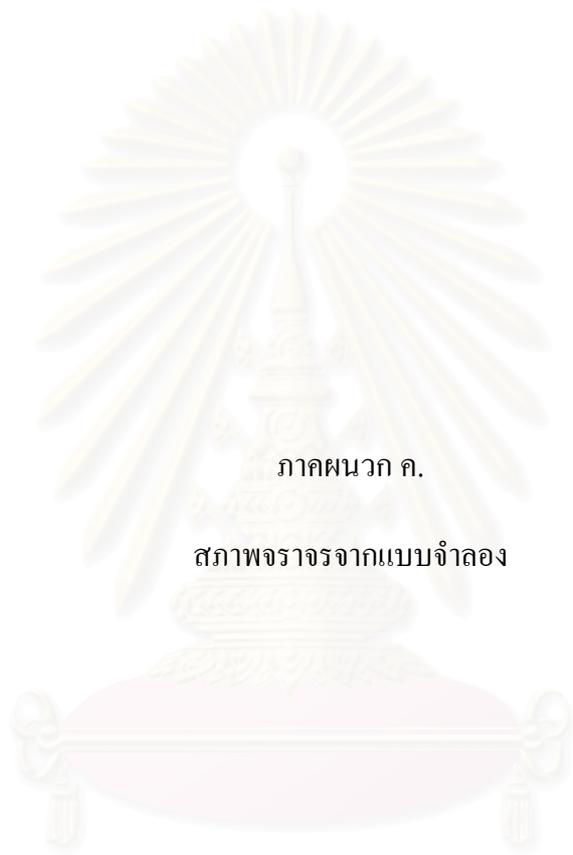
รูปที่ ข-2 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีกควบคุมสัญญาณไฟตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึดตัวจัดแบ่งสัญญาณไฟเขียว กรณีสภาพจราจรอึดตัวมาก



รูปที่ ข-3 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก



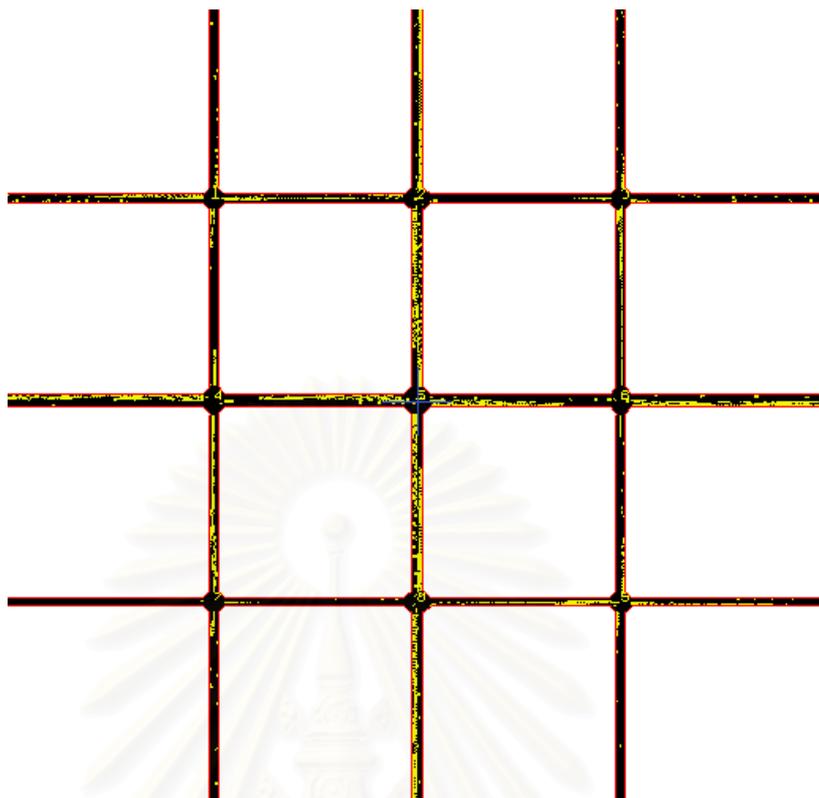
รูปที่ ข-4 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย กรณีสภาพจราจรอึมตัวมาก



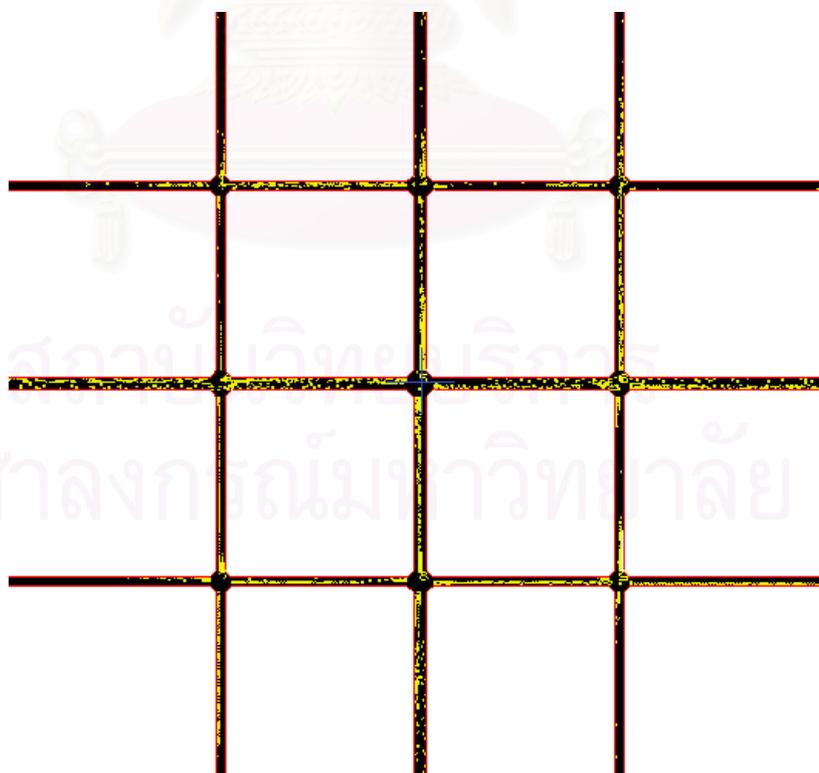
ภาคผนวก ค.

สภาพจราจรจากแบบจำลอง

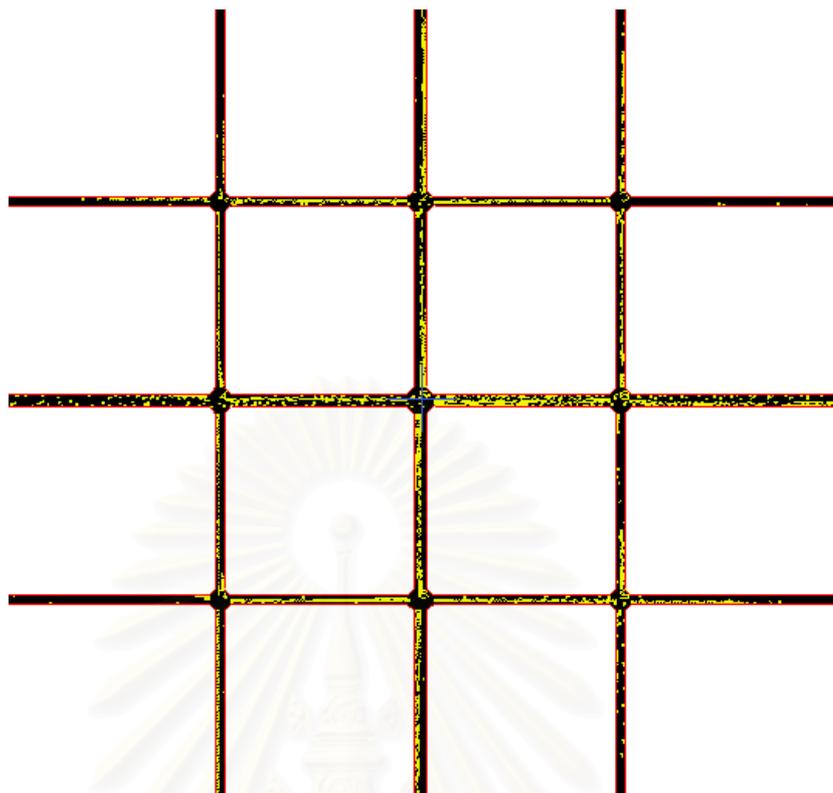
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



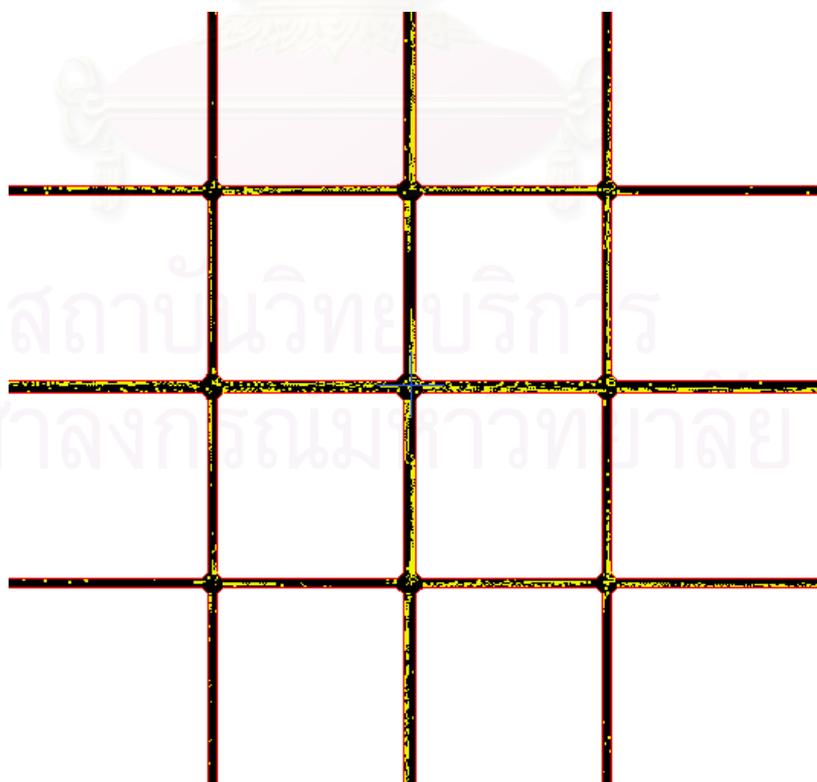
รูปที่ ค-1 สภาพจราจรของวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ ณ เวลา 07:50:00 กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก



รูปที่ ค-2 สภาพจราจรของวิธีควบคุมสัญญาณไฟตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอึมครึมจัดแบ่งสัญญาณไฟเขียว ณ เวลา 07:50:00 กรณีสภาพจราจรอึมครึมมาก



รูปที่ ค-3 สภาพจราจรของวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น ณ เวลา 07:50:00
กรณีสภาพจราจรอึมัวมาก



รูปที่ ค-4 สภาพจราจรของวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแฉวคอย ณ เวลา 07:50:00 กรณีสภาพจราจรอึมัวมาก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทวี วิชัยเมธาวิ เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 ต่อมาเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย