



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ และ คณะ

15 มกราคม 2545

Scan 

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ

ศาสตราจารย์ ดร. ยอดพล ธนาภิบุรณ์

นายปณัฏย์ พุกโพธิ์

สังกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

โครงการวิจัยหลังปริญญาเอก

Scan

SR

บทคัดย่อภาษาไทย

การจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเร่งด่วน เป็นปัญหาที่เรื้อรังที่สามารถบรรเทาได้ด้วยการจัดการจราจรที่ดี โดยการควบคุมการจราจรที่มีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่า จะมีระบบควบคุมการจราจรในปัจจุบัน แต่ยังไม่ทราบประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นชัด การวิจัยครั้งนี้ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้สภาพการจราจรต่าง ๆ กัน โดยเน้นศึกษาสภาพการจราจรหนาแน่น การทดสอบกระทำบนโครงข่ายถนน 3 ประเภท คือ ทางแยกเดี่ยว ทางสายหลักสายเดี่ยว และ โครงข่ายถนน(ตาข่าย) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นำมาทดสอบมีหลายวิธีตั้งแต่วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ จนถึงวิธีควบคุมปรับเปลี่ยนได้โดยใช้ข้อมูลแบบทันกาล ปริมาณการจราจรที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ปริมาณการจราจรคงที่ และ ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา การทดสอบมุ่งหาประสิทธิภาพของการจราจรภายใต้การควบคุมวิธีการต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ทำโดยโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร และ เปรียบเทียบตัวชี้วัด เช่น ความล่าช้า แกวคอย อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และ อื่น ๆ ผลของการควบคุมสัญญาณไฟแต่ละวิธีนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละสถานการณ์การจราจร ผลที่ได้จากการวิจัยจะชี้แนะวิธีการควบคุมและจัดการจราจรที่จะช่วยลดปัญหาการติดขัดได้

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)

Urban traffic congestion during peak period is the perpetual problem that could be alleviated by better management through more efficient traffic signal control. Although there are many traffic control systems available, the efficiency of their control in saturated traffic conditions are not recognized. This research investigates several traffic control methods under various traffic volume conditions, with focus on saturated traffic conditions. Several signal control techniques are tested under three road configurations, an isolated intersection, a corridor, and a grid network, during the period of traffic saturation. The signal control methods range from fixed time to real-time adaptive control. Two main types of volume scenarios are tested; constant and time-dependent. The efficiency of traffic operations in various traffic conditions and signal control methods are then obtained. The analyses are mainly conducted using CORSIM simulation. The impacts of the control on delay, queue, fuel consumption, and other indicators are assessed. The results of each control are compared and the control that yields the highest performance in each traffic scenario is disclosed. The results of the research will lead to the better traffic control and operation which accounts for congested conditions.

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดหลายตัว ได้แก่ ปริมาณรถที่ผ่านทางแยก ความล่าช้าเฉลี่ย เวลาในแถวคอย อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ที่มาของงานวิจัยในขั้นนี้มาจากข้อเท็จจริงที่ปัจจุบันยังไม่มีผลการวิจัยที่แน่ชัดว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีใดที่มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปปฏิบัติในสภาพการจราจรหนาแน่น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัย 3 ประการหลัก คือ ลักษณะกายภาพของถนน สถานการณ์ปริมาณการจราจร และ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้กำหนดลักษณะกายภาพของถนนเป็น 3 ประเภท คือ ทางแยกเดี่ยว สายทางหลักสายเดี่ยว และ โค้งข่ายถนน (ตาข่าย) สถานการณ์ปริมาณการจราจรแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ ปริมาณการจราจรคงที่ และ ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา ส่วนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟนั้น ในแต่ละกรณีจะทดสอบวิธีการควบคุมต่าง ๆ กัน ตามความเหมาะสม โดยจะแบ่งวิธีการควบคุมออกเป็น 2 ประเภท คือ วิธีการควบคุมที่ใช้ข้อมูลการจราจรแบบไม่ทันกาล และ วิธีการควบคุมที่ใช้ข้อมูลการจราจรแบบทันกาล และ เปลี่ยนแปลงการควบคุมตามสภาพการจราจรจริง

วิธีการดำเนินงานในการวิจัยในครั้งนี้ คือ การรวบรวมวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดี และนำมาคัดเลือกหาวิธีการที่เหมาะสม สำหรับสถานการณ์จราจรหนึ่ง ๆ หลังจากออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้ว จะนำวิธีการควบคุมดังกล่าวมาทดลองบนโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร จากนั้นนำผลที่ได้จากโปรแกรมมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และ สรุปผล

วิธีการควบคุมที่นำมาใช้ทดสอบจะแตกต่างกันในแต่ละสถานการณ์การจราจร โดยจะทดสอบบนทางแยกเดี่ยว 2 วิธี บนสายทางหลักสายเดี่ยว 10 วิธี และ บนโค้งข่าย 6 วิธี การทดสอบบนทางแยกเดี่ยว และ บนโค้งข่ายถนน จะเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ปริมาณการจราจรหลายสถานการณ์ในขณะที่บนสายทางหลักสายเดี่ยวจะทดสอบสถานการณ์ปริมาณการจราจรเพียง 2 แบบ

สถานการณ์จราจรที่ทดสอบ จะมีระดับของปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ระดับเบาบาง จนถึงระดับหนาแน่น โดยมีรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณการจราจรคงที่ตลอดช่วงเวลา และ เปลี่ยนแปลงมีระดับสูง (Peek) ในช่วงหนึ่ง โดยในช่วงเวลาที่มีระดับปริมาณการจราจรสูงนี้ อาจมีระดับปริมาณการจราจรสูงเกินความสามารถของการบริการของถนน และทำให้เกิดการติดขัด (Oversaturation) บนถนน

โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่นำมาพิจารณา คือ โปรแกรม TRANSYT และ โปรแกรม CORSIM ซึ่งผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า โปรแกรม TRANSYT (Version 8.1) ไม่สามารถจำลองสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก จึงมาสรุปผลได้เฉพาะส่วนเท่านั้น ดังนั้น ผลการศึกษาจะมาจากผลของโปรแกรม CORSIM เป็นส่วนใหญ่

ผลการวิจัย พบว่า ในสถานการณ์การจราจรแตกต่างกัน จะมีวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมแตกต่างกันไปด้วย ถ้าสรุปโดยทั่วไป มีดังต่อไปนี้

- บนทางแยกเดี่ยว -- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น จะทำให้เกิดความล่าช้า เวลาในแถวคอยน้อยที่สุด เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรต่ำ

- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟยาว จะทำให้เกิดอัตราเผาผลาญเชื้อเพลิงต่ำ เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรสูง แต่ทั้งนี้จะทำให้ปริมาณรถที่ผ่านทางแยกน้อยกว่า วิธีอื่น ๆ
- บนถนนสายหลักสายเดียว -- วิธีการ Negative offset ให้ผลการควบคุมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ส่วนวิธีการตั้งความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นจะทำให้เกิดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด
- เมื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบตันกาลแล้ว วิธีการ Input Volume จะให้ผลการควบคุมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ในขณะที่วิธีการ Available Storage ให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด
- บนโครงข่ายถนน -- วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีตผลการควบคุมดีที่สุด อย่างไรก็ตาม วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน และ วิธีการ Available Storage จะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณการจราจร จึงไม่สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้อย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ฝ่ายการสนับสนุนการวิจัยเชิงวิชาการ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เป็นอย่างสูงที่กรุณาสับสนุนทุนวิจัยหลังปริญญาเอก (PDF14/2542) จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี และ ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ยอดพล ธนาภิบุรณ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาในการเป็นนักวิจัยที่ปรึกษา กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และ การสนับสนุนจนทำให้งานสำเร็จอย่างสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบคุณ นายปณัสน์ พุกโพธิ์ ที่ได้ร่วมดำเนินการวิจัย และจัดการด้านการดำเนินงานอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณนักศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อันประกอบไปด้วย นายสรวิชย์ องค์ประเสริฐ, นายสรณะ สิริสิงห์ และ นางสาววาทีณี เตชะชัยอนันต์ ในความช่วยเหลือดำเนินงานวิจัยในบางส่วน

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอสำนึกในพระคุณของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันการศึกษาที่ผู้เขียนเข้าศึกษา ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านต่าง ๆ รวมทั้งประสาทวิชาจนทำให้ผู้เขียนมีความรู้ และสามารถทำงานได้สำเร็จ

สรวิศ นฤปิติ

มกราคม 2545

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract).....	ค
หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary).....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 การทบทวนผลงานในอดีต.....	6
2.1 การควบคุมสัญญาณไฟ	6
2.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบาง.....	6
2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอึดอัด.....	9
2.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่.....	15
2.5 การควบคุมสัญญาณไฟเมื่อมีปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป.....	20
บทที่ 3 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร.....	22
3.1 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (Traffic Simulation Programs).....	22
3.2 การเปรียบเทียบและคัดเลือกโปรแกรมสำหรับทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟ ในสภาพจราจรอึดอัด	24
3.3 โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT).....	24
3.4 โปรแกรม CORSIM (NETSIM).....	37
บทที่ 4 การออกแบบการศึกษา (Design of Study).....	39
4.1 สภาพการจราจรหนาแน่น (Congested Condition).....	39
4.2 การออกแบบและกำหนดถนนและค่าสัญญาณไฟเริ่มต้น.....	40
4.3 การทดสอบการใช้งานโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร.....	44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.4 การออกแบบการทดสอบ (Design of Experiment).....	51
4.5 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร.....	67
บทที่ 5 ผลการวิจัย.....	68
5.1 ผลการศึกษานทางแยกเดี่ยว.....	68
5.2 ผลการศึกษานถนนหลักสายเดี่ยว.....	73
5.3 ผลการศึกษานโครงข่ายถนน.....	81
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	103
เอกสารอ้างอิง	106
ภาคผนวก	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพจราจรในปัจจุบันด้วยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	24
3.2 ดัชนีการกระจายตัว (Platoon Dispersion Index).....	28
3.3 ระดับการให้บริการสำหรับทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ.....	33
4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการเกิดแถวคอยด้วยโปรแกรม TRANSYT.....	45
4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม TRANSYT กับการคำนวณ...	46
4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการเกิดแถวคอยด้วยโปรแกรม CORSIM.....	48
4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม CORSIM กับการคำนวณ....	50
4.5 ปริมาณจราจรและช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษาทางแยกเดี่ยว.....	55
4.6 ปริมาณจราจรคงที่ที่ใช้ในการศึกษาโครงข่าย.....	62
4.7 ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้ในการศึกษาโครงข่าย.....	64
5.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต.....	82

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน.....	8
2.2	วิธีการกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยก.....	10
2.3	การจัดค่าออฟเซตเพื่อความเป็นธรรม.....	12
2.4	วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางหลัก.....	12
2.5	Cyclic Flow Profiles.....	16
2.6	หลักการทำงานของเทคนิควิรอนเน็ตเวิร์ค.....	19
2.7	หลักการทำงานของ Fuzzy Logic.....	20
2.8	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อขจัดแถวคอย.....	21
3.1	ลักษณะรูปแบบการจราจรแยกปริมาณการจราจรขาเข้าและปริมาณการจราจรขาออก.....	26
3.2	ลักษณะของรูปแบบการจราจรรวม.....	26
3.3	ความล่าช้าสม่ำเสมอ.....	31
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะทางของการเข้าและออกจากแถวคอยของยวดยาน.....	34
4.1	โครงข่ายของแบบจำลองและลักษณะทางกายภาพของทางแยกเดี่ยว.....	41
4.2	โครงข่ายถนนสายหลักสายเดี่ยว.....	42
4.3	ทางแยกในโครงข่ายถนนสายหลักสายเดี่ยว.....	42
4.4	โครงข่ายของแบบจำลองโครงข่ายถนน(ลักษณะเป็นตาข่าย).....	43
4.5	ลักษณะทางกายภาพของทางแยกในโครงข่ายถนน(ลักษณะเป็นตาข่าย).....	44
4.6	ความยาวแถวคอยสูงสุดใน TRANSYT ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ.....	46
4.7	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแถวคอย (TRANSYT).....	47
4.8	ความยาวแถวคอยสูงสุดใน CORSIM ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ.....	49
4.9	ความยาวแถวคอยเฉลี่ยใน CORSIM ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ.....	49
4.10	ความคลาดเคลื่อนของความยาวแถวคอย (CORSIM).....	51
4.11	จังหวะสัญญาณไฟสำหรับทางแยกเดี่ยว.....	53
4.12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤต.....	54
4.13	จังหวะสัญญาณไฟสำหรับทางแยกในโครงข่ายถนนหลักเดี่ยว.....	57
4.14	การจราจรที่เข้าสู่ถนนหลัก.....	58
4.15	จังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุด (เริ่มต้น) ของทางแยกของถนนแบบโครงข่าย.....	61
4.16	ปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรอิมพัลส์.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเดี่ยว.....	69
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับเวลาในแถวคอยของทางแยกเดี่ยว.....	69
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับการเผผลาญเชื้อเพลิงของทางแยกเดี่ยว.....	70
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ของทางแยกเดี่ยว.....	70
5.5	ความล่าช้าเฉลี่ย ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีทางแยกเดี่ยว).....	71
5.6	เวลาในแถวคอย ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีทางแยกเดี่ยว).....	72
5.7	อัตราการเผผลาญเชื้อเพลิง ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีทางแยกเดี่ยว).....	72
5.8	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลง (กรณีทางแยกเดี่ยว).....	73
5.9	ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	74
5.10	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	74
5.11	เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	75
5.12	ความเร็วเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	75
5.13	อัตราการเผผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจร คงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	76
5.14	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการ จราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก).....	76
5.15	ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจร เปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก).....	77
5.16	เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก).....	77
5.17	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก).....	77
5.18	อัตราการเผผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลใน สภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก).....	78
5.19	ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลใน สภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก).....	78
5.20	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก).....	79
5.21	การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก).....	79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.22 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก).....	80
5.23 การเปรียบเทียบเวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก).....	80
5.24 การเปรียบเทียบอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)....	81
5.25 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)	81
5.26 ความล่าช้าเฉลี่ยจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน).....	83
5.27 จำนวนครั้งที่หยุดจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน).....	83
5.28 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน).....	83
5.29 ดัชนีวัดความไม่พอใจจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน).....	84
5.30 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน).....	85
5.31 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรคงที่เฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง (กรณีโครงข่ายถนน)	86
5.32 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน).....	87
5.33 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง ในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน).....	87
5.34 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน).....	88
5.35 จำนวนรถยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤติในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน).....	89
5.36 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรเบาบาง).....	89
5.37 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรใกล้จุดอิมตัว).....	90
5.38 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรอิมตัว).....	91
5.39 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที).....	92
5.40 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา).....	92
5.41 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ 3 กับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป.....	93
5.42 ความล่าช้าเฉลี่ย ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรช่วงที่สองเป็นปริมาณจราจรอิมตัว).....	93
5.43 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที).....	94
5.44 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่า ปกติยาว 10 นาที)	94
5.45 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่า ปกติยาว 10 นาที)	95
5.46 จำนวนรถยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤติในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูง กว่าปกติยาว 10 นาที).....	95
5.47 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที).....	96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.48 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที).....	96
5.49 อัตราการเผาน้ำมันเชื้อเพลิง ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	96
5.50 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	97
5.51 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤต ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที).....	98
5.52 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา.....	98
5.53 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงขึ้นแต่ยังต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก	99
5.54 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (แต่ยังไม่มีแถวคอยย้อนกลับไปบึงทางแยกก่อนหน้า).....	99
5.55 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (และมีแถวคอยย้อนกลับไปบึงทางแยกก่อนหน้า).....	100
5.56 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1).....	101
5.57 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2).....	101
5.58 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3).....	101
5.59 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4).....	102
5.60 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5).....	102

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาการจราจรนับเป็นปัญหาสังคมที่ส่งผลกระทบต่อความสูญเสียของผู้เดินทางและส่งผลถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจของประเทศ ปัญหาการจราจรนี้ได้รับความสนใจของบุคคลทั่วไป เนื่องจากเป็นปัญหาที่ประสบโดยประชาชนทุกคน ในแต่ละวันผู้เดินทางจะต้องสูญเสียเวลาในการสัญจรเพื่อเดินทางไปทำกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบาย และก่อให้เกิดความเครียดและมลภาวะ รัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้ให้ความสำคัญกับการแก้ไขปัญหารถจราจรเป็นอย่างมาก โดยทุ่มงบประมาณในการหามาตรการที่จะบรรเทาปัญหาในปัจจุบัน และป้องกันปัญหาที่อาจจะทวีความรุนแรงในอนาคต

มาตรการหนึ่งที่สำคัญที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหารถจราจร คือการจัดการจราจร เพื่อใช้ระบบถนนที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การจัดการจราจรเป็นการใช้หลักการทางวิศวกรรมจราจร เพื่อควบคุมสภาพการจราจรให้สามารถดำเนินไปได้สะดวก และปลอดภัย นอกเหนือจากการปรับปรุงถนน (Road Treatment) แล้ว การควบคุมการจราจร (Traffic Control) นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญในการจัดการจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมการจราจรโดยใช้สัญญาณไฟ ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กับถนนในเขตเมืองหรือถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง มีการติดตั้งบนทางแยกต่าง ๆ ในเขตเมืองอย่างกว้างขวาง การจัดการจราจรในปัจจุบันอาศัยการควบคุมสัญญาณไฟเป็นหลัก ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟเป็นแนวทางในการจัดการจราจรที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่สุด และใช้งบประมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการจัดการจราจรแนวทางอื่น เช่น การเพิ่มพื้นผิวการจราจร เป็นต้น การปรับปรุงสัญญาณไฟเพียงอย่างเดียวสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของทางแยกได้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Gartner and Hou, 1992)

ในกรุงเทพมหานครมีการติดตั้งสัญญาณไฟควบคุมการจราจรอย่างเป็นระบบอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 หลังจากนี้มีการติดตั้งและเริ่มใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่ (Area Traffic Control) ในปี พ.ศ. 2540 โดยที่โครงการระยะแรกครอบคลุมพื้นที่ 31 ตารางกิโลเมตร รวมทางแยก 143 แห่ง ในเขตพื้นที่ชั้นใน โครงการนี้จะขยายเพื่อครอบคลุมทางแยกเพิ่มขึ้นอีก 226 ทางแยก และคาดว่าจะแล้วเสร็จในอีกประมาณ 2 ปีข้างหน้า

การควบคุมสัญญาณไฟเป็นพื้นที่นี้ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์อย่างกว้างขวาง อันสืบเนื่องจากความไม่เชื่อมั่นในประสิทธิภาพที่ได้รับจากการควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีรถหนาแน่นมากเป็นระยะเวลานาน ๆ มีข้อโต้แย้งมากมายจากหน่วยงานที่ดูแลด้านการควบคุมการจราจร และ ยังอยู่ในระหว่างการประเมินผลการดำเนินการ

เหตุผลประการหนึ่งที่ทำให้การควบคุมสัญญาณไฟอาจเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ คือ การจราจรบนถนนที่มีรูปแบบและระยะเวลาที่เกิดสภาพการจราจรนั้นไม่คงที่ ซึ่งหมายถึงสภาพการจราจรบางอย่างที่เปลี่ยนไปเป็นสภาพการจราจรอีกรูปแบบหนึ่งและเปลี่ยนกลับมาเป็นสภาพการจราจรบางอย่างอีกครั้งหนึ่ง อันจะทำให้การควบคุมสัญญาณไฟไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เป็นอยู่ในขณะนั้น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้จะส่งผลต่อการจราจรรูปแบบหนึ่ง แต่ในทางกลับกันวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้จะไม่เหมาะสมต่อการจราจรอีกรูป

แบบหนึ่งก็ได้ ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรและรูปแบบของการจราจรได้ดีกว่า น่าจะทำให้การจัดการจราจรโดยรวมได้ผลดีกว่าด้วยและจะสามารถช่วยลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการจราจรซึ่งคิดเป็นมูลค่ามหาศาลได้

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น และมีผลกระทบต่อจราจรโดยรวมเป็นอย่างมาก การจราจรคับคั่งมาก (Oversaturation) เป็นช่วงเวลาที่การจราจรติดเป็นแถวคอยเป็นระยะเวลานานและแถวคอยนั้นส่งผลกระทบต่อจราจร ณ ตำแหน่งอื่น ๆ บนถนน เช่น ทางแยกที่อยู่ติดกัน ถึงแม้ว่าสภาพการจราจรหนาแน่นเกิดเป็นระยะเวลานั้น ๆ แต่มีส่งผลให้การจราจรกลับคืนสู่สภาพปกติได้ต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟและบรรเทาปัญหาจราจร

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นได้รับการศึกษาจากผู้วิจัยทั่วโลกเพราะเล็งเห็นถึงความสำคัญของการแก้ไขสภาพคับคั่งของรถในช่วงนี้ วิจัยการที่ใช้อยู่เดิมไม่ค่อยก้าวหน้ามากนัก เนื่องจากไม่มีเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ที่ดี ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าไปมาก และมีพัฒนาแบบจำลองการจราจรที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้ดีขึ้น แต่ถึงกระนั้นก็ตามความรู้ทางวิธีการควบคุมประเภทยังมีอยู่ไม่มากนัก และเป็นที่สนใจในแวดวงวิชาการเป็นอย่างมาก

ดังนั้นการศึกษากการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นจะให้ประโยชน์ต่อวิชาการด้านจราจรและขนส่ง ความรู้ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น เพื่อหาประสิทธิภาพของการควบคุมด้วยวิธีต่าง ๆ โดยทำการศึกษากายใต้เงื่อนไขการจราจรต่าง ๆ เช่น ปริมาณการจราจร และโครงข่ายถนน เป็นต้น
2. เพื่อสร้างวิธีการทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้แบบจำลองการจราจร แทนการทดสอบในสนาม นอกจากนี้วิธีการควบคุมที่ดีที่สุดจะถูกเชื่อมโยงในแบบจำลองการจราจรเพื่อหาประสิทธิภาพของการควบคุมโดยเปรียบเทียบกับควบคุมในปัจจุบันจากสภาพการจราจรจริง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟอาศัยการจำลองสภาพการจราจร (Traffic Simulation) โดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกและทดสอบโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่มีอยู่ โดยเน้นโปรแกรมทรานสิต TRANSYT-7F (TRAFFIC Network Study Tool, Version 7F) และ โปรแกรม NETSIM (NETwork SIMulation) ในการจำลองสภาพการจราจรเพื่อทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรต่าง ๆ
2. โครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยโครงข่ายประเภทต่างๆ เป็นตัวแทนของลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการควบคุมในสถานการณ์ของลักษณะโครงข่ายต่างๆ

3. ปริมาณการจราจรที่ใช้ทดสอบจะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบในสภาพจราจรอิมิตัว แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบในสภาพจราจรอื่น ๆ ก็ยังเป็นสิ่งจำเป็น อันได้แก่ สภาพจราจรเบาบาง และ สภาพจราจรใกล้จุดอิมิตัว
4. วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้อาจแบ่งได้ 4 กลุ่ม มีดังต่อไปนี้
 - วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงความล่าช้าที่เกิดขึ้น ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟเพื่อจัดทำให้มีการล่าช้าที่เกิดขึ้นเท่ากันทุกทิศทางโดยจัดสัญญาณไฟเขียวให้ตามสัดส่วนของปริมาณที่เข้ามาสู่ทางแยก เช่น การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของ Webster
 - วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟให้ความสำคัญแก่ทิศทางใดทิศทางหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น วิธีการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักให้สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไป วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง
 - วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกโดยอาศัยตัววัดปริมาณจราจร ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟเหมาะกับสภาพจราจรที่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากใช้ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของรอบสัญญาณไฟก่อนหน้าเป็นปัจจัยในการจัดสัญญาณไฟในรอบสัญญาณไฟต่อไป
 - วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป ได้แก่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการจัดสัญญาณไฟในรอบสัญญาณไฟต่อไป
 - วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น ๆ ที่นำไม่นำมาทดสอบ ได้แก่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณน้อย วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณมาก และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ซึ่งมีวิธีข้อจำกัดด้านข้อมูลจราจรที่ใช้ในหลักการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. รวบรวมการศึกษาและวิจัยในอดีต ทำให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยหาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ และผลการศึกษาในแต่ละแนวทาง นอกเหนือจากการรวบรวมประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีต่าง ๆ แล้ว การศึกษางานวิจัยในอดีตจะทำให้สามารถกำหนดแนวทางการศึกษาได้แน่ชัดมากขึ้น และสามารถดำเนินการวิจัยที่เป็น original และ cutting edge ได้
2. การทดสอบการศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟ เมื่อทราบวิธีการศึกษาที่จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้แล้ว จะทดสอบวิธีการดังกล่าวด้วยเครื่องมือ (Tools) ที่มีอยู่ การทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ จะใช้แนวทางการทดสอบบนแบบจำลองการจราจร (Traffic Simulation) โดยจะทดสอบกับแบบจำลองทั้งแบบ Macroscopic และ Microscopic Model เพื่อหาความเหมาะสมในการใช้แบบจำลองดังกล่าวในการจำลองสภาพการจราจรหนาแน่น โปรแกรมที่คาดว่าจะใช้ในโครงการนี้ คือ TRANSYT - 7 และ CORSIM ในการทดสอบดังกล่าวนอกจากจะทดลองใช้โปรแกรมต่าง ๆ แล้วยังรวมถึงการทดลองขบวนการจำลองและประเมินผลที่ได้รับจากแบบจำลองดังกล่าวด้วย ก่อนที่จะทำการวิจัยในขั้นต่อไป อาทิเช่น ลำดับการใส่ค่าการจราจรและความผันแปรของข้อมูล เพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องพอเพียง การประเมินผล

การจราจรได้มาจากการเปรียบเทียบสภาพการจราจรที่ได้จากแบบจำลองกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง การทดสอบกระบวนการศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟหมายรวมถึงการทดสอบโปรแกรมแบบจำลองและการปรับแก้ และการเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากสนาม

3. การออกแบบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นและการออกแบบการศึกษา หลักการดังที่กล่าวมาในการศึกษาผลงานในอดีตจะนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสัญญาณไฟ การทดสอบเบื้องต้นทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ของวิธีการควบคุมก่อนนำไปวิเคราะห์เบื้องต้นต่อไปจากนั้นออกแบบการศึกษาเพื่อใช้เป็นหลักในการทดสอบ โดยคำนึงถึงการศึกษาและความถูกต้องทางสถิติของคำตอบและจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ
4. การทดสอบเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีต่าง ๆ เปรียบเทียบผลที่ได้รับจากการทดสอบด้วยวิธีการควบคุมวิธีต่าง ๆ โดยใช้ตัววัดประสิทธิผล (Measure of Effectiveness) ต่าง ๆ การทดสอบเปรียบเทียบทำได้โดยการสมมติสภาพการจราจรที่หนาแน่นขึ้น (หรือ อาจนำมาจากสภาพการจราจรในสนามที่เกิดขึ้นจริง) มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการทดลองปรับเปลี่ยนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ จากนั้น รวบรวมผลของการควบคุมที่มีต่อการจราจรในรูปของค่าการจราจร เช่น ความล่าช้า ความยาวของแถวคอย จำนวนรถที่ผ่านทางแยก ระยะเวลาของการติดขัด เป็นต้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจะกระทำภายใต้สภาพการจราจรต่าง ๆ โดยเน้นในสภาพการจราจรหนาแน่น และมีผลกระทบต่อเนื่องต่อโครงข่ายถนน เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ (Secondary Congestion) การทดสอบจัดทำขึ้นบนแบบจำลองการจราจร

แบบจำลองการจราจรที่ใช้ศึกษาจะได้รับการทดสอบ เพื่อทราบถึงความถูกต้องของผลที่ได้ ทั้งนี้แบบจำลองการจราจรจะสามารถจำลองการจราจรที่แปรเปลี่ยน (Dynamic) ได้

การประยุกต์วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ เพื่อใช้ในสภาพการจราจรจริง จะใช้ตัวอย่างของสภาพการจราจรที่ได้ในสนามเพื่อนำมาจำลอง และทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการควบคุม และหาวิธีการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อองค์ความรู้และการวิจัยด้านการจราจร ประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ในภาคปฏิบัติ และ ประโยชน์ต่อรัฐและประเทศ

การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจะทำให้ทราบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ เนื่องจากปัญหาการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นเป็นที่สนใจของนักวิจัยเป็นอันมากทั่วโลก ในการประชุมวิชาการใหญ่มักมีช่วงการสัมมนาในหัวข้อนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัญหาการจราจรหนาแน่นเป็นที่สนใจของนักวิจัยเป็นอันมากทั่วโลก ในการประชุมวิชาการใหญ่มักมีช่วงการสัมมนาในหัวข้อนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัญหาการจราจรเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ทุกคนให้ความสนใจ การศึกษาในครั้งนี้จะสามารถพัฒนาองค์ความรู้และนำไปเผยแพร่ได้อย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้ยังเน้นการศึกษาการประยุกต์ใช้ความรู้ที่พัฒนาในภาคปฏิบัติ เพื่อหาประโยชน์ที่จะได้

รับจริงจากการใช้ความรู้ที่พัฒนาขึ้น ทั้งนี้งานวิจัยให้ความสำคัญต่อการพัฒนาความรู้ที่มีประโยชน์จริงและสามารถนำไปปฏิบัติได้ การวิจัยจึงได้รวมการประยุกต์เป็นส่วนหนึ่งของงานด้วย

เนื่องจากงานวิจัยคาดหวังที่จะหาประโยชน์ที่รับจริงจากพัฒนาองค์ความรู้ ผลประโยชน์สุดท้ายที่ได้รับเมื่อนำไปใช้งานจริง คือ การบรรเทาปัญหาจราจรที่เกิดขึ้น ที่จะส่งผลดีโดยตรงต่อรัฐ และประเทศชาติ

บทที่ 2

การทบทวนผลงานในอดีต

การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ มีขึ้นพร้อมกับการประดิษฐ์สัญญาณไฟตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 อย่างไรก็ตามการค้นคว้าวิธีการควบคุมในสภาพการจราจรที่แปรเปลี่ยนได้ ด้วยหลักการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มาก ในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 50 โดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวตะวันตก(อังกฤษ) เช่น Webster's และเมื่อมีการพัฒนาด้านการประมวลผลและการตรวจจับข้อมูลในช่วงคริสต์ทศวรรษที่ 70 ทำให้งานวิจัยในด้านนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว มีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับหรือประมาณผลการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และ/หรือ แบบจำลองสภาพจราจร(Simulation)

การศึกษาลงานในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอ้อมตัว และเมื่อมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา อาจแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังต่อไปนี้ คือ

2.1 การควบคุมสัญญาณไฟ

การควบคุมสัญญาณไฟ คือ การจัดสัญญาณไฟเพื่อรองรับปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยก โดยการจัดจังหวะสัญญาณไฟ จัดค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ แบ่งสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซตให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและเหมาะสมกับสภาพของการจราจร

การควบคุมสัญญาณไฟที่ดีจะต้องพิจารณาถึงสภาพจราจรในขณะนั้นๆ เนื่องจากที่ทางแยกสัญญาณไฟแห่งหนึ่งแห่งใดที่เวลาต่างกันสภาพจราจรที่ทางแยกนั้น ๆ จะมีลักษณะและปริมาณต่าง ๆ กันตามเวลาในหนึ่งวัน วิธีการควบคุมสัญญาณไฟจึงควรจะใช้ต่างกันเนื่องจากวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟที่แตกต่างกันตามสภาพจราจร (Quinn,1992)

จากสาเหตุที่สภาพจราจรหนึ่งมักจะมีรูปแบบของปริมาณจราจรที่มีลักษณะเฉพาะ จึงทำให้วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟแตกต่างกันไปตามสภาพจราจร การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบางจะมีแถวคอยที่ทางแยกน้อย การควบคุมสัญญาณไฟจึงไม่มีข้อจำกัดเรื่องความยาวของแถวคอย วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจึงเป็นการควบคุมสัญญาณไฟให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนาต่อผู้ขับขี่ (Undesirable Effect)น้อยที่สุด ส่วนกรณีที่มีสภาพจราจรอ้อมตัวแถวคอยที่เกิดจะสะสมจนไม่สามารถจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ จนบางครั้งทำให้มีแถวคอยยาวจนย้อนกลับมาขวางทางแยก วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจึงเป็นการจัดระบบโดยรวมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Pignataro,1978) (Rathi,1988)

2.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบาง

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบางมีวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟคือการควบคุมสัญญาณไฟให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนาต่อผู้ขับขี่น้อยที่สุด อันได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่ทางแยกมีค่าน้อยที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้จำนวนรถที่หยุดน้อยคันที่สุดและจำนวนครั้งของการ

หยุดน้อยครั้งที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้ตัววัดประสิทธิภาพ (Performance Index) ต่ำที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้มีปริมาณการจราจรที่ผ่านทางแยกออกไปมากที่สุด (Pignataro, 1978) (Rathi, 1988)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้ในสภาพจราจรเบาบางมีดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์ (Webster and Cobbe, 1956)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์เหมาะสำหรับทางแยกที่เป็นทางแยกเดี่ยวหรือเป็นทางแยกในโครงข่ายแต่ทางแยกแต่ละแห่งอยู่ไกลกันมากจนไม่ส่งผลกระทบถึงกัน และใช้ได้กับระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed time traffic control system) จุดมุ่งหมายของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้คือการลดความล่าช้าที่ทางแยกให้มีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยการจัดรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยที่ทุกถนนมีค่าเท่า ๆ กัน ความยาวรอบสัญญาณไฟมาจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1.0 - Y_i} \quad (2.1)$$

โดย C_0 คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด (วินาที)

L คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณ (วินาที)

Y_i คือ อัตราส่วนของปริมาณการจราจรวิกฤตต่อปริมาณการจราจรทั้งหมดของจังหวะสัญญาณ

สมการที่ (2.1) ได้มาจากการวิเคราะห์สภาพการจราจรที่มีปริมาณจราจรคงที่ แต่การเข้าของรถจะมีความผันแปรอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของ headway (stochastic)

วิธีการควบคุมแบบนี้ใช้ได้เฉพาะในสภาพการจราจรเบาบาง เนื่องจากพจน์ Y_i ไม่สามารถมีค่าเกินกว่า 1.0 ได้ หรือในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ค่า Y_i ไม่เกิน 0.9

2.2.2 วิธีการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยานบนถนนสายหลักให้สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปโดยไม่ต้องหยุดรถ (Progression)

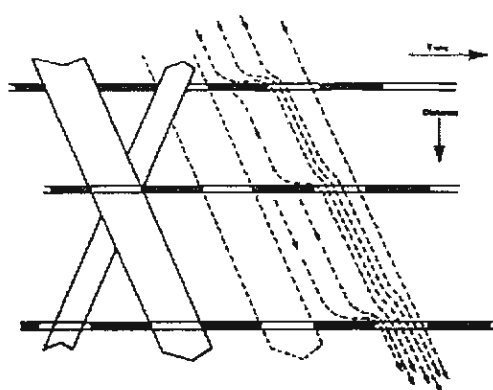
วิธีการนี้เหมาะสำหรับโครงข่ายที่มีถนนสายหลักสายเดียว เนื่องจากมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้กลุ่มยานบนถนนสายหลัก (Arterial) มีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยทำให้กลุ่มยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกสัญญาณไฟโดยไม่ต้องหยุดรถ ค่าความยาวรอบสัญญาณและค่าสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวได้มาจากการคิดแบบเดียวกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเว็บสเตอร์สำหรับทางแยกเดี่ยว แต่จะมีการตั้งค่าออฟเซต ค่าออฟเซตที่ตั้งจะเป็นค่าที่ทำให้กลุ่มยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถ

$$t_{ideal} = \frac{L}{V} - \text{LOST TIME} \quad (2.2)$$

โดย t_{ideal} คือ ค่าออฟเซต (วินาที)

L	คือ ความยาวของถนน (เมตร)
V	คือ ความเร็วโดยประมาณของกลุ่มยาน (เมตรต่อวินาที)
LOST TIME	คือ เวลาที่สูญเสียในการปล่อยรถที่ค้างอยู่ในแถวคอย(รวม) ก่อนรถจากทางแยกก่อนหน้าที่จะเดินทางมาถึงเส้นหยุด (วินาที)

ในสภาพการจราจรบางการควบคุมสัญญาณไฟโดยให้ความสำคัญแก่กลุ่มยานจะสามารถทำให้กลุ่มยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถ แต่เมื่อมีปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้นจนแถวคอยที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้การควบคุมสัญญาณไฟโดยให้ความสำคัญแก่กลุ่มยานไม่สามารถจัดให้กลุ่มยานผ่านทางแยกได้ในรอบสัญญาณไฟเดียว เป็นที่มาของการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าออฟเซตเป็นลบ หรือ Reverse Progression



รูปที่ 2.1 แผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มยาน
ที่มา : Robertson and Bretherton (1991)

ในการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยานบนถนนสายหลักสามารถแบ่งย่อยเป็น 2 เทคนิค

เทคนิคที่ 1 การให้ความสำคัญกับกลุ่มยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่ายโดยวิธีแมกซ์แบน (MAXBAND)

-- วิธีการให้ความสำคัญกับกลุ่มยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่าย โดยวิธี แมกซ์แบน เป็นการทำให้กลุ่มยานบนถนน (Platoon) เคลื่อนที่ผ่านทางแยกสัญญาณไฟออกไปได้มากที่สุดโดยมีความกว้างของแถบ (Bandwidth) ของแต่ละทิศทางที่เท่ากัน ความกว้างของแถบถูกกำหนดอยู่ในรูปของค่าอัตราส่วนของปริมาณรถในแต่ละทิศทาง (Directional Volume Ratio, K) การใช้ความกว้างของแถบของแต่ละทิศทางที่เท่ากันเป็นจุดด้อยของเทคนิคนี้ เพราะไม่เหมาะกับกรณีที่มีสภาพการจราจรของ 2 ทิศทางมีความแตกต่างกันมาก และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ยังไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร

เทคนิคที่ 2 การให้ความสำคัญกับกลุ่มยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่ายโดยวิธีมัลติแบน (MULTIBAND)

-- เป็นวิธีการที่พยายามแก้จุดด้อยของวิธีแมกซ์แบน โดยทำให้มีขนาดความกว้างของแถบ (Bandwidth) แตกต่างกันไปตามลักษณะของปริมาณจราจร ความกว้างของแถบในแต่ละทิศทางไม่จำเป็นต้องเท่ากันแต่จำเป็นต้องมีทิศทางขนานกันโดยตลอด

นอกจากนี้ยังมีวิธีพัฒนาขึ้นใหม่หลายวิธี เช่น PROS (PRogressive OpportunitieS) ซึ่งเป็นการหาโอกาสในการเล่นผ่านทางแยกใด ๆ ทางแยกหนึ่ง โดยการเล่นนี้สามารถใช้ความเร็วที่ต้องการได้ (Wallace et. al., 1998)

2.2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบควบคุมสัญญาณไฟประเภทแปรเปลี่ยน ตามสภาพการจราจร (Actuated and Semi-actuated Control)

การควบคุมสัญญาณไฟโดยเครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้อาศัยเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) เพื่อจัดลำดับจังหวะสัญญาณไฟ ความยาวรอบสัญญาณไฟ และสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ให้เป็นไปตามหลักการพื้นฐานที่ได้ตั้งไว้ให้กับระบบสัญญาณไฟคือไม่ทำให้เกิดการหยุดโดยไม่จำเป็น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้กับเครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้จะมีข้อดี คือ จะเป็นการควบคุมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรขณะใด ๆ ดังเป็นข้อได้เปรียบของการตรวจจับแบบทันกาล (Real-time) แต่การควบคุมจะอาศัยหลักการคงที่ที่โปรแกรมไว้ และหลักการดังกล่าวจะได้ได้เพียงหลักการเดียวตลอดช่วงของปริมาณการจราจร

เครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้ ยังแบ่งย่อยออกตามลักษณะการทำงานได้ 2 ลักษณะ

ลักษณะที่ 1 เครื่องควบคุมชนิดกึ่งคงที่กึ่งแปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Semi-actuated) -- การควบคุมประเภทนี้ใช้ได้กับสามแยกหรือทางแยกเดียวในโครงข่ายซึ่งทางแยกแต่ละแห่งอยู่ใกล้กันมากจนไม่ส่งผลต่อกัน เครื่องควบคุมชนิดนี้จะมีเครื่องตรวจจับปริมาณรถเฉพาะบนถนนสายรอง ถนนสายหลักจะได้รับสัญญาณไฟเขียวตลอดเวลา เครื่องควบคุมให้สัญญาณไฟเขียวกับถนนสายรองก็ต่อเมื่อเครื่องตรวจจับปริมาณรถตรวจพบว่ามีรถเข้ามาสู่ทางแยกจากถนนสายรอง ฉะนั้นการควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้ดีในกรณีที่สภาพการจราจรของถนนสายรองเบาบาง รถที่วิ่งบนถนนสายหลักจะวิ่งได้แบบต่อเนื่อง ในทางกลับกันข้อเสียของการที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องตรวจจับปริมาณรถบนถนนสายหลักคือจะไม่สามารถรับทราบข้อมูลปริมาณการจราจรบนถนนสายหลัก ดังนั้นกรณีที่รถในถนนสายรองมีจำนวนมากจะทำให้รถที่วิ่งบนถนนสายรองได้เปรียบรถบนถนนสายหลัก

ลักษณะที่ 2 เครื่องควบคุมชนิดแปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Actuated) -- การควบคุมประเภทนี้ใช้ได้ทั้งทางแยกเดียวหรือเป็นทางแยกในโครงข่ายแต่ทางแยกแต่ละแห่งอยู่ใกล้กันมากจนไม่ส่งผลต่อกัน เครื่องควบคุมชนิดนี้จะมีเครื่องตรวจจับปริมาณรถบนถนนทุกทิศทางเพื่อใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรของทุกทิศทางในการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวให้แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรที่ตรวจพบได้จากเครื่องตรวจจับตามหลักการที่ได้ตั้งไว้ให้กับระบบสัญญาณไฟ

2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรอัมตัม

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรอัมตัมแถวคอยที่เกิดจะสะสมจนไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ จนบางครั้งแถวคอยยาวจนย้อนกลับมาขวางทางแยกหรือเรียกว่าความคับคั่งทุติยภูมิ (Secondary congestion) (Longley, 1968) วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจึงเป็นการจัดระบบโดยรวมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อันได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป หรือการจำกัดปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤต หรือการควบคุมให้มีปริมาณยวดยานออกไปจากทางแยกมากที่สุด

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้ในสภาพจราจรอ้อมตัวมีดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีการกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกหรือปิดกั้นจราจรบางส่วนที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤต (Metering หรือ Filtering)

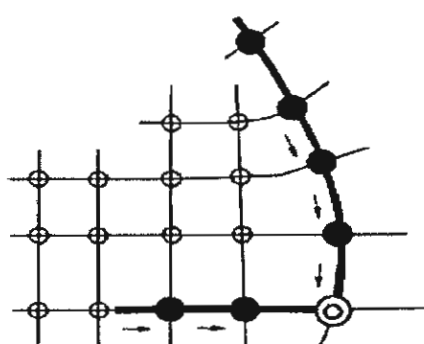
การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยกวิกฤตเป็นการควบคุมหรือจำกัดจำนวนยวดยานที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตมีแนวทางในการปฏิบัติอยู่ 2 แนวทางคือ การกรองโดยพิจารณาจากที่ว่างที่เหลือเนื่องจากทางแยกถัดไป (Downstream) ไม่มีที่ว่างพอที่จะให้กลุ่มยวดยานที่ทางแยก (Upstream) เคลื่อนเข้าไปได้หมด หรือเป็นการกรองโดยพิจารณาจากเพื่อให้ทางแยกถัดไปมีสภาพจราจรที่ดีขึ้น เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อกรองปริมาณจราจรมีตัวอย่าง เช่น การเพิ่มสัญญาณไฟเขียวให้กับถนนในทิศทางที่มีปริมาณจราจรยังไม่ถึงความสามารถในการให้บริการสูงสุด หรือถ้าหากว่าถนนทุกทิศทางมีปริมาณจราจรเท่ากับความสามารถในการให้บริการสูงสุด จะใช้วิธีการเพิ่มระยะเวลาช่วงที่ทุกทิศทางได้สัญญาณไฟแดงพร้อมกัน (All red) ให้นานขึ้น (Quinn, 1992) แต่ทั้งนี้ต้องไม่เพิ่มจังหวะสัญญาณไฟแดงพร้อมกันให้มากจนทำให้มีรถวิ่งในช่วงจังหวะหยุดสัญญาณไฟแดงพร้อมกันได้

การกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกหรือปิดกั้นจราจรบางส่วนที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤตสามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 รูปแบบ

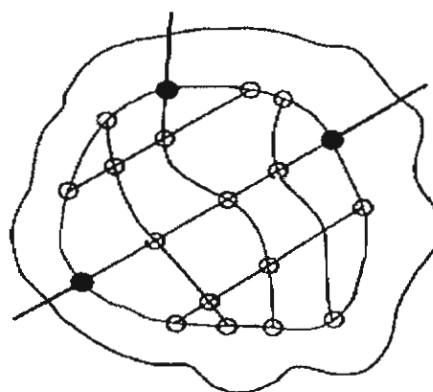
รูปแบบที่ 1 การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย (Internal Metering) -- เป็นการกรองหรือปิดกั้นปริมาณการจราจรบางส่วนที่ผ่านทางแยกอื่น ๆ ที่อยู่ภายในโครงข่ายเพื่อเข้ามาสู่ทางแยกที่พิจารณา โดยทั่วไปมักจะเป็นทางแยกที่ประสบปัญหาจราจรสูงสุดหรือเรียกว่าทางแยกวิกฤต (Critical Intersection)

รูปแบบที่ 2 การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่าย (External Metering) -- เป็นการควบคุมปริมาณจราจรที่จะเข้ามาในโครงข่ายที่ทางแยกที่เป็นจุดโดยรอบของพื้นที่ศึกษา เพื่อรักษาสภาพจราจรของโครงข่ายที่สนใจ

รูปแบบที่ 3 การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่ายเข้าสู่โครงข่าย (Release Metering) -- เป็นการกรองหรือปิดกั้นปริมาณการจราจรบางส่วนที่ออกมาจากที่อื่น ๆ ในโครงข่ายที่ศึกษา เช่น รถที่ออกมาจากอาคารจอดรถ หรือรถที่ออกมาจากซอยย่อย



(ก) การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย



(ข) การกรองปริมาณจราจรเข้าสู่โครงข่าย

รูปที่ 2.2 วิธีการกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยก

ที่มา : McShane and Roess (1990)

2.3.2 วิธีการตั้งค่าออฟเซตเป็นค่าลบ (Negative offset หรือ Reverse green wave)

เป็นการตั้งค่าออฟเซตเพื่อให้รถจำนวนใหม่เข้ามาที่ทางแยกเป็นเวลาเดียวกันกับแถวคอยที่ตกค้างจากรอบสัญญาณไฟก่อนหน้าเคลื่อนออกไปจากทางแยกพอดี การตั้งค่าออฟเซตจะเปลี่ยนไปเป็นดังสูตรคำนวณต่อไปนี้ (Pignataro, 1978)

$$t = \frac{L}{V} - \frac{Q}{R} \quad (2.3)$$

โดย t คือ ค่าออฟเซต (วินาที)
 L คือ ความยาวของช่วงถนน (เมตร)
 V คือ ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)
 Q คือ ความยาวของแถวรอโดยประมาณ (คันต่อช่องจราจร)
 R คือ อัตราเร็วของรถที่ออกจากเส้นหยุด (คันต่อวินาที)

ในสภาพจราจรเบาบาง ค่าออฟเซตจากสูตรคำนวณ (2.3) จะมีค่าเป็นบวก (สัญญาณไฟที่ทางแยกถัดไปจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียวหลังจากสัญญาณไฟที่ทางแยกเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรเป็นสัญญาณไฟเขียว) และเมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้น แถวคอยที่ทางแยกจะสะสมยาวขึ้น ค่าออฟเซตที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เริ่มจากค่าออฟเซตที่เป็นบวกจนกลายเป็นศูนย์ (สัญญาณไฟของทางแยกถัดไปและทางแยกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียวพร้อมกัน) และมีค่าเป็นลบเมื่อมีปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้นในที่สุด (สัญญาณไฟของทางแยกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียวหลังจากสัญญาณไฟถัดไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียว หรือเรียกว่า Reverse Progression) วิธีการดังกล่าวเหมาะสมกับการใช้งานบนโครงข่ายถนนที่เป็นถนนสายหลักสายเดียว

2.3.3 วิธีการจัดค่าออฟเซตเพื่อความเป็นธรรม (Equity Offset)

วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรอิมตัวและมีรถแถวคอยในถนนสายหลักยาวจนปิดกั้นทางแยกจนรถที่อยู่ในถนนสายรองไม่สามารถเคลื่อนตัวออกไปได้ มีวัตถุประสงค์คือทำให้รถที่วิ่งอยู่ในถนนสายรองมีโอกาสเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไปได้โดยไม่ถูกแถวคอยจากถนนสายหลักปิดกั้น การควบคุมสัญญาณไฟจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักก่อน และจะให้สัญญาณไฟเขียวจนกระทั่งรถที่กั้นทางแยกเริ่มที่จะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไป จากนั้นเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวให้รถในทิศทางรองและให้สัญญาณไฟเขียวจนกระทั่งได้ค่าเหมาะสมที่รถปริมาณหนึ่งจากสายรองสามารถเลี้ยวเข้าสู่ทางหลักได้ ซึ่งไม่มากจนทำให้เกิดแถวคอยยาวจนกีดขวางทางแยก ค่าออฟเซตที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้ (Pignataro, 1978)

$$t_{equity} = g_1 C - \frac{L}{V_{acc}} \quad (2.4)$$

โดย t_{equity} คือ ค่าออฟเซตของวิธีจัดค่าออฟเซตด้วยดุลยพินิจ (วินาที)

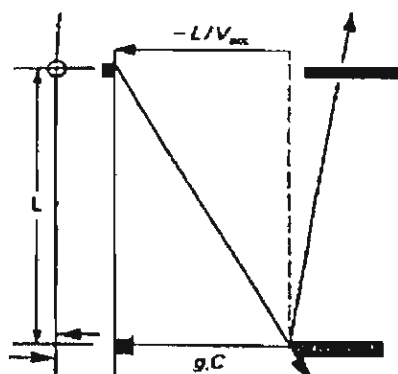
g_1 คือ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวของทางแยก

C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

L คือ ระยะห่างระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ (ฟุต)

V_{acc} คือ ความเร็วของกลุ่มจราจร (Acceleration wave)

มีค่าประมาณ 16 ฟุตต่อวินาที

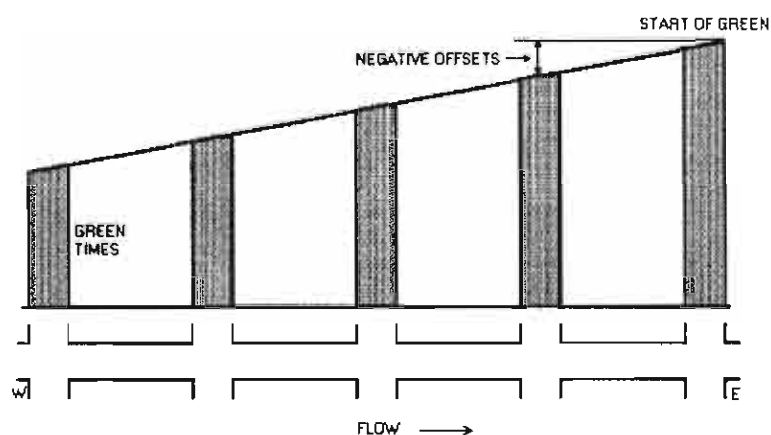


รูปที่ 2.3 การจัดค่าออฟเซตเพื่อความเป็นธรรม

ที่มา : McShane and Roess (1990)

2.3.4 วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (Flared green)

การให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่งนิยมใช้สำหรับโครงข่ายที่มีถนนสายหลักสายเดียว จุดประสงค์หลักของวิธีการนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลื่อนตัวของจราจร โดยการเปิดไฟเขียวในสัดส่วนที่มากขึ้นทำให้ปริมาณรถที่ทางแยกถัดไปได้อัตราส่วนของไฟเขียวมากขึ้นและมีแถวคอยลดลงเรื่อย ๆ ลักษณะที่ปรากฏคล้ายกับการกรองรถเข้าสู่โครงข่าย (Metering) โดยสัญญาณไฟเขียวที่มีอัตราส่วนของไฟเขียวน้อยกว่าจะเป็นตัวกรองปริมาณรถที่จะไปสู่ทางแยกถัดไป



รูปที่ 2.4 วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางหลัก

ที่มา : Quinn (1992)

2.3.5 วิธีการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟน้อย

หลักการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟน้อยเพื่อให้มีปริมาณยวดยานที่วิ่งออกจากทางแยกสม่ำเสมอ มีระดับของปริมาณการจราจรอิมตัวสูง และมีโอกาสที่จะขจัดรถเสี้ยวที่ขวางทางแยกได้ดีกว่า

2.3.6 วิธีการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟมาก

หลักการควบคุมสัญญาณไฟโดยการเปิดสัญญาณไฟที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟมากจะใช้เพื่อระบายยวดยานให้ออกจากบริเวณที่มีการจราจรอิมตัวซึ่งเป็นวิธีที่ตำรวจบางพื้นที่นิยมใช้ วิธีการดังกล่าวจะมีผลดีตรงที่จะลดสัดส่วนของความสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรและช่วยเพิ่มความสามารถในการให้บริการของทางแยก

Newell (1998) ได้เสนอหลักการในการตัดสินใจว่าควรเพิ่มหรือลดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวไว้ว่า การเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวก่อนที่แถวคอยหมด(ลดช่วงเวลา)จะส่งผลดีต่อการจราจรเฉพาะในกรณีที่ปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในรอบถัดไปมีแนวโน้มที่ลดลงเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติยังไม่มีวิธีการใดที่สามารถคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคตได้แม่นยำเพียงพอ

2.3.7 วิธีการเปิดสัญญาณไฟตามหลักการจัดการกับที่ว่างบนถนน

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้อีกวิธีหนึ่งคือการควบคุมสัญญาณไฟตามหลักการจัดการกับที่ว่างบนถนนซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การควบคุมการเกิดแถวคอยจนย้อนกลับไปที่จุดขวางทางแยกก่อนหน้า มีบุคคลหรือกลุ่มบุคคลจำนวนมากที่สนใจเกี่ยวกับการจัดการที่ว่างบนถนนดังนี้

OECD (1981) เสนอว่าสำหรับกรณีที่ปริมาณจราจรอิมตัว การคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟจะถูกควบคุมด้วยความยาวของที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป แต่ความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจะต้องยาวไม่เกินกว่าความยาวของถนนนั้น ๆ สามารถแสดงได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = \left(\frac{3600}{f} \right) \left(\frac{L}{d} \right) \quad (2.5)$$

โดย C คือ ความยาวของรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

f คือ ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)

L คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอย (เมตร)

d คือ ความยาวของยานพาหนะ (เมตรต่อคัน)

Pignataro(1978) เสนอว่าการคำนวณสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพื่อที่จะทำให้อัตราการเกิดความคับคั่งในทุกทิศทางเท่า ๆ กัน จะสังเกตได้จากแถวคอยที่เกิดขึ้นจนย้อนกลับไปที่จุดขวางจราจรที่ทางแยกก่อนหน้าจะเกิดขึ้นพร้อมกันทุกทิศทาง สัดส่วนไฟเขียวดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$g_A = \frac{\left(\frac{f_A}{S}\right) + \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)\left(K - \frac{f_B}{S}\right)}{1 + \frac{Q_A}{Q_B}} \quad (2.6)$$

$$K = 1 - \frac{L}{C} = g_A + g_B$$

$$Q_A = L_A - f_A C$$

โดย g_A คือ อัตราส่วนของสัญญาณไฟเขียวของจังหวะสัญญาณไฟ A

f_A คือ ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)

S คือ ปริมาณการจราจรอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)

L_A คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอย (คัน)

Rathi (1988) เสนอว่าการเปิดสัญญาณไฟเขียว น่าจะใช้หลักการที่ว่าจำนวนรถที่จะปล่อยจากทางแยกเข้าสู่ทางแยกถัดไปจะถูกจำกัดด้วยจำนวนรถที่ออกไปจากทางแยกถัดไป ซึ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวสามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$g_A = \frac{L_A(g_B - l) - h(\alpha\mu_d)}{L_A} + l \quad (2.7)$$

$$g_B = \frac{L_B(g_A - l) - h(\alpha\mu_d)}{L_B} + l$$

โดย α คือ ตัวปรับแก้

g_A คือ อัตราส่วนของสัญญาณไฟเขียวของจังหวะสัญญาณไฟ A

L_A คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอย, คัน

l คือ เวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากการจราจรเริ่มเคลื่อนตัว, วินาที

เมื่อลองใช้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวที่ได้จากสูตรคำนวณข้างต้นทำงานจริง จะพบว่าสัดส่วนของไฟเขียวของทางแยกถัดไปจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับวิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (Flared green)

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอื่นได้เสนอวิธีการควบคุมสัญญาณไฟไว้อีกหลายแบบซึ่งจะกล่าวโดยย่อ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

Gordon (1969) ทดลองทำงานบนโครงข่ายที่มีถนนสายหลักเส้นเดียว โดยใช้หลักการเพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างที่ว่างที่เหลือของถนนสู่ทางแยกถัดไปของทิศทางต่าง ๆ ให้มีสัดส่วนเท่า ๆ กัน เช่น เมื่อมีแถวคอยด้านใดด้านหนึ่งมีจำนวนมากขึ้น ใช้วิธีการปรับจังหวะสัญญาณไฟจราจรของทิศทางนั้น ๆ ให้เพิ่มมากขึ้นด้วย

Longley (1968) ทำงานบนโครงข่ายที่มีถนนสายหลักเส้นเดียวเช่นกัน โดยการรักษาสมดุลของแถวคอยบนถนนทั้ง 4 ทิศทาง เมื่อสิ้นสุดรอบสัญญาณไฟจะมีการพิจารณาค่าออฟเซตใหม่สำหรับสัญญาณไฟในรอบหน้าโดยอาศัยผลของแถวรอที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

Todli (1974) ควบคุมสัญญาณไฟโดยจัดให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวแปรตามความยาวของแถวคอย โดยเป็นการทำงานบนโครงข่าย (อ้างใน OECD, 1981)

2.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่

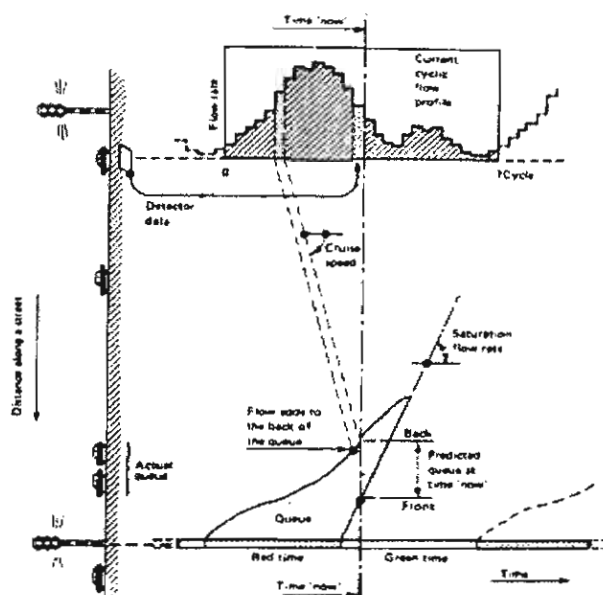
การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ซึ่งเป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (Traffic Responsive System) จะใช้คอมพิวเตอร์และเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) เป็นส่วนประกอบหลักในการควบคุมสัญญาณไฟ การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่มีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในขณะนั้นๆ นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นผลให้สามารถตอบสนองต่อสภาพจราจรในขณะนั้นๆ ได้รวดเร็ว และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจรได้ถ้าหากมีวิธีการควบคุมที่ดีเพียงพอ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่จะเป็นที่นิยมมากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed Time Control) แบบเดิมที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐาน

การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่บางส่วนเป็นการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนกลางเป็นตัวประมวลผล (Urban Traffic Control, UTC หรือ Area Traffic Control, ATC) ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะมีหลักการในการควบคุมคงที่แบบหนึ่ง เช่น ระบบ SCOOT (Signal Cycle Offset Optimization Technique) และระบบ SCAT (Sydney Coordinated Area Traffic System) เป็นต้น ในขณะที่บางส่วนจะเป็นการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนกลางเป็นตัวประมวลผล แต่จะมีเทคนิคในการควบคุมสัญญาณไฟที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพจราจรที่ไม่คงที่ เช่น วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคเจเนติก อัลกอริทึม, วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ, วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค, และวิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซี ลอจิก เป็นต้น เทคนิคดังกล่าวมาแล้วข้างต้นอาจรวมเรียกว่าเป็นการทำงานแบบ “ปัญญาประดิษฐ์” (Artificial Intelligence, AI)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ที่ปรากฏมีดังต่อไปนี้

2.4.1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCOOT

เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่เรียกว่า Adaptive ซึ่งหมายความว่าระบบ SCOOT จะใช้ข้อมูลจราจรในปัจจุบันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่เรียกว่า 'Cyclic Flow Profiles' ซึ่งใช้ในการประมาณจำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟแดง โดยการคาดการณ์จำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยกซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟจราจรหลาย ๆ แบบอันได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวและค่าออฟเซต แล้วพิจารณานาหาคู่ของพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟที่มีผลรวมของเวลาในการรอคอยและจำนวนครั้งที่หยุดโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดของทุกทางแยกพร้อม ๆ กัน ซึ่งหมายถึงค่าสัญญาณไฟที่ได้จะทำให้ผลรวมของเวลาในการคอยและหยุดของรถทุกคันที่เข้าสู่ทางแยกน้อยที่สุด โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่ากลุ่มรถยนต์จะเคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยกด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง และมีการกระจายตัว (Dispersion) ส่วนรถที่วิ่งออกจากทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวจะวิ่งออกไปด้วยปริมาณจราจรอิ่มตัว (Saturated flow) (Robertson, 1991)



รูปที่ 2.5 Cyclic Flow Profiles

ที่มา : Hunt, et al (1981)

ก่อนที่จะเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (Phase) ในรอบสัญญาณไฟถัดไป ระบบ SCOOT จะใช้ 'cycle flow profiles' ซึ่งเป็นปริมาณจราจรที่ผ่านจุดที่กำหนดในช่วงเวลา 4 วินาที ในการตรวจสอบว่าควรเพิ่มหรือลดจังหวะสัญญาณไฟหรือไม่โดยอาศัยเทคนิค Hill-Climbing หากพบว่าจะต้องเพิ่มหรือลดจังหวะสัญญาณไฟจราจร ระบบ SCOOT จะปรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเล็กลงน้อยลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้ระบบ SCOOT จะทำการตรวจสอบความเหมาะสมของความยาวรอบสัญญาณไฟและออฟเซตในทุกรอบสัญญาณไฟและเมื่อเวลาผ่านไป 2-3 นาที

ข้อสังเกต ระบบ SCOOT จะใช้วัตถุประสงค์ในการควบคุมสัญญาณไฟเพียงวัตถุประสงค์เดียวในการควบคุมสัญญาณไฟทุกสภาพจราจร ดังนั้นถึงแม้ว่าระบบ SCOOT จะแปรเปลี่ยนสัญญาณไฟตามสภาพจราจรอย่างไร แต่ตั้งอยู่บนวัตถุประสงค์ของการควบคุมคงเดิมเสมอ

2.4.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCATS

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCATS เป็นวิธีการเปิดสัญญาณไฟแบบที่เรียกว่า Responsive หมายความว่าระบบ SCAT จะควบคุมพารามิเตอร์ในการควบคุมสัญญาณไฟอันได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต โดยอาศัยหลักการเพื่อรักษาระดับความอึดตัวให้คงที่ซึ่งแตกต่างจากระบบ SCOOT ระบบ SCAT จะทำการแบ่งทางแยกออกเป็นกลุ่มหลาย ๆ กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีทางแยกวิกฤตแห่งเดียวใช้เป็นตัวควบคุมคุณสมบัติอื่น ๆ ของทางแยกในกลุ่มเดียวกัน เช่น ความยาวรอบสัญญาณไฟ และค่าออฟเซต โดยในแต่ละกลุ่มจะถูกควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลย่อย (Regional Computer) กลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มจะรวมกันเป็นกลุ่มที่ใหญ่ขึ้น ก็ต่อเมื่อกลุ่มย่อยเหล่านั้นมีความยาวของรอบสัญญาณไฟใกล้เคียงกัน

ข้อมูลในระบบ SCAT ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟคือระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ใช้อย่างเต็มที่ต่อช่วงสัญญาณไฟเขียวทั้งหมด ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ใช้คือความยาวรอบสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวของช่องทางที่มีระดับความอิ่มตัวสูงสุด จังหวะสัญญาณไฟที่ใช้คือจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มรถยนต์บนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด

2.4.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm, GA)

เทคนิคเจเนติก อัลกอริทึมเป็นเทคนิคหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ โดยมีแนวคิดมาจากหลักการพื้นฐานของเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบย่อยๆ ที่เรียกว่ายีน (gene) ยีนแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะที่เปลี่ยนแปลงไปตามวิธีการแตกหน่อ (Reproduction) การข้ามพันธุ์ (Cross-Over) และการผ่าเหล่า (Mutation) ของยีนลูกจากยีนแม่ การใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อใช้ในการสร้างชุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟ ได้แก่ การจัดจังหวะสัญญาณไฟ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต (Foy, 1992)

- การแตกหน่อ(Reproduction) เช่น ยีนอนุพันธุ์123 ได้มาจากยีนแม่ 12
- การข้ามพันธุ์(Cross-Over) เช่น ยีนแม่12 และยีนแม่34 เมื่อผ่านการข้ามพันธุ์แล้วจะได้อนุพันธุ์เป็นยีนอนุพันธุ์14 และยีนอนุพันธุ์23
- การผ่าเหล่า(Mutation) เช่น ยีนแม่1234 อาจผ่าเหล่าเป็นยีนอนุพันธุ์1254

การเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดจะเลือกตามเงื่อนไขที่วางไว้ของเทคนิคเทคนิคเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งเงื่อนไขที่วางไว้จะแสดงถึงค่าใช้จ่าย (Cost) ที่แตกต่างกัน ค่าใช้จ่ายในที่นี้อาจหมายถึงตัววัดประสิทธิผล (Measure of effectiveness) เช่น ความล่าช้า เป็นต้น

Underwood(1994) จะใช้วิธีการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยวิธีการแบบเอสตาร์ (A* algorithm) ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการเรียนรู้ด้วยตัวเอง (Heuristic Function) โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละทางแยก ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของผลรวมค่าใช้จ่าย(cost) จากภาวะเริ่มต้นถึงภาวะปัจจุบัน และทำนายผลของค่าที่เพิ่มขึ้นในอนาคตเมื่อถึงภาวะสุดท้าย ดังนั้นพารามิเตอร์ชุดที่ดีที่สุดที่สภาพจราจรขณะใดจะมีค่าของ Heuristic Function ต่ำที่สุดชุดเดียวที่สภาวะการจราจรนั้น ๆ วิธีการคัดเลือกพารามิเตอร์แสดงได้ดังสมการ

$$f = g + h' \quad (2.8)$$

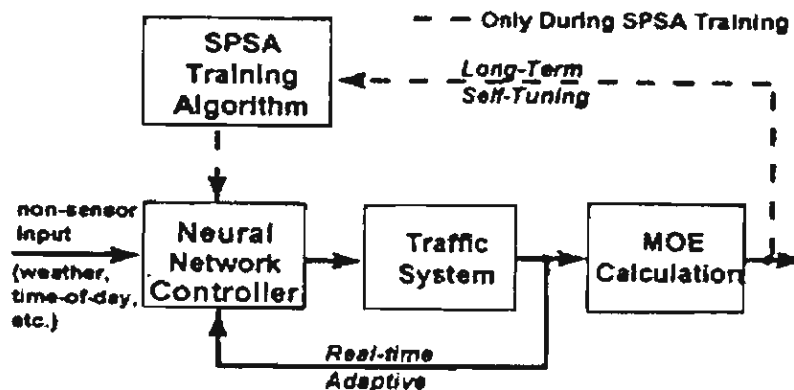
โดย

f คือ ค่าของ Heuristic Function

g คือ ค่าใช้จ่ายจากภาวะเริ่มต้นถึงภาวะปัจจุบัน

h' คือ ค่าใช้จ่ายโดยประมาณจากภาวะปัจจุบันถึงภาวะสุดท้าย

2.4.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System, ES)



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค

ที่มา : Spall and Chin (1997)

2.4.6 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซี ลอจิก (Fuzzy Logic, FL)

การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัซซี ลอจิกมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความจะเป็น (Probabilistic) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ โดยระบบเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความน่าจะเป็นไปได้ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้มากที่สุด โดยเงื่อนไขที่วางไว้เป็นเงื่อนไขในลักษณะที่เป็นความน่าจะเป็นที่ได้มาจากข้อมูลในอดีตเป็นพื้นฐาน

Pappis and Mamdani (1977) (อ้างใน Chui and Chand, 1993) ใช้การควบคุมสัญญาณไฟโดยเทคนิคฟัซซี ลอจิกในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นทางแยกของถนนวิงทางเดียว (One-way Street) โดยการวางเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) ไว้ตรงตำแหน่งที่ไกลพอที่จะเก็บข้อมูลปริมาณจราจร และทำนายอัตราปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก จำนวนรถที่ผ่านทางแยกออกไปและความยาวของแถวคอยที่เวลา N วินาทีต่อไป ผลการทำนายจะผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัซซี (Fuzzy Decision) เพื่อหาว่าควรเพิ่มเวลาไฟเขียวที่ N วินาทีถัดไปหรือไม่ โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นจะเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

Chui and Chand (1993) ใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้เทคนิคฟัซซี ลอจิกในการควบคุมโครงข่ายที่เป็นทางแยกของถนนที่วิงสวนทาง โดยการใช้ข้อมูลจราจรของทางแยกต่าง ๆ ที่เป็นอิสระต่อกัน ผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัซซี (Fuzzy Decision) เพื่อใช้ในการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร จังหวะสัญญาณไฟจราจร และค่าออฟเซต ให้ได้สัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอึดตัวของช่องทางที่มีระดับความอึดตัวสูงสุด การจัดจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอึดตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มยานบนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่ารถที่วิ่งอยู่ในโครงข่ายจะไม่สามารถเปลี่ยนช่องทางและเลี้ยวได้

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นระบบที่ออกแบบมาให้สามารถแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อน โดยอาศัย "ความฉลาด" แบบเดียวกับที่มนุษย์ใช้ในการตัดสินใจเพื่อแก้ไขปัญหา โดยใช้ฐานความรู้ที่จัดเก็บในรูปแบบเงื่อนไข (if-then) จำนวนมากเป็นข้อมูลเบื้องต้น และใช้ระบบการคิดหาเหตุผลที่เป็นเงื่อนไขในการประมวลผลหาคำตอบ

รูปแบบของเงื่อนไขโดยทั่วไปจะใช้รูปแบบการหาเหตุผล 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการหาเหตุผลแบบอุปนัย (Induction) ซึ่งเป็นการสรุปเหตุผลมาจากเหตุการณ์ย่อยเพื่อสรุปหาเหตุการณ์ใหญ่ รูปแบบการหาเหตุผลแบบนิรนัย (Deduction) ซึ่งเป็นการหาเหตุผลจากเหตุการณ์ใหญ่ไปเป็นเหตุการณ์ย่อย และรูปแบบการหาเหตุผลแบบต่อเนื่อง

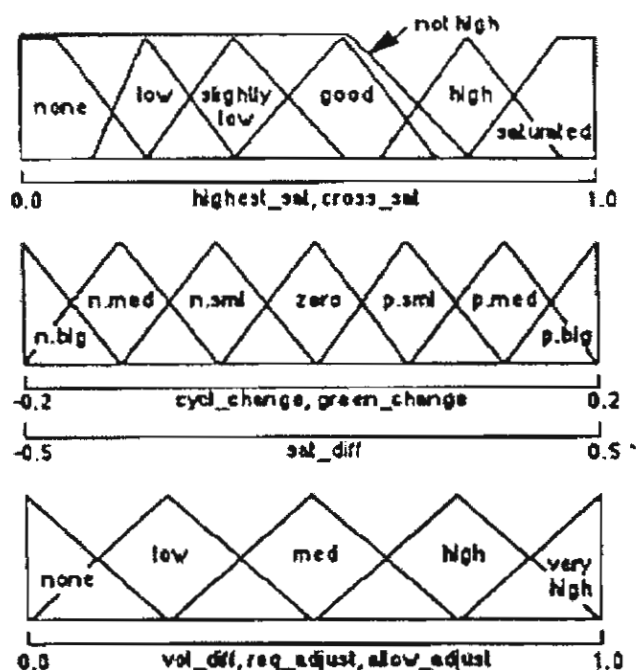
Ritchie(1990) (อ้างใน Spall and Chin, 1997) นำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่วางไว้ในตัวระบบผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะประมวลผลผลลัพธ์ โดยเงื่อนไขที่วางไว้จะได้มาจากข้อมูลในอดีตจำนวนมาก และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณผ่านระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีคำตอบเพียงที่ชัดเจนเพียงคำตอบเดียวที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้ก่อนทุกประการ เช่น การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้พารามิเตอร์หนึ่ง จะต้องมีความสัมพันธ์ต่าง ๆ ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้ก่อนทุกประการ ระบบผู้เชี่ยวชาญจึงจะสรุปผลว่าใช้การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้พารามิเตอร์นี้

2.4.5 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค (Neural Network, NN)

เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์คเป็นเรื่องหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับทฤษฎีทางปัญญาประดิษฐ์ สามารถอธิบายอย่างง่าย ๆ ได้ว่าเป็นการทำสิ่งที่เลียนแบบเส้นประสาทของสิ่งที่มีชีวิต เปรียบเสมือนกับร่างกายเมื่อได้รับการฝึกฝนการทำงานสิ่งหนึ่งสิ่งใดไปนาน ๆ ร่างกายก็จะเกิดความเคยชินและปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์เหล่านั้น ในทำนองเดียวกันกับระบบนิวรอนเน็ตเวิร์ค เมื่อได้รับข้อมูลมากขึ้น ก็เปรียบเสมือนได้รับประสบการณ์มากขึ้นเรื่อย ๆ พอถึงจุดหนึ่งระบบนิวรอนเน็ตเวิร์คก็จะสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง แต่เนื่องจากการเลียนแบบความคิดของสมองคน ดังนั้นในสถานการณ์เดียวกันความคิดของแต่ละคนในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะต่างกัน และจะไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นผลสำเร็จที่แน่นอนเช่นเดียวกับเทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ แต่จะได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นช่วง

เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์คเป็นรูปแบบหนึ่งของการประมวลผลผลลัพธ์จากการคำนวณ ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้าง (Network) และค่าน้ำหนักถ่วง (weight) ที่อยู่ในโครงสร้างนั้น วิธีการหาค่าน้ำหนักถ่วงเรียกว่า กระบวนการเรียนรู้ (Learning หรือ Training Algorithm) กระบวนการเรียนรู้แบบนี้ใช้ตัวอย่างของข้อมูลที่เป็นคู่ลำดับของข้อมูลพื้นฐานของระบบ (Input) และผลลัพธ์จากการประมวลผล (Output) มาป้อนให้ระบบ และให้ระบบสร้างผลลัพธ์ใหม่เลียนแบบให้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากการประมวลผลเดิมโดยการปรับค่าน้ำหนักถ่วง เมื่อทำไปหลาย ๆ รอบก็อาจจะสร้างระบบที่ทำงานเลียนแบบตัวอย่างได้

Nataksuji and Kaku(1991) และ Spall and Chin(1997) ใช้เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์คในการควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตของหลาย ๆ วันที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งและสภาพแวดล้อมทั่วไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาจราจรที่เกิดขึ้นในขณะนั้น

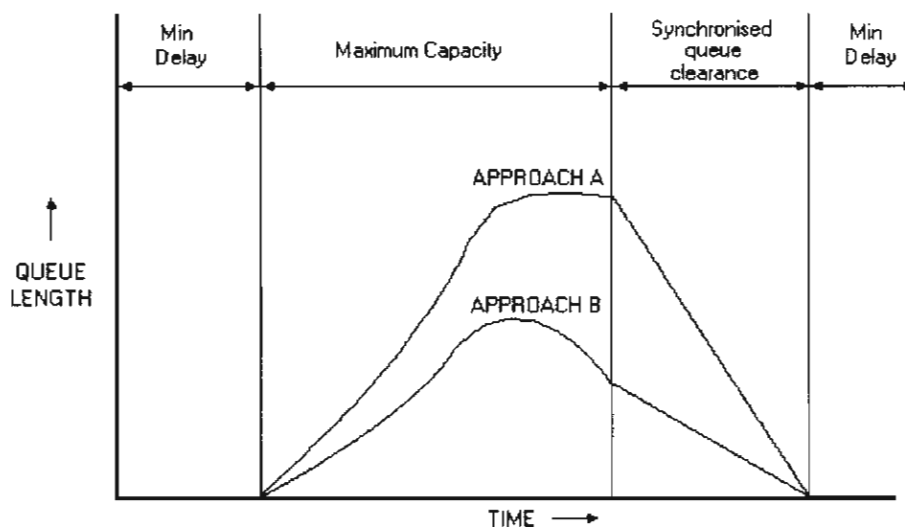


รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของ Fuzzy Logic

ที่มา : Chui, S. and Chand, S. (1993)

2.5 การควบคุมสัญญาณไฟเมื่อมีปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ ดังที่ได้แสดงมาแล้วข้างต้นจะเป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่สภาพจราจรแบบใดแบบหนึ่งโดยเฉพาะ แต่ยังไม่มีการแสดงว่าวิธีการใดสามารถใช้ได้ดีกับสภาพที่มีปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นลักษณะของการจราจรที่แท้จริง เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการจัดการจราจรที่แตกต่างกัน โดยการจัดการจราจรสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่ทางแยกมีค่าน้อยที่สุด หรือมีจำนวนรถที่หยุดน้อยคันที่สุดและจำนวนครั้งของการหยุดน้อยครั้งที่สุดเรียกโดยรวมว่า "Minimum-delay" ส่วนกรณีของสภาพจราจรที่มีปริมาณอึดอัด วัตถุประสงค์ของการจัดการจราจรจะเป็นการป้องกันการสะสมของแถวคอยจนย้อนกลับไปเกิดผลกระทบต่อทางแยกก่อนหน้า (spillover) เรียกโดยรวมว่าเทคนิค "Maximum-capacity" เพราะจะคำนึงถึงการจัดการพื้นที่ว่างหลังแถวคอยของถนนที่เข้าสู่ทางแยกถัดไป (Downstream Intersection) ให้มีประสิทธิภาพเป็นสำคัญ และเมื่อปริมาณจราจรที่ค้างอยู่ในแถวคอยเพิ่มมากขึ้นความคับคั่งทุติยภูมิจะเกิดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ฉะนั้นจึงต้องหาวิธีการที่ทำให้เกิดความคับคั่งทุติยภูมิอย่างช้าที่สุด และเมื่อปริมาณจราจรบนถนนลดลงจนน้อยกว่าระดับการให้บริการของทางแยก ให้จัดสภาพจราจรที่ติดขัดให้นายไปอย่างรวดเร็วที่สุด ใช้เทคนิค "Synchronized queue clearance"



รูปที่ 2.8 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อขจัดแถวคอย
ที่มา : Quinn (1992)

จะเห็นได้ว่าวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพจราจร ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีควรจะมีการยืดหยุ่นที่ดีเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟ และระบบควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้จะต้องสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรได้ ฉะนั้นระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เป็นแบบคงที่ (Fixed time) จึงไม่สามารถใช้งานได้ ส่วนระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เป็นแบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรปัจจุบัน (Responsive) จะสามารถใช้งานได้

บทที่ 3

โปรแกรมจำลองสภาพจราจร

ปัจจุบันการใช้แบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองสภาพจราจรเป็นไปอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการทดลองควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรต่าง ๆ โดยตรงจะทำให้เสียทรัพยากรและเวลาเป็นอันมาก ดังนั้นการใช้แบบจำลองจึงเป็นการประหยัดทรัพยากรเหล่านี้ได้มาก แบบจำลองบางแบบสามารถแสดงให้เห็นถึงลักษณะการจราจร (Visualization) จึงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สภาพจราจรได้อย่างสะดวก รวดเร็วและตรวจสอบความถูกต้องได้โดยง่าย

แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรมจำลองสภาพจราจรแต่ละแบบจำลองจะมีแนวคิดในการพัฒนาที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดแบบจำลองได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแบบจำลองจุลภาค (Microscopic Model) ซึ่งใช้หลักการเคลื่อนที่ของรถคันหน้าเป็นปัจจัยในการเคลื่อนที่ของรถคันหลัง (Car Following Theory) และกลุ่มแบบจำลองมหภาค (Macroscopic Model) ซึ่งพิจารณาการจราจรเป็นกลุ่มยวดยาน

แบบจำลองจุลภาคเป็นแบบจำลองที่พิจารณาลักษณะการจราจรเป็นรายคัน ใช้หลักการเคลื่อนที่ของรถตามกัน (Car following Theory) เป็นหลักการพื้นฐานซึ่งแบบจำลองจุลภาคจะใช้เฉพาะระยะห่างระหว่างรถ ความเร็ว และความเร่งของรถคันหน้าและรถคันหลังเป็นปัจจัยพื้นฐาน ทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดปลีกย่อยได้มากกว่าแบบจำลองมหภาค ตัววัดประสิทธิภาพต่าง ๆ ที่ใช้แสดงประสิทธิภาพ จะเป็นการรวมค่าที่ได้จากการคำนวณของรถแต่ละคันที่มีความแตกต่างกันในแง่สถิติ และไม่พิจารณาปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบข้างเคียง เช่น ผลกระทบจากรถด้านข้าง เป็นต้น แบบจำลองจุลภาคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีตัวอย่างเช่น แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CORSIM และโปรแกรม PARAMICS

แบบจำลองมหภาคเป็นแบบจำลองที่พิจารณาลักษณะการจราจรเป็นกลุ่มยวดยาน โดยไม่พิจารณารายละเอียดระหว่างรถ 2 คัน แต่จะพิจารณาพฤติกรรมของการจราจรโดยรวม การพิจารณาในลักษณะการจราจรดังกล่าวเป็นการรวมพฤติกรรมที่เกิดจากปฏิกริยา (Interaction) ระหว่างรถแต่ละคัน ตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้จะเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณากลุ่มยวดยานที่มีลักษณะเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างยวดยานในแง่ของสถิติ โปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการประมวลผลที่นิยมในปัจจุบัน คือ โปรแกรมทรานซิส (TRANSYT) โปรแกรม HCS โดยอาศัยโปรแกรม CINEMA ช่วย และ โปรแกรม Synchro® เป็นต้น

3.1 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (Traffic Simulation Programs)

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบันทั้งที่เป็นแบบจำลองมหภาคและแบบจำลองจุลภาคมีดังต่อไปนี้

1. โปรแกรม CORSIM (Netsim)

โปรแกรม CORSIM เป็นระบบโปรแกรมที่มีโปรแกรมย่อยชื่อ Netsim ซึ่งใช้แบบจำลองแบบจุลภาคที่ให้ความสัมพันธ์กับข้อมูลในระดับย่อย คือระดับยวดยานสามารถจำลองสภาพจราจรเพื่อใช้ในการประเมินผลทั้งทางแยกที่มีสัญญาณไฟและไม่มีสัญญาณไฟ แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CORSIM เป็นแบบจำลอง

การเคลื่อนที่ของรถตามกัน สามารถใช้จำลองสภาพจราจรได้ทั้งระดับทางแยกเดี่ยวและระดับโครงข่าย อีกทั้งโปรแกรม CORSIM ยังเป็นโปรแกรมที่ได้รับการทดสอบและเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าเป็นโปรแกรมหนึ่งที่สามารถสะท้อนให้เห็นลักษณะจราจรได้ถูกต้องพอสมควร

2. โปรแกรม SimTraffic

โปรแกรม SimTraffic เป็นโปรแกรมที่ใช้ที่ใช้แบบจำลองแบบจุลภาคสามารถจำลองสภาพจราจรเพื่อใช้ในการประเมินผลทั้งทางแยกที่มีสัญญาณไฟและไม่มีสัญญาณไฟเช่นเดียวกับโปรแกรม CORSIM แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม SimTraffic เป็นแบบจำลองที่มีหลักการคิดแบบเดียวกับโปรแกรม CORSIM สามารถจำลองสภาพจราจรได้ทั้งระดับทางแยกเดี่ยวและระดับโครงข่าย ข้อได้เปรียบของโปรแกรมประการหนึ่ง คือ สามารถจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายที่อยู่ติดกันมาก (Closely Spaced Intersection) ได้ดี

3. โปรแกรม HCS

โปรแกรม HCS เป็นโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคที่พิจารณาลักษณะจราจรเป็นกลุ่มยวดยานของ HCM ในการจำลองสภาพจราจร และสามารถวิเคราะห์สภาพจราจรได้เฉพาะทางแยกเดี่ยวเท่านั้น ทั้งนี้โปรแกรม HCS โดยลำพังไม่สามารถจำลองสภาพจราจรได้ จะต้องอาศัยโปรแกรม CINEMA เป็นตัวช่วยในการจำลองสภาพจราจรอีกที

4. โปรแกรม Synchro®

โปรแกรม Synchro® เป็นโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคของ HCM ในการจำลองสภาพจราจรและสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบที่เหมาะสมกับสภาพจราจรขณะนั้น ๆ ทั้งในการพิจารณาทางแยกเดี่ยวและโครงข่าย ข้อได้เปรียบของโปรแกรม Synchro® ที่มีเหนือโปรแกรม HCS อยู่ตรงที่โปรแกรม Synchro® สามารถปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ออฟเซตและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวได้ง่ายกว่ามาก และยังสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบที่เหมาะสมในระดับโครงข่ายได้

5. โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT)

โปรแกรมทรานสิตเป็นโปรแกรมแบบที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการจำลองสภาพจราจรและสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบเพื่อใช้ในการประเมินผลการจัดสัญญาณไฟเป็นหลักที่เหมาะสมกับสภาวะที่เป็นเงื่อนไขที่ถูกสร้างไว้ได้ในระดับโครงข่าย เช่น เงื่อนไขในการสร้างวิธีจัดสัญญาณไฟให้มีความล่าช้าที่เกิดขึ้นต่ำสุด โปรแกรมทรานสิตจะประเมินสภาพจราจรได้ทั้งในแง่ความล่าช้า จำนวนการหยุดและการเผาผลาญเชื้อเพลิง อีกทั้งโปรแกรมทรานสิตสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ที่แสดงลักษณะการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน ข้อดีประการหนึ่งของโปรแกรมทรานสิต คือ สามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองมหภาคได้อย่างอิสระ โดยสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้และมีสมการความสัมพันธ์ให้เลือกใช้จำนวนมากพอสมควร โปรแกรมทรานสิตในรุ่นที่ 8 ซึ่งเป็นรุ่นล่าสุดของโปรแกรมทรานสิตได้รับการตรวจสอบแล้วว่าสามารถนำไปใช้ในการจำลองสภาพจราจรอิมตัวได้ดีพอสมควร (จิตติชัย และคณะ, 2541)

3.2 การเปรียบเทียบและคัดเลือกโปรแกรมสำหรับทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอ้อมตัว

การคัดเลือกโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอ้อมตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะใช้หลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

เกณฑ์ที่ 1 ในแง่ของการนำไปใช้จำลองสภาพจราจรในสภาพจริงแล้วสามารถสามารถสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมที่เป็นจริงได้อย่างชัดเจน

เกณฑ์ที่ 2 สามารถใช้จำลองแบบจำลองที่มีเป็นโครงข่ายจราจรได้

เกณฑ์ที่ 3 สามารถใช้จำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะเป็นหลายช่วงเวลาต่อเนื่องได้

เกณฑ์ที่ 4 สามารถใช้จำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอ้อมตัวได้

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพจราจรในปัจจุบันด้วยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา

โปรแกรมจำลองสภาพจราจร	เกณฑ์ที่ 1	เกณฑ์ที่ 2	เกณฑ์ที่ 3	เกณฑ์ที่ 4	แบบจำลอง
CORSIM (Netsim)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	จุลภาค
SimTraffic	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	จุลภาค
HCS	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	มหภาค
Synchro®	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	มหภาค
TRANSYT	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	มหภาค

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพที่มีใช้ในปัจจุบันข้างต้น พบว่าโปรแกรมทรานสิตและโปรแกรม CORSIM เป็นโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองแบบมหภาคและโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองแบบจุลภาคที่ตรงตามเกณฑ์ที่วางไว้ทั้งหมด และโปรแกรมหาดังกล่าวมีข้อได้เปรียบทางด้านความยืดหยุ่นในการจำลองสภาพจราจรมาก เนื่องจากโปรแกรมทั้งสองสามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

3.3 โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT)

โปรแกรมทรานสิตเป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรแบบที่ใช้แบบจำลองแบบมหภาคในการจำลองสภาพจราจรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและประมวลผลตัววัดประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดแบบจำลองหนึ่ง อีกทั้งโปรแกรมทรานสิตยังสามารถแนะนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรต่าง ๆ ได้

โปรแกรมทรานสิตรุ่นที่ 8 ซึ่งเป็นโปรแกรมทรานสิตรุ่นใหม่ที่สามารถจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายที่อยู่ในสภาพจราจรคับคั่ง (Oversaturated Condition) ได้ โปรแกรมทรานสิตจะประเมินผลด้านความล่าช้าและตัววัดประสิทธิภาพอื่น (Measure of Effectiveness) ของถนน โดยโปรแกรมจะเปลี่ยนวิธีการประมวลผลตัววัดประสิทธิภาพจากเดิมที่เป็นการประมวลผลในแนวตั้ง (Vertical queue) ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดของความยาวของถนน ไปเป็นวิธีการประมวลผลแถวคอยในแนวนอน (Horizontal queue) ซึ่งเป็นวิธีที่คำนึงสภาพจราจรบนช่วงความยาวถนน และนำความยาวแถวคอยของยวดยานที่จอดรอสัญญาณไฟในรอบก่อนหน้ามาเป็นปัจจัยในการพิจารณาถึงการจัดสัญญาณไฟในรอบถัดไป อีกทั้งโปรแกรมทรานสิตรุ่นที่ 8 ยังสามารถใช้พิจารณาถึงความผันแปรของปริมาณจราจรได้

3.3.1 กระบวนการจำลอง (Simulation Process)

โปรแกรมทรานสิตมีรูปแบบการจำลองสภาพจราจรอยู่ 2 ลักษณะซึ่งใช้ในสภาพจราจรที่ต่างกัน คือ การจำลองแบบลิงค์และการจำลองแบบขั้นซึ่งสามารถใช้ในการจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอิมิตัวได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการจำลองแต่ละรูปแบบดังนี้

แบบที่ 1 การจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ (Link-wise Simulation)

การจำลองแบบสภาพจราจรแบบลิงค์เป็นวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบที่ทำการคำนวณลิงค์และโหนด โดยคำนวณวนซ้ำผ่านทุกลิงค์แล้วจึงคำนวณซ้ำผ่านทุกขั้นเวลา (loop through all links, then loop through all time step) วิธีการจำลองแบบลิงค์นี้จะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถให้ผลที่น่าเชื่อถือในสภาพจราจรที่ไม่ติดขัด แต่จะไม่เหมาะสมเมื่อนำไปใช้กับกรณีที่มีสภาพจราจรติดขัด เนื่องจากจะไม่มีผลการนำผลของแถวคอยตกค้างจากรอบสัญญาณก่อนหน้ามาคิดเป็นปัจจัย นอกจากนี้ในการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ จะสมมติให้รถที่เข้ามาในโครงข่ายเกิดขึ้นที่เส้นหยุดโดยไม่คำนึงถึงความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้น จึงไม่คำนวณเวลาที่รถวิ่งจากแถวคอยมาถึงเส้นหยุด และจะสมมติให้แถวคอยเป็นแถวคอยในลักษณะแนวดิ่ง (Vertical queue) โดยไม่พิจารณาถึงความยาวแถวคอยว่าจะยาวกว่าความยาวลิงค์หรือไม่ ดังนั้นการจำลองสภาพจราจรแบบนี้อาจก่อให้เกิดแถวคอยที่ยาวเกินกว่าความยาวของถนน อย่างไรก็ตามหากเป็นการจำลองสภาพจราจรที่ไม่ติดขัดแล้ว แบบจำลองแบบลิงค์นี้จะสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แบบที่ 2 การจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลา (Step-wise Simulation)

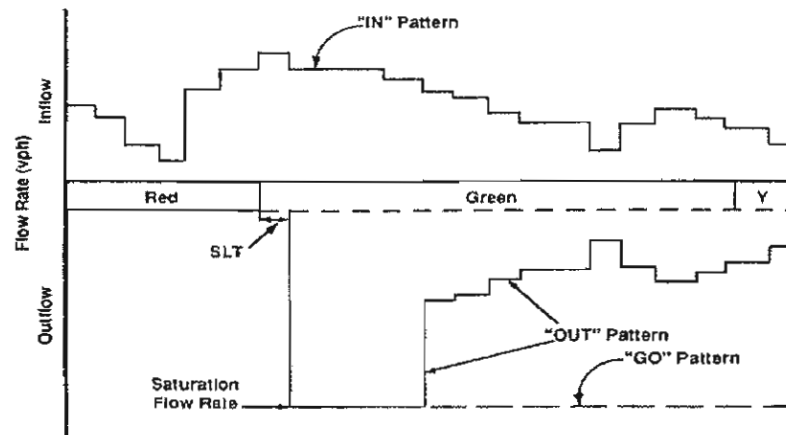
การจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลาเป็นวิธีการจำลองที่คำนวณลิงค์และโหนด โดยการคำนวณซ้ำผ่านทุกขั้นแล้วจึงคำนวณซ้ำผ่านทุกลิงค์ (Loop through all time steps and loop through all links) วิธีการจำลองสภาพจราจรแบบนี้เปรียบได้กับการให้ทุกลิงค์เคลื่อนตัวพร้อมกันไปทั้งหมด โดยเรียงลำดับจากปลายทางถึงต้นทาง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ได้ดีและพัฒนาขึ้นมาเพื่อ

- แสดงแบบจำลองของสภาพการติดขัด รวมทั้งผลจากความยาวของแถวคอยที่ล้นออกมายังลิงค์ถัดไป (Spillback effects)
- ทำให้การคำนวณความยาวแถวคอยที่แม่นยำขึ้น
- ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกจะเกิดที่ด้านหลังของแถวคอย
- มีการแสดงการจำลองสภาพจราจรหลายช่วงเวลา
- สามารถใช้กับกลุ่มทางแยกที่ติดกันแต่มีความยาวรอบสัญญาณไฟแตกต่างกันได้

การจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลามีประสิทธิภาพในการคำนวณน้อยกว่าการจำลองแบบลิงค์ กล่าวคือจะใช้เวลาในการคำนวณนานกว่า แต่อย่างไรก็ดีในสภาพจราจรอิมิตัวการจำลองสภาพจราจรแบบนี้มีความถูกต้องมากกว่า

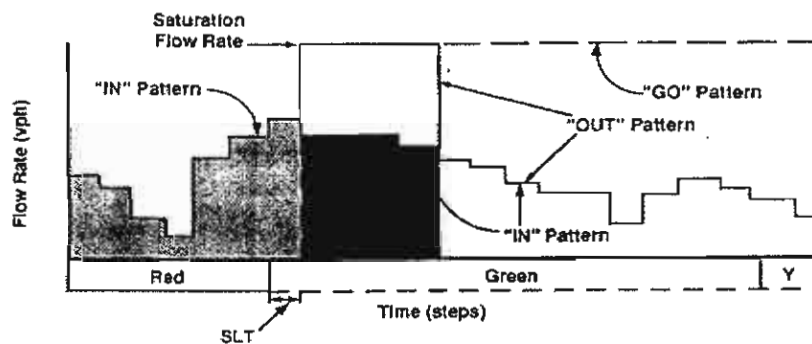
3.3.2 รูปแบบการจำลองการจราจร

การประมวลผลผลลัพธ์ของโปรแกรมทรานสิตาด้วยรูปแบบการจำลองสภาพจราจร 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยก (IN) รูปแบบการจราจรอิมิตัว (GO) และรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป (OUT) แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ลักษณะรูปแบบการจราจรแยกปริมาณการจราจรขาเข้าและปริมาณการจราจรขาออก

ที่มา : Wallace, et al. (1998)



รูปที่ 3.2 ลักษณะของรูปแบบการจราจรรวม

ที่มา : Wallace, et al. (1998)

รูปแบบที่ 1 รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยก

รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกหรือเรียกอย่างย่อว่า รูปแบบแบบ "IN" สามารถแสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$IN_{it} = \sum_j^n F_{ij} (P_{ij} OUT_{jt'}) \quad (3.1)$$

โดย

IN_{it} คือ ลักษณะรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ลิงค์ i ที่ขึ้นเวลา t

F_{ij} คือ ตัวคูณสำหรับการปรับแก้
 P_{ij} คือ สัดส่วนของรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป
 $OUT_{j,t}$ คือ รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจากลิงค์ j ที่ช่วงเวลา t

สำหรับการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกสมมติว่าเกิดขึ้นที่เส้นหยุด ส่วนการจำลองสภาพจราจรแบบขึ้นเวลาปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกสมมติว่าเกิดขึ้นที่ท้ายแถวคอย

รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของลิงค์ภายนอกโครงข่ายที่สนใจและการจราจรที่เข้ามาสู่ระบบระหว่างทางแยกภายในโครงข่าย (Midblock) มีลักษณะสม่ำเสมอ แต่เมื่อเวลาผ่านไปรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกมีแนวโน้มว่าเป็นรูปแบบการจราจรแบบสุ่ม ส่วนรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของลิงค์ภายในโครงข่ายจะมีรูปแบบที่ได้รับผลมาจากการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน

รูปแบบที่ 2 รูปแบบการจราจรอิมตัว

รูปแบบการจราจรอิมตัวหรือเรียกอย่างย่อว่า รูปแบบแบบ “GO” คือ อัตราที่ปริมาณจราจรเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุด สำหรับกรณีที่ช่วงสัญญาณไฟเขียวมีความยาวเพียงพอ ค่าปริมาณจราจรอิมตัวจะเป็นค่าที่ต้องใส่เอง (user input) สำหรับการจำลองสภาพจราจรแบบขึ้นเวลา ปริมาณจราจรที่ย้อนกลับไปยังทางแยกเนื่องจากถนนที่ทางแยกติดไปอยู่ในสภาพอิมตัว จะทำให้รูปแบบการจราจรอิมตัวมีค่าลดลง ลิงค์ที่มีปริมาณจราจรอยู่เต็ม จะมีรูปแบบการจราจรอิมตัวเป็นศูนย์

รูปแบบที่ 3 รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป

รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปหรือเรียกอย่างย่อว่า รูปแบบแบบ “OUT” จะเป็นภาพตัดขวางของการจราจรที่ผ่านเส้นหยุดออกไป โดยรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจะมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการจราจรอิมตัวตลอดช่วงเวลาที่ไม่มีแถวคอย หลังจากที่มีแถวคอยหมดไปรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจะมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกตลอดช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพที่เหลือ

3.3.3 รูปแบบของสัญญาณไฟรอบแรก

การจำลองสภาพจราจรแบบขึ้นเวลาซึ่งเหมาะสมกับการจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอิมตัวจะมีความยุ่งยากเล็กน้อย เนื่องจากขาดข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณในรอบแรก คือ รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปของการจราจรในรอบก่อนหน้านี้ ส่วนการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์จะไม่มีปัญหาเนื่องจากการจำลองสภาพจะไล่ไปจากทางแยกไปสู่ที่ทางแยกถัดไป ดังนั้นจึงมีรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปที่แน่นอนสำหรับข้อมูลที่ทางแยกถัดไป

ในกรณีที่เป็นกรจำลองสภาพจราจรแบบขึ้นเวลาจึงจะต้องมีการใส่รูปแบบของสัญญาณไฟในรอบแรกก่อนจึงจะได้รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป แต่ทั้งนี้ยังจะไม่มีกรคำนวณตัววัดประสิทธิภาพอื่น ๆ ในการจำลองสัญญาณไฟในรอบแรกนี้

จากคำอธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้ โปรแกรมทรานสิตจะใช้แบบจำลองที่มีพื้นฐานของวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์เพื่อสร้างรูปแบบการจราจรของสัญญาณไฟรอบแรก แต่ในการสร้างแถวคอยจะต้องสร้างช่วงเวลาอีก

ช่วงหนึ่งเพื่อจำลองสภาพโดยมีพื้นฐานของวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลา ซึ่งจะใช้แบบจำลองแถวคอยอีกแบบหนึ่งที่มีระบบกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ปริมาณจราจรเต็มลิงค์แล้วย้อนกลับไปยังทางแยก

3.3.4 การกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน (Platoon dispersion)

สัญญาณไฟจราจรเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดกลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ไปในลิงค์ โปรแกรม ทรานสิตจะสร้างแบบจำลองของการกระจายตัวของกลุ่มยวดยานไปตามความยาวของถนน

การจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์ : ปริมาณจราจรที่เข้ามาเปรียบเสมือนว่าเข้ามาที่เส้น หยุดโดยไม่มีการคำนึงถึงความยาวของแถวคอย

การจำลองสภาพการจราจรแบบขั้นเวลา : ปริมาณจราจรที่เข้ามาเปรียบเสมือนว่าเข้ามาที่ตำแหน่งหลังสุดของแถวคอย โดยที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้

ดังนั้นปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เข้ามาสู่ทางแยกจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

$$v'_{(t+\beta T)} = F \cdot v_t + [(1-F)v'_{(t+\beta T-1)}] \quad (3.2)$$

$$F \propto (1 + \alpha \cdot \beta \cdot T)^{-1} \quad (3.3)$$

โดย

$v'_{(t+\beta T)}$ = ปริมาณจราจรโดยประมาณในช่วงเวลา $t + \beta T$

α คือ ปัจจัยการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน

v_t คือ ปริมาณจราจรของกลุ่มยวดยานกลุ่มแรกที่ช่วงเวลา t

β คือ ตัวคูณโดยปกติใช้เท่ากับ 0.8

T คือ เวลาในการเดินทางบนลิงค์ (นับเป็นจำนวนขั้นเวลา)

F คือ ตัวคูณปรับแก้

ค่าการกระจายตัวของกลุ่มยวดยานมีค่าขึ้นอยู่กับปัจจัยของ ความชัน (grade) ความโค้ง (curvature) การจอดรถ (parking) ปริมาณจราจรที่ตรงข้ามที่ตัดกระแสจราจร (opposing flow interference) และการขัดขวางการจราจรจากแหล่งอื่น ๆ (other sources of impedance) (สรวิต และ อนุกัณย์, 2541) ส่วนค่าแฟคเตอร์การกระจายตัวของกลุ่มยวดยานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 3.2 ดัชนีการกระจายตัว (Platoon Dispersion Index)

ดัชนีการกระจายตัว	การกระจายตัว	หมายเหตุ
ศูนย์	การกระจายตัวสม่ำเสมอ	ไม่มีความผันแปร

ค่าน้อย		มีการกระจายตัวน้อย ไม่มีการขัดขวางจาก สภาพจราจรโดยรอบ
ค่ามาก	กระจายตัวน้อย มีการประสานสัญญาณไฟ มีความแตกต่างของความเร็วมาก	

วิธีการวัดเวลาในการเดินทาง (Travel time) แบ่งเป็น 2 กรณี

- การจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์ : จะนับเวลาในการเดินทางจากเส้นหยุดของทางแยกก่อนหน้า ไปถึงเส้นหยุดของทางแยกถัดไป
- การจำลองสภาพการจราจรแบบชั้นเวลา : จะนับเวลาในการเดินทางจากเส้นหยุดของทางแยกก่อนหน้าไปถึงหลังของแถวคอยของทางแยกถัดไป

3.3.5 ความผันแปรของตัวพารามิเตอร์

ความผันแปรของตัวพารามิเตอร์เป็นการเปรียบเทียบตัววัดประสิทธิภาพของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป หากเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใส่ไว้หรือตั้งไว้จะสามารถทดสอบได้โดยการจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์เท่านั้น สามารถสรุปความผันแปรอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวรอบสัญญาณไฟและการจัดจังหวะสัญญาณไฟจะส่งผลให้รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปและรูปแบบของการจราจรที่ทางแยกถัดไปผันแปรจากเดิม
- บนลิงค์ใด ๆ รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจะมีค่าเท่ากับปริมาณการจราจร
- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวจะทำให้ลักษณะการจราจรเปลี่ยนแปลงไป

หลักการสำคัญประการหนึ่งของโปรแกรมทรานสิตคือ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากโปรแกรมอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟมีค่ามากกว่าความผันแปรของตัวพารามิเตอร์ปัจจุบัน จะต้องคำนวณรูปแบบของปริมาณการจราจรของถนนถัดไปซ้ำอีกครั้งอีกครั้ง แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าจะถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่มี ความแตกต่างระหว่างลิงค์จึงไม่มีการคำนวณหาปริมาณการจราจรซ้ำ

3.3.6 ตัววัดประสิทธิภาพ

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงความคล่องตัว ค่าใช้จ่าย และความปลอดภัย การประมวลผลด้วยโปรแกรมจำลองสภาพจราจรต่าง ๆ จะแสดงผลตัววัดประสิทธิภาพการจราจรได้ในหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

- ความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่มากที่สุด (Maximum Individual Delay/Vehicle)

- ความล่าช้าเฉลี่ย (Average Delay)
- ความล่าช้าโดยรวมของยวดยานทั้งหมด (Total Delay, Aggregate Delay)
- อัตราส่วนของปริมาณการจราจรต่อความสามารถในการให้บริการ (V/C Ratio)
- ความยาวของแถวคอย (Queue Length)
- เวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Overall Travel Time)
- ความเร็วที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมด (Overall Travel Speed)
- อัตราส่วนของปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยต่อความหนาแน่น (Q/K Ratio)
- จำนวนรถเข้า-ออกจากโครงข่าย (Input-Output Count)
- อัตราส่วนของความติดขัดต่อปริมาณการเดินทาง (Congestion/Demand ratio)
- การใช้พลังงานและของเสียจากการเผาผลาญพลังงาน (Energy Concept)
- อัตราการเกิดอุบัติเหตุ (Accident Rate)
- เวลาที่เริ่มเกิดสภาพการจราจรติดขัด (Saturated Condition)
- เวลาที่สามารถจัดสภาพการจราจรติดขัด
- ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดสภาพการจราจรติดขัด

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่สำคัญแสดงไว้ดังต่อไปนี้

3.3.6.1 ความล่าช้าและระดับการให้บริการ

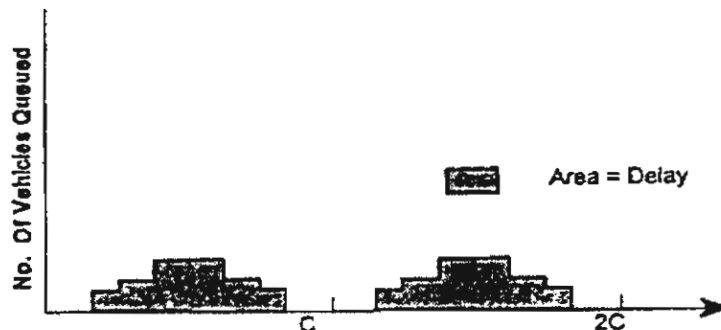
ตัววัดประสิทธิภาพที่สำคัญที่สุด คือ ความล่าช้าของยวดยาน เนื่องจากเป็นตัวสะท้อนที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากเวลาที่สูญเสีย ความไม่สะดวกสบาย ความวิตกกังวล การใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ความล่าช้าที่ทางแยกยังชี้ว่าการจัดสัญญาณไฟแบบใดเป็นการจัดสัญญาณไฟที่ดีกว่า

ในทางปฏิบัติความล่าช้าจะวัดได้จากจำนวนรถที่หยุดอยู่ที่ทางแยกในแต่ละขั้นของเวลา (Step time) และเนื่องจากความผันแปรของการเข้ามาของยวดยานในรอบสัญญาณไฟ ดังนั้นความล่าช้าจะต้องมีความไม่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จุดอิมตัวหรือใกล้จุดอิมตัว ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีผลกระทบรุนแรง โปรแกรมในรุ่นที่ 8 นี้ ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์เป็นแบบครั้งละหลายรอบสัญญาณไฟได้ (Multi-cycle) ซึ่งทำให้โปรแกรมทรานสิตมีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ผลโครงข่ายตามที่ต้องการได้

โปรแกรมทรานสิตจะประเมินความล่าช้าจากการเคลื่อนตัวของยวดยานผ่านทางแยกที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาว่ารถที่วิ่งผ่านทางแยกออกไปโดยมีการหยุดรอเปรียบเทียบกับรถที่วิ่งผ่านทางแยกออกไปโดยไม่ต้องหยุดรอ ซึ่งเป็นสภาพอุดมคติ (Ideal Condition) โดยไม่คำนึงว่าจะมีจำนวนครั้งของการหยุดต่างกันแต่จะใช้การพิจารณาการเผาผลาญพลังงานเป็นเกณฑ์หลัก โปรแกรม ทรานสิตจะไม่แสดงวิถีทางเดิน (Trajectory) ของยวดยานเป็นรายคันเพื่อใช้ในการประมาณค่าความล่าช้า หากแต่โปรแกรมจะมองภาพโดยรวมของภาพร่างของกระแสจราจร (Flow profiles) เพื่อใช้ในการประเมินความล่าช้า

การประเมินความล่าช้าของโปรแกรมทรานสิตจะแบ่งความล่าช้าเป็น 2 กลุ่ม คือความล่าช้าสม่ำเสมอ (Uniform delay) สำหรับกรณีที่สามารถจัดรถให้ออกจากทางแยกได้หมดใน 1 รอบสัญญาณไฟ และ ความล่าช้าแบบ

สุ่ม (Random delay) เป็นพจน์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่สามารถจัดสัญญาณไฟให้รองรับปริมาณจราจรที่มีมากขึ้นจนไม่สามารถจัดแถวคอยได้ภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ สำหรับพจน์ที่เป็นความล่าช้าสม่ำเสมอ โปรแกรมทรานสิตจะคำนวณค่าความล่าช้าสม่ำเสมอจากความยาวแถวคอยเฉลี่ยใน 1 รอบสัญญาณไฟ ความล่าช้าสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับพื้นที่แรเงาในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความล่าช้าสม่ำเสมอ

ที่มา : Wallace, et al. (1998)

ความล่าช้าสม่ำเสมอสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.4

$$D_u = \frac{\sum_{t=0}^N m_t}{N} \quad (3.4)$$

โดยที่

D_u คือ ความล่าช้าสม่ำเสมอ (คัน-ชม/ชม)

m_t คือ ความยาวของแถวคอยในชั้นเวลา t (คัน)

N คือ จำนวนชั้นเวลาใน 1 รอบสัญญาณไฟ

ความล่าช้าข้างต้นไม่สามารถจะตอบสนองปริมาณยานพาหนะที่เข้ามาสู่ทางแยกแบบไม่คงที่ ดังนั้นจะต้องมีพจน์ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับคำนวณผลของความล่าช้าในช่วงที่เป็นแบบสุ่ม และ ความล่าช้าในช่วงที่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (Oversaturated delay, D_{os}) โดยทรานสิตในรุ่นที่ 8 ใช้ความล่าช้าในช่วงที่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกตามแบบจำลองของ HCM ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (3.5)$$

โดย

d คือ ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน)

d_1 คือ ความล่าช้าสม่ำเสมอเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน)

PF คือ ตัวคูณสำหรับความล่าช้าที่มาจากทำให้ความสำคัญแก่กลุ่มรถ

d_2 คือ ความล่าช้าส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความล่าช้าแบบสุ่ม (วินาทีต่อคัน)

d_s คือ ความล่าช้าส่วนเกินเนื่องมาจากความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นก่อนช่วงเวลาที่ทำ
การจำลองสภาพจราจร (วินาทีต่อคัน)

หรืออาจสรุปสมการ 3.5 ลงมาเป็น

$$D = D_v + D_{ro} \quad (3.6)$$

โดย D_v หาได้จากสมการที่ 3.4 และ

$$d_{ro} = 900T \left\{ (x-1) + \sqrt{\left\langle (x-1)^2 + \frac{8kIX}{cT} \right\rangle} \right\} \frac{v}{3600} \quad (3.7)$$

T คือ ความยาวเวลาที่พิจารณา (ชั่วโมง)

K คือ ตัวคูณความล่าช้าซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ สำหรับกรณีที่เป็น การ
ควบคุมแบบคงที่ จะใช้ค่า $K = 0.5$

I คือ ตัวคูณสำหรับกรองปริมาณจราจร (Filtering)

C คือ ความสามารถในการให้บริการของช่องทางเดินรถ (คันต่อชั่วโมง)

X คือ ระดับความอิ่มตัว

V คือ ปริมาณจราจรบนถนน

หากมีการจำลองสภาพจราจรแบบหลายช่วงเวลาต่อเนื่องกัน โปรแกรมจะปรับแก้แบบจำลองอีกครั้งด้วยส่วน
ประกอบที่แสดงได้ดังสมการ 3.8

$$D_d = \frac{(x-1)cT}{2} \quad (3.8)$$

ระดับการให้บริการ (Level of Service) คือ ตัวที่ใช้วัดคุณภาพของการให้บริการ สำหรับทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ โดยจะพิจารณาจากความล่าช้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น (Average total delay) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระดับการให้บริการสำหรับทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ

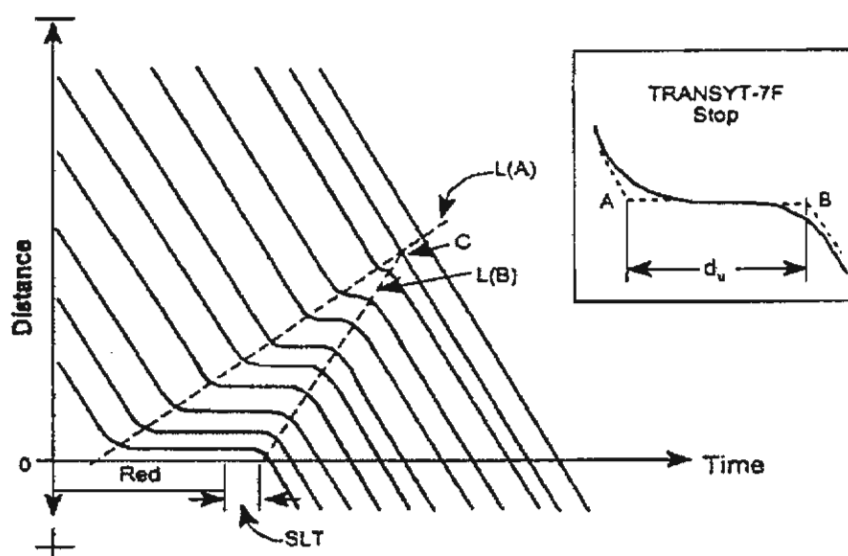
ที่มา : Wallace, et al. (1998)

ระดับการให้บริการ	สภาพจราจร	ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/คัน)
A	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างเต็มที่และสามารถผ่านไปได้ในเวลาไฟเขียว	น้อยกว่า 10
B	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน สามารถเคลื่อนตัวได้ดีแต่มีการหยุดเกิดขึ้นมากกว่าระดับ A	ระหว่าง 10 กับ 20
C	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานยังสามารถเคลื่อนตัวได้แต่มีจำนวนรถที่ต้องหยุดมากขึ้น เริ่มไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบ	ระหว่าง 20 กับ 35
D	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานไม่ค่อยดี มีจำนวนยวดยานหลายคันต้องหยุด ไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบจนสังเกตได้	ระหว่าง 35 กับ 55
E	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานเป็นไปไม่ได้ถ้า กรณีที่ไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบมีมากกว่าเดิม	ระหว่าง 55 กับ 80
F	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานเป็นไปไม่ได้ถ้า ไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบมากกว่าระดับ E	มากกว่า 80

3.3.6.2 จำนวนครั้งของการหยุด

โปรแกรมทรานสิตจะสมมติว่ายวดยานที่มีความล่าช้าจะต้องหยุดเสมอ แต่ในความเป็นจริงไม่ใช่ว่าจะเป็นอย่างสมมติฐานเสมอไป แต่เนื่องจากในสภาพการหยุดของรถจะมีอยู่หลายกรณี กล่าวคือการหยุดอาจจะหยุดจริงหรือชะลอแต่ไม่หยุด จากรูปที่ 3.4 แสดงสภาพความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะทางของการเข้าและออกจากแถวคอยของยวดยาน

เมื่อจุด A และ B คือ จุดที่ยวดยานเข้าและออกจากแถวคอย และ $L(A)$ และ $L(B)$ คือขอบด้านหลังและด้านหน้าของแถวคอยตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะทางของการเข้าและออกจากแถวคอยของรถยนต์
ที่มา : Wallace, et al. (1998)

สำหรับการจำลองแบบของรอบเดียวในโปรแกรมทรานสิตจะคำนวณจำนวนครั้งของการหยุดโดยคูณเปอร์เซ็นต์ของจำนวนรถยนต์ที่หยุดกับจำนวนรถที่ออกจากเส้นหยุด เมื่อปริมาณจราจรที่ล้นเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกกล่าวคือรถยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปทั้งหมดในช่วงเวลาไฟเขียว ดังนั้นผลคูณจำนวนครั้งของการหยุดดังกล่าวจะพิจารณาเฉพาะรถที่สามารถเคลื่อนที่ออกได้ในช่วงเวลาไฟเขียว ส่วนรถที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกได้จะไม่นำมาพิจารณา ถึงแม้ว่าจะหยุดคอยในสัญญาณที่ผ่านมาก็ตาม

ดังนั้นผลรวมของจำนวนครั้งของการหยุดทั้งหมดจึงเท่ากับผลบวกของผลคูณดังกล่าวบวกด้วยจำนวนรถที่ติดอยู่ในแถวคอย ผลเนื่องจากการรวมจำนวนการหยุดของรถที่ไม่สามารถผ่านทางแยกไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียวเข้าไป

โปรแกรมทรานสิตจะคำนวณจำนวนครั้งของการหยุดในสภาพที่รถสามารถผ่านทางแยกไปได้และไม่สามารถผ่านไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียว (Random-plus-oversaturation) ต่อชั่วโมงดังสมการ

$$h = \frac{3240N_0}{C} \quad (3.9)$$

เมื่อ

h คือ จำนวนครั้งของการหยุด

C คือ ความยาวของรอบสัญญาณไฟ

N_0 คือ แถวคอยที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นในสภาพ Random-plus-oversaturation

ในกรณีของการคำนวณความล่าช้าในหน่วยวินาที การคำนวณส่วนประกอบของการหยุดในสภาพ Random-plus-oversaturation จะคำนวณแยกต่างหากเมื่อพิจารณาแบบจำลองหลายรอบ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$h_d = \frac{q N_d}{\text{Capacity per cycle}} \quad (3.10)$$

เมื่อ h_d คือ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในสภาพจราจรอึมตัว
 q คือ อัตราการเข้ามาของรถ (คัน/ชั่วโมง)
 N_d คือ แถวคอยในสภาพจราจรอึมตัว

3.3.6.3 การเผาะลาญเชื้อเพลิง

แบบจำลองการเผาะลาญเชื้อเพลิงที่ใช้ในโปรแกรมทรานสิตมีเงื่อนไขดังนี้

- แบบจำลองอธิบายเกี่ยวกับเหตุการณ์จริงซึ่งทรานสิตสามารถแปลงเป็นความสัมพันธ์เชิงตัวเลขระหว่างความล่าช้าและจำนวนครั้งในการหยุดได้
- แบบจำลองง่ายต่อการปรับเปลี่ยน

ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ คือ

$$F = K_{i1} TT + K_{i2} D + K_{i3} S \quad (3.11)$$

เมื่อ F คือ การเผาะลาญพลังงาน (แกลลอน(ลิตร)ต่อชั่วโมง)
 TT คือ การเดินทางทั้งหมด (คัน-ไมล์(คัน-กิโลเมตร)ต่อชั่วโมง)
 D คือ ความล่าช้าทั้งหมด (คัน-ชั่วโมง ต่อ ชั่วโมง)
 S คือ จำนวนการหยุดทั้งหมดต่อชั่วโมง
 K_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง (V_i) บนลิงค์ i ซึ่งเป็นปัจจัยของเวลาในการเดินทาง ($j=1$) ความล่าช้าที่เกิดขึ้น ($j=2$) และการหยุด ($j=3$) โดยที่ $K_{ij} = A_{j1} + A_{j2} V_i + A_{j3} V_i^2$ เมื่อ A_{j1}, A_{j2} และ A_{j3} คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยและ V_i คือความเร็วบนลิงค์ i

3.3.6.4 ดัชนีวัดความไม่พึงพอใจ (Disutility Index)

ดัชนีความไม่พอใจจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของความล่าช้าและจำนวนครั้งของการหยุด ซึ่งโปรแกรมทรานสิตจะใช้ดัชนีวัดความไม่พึงในการตัดสินใจวิธีการควบคุมสัญญาณแบบใดเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด สามารถแสดงได้โดย

$$DI = \sum_{i=1}^n \{ (w_{d_i} d_i + K w_{s_i} S_i) + U_i (w_{d_{i-1}} d_{i-1} + K w_{s_{i-1}} S_{i-1}) + QP \} \quad (3.12)$$

เมื่อ DI คือ ดัชนีความไม่พอใจ

d_i คือ ความล่าช้าบนลิงค์ i (คำนวณ)

K คือ สัมประสิทธิ์ที่ใช้เป็นตัวแปรในการชดเชยจำนวนครั้งในการหยุด ซึ่งจะแสดงถึงความสำคัญของการหยุดที่สัมพันธ์กับความล่าช้า

S_i คือ จำนวนครั้งในการหยุดบนลิงค์ i

w_{xi} คือ ตัวแปรที่ใช้ถ่วงน้ำหนักความล่าช้าและจำนวนครั้งในการหยุด

U_i คือ
$$\begin{cases} 1 & \text{ถ้าการถ่วงน้ำหนักในลิงค์ } i \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่นนอกจากนี้} \end{cases}$$

QP คือ การชดเชยแถวคอย

การชดเชยแถวคอยเป็นพจน์ที่ใช้หาค่าความยาวแถวคอยปลายกระแสจราจรที่ยาวมาถึงทางแยกอื่น (Spillback) ที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

ถ้าการจำลองสภาพแบบลิงค์ถูกใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

$$QP = QB_i W_q (q_i - qc_i) \quad (3.13)$$

เมื่อ

Q คือ
$$\begin{cases} 1 & \text{ถ้าหากใช้ DI ลดแถวคอยให้น้อยที่สุด} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่นนอกจากนี้} \end{cases}$$

B_i คือ
$$\begin{cases} 1 & \text{ถ้าความยาวแถวคอยมากที่สุด (} q_i \text{) ซึ่งเกินความจุที่ผู้ใช้กำหนดไว้} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่นนอกจากนี้} \end{cases}$$

W_q คือ ขอบเขตของโครงข่ายที่ครอบคลุมความยาวแถวคอยปลายกระแสจราจรที่ยาวจนถึงทางแยกอื่น

q_i คือ ความยาวแถวคอยมากที่สุดบนลิงค์ i ที่คำนวณได้

qc_i คือ ความสามารถของลิงค์ i ที่สามารถมีความยาวแถวคอยได้มากที่สุด

(Queuing Capacity)

สำหรับสภาพกระแสการจราจรสูงจนถึงระดับความสามารถในการให้บริการจะใช้การจำลองสภาพแบบขั้นเวลามากกว่าการจำลองสภาพแบบลิงค์ ในการจำลองสภาพแบบขั้นเวลาจะคำนวณหา QP ไม่ได้เพราะ $(q_i - qc_i)$ จะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะใช้สมการ

$$QP = QW_F F_i \quad (3.14)$$

เมื่อ

F_i คือ จำนวนของลิงค์ที่เต็ม

W_F คือ ขอบเขตของโครงข่ายที่ครอบคลุมถึงจำนวนของลิงค์ที่เต็ม

ส่วนค่า Q เหมือนกับสมการข้างต้น

3.4 โปรแกรม CORSIM (NETSIM)

โปรแกรม CORSIM (CORridor SIMulation) เป็นระบบโปรแกรมที่มีโปรแกรมย่อยชื่อ NETSIM (NETwork SIMulation) ซึ่งใช้ในการจำลองสภาพการจราจรในเมืองที่มีลักษณะแบบไม่แน่นอน (Stochastic) แบบจำลองแบบจุลภาคที่ใช้ในโปรแกรม NETSIM จะให้ความสำคัญกับข้อมูลในระดับย่อยที่สามารถสะท้อนให้เห็นลักษณะจราจรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดโปรแกรมหนึ่ง

โปรแกรม CORSIM จะประมวลผลความล่าช้าและตัววัดประสิทธิภาพอื่น ๆ ด้วยการรวมผลลัพธ์ต่าง ๆ ในระดับย่อย คือ ระดับยวดยานแต่ละคันที่วิ่งตามกันในโครงข่ายด้วยทฤษฎีการเคลื่อนที่ของรถตามกัน (Car following Theory) โดยใช้ลักษณะของยวดยานและผู้ขับขี่ ซึ่งได้รับคำแนะนำจาก FHWA ภายใต้สูตร และสมการต่าง ๆ ซึ่งได้จากการวิจัยมากกว่า 20 ปี เพื่อปรับปรุงและแก้ไขให้เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขตามสภาพแวดล้อมที่จะจำลองจริง โปรแกรมพยายามที่จะจำลองสภาพการจราจร ให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงและสามารถจำลองเหตุการณ์หรือข้อกำหนดเฉพาะของระบบการจราจรได้ เช่น ช่องจราจรที่ถูกกำหนดให้เลี้ยวได้อย่างเดียว หรือเพื่อรถประจำทางเท่านั้น กิจกรรมของคนเดินเท้า และกิจกรรมของรถประจำทาง โปรแกรมสามารถที่จะสร้างรูปแบบการจราจรที่มีปริมาณการจราจรและเวลาของสัญญาณไฟจราจรเป็นคาบ ๆ และยังสามารถรายงานผลช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง และช่วงเวลาที่มีการจราจรปกติ ความล่าช้า (Delay) จำนวนครั้งที่จัดสัญญาณไฟล้มเหลว (Phase Failure) ความเร็ว ระยะทางทั้งหมดที่รถ

3.4.1 รูปแบบการจำลองการจราจร

โปรแกรม NETSIM เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรสำหรับการจราจรในเมือง การจำลองโครงข่ายจะแสดงโดย Nodes และ Links โดย Node จะแสดงถึงจุดเชื่อมต่อของถนน แหล่งกำเนิดและรับการจราจร ส่วน Link จะแสดงถึงลักษณะของถนน ทิศทางการจราจร และจำนวนช่องจราจร รถจะถูกกำหนดให้เข้ามาในโครงข่ายอย่างสุ่มโดยใช้เทคนิคของ Monte Carlo จำนวนรถที่จะเข้ามาในโครงข่ายจะเข้ามาอย่างสม่ำเสมอ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรถที่กำหนดลงในโปรแกรม ทันทีที่รถเข้ามาในโครงข่ายรถจะเร่งความเร็วจนถึงความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) การตัดสินใจเลี้ยวรถจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรมหรือโดยการสุ่ม

ระบบที่ควบคุมการจราจรในโครงข่ายจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ระบบควบคุมโดยป้ายจราจร และระบบที่ควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจร เมื่อรถเข้าใกล้จุดตัดหรือ Node และสัญญาณจราจรเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟแดงรถจะลดความเร็วลงด้วยอัตราหนึ่งจนกระทั่งความเร็วลดลง และรถจะลดความเร็วลงด้วยอัตราหนึ่งอีกอัตราหนึ่ง จนกว่าจะหยุดรถ และเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียว รถคันแรกจะวิ่งด้วยความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) โดยรถคันที่ 2 จากด้านหน้าจะเริ่มเร่งความเร็วด้วยอัตราเร่งอีกอัตราหนึ่งที่กำหนดไว้ตามหลังรถคันแรก และรถคันถัดมาอีกคันจะเริ่มเร่งต่อมา ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่ตามกัน (Car following Theory)

และในกรณีที่มีปริมาณจราจรมากจนมีแถวคอยยาวย้อนมาปิดทางแยกถัดไป ยวดยานจะถูกกำหนดไว้ว่ามีความน่าจะเป็นเท่าไรที่จะหยุดรอที่เส้นหยุด หรือจะวิ่งไปต่อแถวคันหน้าทั้งทางตรงและทางเลี้ยวซึ่งกรณีหลังก็จะมีผลกระทบต่อการไหลทางขวางด้วย

3.4.2 ตัววัดประสิทธิภาพ

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่สำคัญได้มาจากการประมวลผลของโปรแกรม โดยการวัดจากยานยนต์ที่ละคันที่มีลักษณะการเข้ามาสู่โครงข่ายแบบสุ่ม และเคลื่อนที่ในโครงข่ายด้วยทฤษฎีของรถเคลื่อนที่ตามกัน (Car following Theory)

ตัววัดประสิทธิภาพที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ มีดังนี้

3.4.2.1 ความล่าช้าเฉลี่ย

ความล่าช้าเฉลี่ยได้จากการเฉลี่ยความล่าช้าของยานยนต์แต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่สูญเสียไปที่ทางแยกอื่นเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

3.4.2.2 เวลาในแถวคอย

เวลาในแถวคอยจะเป็นเวลาสะสมของยานยนต์ทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่อยู่ในแถวคอยที่ทางแยกอื่นเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

3.4.2.3 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง

อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยานยนต์แต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาค้างนี้ค่าอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงอยู่ในรูปแบบของระยะทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อหนึ่งแกลลอน โดยโปรแกรมจะนำลักษณะของการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไปใช้ในการหาการเผาผลาญเชื้อเพลิงของยานยนต์แต่ละคัน

3.4.2.4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาของยานยนต์แต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาค้างนี้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในรูปแบบของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อหนึ่งไมล์ โดยโปรแกรมจะนำลักษณะของการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไปใช้ในการหาปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของยานยนต์แต่ละคัน

3.4.2.5 จำนวนยานยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤต

จำนวนยานยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤตเป็นจำนวนยานยนต์ทั้งหมดที่ออกจากทางแยกวิกฤตในช่วงเวลาที่พิจารณา

บทที่ 4

การออกแบบการศึกษา

(Design of Study)

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการออกแบบวิธีการศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น โดยศึกษาลักษณะของการจราจรหนาแน่น การทดสอบการใช้งานโปรแกรมที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือ การออกแบบการทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพการจราจรหนาแน่นที่ทางแยกประเภทต่างๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ และ ตัววัดประสิทธิผลของการควบคุม

4.1 สภาพการจราจรหนาแน่น (Congested Condition)

"สภาพการจราจรหนาแน่น" ที่อ้างถึงและที่จะอ้างถึงต่อไปนี้มีลักษณะของสภาพการจราจรแตกต่างจากสภาพการจราจรเบาบาง หรือ ถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย โดยที่ปริมาณของการจราจรมากจนเกิดผลต่อการควบคุมสัญญาณไฟ

Longley (1968) ได้ให้นิยามของสภาพการจราจรหนาแน่น ไว้ว่า

สภาพการจราจรหนาแน่น คือ สภาพการจราจรที่มีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก และเกิดมีแถวคอยสะสมจนไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ เมื่อเวลาผ่านไปแถวคอยเกิดขึ้นจะยาวมากขึ้นจนย้อนกลับมากีดขวางทางแยก หรือที่เรียกสภาพแบบนี้ว่า ความคับคั่งทุติยภูมิ (Secondary congestion)

สภาพการจราจรหนาแน่น ดังนิยามดังกล่าว หมายความว่าถึงสภาพการจราจรที่มีช่วงเวลาบางช่วงที่ปริมาณการจราจร (ที่ต้องการผ่านทางแยกหรือโครงข่าย) มากกว่าการจราจรที่ออกจากทางแยก (โครงข่าย) จริง ซึ่งปริมาณการจราจรที่จะออกจากทางแยก (โครงข่าย) ได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยพฤติกรรมคนขับและยานยนต์ ลักษณะการจราจร ลักษณะทางกายภาพการจัดการจราจร และการควบคุมการจราจร (สัญญาณไฟ) อาจกล่าวได้ว่า ในช่วงเวลาดังกล่าวการจราจรมีระดับของการอิ่มตัว (degree of saturation) มากกว่าหนึ่ง การจราจรสภาพหนาแน่นนี้ จะเป็นสภาพที่ไม่สมดุล กล่าวคือ จะทำให้เกิดสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลง โดยจะมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น และขยายขอบเขตเป็นพื้นที่กว้างขึ้น ครอบคลุมทางแยกข้างเคียง และอาจส่งผลต่อการควบคุมสัญญาณไฟ (หรือทางแยก) ข้างเคียง ดังนั้น การอธิบายสภาพการจราจรในระดับนี้ ไม่สามารถอธิบายได้จากการจราจร ณ เวลาใด ๆ ได้ดี จะต้องพิจารณาถึงการเกิด และการสิ้นสุดของสภาพการจราจรหนาแน่น ควบคู่กันไปด้วย

4.2 การออกแบบและกำหนดถนนและค่าสัญญาณไฟเริ่มต้น

ดังที่กล่าวมาแล้วใน หัวข้อ 4.1 ว่า การกำหนดสภาพการจราจรในการศึกษา จะเกี่ยวข้องกับลักษณะของถนน เป็นส่วนสำคัญ นอกเหนือจากผลการควบคุมสัญญาณไฟ (การจราจร) ทั้งนี้ค่าที่แสดงสภาพการจราจรที่จะเกิดขึ้น โดยประมาณ สามารถพิจารณาจากระดับของการอิ่มตัวของจราจร (degree on saturation, ds) ซึ่งมาจาก

$$ds = \frac{qc}{sg} \quad (4.1)$$

โดยที่

- q คือ ปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในทิศทางจราจรใด ๆ (คัน ต่อ ชม.)
- c คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
- s คือ กระแสอิ่มตัวของจราจรในทิศทางที่กำหนด (คัน ต่อ ชม.)
- g คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวของทิศทางที่กำหนด (วินาที)

ซึ่งระดับของการอิ่มตัวของจราจรนี้จะเป็ค่าแสดงสภาพการจราจร ณ ช่วงเวลาใด ซึ่งสามารถใช้พิจารณาในช่วงเวลาที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นได้เช่นกัน

สมการข้างต้น แสดงให้เห็นว่า สภาพการจราจร (เมื่อพิจารณา ณ เวลาใด ๆ) จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของถนน และการตั้งค่าสัญญาณไฟ ดังนั้นในการออกแบบการศึกษา เพื่อที่จะกำหนดให้การจราจรมีสภาพหนาแน่นตามกำหนด จะต้องพิจารณาออกแบบและคัดเลือกลักษณะของถนนและค่าสัญญาณไฟ เริ่มต้นที่เหมาะสม และ สอดคล้องกับปริมาณการจราจรที่จะทำการทดสอบ

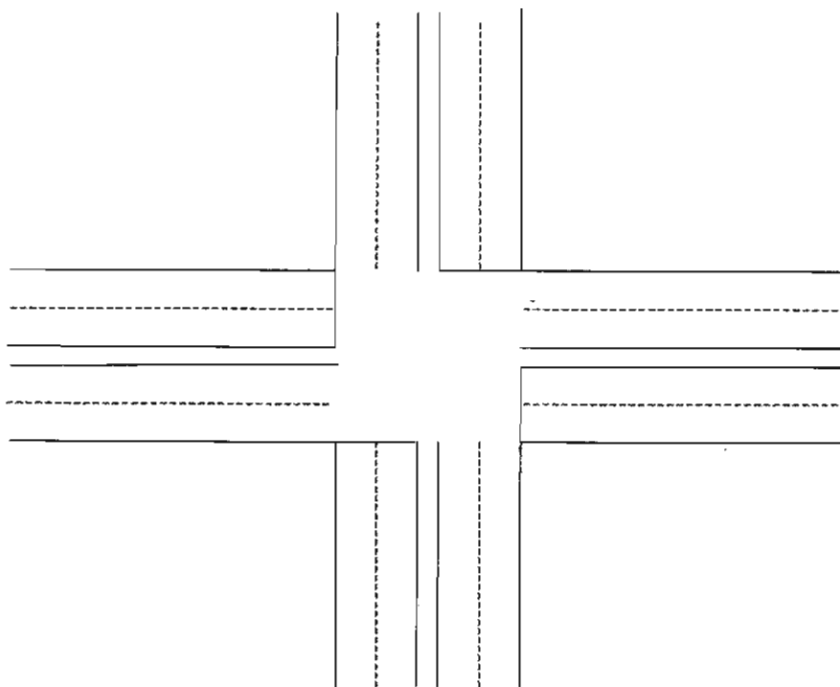
เพื่อให้ได้ผลของการควบคุมสัญญาณไฟที่สภาพการจราจรต่าง ๆ บนลักษณะของถนนลักษณะต่าง ๆ ใน การวิจัยครั้งนี้ จึงกำหนดให้ ออกแบบ และ ทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟบนโครงข่าย 3 ประเภท อันได้แก่

1. ทางแยกสัญญาณไฟเดี่ยว (isolated intersection)
2. โครงข่ายถนนสายหลักสายเดี่ยว (Corridor)
3. โครงข่ายถนนลักษณะเป็นตาข่าย (Grid network)

4.2.1 การออกแบบทางแยกเดี่ยว

ทางแยกเดี่ยวจะมีลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่ง คือ ไม่มีข้อจำกัดเรื่องความยาวของแถวคอยที่ทางแยก ซึ่งจะ สามารถแสดงให้เห็นว่าไม่มีสภาพความคับคั่งทุติยภูมิเกิดขึ้น ดังนั้น การควบคุมสัญญาณไฟที่ทางแยกเดี่ยวจึงไม่ต้องคำนึงถึงความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้น

โครงข่ายที่ใช้สำหรับการทดสอบการจำลองสภาพการจราจรที่มีลักษณะการจราจรต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปต่อไป



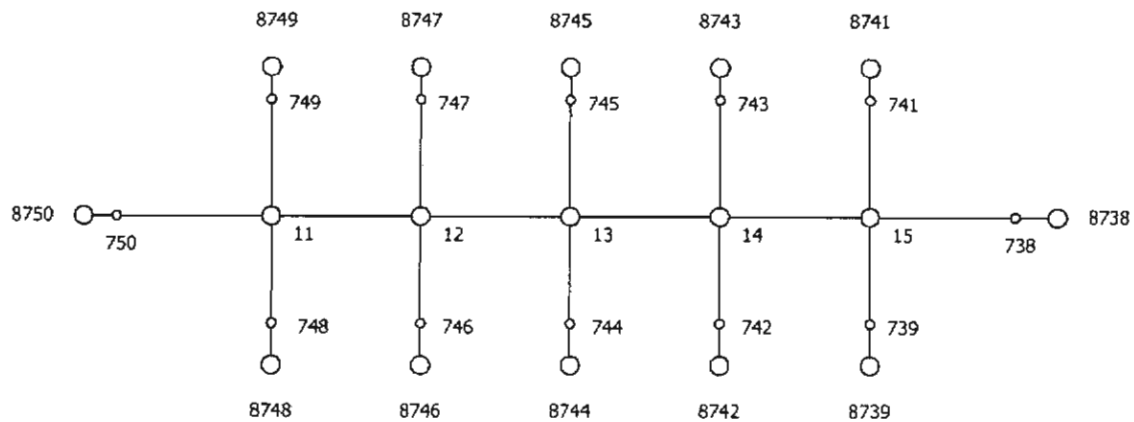
รูปที่ 4.1 โครงข่ายของแบบจำลองและลักษณะทางกายภาพของทางแยกเดี่ยว

ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นโครงข่ายที่ออกแบบให้มีทางแยกวิกฤติ (Critical Intersection, CI) เกิดขึ้นที่ทางแยกที่ 1 ซึ่งเป็นจุดตัดของถนนสายหลัก 2 สาย กำหนดให้ถนนในโครงข่ายเป็นถนนที่มีช่องจราจรข้างละ 2 ช่องทาง มีความยาวระหว่างทางแยกใดๆ ไม่จำกัด และเมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นมากขึ้นจนทำให้ไม่สามารถจัดแถวคอยได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ แถวคอยที่เกิดสะสมจะมีความยาวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ แต่เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดด้านความยาวของถนน จึงไม่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ แสดงดังรูปที่ 4.2 ลักษณะของการจราจรในโครงข่ายที่ผ่านทางแยกออกไปทั้งหมดเป็นการจราจรที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกในทิศทางตรง ไม่มีปริมาณจราจรในทิศทางอื่น

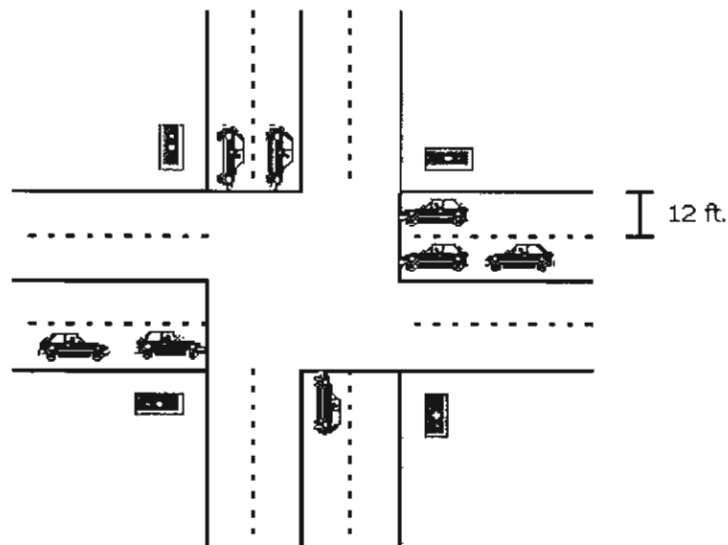
4.2.2 การออกแบบถนนสายหลักสายเดียว

โครงข่ายถนนสายหลักสายเดียว ที่กำหนดในการวิจัยครั้งนี้แสดงในรูปที่ 4.2 วงกลมในรูปแสดงโหนด (Node) หรือ ตำแหน่งของ ทางแยก จุดเริ่มต้น/สิ้นสุดของการจราจร และลิงค์ (Link) ซึ่งแสดงช่วงของถนน โครงข่ายถนนสายหลักนี้ใช้ในการทดสอบความสามารถของการควบคุมที่จะจัดการจราจรบนถนนสายหลักให้เกิดความคล่องตัว โดยมีข้อจำกัดของความยาวแถวคอยบนถนนหลักเท่านั้น

โครงข่ายถนนดังแสดงในรูปใช้ในการจำลองโครงข่ายถนนในโปรแกรมจำลองการจราจร ซึ่งจะประกอบไปด้วย โหนด 29 โหนด ซึ่งเป็นทางแยกหลักที่พิจารณา 5 ทางแยก โดยถนนสายหลักตัดกับถนนสายรอง 2 สาย ถนนหลักและถนนรองประกอบด้วยช่องทางการจราจร 2 ช่องทาง ในแต่ละทิศทาง แต่ละช่องทางกว้าง 12 ฟุต และ บริเวณทางแยกไม่มีช่องทางพิเศษสำหรับการเลี้ยว ความยาวของช่วงถนนแต่ละช่วงเท่ากับ 600 ฟุต (แสดงในรูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.2 โครงข่ายถนนสายหลักสายเดียว

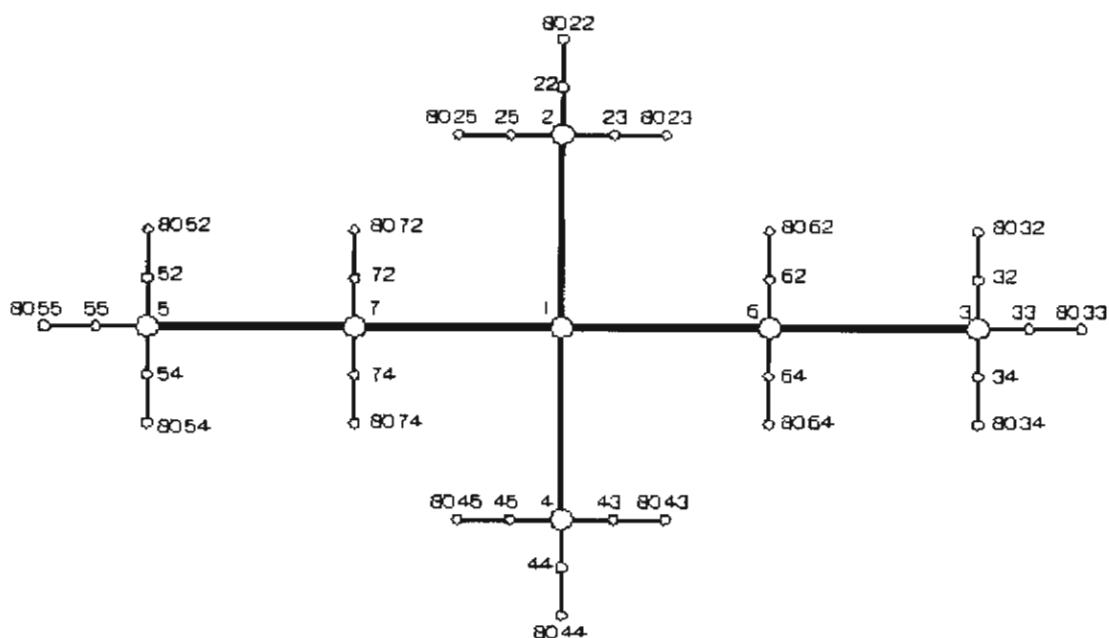


รูปที่ 4.3 ทางแยกในโครงข่ายถนนสายหลักสายเดียว

4.2.3 การออกแบบโครงข่ายถนนลักษณะเป็นตาข่าย

การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในโครงข่ายถนนจะแตกต่างจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยวตรงที่ ลักษณะการจราจรในโครงข่ายจะมีข้อจำกัดของความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้น เนื่องจากจะมีลักษณะการจราจรที่เป็นสภาพความคับคั่งทุติยภูมิ และแถวคอยอาจมีผลต่อทางแยกข้างเคียงในทุกทิศทางในโครงข่าย

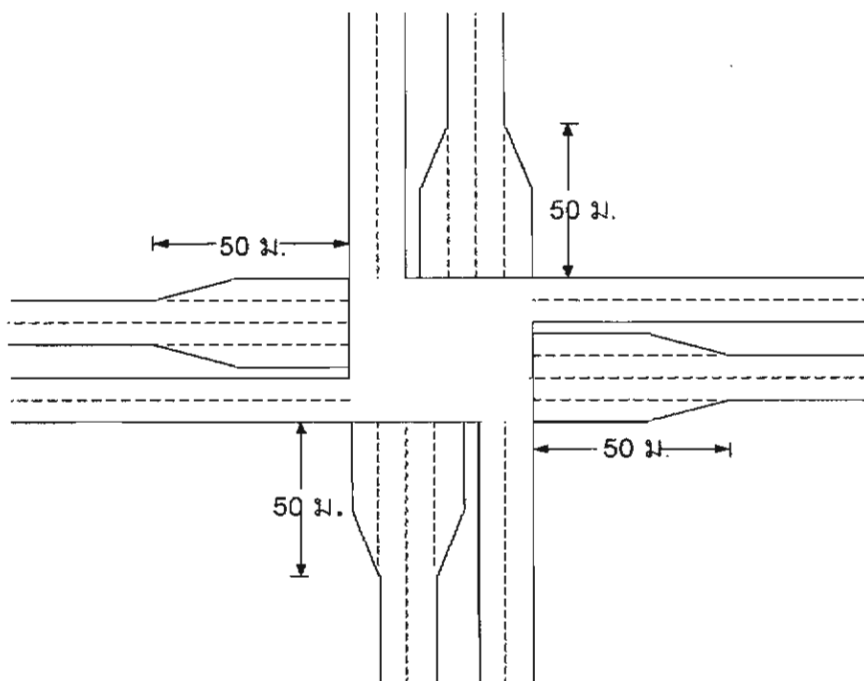
โครงข่ายที่ใช้สำหรับการทดสอบการจำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะการจราจรต่าง ๆ แสดงในรูปของโครงข่าย โหนด (Node) และลิงค์ (Link) ดังรูปที่ 4.4 โดยตัวเลขในรูปแสดงเลขที่ของทางแยก



รูปที่ 4.4 โครงข่ายของแบบจำลองโครงข่ายถนน(ลักษณะเป็นตาข่าย)

ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นโครงข่ายที่ออกแบบให้มีทางแยกวิกฤติ (Critical Intersection, CI) เกิดขึ้นที่ทางแยกที่ 1 ซึ่งเป็นจุดตัดของถนนสายหลัก 2 สาย เมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นมากขึ้น จะทำให้การจัดสัญญาณไฟที่ทางแยกไม่สามารถขจัดความยาวของแถวคอยได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ และเมื่อเวลาผ่านไปแถวคอยจะมีความยาวเพิ่มขึ้นจนสะสมย้อนกลับไปยังทางแยกก่อนหน้า อีกทั้งมีข้อจำกัดของพื้นที่สะสมแถวคอยของช่วงถนนระหว่างทางแยกวิกฤตจนถึงทางแยกถัดไปและช่วงถนนระหว่างทางแยกวิกฤตทางแยกก่อนหน้า ซึ่งถ้าหากปริมาณจราจรโดยรวมมีมากขึ้นจะทำให้ทางแยกของทั้งโครงข่ายไม่สามารถขจัดแถวคอยที่ยาวขึ้นได้ จะทำให้ทางแยกวิกฤตมีข้อจำกัดของพื้นที่สะสมแถวคอยในการควบคุมสัญญาณไฟจากทางแยกโดยรอบทุกทิศทาง

ลักษณะทางกายภาพของถนนบนโครงข่าย กำหนดให้ถนนโครงข่ายเป็นถนนที่มีการจราจรวิ่งสวนทางและมีช่องจราจรข้างละ 2 ช่องทาง มีความยาวระหว่างทางแยกใด ๆ เท่ากับ 500 เมตร มีช่องทางเลี้ยวขวาและช่องทางเลี้ยวซ้ายยาวช่องทางละ 50 เมตร



รูปที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของทางแยกในโครงข่ายถนน(ลักษณะเป็นตาข่าย)

4.3 การทดสอบการใช้งานโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร

ในการทดสอบโปรแกรมนั้น จะทดสอบการใช้งานในสภาพการจราจรต่าง ๆ โดยจะทำการทดสอบกับโครงข่ายถนนประเภททางแยกเดี่ยว เพื่อวัตถุประสงค์สามประการ คือ

1. เพื่อศึกษาความเหมาะสมของปริมาณการจราจร และลักษณะทางกายภาพและการควบคุม (เช่น จำนวนช่องทางการจัดจังหวะสัญญาณไฟ เป็นต้น)
2. เพื่อตรวจสอบ ลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้น และ ประเมินผลเบื้องต้น ถึง ความถูกต้องของลักษณะการจราจรที่เกิดขึ้น เช่น พฤติกรรมการเข้าแถวคอย และ การออกตัวจากแถวคอย เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพการจราจรจริงมากที่สุด รวมทั้งการตรวจสอบ ข้อจำกัดของแบบจำลองว่าจะให้ค่าที่ผิดพลาดหรือ คลาดเคลื่อน ภายได้เงื่อนไขค่าป้อน (เช่น ปริมาณการจราจร) ระดับใด
3. เพื่อประเมิน การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองการจราจร ในการวิเคราะห์การควบคุมสัญญาณไฟ ในงานวิจัยนี้

การทดสอบ จะเน้นศึกษานบนโครงข่ายประเภททางแยกเดี่ยวเท่านั้น

โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจำลองสภาพการจราจรที่ใช้ คือ โปรแกรม TRANSYT และ โปรแกรม CORSIM

4.3.1 การทดสอบโปรแกรมจำลอง TRANSYT

โปรแกรม TRANSYT เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบมหภาค (Macroscopic) และ เป็นการจำลองโดยไม่มีการผันแปรของพฤติกรรมจราจร การทดสอบโปรแกรมกระทำเช่นเดียวกันกับโปรแกรม CORSIM โดย

สนใจที่จะทราบถึง การเพิ่มของแฉกคอย เมื่อปิดกั้นถนน ณ เวลาต่างๆ การจำลองในโปรแกรมสามารถทำได้ 2 แบบ คือ Stepwise และ Linkwise ซึ่ง การจำลองแบบ Stepwise จะเหมาะสมกับการศึกษาในครั้งนี้ ข้อจำกัดของการทดสอบหาความยาวของแฉกคอยด้วยการจำลองด้วยโปรแกรม TRANSYT คือ โปรแกรมสามารถรายงานผลเพียงค่าความยาวแฉกคอยสูงสุด และ ความยาวแฉกคอยต้องไม่เกิน 200 คัน

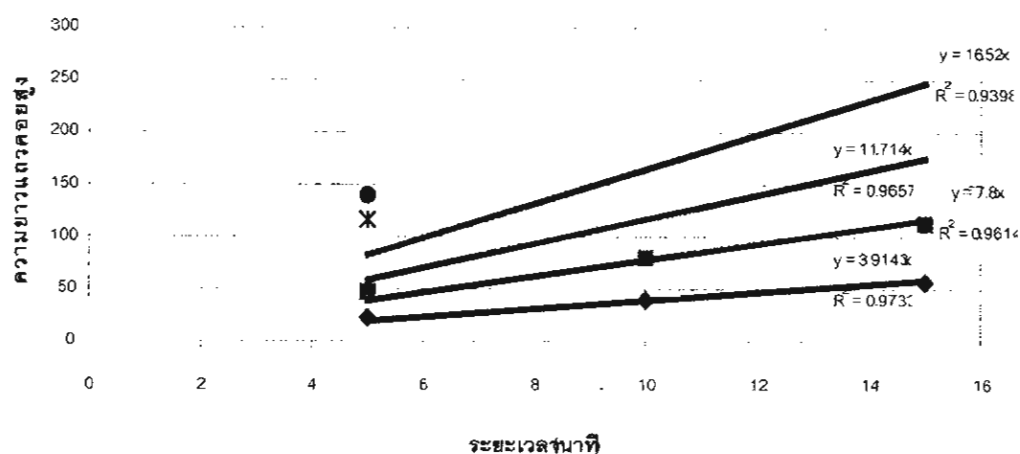
ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ กำหนดเป็นทางแยกเดี่ยวซึ่งเป็นถนนที่มีช่องจราจรข้างละ 2 ช่องจราจร มีความยาวระหว่างทางแยกข้างเคียงไม่จำกัด ลักษณะของการจราจรในโครงข่ายที่ผ่านทางแยกออกไปทั้งหมดเป็นการจราจรที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกในทิศทางตรง ไม่มีปริมาณจราจรในทิศทางอื่น

การทดสอบความถูกต้อง เน้นพิจารณาผลของการควบคุมสัญญาณไฟที่มีต่อสภาพของแฉกคอย โดยพิจารณาจากลักษณะแฉกคอยที่ได้จากโปรแกรมภายใต้เงื่อนไขของการปิดกั้นสัญญาณไฟ และปริมาณการจราจรต่างๆ กัน ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการเกิดแฉกคอยด้วยโปรแกรม TRANSYT

ความยาว ช่วงเวลาไฟ แดง	ปริมาณ จราจร (คัน/ชม)	ความยาวแฉกคอยสูงสุด (คัน)
5 นาที	1200	140
	1000	117
	800	93
	600	70
	400	47
	200	23
10 นาที	1000	>200
	800	160
	600	120
	400	80
	200	40
15 นาที	800	>200
	600	170
	400	113
	200	57

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาปิดกั้นการจราจรกับความยาวแถวคอย



รูปที่ 4.6 ความยาวแถวคอยสูงสุด ใน TRANSYT ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ

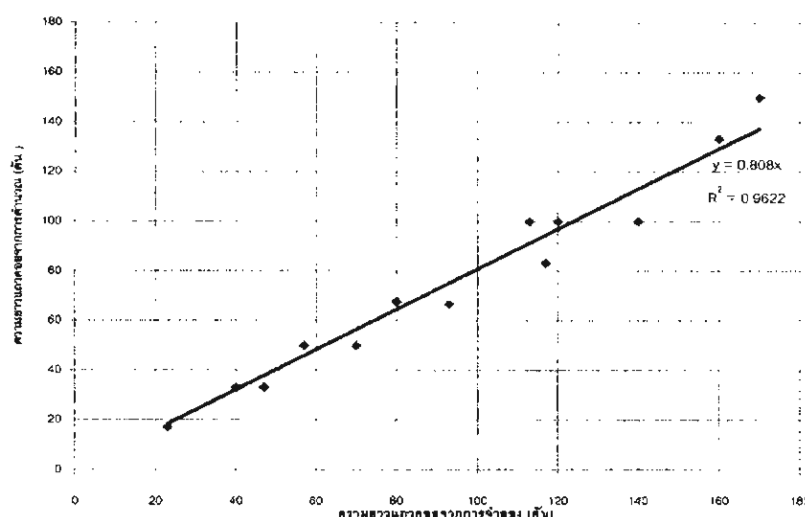
จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.6 พบว่าโปรแกรม TRANSYT มีความแน่นอนในการให้ผลของความยาวแถวคอย ภายใต้สภาพการจราจร และการควบคุมในช่วงที่ทดสอบได้ดี การตรวจสอบความถูกต้องของค่าความยาวแถวคอยสามารถเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยตรงซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม TRANSYT กับการคำนวณ

ความยาว ช่วงเวลา	ปริมาณ จราจร (คัน/ชม.)	ความยาวแถวคอยสูงสุด (คัน)	
		การจำลอง	การคำนวณ
5 นาที	1200	140	100
	1000	117	83.3
	800	93	66.7
	600	70	50
	400	47	33.3
	200	23	17.1
10 นาที	800	160	133.3
	600	120	100
	400	80	67.7
	200	40	33.3
15 นาที	600	170	150
	400	113	100
	200	57	50

เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (R^2) และพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ 20 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ความยาวแถวคอยที่ได้ค่อนข้าง consistent จึงสามารถหาวิธีการปรับแก้เพื่อประมาณค่าความยาวแถวคอยที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นได้

การเปรียบเทียบความยาวแถวคอย (สูงสุด) จากการจำลองกับแถวคอยจากการคำนวณ



รูปที่ 4.7 ความคลาดเคลื่อนของความยาวแถวคอย (TRANSYT)

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม TRANSYT สามารถจำลองให้เห็นถึงการเกิดแถวคอยที่ทางแยกได้ดีเหมาะสมในระดับหนึ่งในการนำมาทดสอบการควบคุมในงานวิจัยนี้

4.3.2 การทดสอบโปรแกรม CORSIM

โปรแกรม CORSIM เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาค ก่อนที่จะนำโปรแกรมดังกล่าวมาใช้เป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรนี้ใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรต่างๆ โปรแกรมจะทำการจำลองสภาพการจราจรโดยให้หลักการของการเคลื่อนตัวของรถแต่ละคันด้วยทฤษฎีการเคลื่อนตามกันของรถ (Car Following Theory) และมีลักษณะของการจราจรที่เคลื่อนเข้าสู่ระบบ (Arrival Pattern) และ พฤติกรรมของการขับขึ้นรถแต่ละคัน (Driver's Behavior) เป็นลักษณะไม่คงที่ตามวิธี Stochastic เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง การศึกษานี้จึงตรวจสอบค่าการจราจรที่ได้จากการจำลองและความผันแปรของค่าตอบที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการทดสอบการเกิดของแถวคอยของโปรแกรมที่ทางแยกเดี่ยวเปรียบเทียบกับ การคำนวณตามทฤษฎีการไหลของการจราจรระดับมหภาค (Macroscopic) และ ความผันแปรของแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการกระทำ(run)ซ้ำ

ในการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร CORSIM เพื่อตรวจสอบการเกิดแถวคอยที่ทางแยกโดยทำการจำลองสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ซึ่งเป็นการจราจรในระดับที่ต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกโดยรวม คือที่ระดับปริมาณจราจร 600 800 1000 และ 1200 คันต่อชั่วโมงต่อทิศทาง

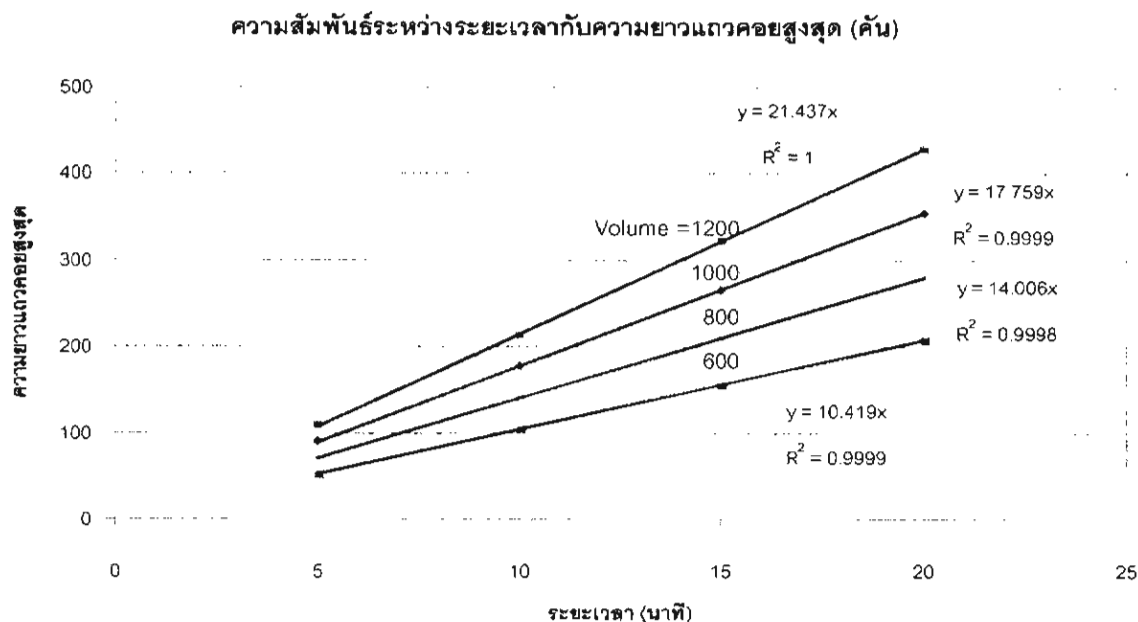
(ความสามารถในการให้บริการสูงสุดในแต่ละทิศทางเท่ากับ 1800 คันต่อชั่วโมงของสัญญาณไฟเขียวต่อทิศทาง) อีกทั้งทำการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจร 4 ระดับดังกล่าวอีก 4 ช่วงเวลา คือ 5 10 15 และ 20 นาที ตามลำดับ และทำการจำลองสภาพจราจรด้วยตัวเลขสุ่มที่แตกต่างกัน 10 ชุด

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่ใช้ในการตรวจสอบดังกล่าว คือ ความยาวแถวคอยสูงสุด (คัน) และความยาวแถวคอยเฉลี่ย (คัน) ซึ่งจะสามารถแสดงให้เห็นถึงการเกิดของแถวคอยได้อย่างชัดเจน

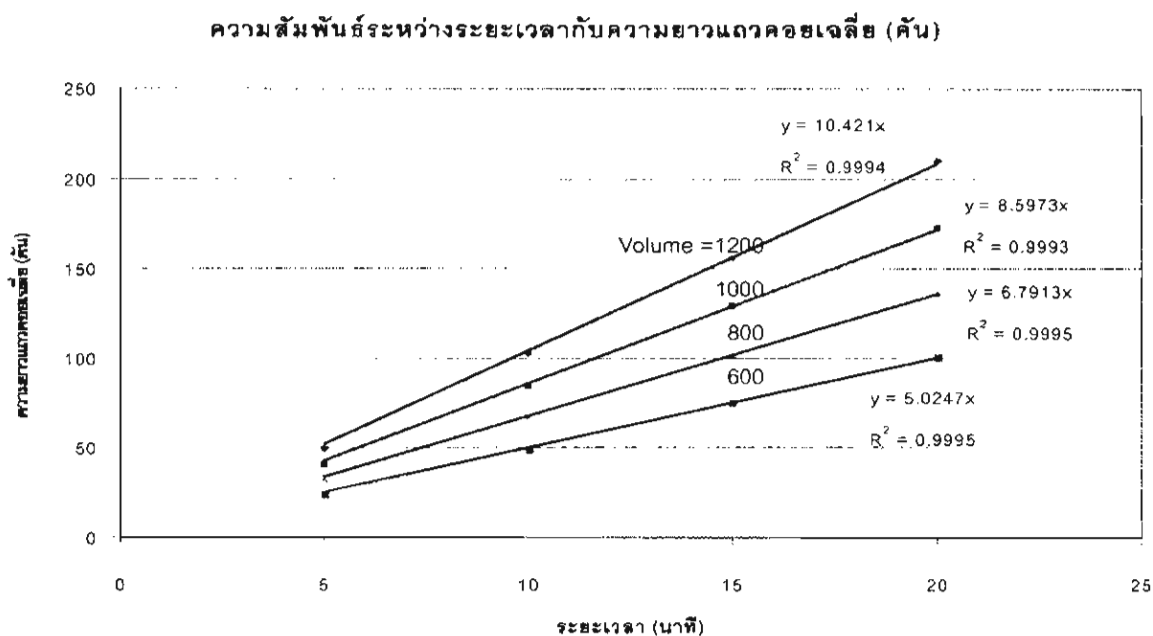
ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพจราจร สามารถนำมาสรุปเป็นตารางและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับระดับความอึดตัวของทางแยกได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการเกิดแถวคอยด้วยโปรแกรม CORSIM

ความยาว ช่วงเวลาไฟ แดง	ปริมาณ จราจร (คัน/ชม.)	ความยาวแถวคอยสูงสุด		ค่าเฉลี่ยของความยาวแถวคอย	
		ค่าเฉลี่ย (คัน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (คัน)	ค่าเฉลี่ย (คัน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (คัน)
5 นาที	1200	108.1	2.92	49.8	2.25
	1000	89.9	3.35	40.9	2.47
	800	71.7	2.50	32.5	2.80
	600	52.9	2.56	24.3	1.42
10 นาที	1200	214	3.50	103.1	2.23
	1000	178.3	2.91	84.7	2.41
	800	140.4	3.69	67.1	2.56
	600	104.4	1.71	49.4	1.43
15 นาที	1200	321.8	2.49	156.1	2.28
	1000	266.2	3.68	129.1	2.51
	800	210.4	2.91	102	3.02
	600	156	2.94	75.4	1.43
20 นาที	1200	428.5	2.17	209.7	2.00
	1000	354.7	2.98	173	2.36
	800	279.3	2.95	136.5	2.88
	600	208.3	2.21	101.1	1.37



รูปที่ 4.8 ความยาวแถวคอยสูงสุดใน CORSIM ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ



รูปที่ 4.9 ความยาวแถวคอยเฉลี่ยใน CORSIM ที่ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 สรุปได้ว่า โปรแกรม CORSIM สามารถจำลองลักษณะแถวคอยได้ดี และมีความแม่นยำสูง

เมื่อนำผลลัพธ์จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม CORSIM มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

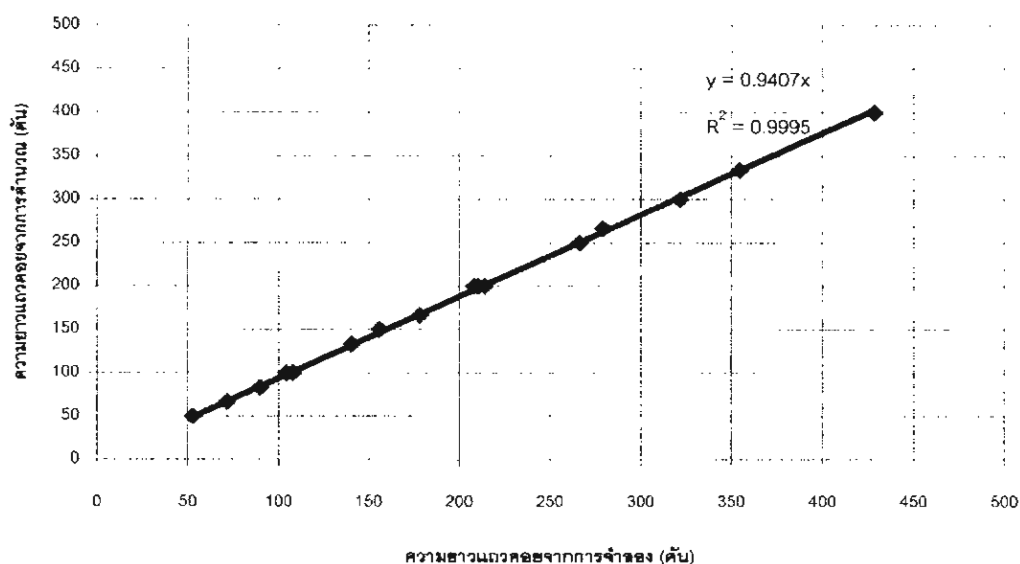
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม CORSIM กับการคำนวณ

ความยาว ช่วงเวลา	ปริมาณ จราจร (คัน/ชม.)	ความยาวแถวคอยสูงสุด (คัน)		ค่าเฉลี่ยของความยาวแถวคอย (คัน)	
		การจำลอง	การคำนวณ	การจำลอง	การคำนวณ
5 นาที	1200	108.1	100	49.8	50
	1000	89.9	83.3	40.9	41.7
	800	71.7	66.7	32.5	33.3
	600	52.9	50	24.3	25
10 นาที	1200	214	200	103.1	100
	1000	178.3	166.7	84.7	83.3
	800	140.4	133.3	67.1	66.7
	600	104.4	100	49.4	50
15 นาที	1200	321.8	300	156.1	150
	1000	266.2	250	129.1	125
	800	210.4	200	102	100
	600	156	150	75.4	75
20 นาที	1200	428.5	400	209.7	200
	1000	354.7	333.3	173	166.7
	800	279.3	266.7	136.5	133.3
	600	208.3	200	101.1	100

ข้อสังเกต ที่ควรพิจารณา คือ ค่าที่ได้จากการจำลองเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากสภาพการจราจรที่มีความไม่แน่นอน (stochastic) ในขณะที่ ความยาวแถวคอยจากการคำนวณได้มาจากการคำนวณ โดยไม่คำนึงถึงความแปรปรวนของการจราจร หรือ เรียกว่าเป็นการคำนวณแบบ Deterministic

ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม CORSIM มีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.5 – 8 เปอร์เซ็นต์ และ นำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้น โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (R^2) และพบว่าค่าที่ได้จากการจำลองมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ 6 เปอร์เซ็นต์

การเปรียบเทียบความยาวแถวคอย (สูงสุด) จากการจำลองกับแถวคอยจากการ
คำนวณ



รูปที่ 4.10 ความคลาดเคลื่อนของความยาวแถวคอย (CORSIM)

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม CORSIM และ TRANSYT สามารถจำลองให้เห็นถึงการเกิดแถวคอยที่ทางแยกได้ดีเหมาะสมในการนำมาทดสอบการควบคุมในงานวิจัยนี้

4.4 การออกแบบการทดสอบ (Design of Experiment)

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นที่มีสภาพต่างๆ กัน เพื่อให้รองรับสภาพการจราจรสามารถเป็นไปได้ทุกแบบแนวทางให้ได้มากที่สุด การทดสอบจึงสร้างลักษณะของกระแสการจราจรที่สนใจเพื่อทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรต่างๆ เหล่านั้น โดยการจำลองสภาพการจราจรหนาแน่นนั้นพิจารณา

- ระดับของปริมาณการจราจรในทิศทางต่างๆ ปกติ
- ระดับของปริมาณการจราจรในทิศทางต่างๆ ที่มากจนทำให้เกิดสภาพการจราจรหนาแน่น
- ช่วงเวลาที่มีปริมาณการจราจรมากในสภาพการจราจรหนาแน่น
- เวลาที่ใช้ศึกษา

โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือ จะออกแบบการทดสอบที่ปรับเปลี่ยนสภาพการจราจร เพื่อหาประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟวิธีต่าง ๆ โดยพยายามจำกัดแบบ (set) ของระบบการจราจร

ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรใน 3 สถานการณ์ คือ การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดียว บนถนนหลักสายเดียว และบนโครงข่ายถนน

ดังนั้นการออกแบบการทดสอบพิจารณาปัจจัยสองปัจจัย คือ สภาพการจราจรหนาแน่น และ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ โดย สภาพการจราจรจะมีปัจจัยย่อยในการสร้างสภาพการจราจร 5 ปัจจัย บนโครงข่ายถนน 3 ประเภท จะเห็นได้ว่าเมื่อสร้างตารางการทดสอบตามวิธี Full Factorial Design of Experiment จะได้จำนวนการทดสอบเท่ากับ $m \times n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times p$ โดยที่ m คือ จำนวนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ n_X คือ สภาพการจราจรที่แทนด้วยรูปแบบอย่างง่ายแล้ว และ p คือ สภาพโครงข่ายถนน ซึ่งเป็นจำนวนมากเกินกว่าความสามารถในการศึกษา ในการวิจัยนี้จึงเลือกทดสอบแบบ Partial Factorial Design โดยเน้นศึกษาเพื่อหาผลของการควบคุมที่เป็นไปได้ในเหตุการณ์และสภาพการจราจรต่างๆกัน

4.4.1 การควบคุมสัญญาณไฟและพฤติกรรมจราจรที่ทางแยกเดี่ยว (Isolated Intersection)

การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟ ณ ทางแยกเดี่ยว เป็นการศึกษา ผลของการควบคุมสัญญาณไฟในเกิดที่พื้นที่เฉพาะ ณ ตำแหน่งควบคุมนั้น โดยใช้ข้อมูลการจราจรที่มาจากทางแยกที่ศึกษาเดียวกัน การศึกษาทางแยกเดี่ยวยังเป็นการศึกษาสภาพการสลายตัวของแถวคอย และ ความหนาแน่นของการจราจร ณ ทางแยก เมื่อผ่านพ้นเวลาที่มีสภาพการจราจรหนาแน่นไปแล้ว

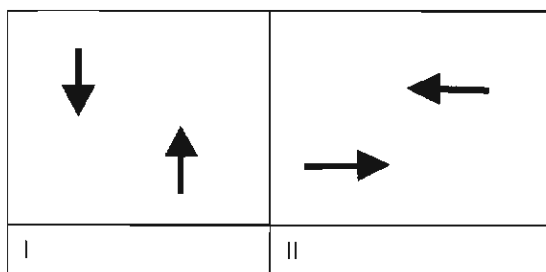
โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจำลองสภาพการจราจรที่ใช้ คือ โปรแกรม TRANSYT ซึ่งเป็นโปรแกรมระดับมหภาคที่มักใช้สำหรับการจราจรสภาพเบาบาง และ โปรแกรม CORSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาค

4.4.1.1 สมมติฐานเบื้องต้น

สมมติฐานที่จำเป็นต่อการประยุกต์ใช้โปรแกรม TRANSYT และ CORSIM มีดังต่อไปนี้

- ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนน มีค่าเท่ากับ 48 กม/ชม. หรือ 35 ไมล์/ชม.
- ระยะห่างระหว่างยวดยานขณะหยุด และระยะห่างระหว่างยวดยานขณะออกจากเส้นหยุด สำหรับการจำลองครั้งนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ
- กำหนดเวลารอบสัญญาณไฟต่ำสุดไว้ที่ 60 วินาที และ เวลารอบสัญญาณไฟสูงที่สุดไว้ที่ 240 วินาที
- สมมติว่าไม่มีปริมาณจราจรที่เข้ามาระหว่างทางแยก (Midblock)
- สมมติว่าปริมาณจราจรทั้งหมดเป็นรถนั่งส่วนบุคคล ไม่มีรถบรรทุก โดยมีความยาวของตัวรถเท่ากับ 16 ฟุต และ 14 ฟุต คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 75 และ 25 ตามลำดับ
- กำหนดให้ใช้ระยะห่างระหว่างยวดยานขณะออกจากเส้นหยุด (Discharge headway) เป็น 1.9 วินาที
- เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น (Start - up Lost Time, SLT) เป็นเวลาที่เสียไปเนื่องจากการเริ่มต้นของไฟเขียว โดยโปรแกรมทั้งสองสมมติว่าเวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น เกิดจากรถคันแรกทั้งหมด โดยทั่วไปใช้เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้นเท่ากับ 4 วินาที
- ลักษณะของการจราจรในโครงข่ายที่ผ่านทางแยกออกไปทั้งหมดเป็นการจราจรที่เคลื่อนที่ผ่านทางแยกในทิศทางตรง ไม่มีปริมาณจราจรในทิศทางอื่น จึงจัดจังหวะสัญญาณไฟโดยการหาจังหวะ

สัญญาณไฟที่ดีที่สุดด้วยโครงข่ายที่มีปริมาณจราจรเบาบางโดยอาศัยโปรแกรม Synchro® พบว่า
จังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับเป็นดังนี้



รูปที่ 4.11 จังหวะสัญญาณไฟสำหรับทางแยกเดี่ยว

4.4.1.2 ตัวแปร

ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวแปรต่างๆจะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดสัญญาณไฟและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร ได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ออฟเซตปริมาณจราจร และช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรคงที่ช่วงเวลานึง

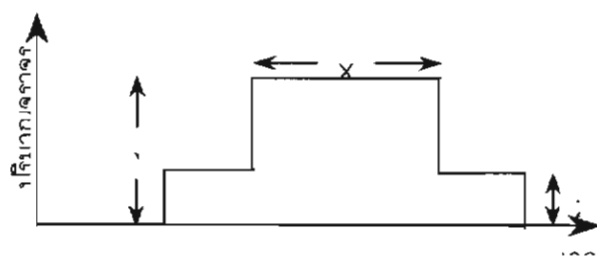
4.4.1.3 ปริมาณจราจร

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟต่าง ๆ กัน ได้แก่ สภาพปริมาณจราจรคงที่ และ ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา

ปริมาณจราจรคงที่ -- การทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพจราจรที่ระดับปริมาณที่ทำให้ทางแยกวิกฤติมีระดับของการอึดตัวประมาณ 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก ตามลำดับ และทดสอบที่ความยาวคาบเท่ากับ 15 นาที

ในกรณีที่จำลองปริมาณจราจรคงที่นี้ จะสมมติว่าที่ทุกทางแยกและทุกทิศทางจะมีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกที่ระดับของการอึดตัวเท่า ๆ กัน และพร้อม ๆ กัน โดยปริมาณจราจรของทั้ง 2 ทิศทางมีสัดส่วนเป็น 1 : 1

ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา -- การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเป็นการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพปริมาณจราจรที่ระดับต่างๆ กัน และมีระยะเวลาในการเกิดปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปริมาณจราจรปกติแตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรอาจแสดงได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤต

โดย X คือ ระยะเวลาที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก

Y, Z คือ ระดับปริมาณจราจร

สำหรับปริมาณจราจรในช่วงแรกก่อนมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต และ ปริมาณจราจรในช่วงหลังจากมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต(Z) ในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรประมาณร้อยละ 40 และ 60 เมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต ส่วนช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(X) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 และ 20 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(Y) ประมาณร้อยละ 60 80 100 และ 120 เมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต

สัดส่วนของปริมาณจราจรเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤตและช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจรสรุปอยู่ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณจราจรและช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษาทางแยกเดียว

กรณี	คาบที่ 1		คาบที่ 2		คาบที่ 3	
	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)
1	0.4	10	0.8	10	0.4	10
2	0.4	10	1.0	10	0.4	10
3	0.4	10	1.2	10	0.4	10
4	0.6	10	0.8	10	0.6	10
5	0.6	10	1.0	10	0.6	10
6	0.6	10	1.2	10	0.6	10
7	0.4	10	0.8	20	0.4	10
8	0.4	10	1.0	20	0.4	10
9	0.4	10	1.2	20	0.4	10
10	0.6	10	0.8	20	0.6	10
11	0.6	10	1.0	20	0.6	10
12	0.6	10	1.2	20	0.6	10

4.4.1.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในการศึกษาครั้งนี้จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟแยกเป็นการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ กันได้ดังนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่

- ความยาวรอบสัญญาณไฟจัดโดยอาศัยสูตรคำนวณของ Webster ซึ่งตามทฤษฎีแล้ววิธีการกำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟของ Webster เป็นวิธีการจัดสัญญาณไฟที่คิดคำนวณมาจากหลักการจัดกลุ่มรถสำหรับทุกทิศทางให้มีความล่าช้าเกิดขึ้นเท่า ๆ กัน สำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการ ความยาวรอบสัญญาณไฟจะถูกตั้งไว้ที่ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุด
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีต เพื่อให้สอดคล้องกับแนวคิดในการจัดสัญญาณไฟของ Webster
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตที่ทราบถึงเวลาที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรขึ้นแน่นอน ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับปริมาณจราจรดังที่กล่าวไว้ข้างต้นในการควบคุมสัญญาณไฟ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรทันทีที่เกิดมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง การควบคุมสัญญาณไฟต่างๆ เป็นไปอย่างสอดคล้องกับสภาพการจราจรโดยใช้สูตรคำนวณของ Webster

วิธีที่ 2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว วิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 2 นี้จะใช้ทดสอบเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเป็นดังต่อไปนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 3 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยระหว่างระดับที่มีปริมาณจราจรที่เป็นระดับพื้นฐานกับระดับที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติในการตั้งค่าตัวควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้การควบคุมที่คำนวณได้ตลอดช่วงเวลาทำการทดลอง
- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 หากแต่ใช้ปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ยเป็นปัจจัยพื้นฐาน
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ย
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้เช่นเดียวกับการควบคุมวิธีที่ 1

4.4.2 การควบคุมสัญญาณไฟ และพฤติกรรมจราจรบนถนนสายหลักสายเดียว

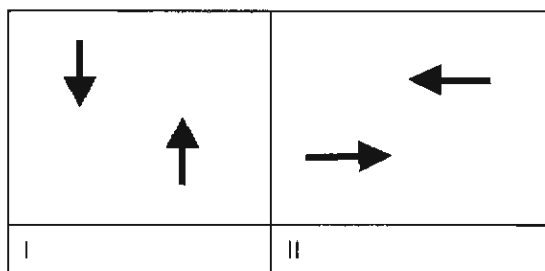
การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟบนถนนหลักสายเดียวนั้น จะพิจารณาถึงความต่อเนื่อง และ ความคล่องตัวของการเคลื่อนตัวผ่านชุดของทางแยก (series) โดยการควบคุมสัญญาณไฟจะบ่งบอกความสามารถในการประสานสัญญาณไฟ ระหว่างทางแยกให้การจราจรเคลื่อนตัวได้อย่างต่อเนื่อง

4.4.2.1 สมมติฐานเบื้องต้น

สมมติฐานเบื้องต้นที่จะนำมาใช้แทนพฤติกรรมจราจร และใช้ประยุกต์ในโปรแกรม TRANSYT และ CORSIM มีดังต่อไปนี้

- อนุญาตให้เลี้ยวซ้ายในช่วงจังหวะสัญญาณไฟแดง (เลี้ยวซ้ายผ่านตลอด)
- ไม่มีปริมาณการจราจรที่เข้ามาระหว่างทางแยก (Midblock)
- ปริมาณการจราจรทั้งหมดเป็นรถนั่งส่วนบุคคล โดยมีความยาวของตัวรถเท่ากับ 16 ฟุต และ 14 ฟุต คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 15 และ 25 ตามลำดับ
- ค่ากระแสมืดของการจราจรทิศทางตรง และ ทิศทางเลี้ยว เท่ากับ 1850 และ 1650 คันต่อชั่วโมงตามลำดับ
- ค่าเวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น เท่ากับ 3 วินาที

- เวลาไฟแดงทุกทิศทาง (All red) เท่ากับ 1 วินาที
- ช่วงสัญญาณไฟ (Cycle length) มีค่าอยู่ระหว่าง 60 ถึง 240 วินาที
- ค่าสัดส่วนในการเลี้ยงของกระแสจราจร เป็นดังต่อไปนี้
- รถมุ่งใต้ (SB) มีค่าเท่ากับ 20:20:60 (LT:TH:RT)
- รถมุ่งเหนือ (NB) 60:20:20
- รถมุ่งตะวันออกและตะวันตก (EB, WB) ซึ่งอยู่บนถนนหลัก 10:80:10
- จังหวะสัญญาณไฟเริ่มต้น ใช้จังหวะสัญญาณไฟปล่อยทีละขา ดังแสดงในรูป 4.13



รูปที่ 4.13 จังหวะสัญญาณไฟสำหรับทางแยกในโครงข่ายถนนหลักเดียว

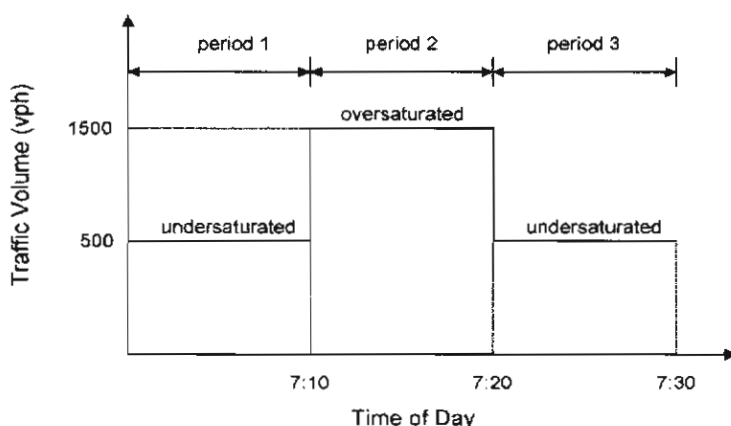
4.4.2.2 ตัวแปร

ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวแปรที่ใช้เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดสัญญาณไฟ ได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ออฟเซต

4.4.2.3 ปริมาณการจราจร

ปริมาณการจราจรคงที่ -- การทดสอบจะกระทำภายใต้ระดับปริมาณการจราจรสองระดับ คือ ที่ปริมาณการจราจรไม่อิ่มตัว (ปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยก) 500 คัน ต่อชั่วโมง ทุกทิศทาง และ ที่ปริมาณการจราจรอิ่มตัว 1500 คันต่อชั่วโมง บนทิศทางหลัก (WB) หรือ ระดับของการอิ่มตัว ประมาณ 1.0 และ ปริมาณการจราจรบนทิศทางอื่น ๆ เท่ากับ 500 คันต่อชั่วโมง

ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา -- การทดสอบจะกระทำภายใต้สภาพการจราจรที่มีระดับปริมาณจราจรแตกต่างกัน 3 ช่วง แต่ละช่วงมีระยะเวลาเท่ากับ 10 นาที โดยจะทดสอบปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยก ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การจราจรที่เข้าสู่ถนนหลัก

4.4.2.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในการศึกษาครั้งนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การเปิดสัญญาณไฟพร้อมกัน และ ใช้ช่วงเวลาสัญญาณไฟยาว (Zero offset and Long Cycle Time)

- เป็นการควบคุมด้วยการคำนวณ offline เพื่อหาการตั้งจังหวะสัญญาณไฟที่เหมาะสม ด้วยวิธี Webster และไม่คำนึงความต่อเนื่อง (progression) ของกระแสการจราจรระหว่างทางแยก (ทิศทางหลักบนถนนหลัก)

วิธีที่ 2 การใช้ออฟเซตเป็นค่าลบ (Negative offset)

- เป็นการคำนวณหาเวลาเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียว เพื่อพิจารณาความต่อเนื่องของการเคลื่อนตัวของการจราจรบนถนนหลัก

วิธีที่ 3 Alternate Offset

เป็นวิธีที่พยายามตั้งสัญญาณไฟให้การจราจรบนถนน สามารถทางแยกได้ 2 ทางแยก ก่อนที่จะได้รับสัญญาณไฟแดง ซึ่งสามารถปฏิบัติได้ภายใต้สภาพการจราจรเบาบาง หากสภาพการจราจรหนาแน่น จะไม่สามารถใช้วิธีการนี้ได้

วิธีที่ 4 วิธีการตั้งรอบสัญญาณไฟจราจรสั้น (Short Cycle Length)

เป็นวิธีที่พยายามลดความยาวของแถวคอยในแต่ละทิศทาง โดยตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟให้สั้นลง อย่างไรก็ดี วิธีการนี้อาจก่อให้เกิดค่าสูญเสียเวลาอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสัญญาณไฟบ่อยครั้ง

วิธีที่ 5 Flared Green (แบบที่ 1)

เป็นวิธีการที่จัดการกับความหนาแน่นของการจราจรที่บริเวณช่วงถนนที่คับคั่ง โดยการเปิดสัญญาณไฟเขียวให้รถออกจากช่วงถนนนั้นมาก และมากขึ้น ณ ทางแยกถัดมาในทิศทางการจราจรนั้น ในขณะที่การจำกัดปริมาณรถ (metering) จะช่วยในการควบคุมปริมาณรถที่จะเข้าสู่ช่วงถนน (และทางแยก) คับคั่ง นอกจากนี้จะจัด offset ให้เป็นแบบ negative offset ซึ่งจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวต่อเนื่องของกระแสจราจรจากช่วงถนนที่คับคั่งไปยังทางแยกถัดมาโดยการตั้งค่า offset นี้ จะตั้งให้สัญญาณไฟเขียวสิ้นสุดพร้อม ๆ กันทุกทางแยก

วิธีที่ 6 Flared Green (แบบที่ 2)

เป็นวิธีการเช่นเดียวกันกับ Flared Green แบบที่ 1 แต่ตั้งค่า offset แบบ positive

วิธีที่ 7 การจำกัดปริมาณการจราจร (Metering)

เป็นวิธีการควบคุมปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตให้มีปริมาณสอดคล้องกับความสามารถในการระบายรถของทิศทาง (คับคั่ง) โดยจะเริ่มจำกัด ณ ช่วงถนนทางเข้าสู่โครงข่ายถนนสายหลักเดี่ยว อาจทำให้ปริมาณการจราจรสะสม

กรณีที่มีปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลง จะใช้วิธีที่ 7 วิธีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ สำหรับการตัดสินใจสัญญาณไฟที่มีการตั้งค่าแบบตายตัว และจะเพิ่มวิธีการควบคุมอีก 3 วิธี ซึ่งเป็นวิธีที่เปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร ตามปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นจริง (Real time)

วิธีที่ 8 การจัดหาที่ว่างสำหรับแถวคอย (Available Storage)

เป็นการตั้งค่าสัญญาณไฟแต่ละรอบ โดยใช้ปริมาณวัดที่สะสมเป็นแถวคอยในแต่ละทิศทางคำนวณหาปริมาณรถที่สามารถเข้าสู่ทางแยก (ช่วงถนน) ได้

วิธีที่ 9 ความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นจริง (Queue length)

เป็นการนำค่าความยาวแถวคอยมาหาค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ และช่วงจังหวะสัญญาณไฟเขียว

วิธีที่ 10 ปริมาณรถที่เข้าสู่ทางแยกที่เกิดขึ้นจริง (Input Volume)

4.4.3 การควบคุมสัญญาณไฟและพฤติกรรมจราจรในโครงข่ายถนน (Network)

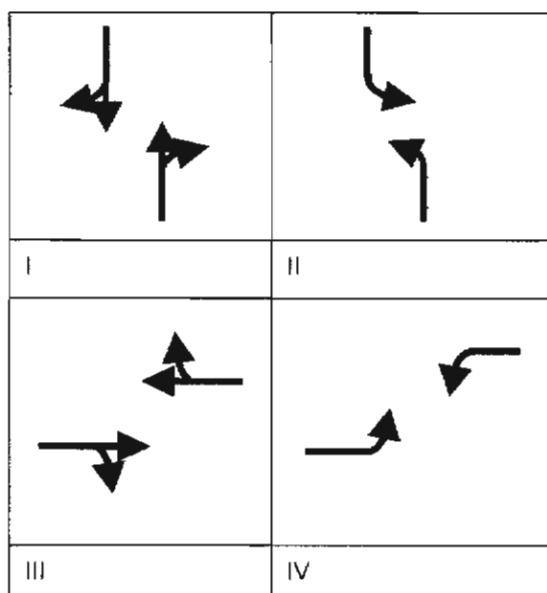
โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจำลองสภาพการจราจรที่ใช้คือ โปรแกรม CORSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาค และโปรแกรมทรานสิตซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบมหภาค

4.4.3.1 สมมติฐาน

สมมติฐานที่จำเป็นในการป้อนเข้าสู่โปรแกรม นำมาจากลักษณะการจราจรที่ปรากฏจริง โดยพยายามกำหนดให้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานครหรือสมมติฐานให้สอดคล้องกับค่าอื่น ๆ ในการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สมมติว่าไม่มีปริมาณจราจรที่เข้ามาระหว่างทางแยก (Midblock)
- สมมติว่ารถเขียวซ้ายจะต้องหยุดรอสัญญาณไฟเขียวเช่นเดียวกับรถทางตรง
- กำหนดเวลารอบสัญญาณไฟต่ำสุดไว้ที่ 60 วินาที และ เวลารอบสัญญาณไฟสูงที่สุดไว้ที่ 240 วินาที
- เมื่อมีปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้นจนแถวคอยล้นทางแยก การเข้ามาของรถที่ทางแยกก่อนหน้านี้สู่ทางแยกปัจจุบันจะถูกกั้นจากความยาวของแถวคอยของทางแยกปัจจุบัน จึงสมมติว่าหากความยาวของแถวคอยที่ทางแยกปัจจุบันยาวเต็มความยาวลิงค์ รถที่เข้ามาจากทางแยกก่อนหน้านี้ทั้งหมด จะถูกกั้นไม่ให้เคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยกปัจจุบัน
- และในขณะที่ปริมาณจราจรสำหรับทางเลี้ยว มีปริมาณมากจนล้นความยาวของช่องทางเลี้ยว จะส่งผลให้ปริมาณรถในทิศทางตรงที่อยู่ช่องทางติดกับช่องทางเลี้ยวไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

- ข้อจำกัดที่กำหนดขึ้นเพื่อกำหนดช่วงเวลาที่น่าสนใจ ใช้สำหรับการหาการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดที่โปรแกรมทรานสิตแนะนำ (Optimization) คือ กำหนดเวลารอบสัญญาณไฟต่ำสุดไว้ที่ 60 วินาที และ เวลารอบสัญญาณไฟสูงที่สุดไว้ที่ 240 วินาที
- เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น (Start - up Lost Time, SLT) เป็นเวลาที่เสียไปเนื่องจากการเริ่มต้นของไฟเขียว โดยโปรแกรมทั้งสองสมมติว่าเวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น เกิดจากรถคันแรกทั้งหมด โดยทั่วไปใช้เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้นเท่ากับ 4 วินาที
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้มีการขยายเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (Extension of Effective Green, EEG) เป็นเวลาในช่วงสัญญาณไฟเหลืองรวมกับช่วงสัญญาณไฟแดงพร้อมกัน (All - Red) โดยทั่วไปใช้การขยายเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพเท่ากับ 4 วินาที
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้มีปริมาณจราจรอิ่มตัว (Saturation flow) แยกเป็นปริมาณจราจรอิ่มตัวสำหรับทิศทางตรงและปริมาณจราจรอิ่มตัวสำหรับทิศทางเลี้ยวเท่ากับ 1850 และ 1650 คันต่อชั่วโมงตามลำดับ
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนน มีค่าเท่ากับ 48 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้ระยะห่างระหว่างยวดยานขนาดใหญ่ และระยะห่างระหว่างยวดยานขนาดเล็กออกจากเส้นหยุด มีค่าเท่ากับ 6 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ
- สำหรับโปรแกรม CORSIM กำหนดให้ใช้ระยะห่างระหว่างยวดยานขนาดเล็กออกจากเส้นหยุด (Discharge headway) เป็น 1.9 วินาที
- สำหรับโปรแกรม CORSIM กำหนดให้มีเฉพาะรถยนต์ส่วนบุคคล โดยมีความยาวของตัวรถเท่ากับ 16 ฟุต และ 14 ฟุต คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 75 และ 25 ตามลำดับ
- ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนน มีค่าเท่ากับ 48 กม/ชม. หรือ 35 ไมล์/ชม.
- สัดส่วนของปริมาณจราจรทางตรงต่อปริมาณจราจรทางเลี้ยวซ้ายและปริมาณจราจรทางเลี้ยวขวาเป็นร้อยละ 65 ต่อ 25 ต่อ 10 ตามลำดับ เพื่อรองรับปริมาณจราจรดังกล่าว จึงจัดจังหวะสัญญาณไฟโดยการหาจังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุดด้วยโครงข่ายที่มีปริมาณจราจรเบาบางโดยอาศัยโปรแกรม Synchro® แล้วลองเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟหลายๆแบบ พบว่าจังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่ไม่มียวดยานตัดกระแสรถทางตรงในช่องทางวิ่งสวน (Opposed Lane) เป็นดังนี้



รูปที่ 4.15 จังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุด (เริ่มต้น) ของทางแยกของถนนแบบโครงข่าย

จังหวะสัญญาณไฟชุดที่แสดงข้างต้นมีข้อได้เปรียบตรงที่การจัดจังหวะสัญญาณไฟโดยจัดให้ทิศทางที่มีระดับความอึดตัวเท่า ๆ กันรวมไว้ด้วยกัน สำหรับระยะเวลาของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้แสดงได้ในภาคผนวก ข.

4.4.3.2 ตัวแปร

ในการศึกษาค้างนี้ ตัวแปรส่วนใหญ่จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดสัญญาณไฟ ได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ออฟเซต และตัวแปรอีกส่วนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจร และช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรคงที่ช่วงเวลานึง ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4.4.3.3 ปริมาณจราจร

ในการศึกษาค้างนี้ได้ทำการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟต่างๆ กัน ได้แก่ สภาพปริมาณจราจรคงที่ และ ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา

กรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่ -- ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพจราจรที่ระดับปริมาณที่ทำให้ทางแยกวิกฤติมีระดับของการอึดอัดประมาณ 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก ตามลำดับ และทดสอบที่ความยาวคาบเท่ากับ 15 นาที ปริมาณจราจรที่ระดับต่าง ๆ สรุปในตารางที่ 4.6

ในกรณีที่จำลองปริมาณจราจรคงที่นี้ จะสมมติว่าที่ทุกทางแยกและทุกทิศทางจะมีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกที่ระดับของการอึดอัดเท่า ๆ กัน และพร้อม ๆ กัน โดยปริมาณจราจรของทั้งทิศทางหลักและปริมาณจราจรของทิศทางรองมีสัดส่วนเป็น 1 : 1

การศึกษาจำลองสภาพจราจรที่ระดับความอึดอัดต่าง ๆ เช่นเดียวกัน หากแต่มีปริมาณจราจรในทิศทางหลักซึ่งมีปริมาณจราจรมากกว่าปริมาณจราจรในทิศทางรองเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีแรก ส่วนปริมาณจราจรในทิศทางรองไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม ปริมาณจราจรและสัดส่วนของปริมาณจราจรทิศทางหลักเทียบกับทิศทางรองสรุปอยู่ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณจราจรคงที่ที่ใช้ในการศึกษาโครงข่าย

สถานการณ์	ปริมาณจราจรในทิศทางหลักเทียบกับปริมาณจราจรในทิศทางรอง	ปริมาณจราจรเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต
C02	1 : 1 หรือ 1 เท่า	0.4
C03	2 : 1 หรือ 2 เท่า	0.6
C05	3 : 1 หรือ 3 เท่า	0.8
C07	4 : 1 หรือ 4 เท่า	1.0
C11	1 : 1 หรือ 1 เท่า	0.6
C13	5 : 3 หรือ 1.67 เท่า	0.8
C15	8 : 3 หรือ 2.67 เท่า	1.0
C21	1 : 1 หรือ 1 เท่า	0.8
C23	3 : 2 หรือ 1.5 เท่า	1.0
C25	2 : 1 หรือ 2 เท่า	1.2
C31	1 : 1 หรือ 1 เท่า	1.0
C33	11 : 8 หรือ 1.37 เท่า	1.2
C41	1 : 1 หรือ 1 เท่า	1.2

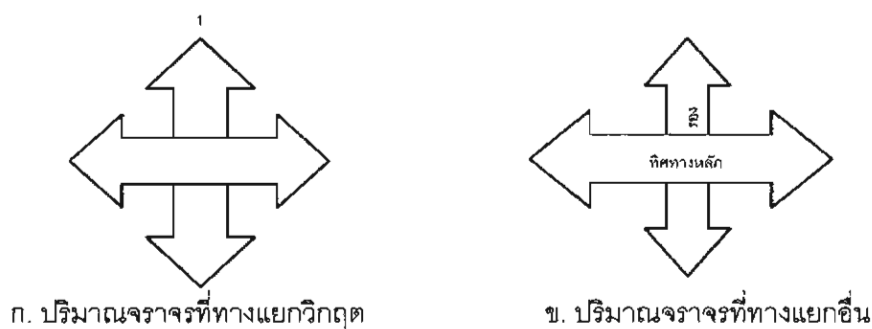
ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา -- การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเป็นการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพปริมาณจราจรที่ระดับต่าง ๆ กัน และมีระยะเวลาในการเกิดปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปริมาณจราจรปกติแตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรเช่นเดียวกันกับการทดสอบ ณ ทางแยกเดียวซึ่งแสดงในรูปที่ 4.12

สำหรับปริมาณจราจรในช่วงแรกก่อนมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต และปริมาณจราจรในช่วงหลังจากมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต (Z) ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรประมาณร้อยละ 40 และ 60 เมื่อเทียบ

กับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต ส่วนช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(X) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 และ 20 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(Y) ประมาณร้อยละ 60 80 100 และ 120 เมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต

สัดส่วนของปริมาณจราจรเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤตและช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจรสรุปอยู่ในตารางที่ 4.7

สำหรับกรณีที่มียกระดับปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกจะเกิดขึ้นทุกทิศทางเฉพาะที่ทางแยกวิกฤตเท่านั้น ส่วนทางแยกอื่นในโครงข่ายที่ไม่ใช่ทางแยกวิกฤตจะมีระดับปริมาณจราจรที่มากกว่าความสามารถในการให้บริการเฉพาะทิศทางที่มีปริมาณจราจรอันเนื่องมาจากทางแยกวิกฤตเท่านั้น



รูปที่ 4.16 ปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรอิมตัว

4.4.3.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในการศึกษาครั้งนี้ทั้งที่เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้สำหรับกรณีที่สภาพจราจรคงที่ที่ระดับปริมาณจราจรเบาบาง กรณีที่มีสภาพจราจรคงที่ที่ระดับปริมาณจราจรอิมตัว และกรณีที่สภาพจราจรเปลี่ยนแปลงจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นจะต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการคำนึงการตั้งค่าออฟเซต ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟแยกเป็นการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มียกระดับปริมาณจราจรต่าง ๆ กันได้ดังนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางคงที่

- ความยาวรอบสัญญาณไฟจัดโดยอาศัยสูตรคำนวณของ Webster ซึ่งตามทฤษฎีแล้ววิธีการกำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟของ Webster เป็นวิธีการจัดสัญญาณไฟที่คิดคำนวณมาจากหลักการจัดกลุ่มรถสำหรับทุกทิศทางให้มีความล่าช้าเกิดขึ้นเท่า ๆ กัน
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีต เพื่อให้สอดคล้องกับแนวคิดในการจัดสัญญาณไฟของ Webster
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้ในการศึกษาโครงข่าย

กรณี	ทางแยกหลัก (1) ถนนหลัก			ทางแยกหลัก (1) ถนนรอง			ทางแยกรอง (3, 5, 6, 7) ถนนหลัก			ทางแยกรอง (3, 5, 6, 7) ถนนรอง			ทางแยกรอง (2, 4) ถนนหลัก			ทางแยกรอง (2, 4) ถนนรอง		
	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3	สายที่ 1	สายที่ 2	สายที่ 3
0103	600	1240	600	600	600	600	600	1240	600	300	300	300	600	600	600	300	300	300
0105	600	1860	600	600	600	600	600	1860	600	300	300	300	600	600	600	300	300	300
0107	600	2480	600	600	600	600	600	2480	600	300	300	300	600	600	600	300	300	300
0111	600	920	600	600	920	600	600	920	600	300	460	300	600	920	600	300	460	300
0113	600	1560	600	600	920	600	600	1560	600	300	780	300	600	920	600	300	460	300
0115	600	2180	600	600	920	600	600	2180	600	300	620	300	600	920	600	300	460	300
0121	600	1240	600	600	1240	600	600	1240	600	300	620	300	600	1240	600	300	620	300
0123	600	1860	600	600	1240	600	600	1860	600	300	930	300	600	1240	600	300	620	300
0125	600	2480	600	600	1240	600	600	2480	600	300	300	300	600	1240	600	300	620	300
0131	600	1560	600	600	1560	600	600	1560	600	300	780	300	600	1560	600	300	780	300
0133	600	2180	600	600	1560	600	600	2180	600	300	620	300	600	1560	600	300	780	300
0141	600	1860	600	600	1560	600	600	1860	600	300	930	300	600	1860	600	300	930	300
1113	920	1560	920	920	920	920	920	1560	920	460	780	460	920	920	920	460	460	460
1115	920	2180	920	920	920	920	920	2180	920	460	620	460	920	920	920	460	460	460
1121	920	1240	920	920	1240	920	920	1240	920	460	620	460	920	1240	920	460	620	460
1123	920	1860	920	920	1240	920	920	1860	920	460	930	460	920	1240	920	460	620	460
1125	920	2480	920	920	1240	920	920	2480	920	460	300	460	920	1240	920	460	620	460
1131	920	1560	920	920	1560	920	920	1560	920	460	780	460	920	1560	920	460	780	460
1133	920	2180	920	920	1560	920	920	2180	920	460	620	460	920	1560	920	460	780	460
1141	920	1860	920	920	1860	920	920	1860	920	460	930	460	920	1860	920	460	930	460

กรณีที่ปริมาณจราจรมีค่าคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก หรือ Volume/Capacity (v/c) ≥ 1.0)

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ ใช้ค่าจากสูตรคำนวณของ Webster ไม่ได้ เนื่องจากค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงใช้ค่าที่เป็นค่าสูงสุดที่กำหนดไว้คือ 240 วินาที
- สัดส่วนสัดส่วนไฟเขียว เลือกใช้การแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรของแต่ละทิศทาง
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซต

กรณีที่ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 1 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตที่ทราบถึงเวลาที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรขึ้นแน่นอน ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับปริมาณจราจรดังที่กล่าวไว้ข้างต้นในการควบคุมสัญญาณไฟ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรทันทีที่เกิดมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

วิธีที่ 2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักให้เคลื่อนตัวไปโดยไม่ถูกกีดขวางจากสัญญาณไฟ (Progression) ส่วนรถในอีกทิศทางหนึ่งจะไม่ได้จัดให้มีการเคลื่อนที่แบบที่ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณไฟ ดังนั้นจะสังเกตว่าความแตกต่างจากการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 คือ จะต้องจัดให้ทุกทางแยกในโครงข่ายที่พิจารณาโดยเฉพาะทางแยกที่อยู่บนถนนสายหลักมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟแยกเป็นการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่ปริมาณจราจรต่าง ๆ กันได้ดังนี้

กรณีที่ปริมาณจราจรเบาบางคงที่

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 และหากว่าความยาวรอบสัญญาณไฟของทางแยกในโครงข่ายไม่เท่ากัน จะต้องจัดให้มีความยาวรอบสัญญาณ

ไฟเท่ากันทั่วทั้งโครงข่าย โดยการปรับให้ความยาวรอบสัญญาณไฟของทางแยกที่สั้นกว่ายาวมากขึ้น จนเท่ากับ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ยาวที่สุดที่คำนวณได้

- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีตเช่นเดียวกับวิธีที่ 1
- ออฟเซต ตั้งค่าออฟเซตเพื่อให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนในทิศทางจากทางแยกที่ 5 ผ่านทางแยกที่ 1 ไปยังทางแยกที่ 3

กรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก หรือ $\text{Volume/Capacity (v/c)} \geq 1.0$)

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ ใช้จากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ค่าที่ได้ติดลบ ดังนั้นจึงใช้ค่าที่เป็นค่าสูงสุดที่กำหนดไว้คือ 240 วินาที
- สัดส่วนสัดส่วนไฟเขียว เลือกใช้การแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรของแต่ละทิศทาง
- ออฟเซต ตั้งค่าออฟเซตเพื่อให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนในทิศทางจากทางแยกที่ 5 ผ่านทางแยกที่ 1 ไปยังทางแยกที่ 3 โดยตั้งค่าออฟเซตเป็นค่าลบตามสูตรคำนวณของ NCHRP (1978)

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 2 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตที่ทราบถึงเวลาที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรขึ้นแน่นอน ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับปริมาณจราจรดังที่กล่าวไว้ข้างต้นในการควบคุมสัญญาณไฟ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรทันทีที่เกิดมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 1

วิธีที่ 3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 นี้จะใช้ทดสอบเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเท่านั้น โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการดำเนินการตั้งค่าออฟเซต ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเป็นดังต่อไปนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยระหว่างระดับที่มีปริมาณจราจรที่เป็นระดับพื้นฐานกับระดับที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติในการตั้งค่าตัวควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้การควบคุมที่คำนวณได้ตลอดช่วงเวลาทำการทดลอง
- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 หากแต่ใช้ปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ยเป็นปัจจัยพื้นฐาน โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ย
- ออฟเซตไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้เช่นเดียวกับการควบคุมแบบที่ 1

วิธีที่ 4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจร

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในกรณีนี้จะใช้ปริมาณการจราจรที่วัดได้จากตัววัดปริมาณจราจร (Detector) ซึ่งวางไว้บริเวณด้านถนนก่อนเข้ามาสู่ทางแยกสำหรับใช้เป็นปัจจัยพื้นฐานในการนำไปคำนวณการจัดสัญญาณไฟในรอบถัดไป ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟของทุกกรณีที่มีปริมาณจราจรแตกต่างกันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster โดยอาศัยปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจรเป็นพื้นฐานในการคำนวณหาความยาวรอบสัญญาณไฟ
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจรเป็นพื้นฐาน
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ เหมือนกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีการควบคุมที่ 1

วิธีที่ 5 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการคำนวณหาการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมในรอบสัญญาณไฟถัดไป วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ไม่เหมาะสมกับสภาพการจราจรเบาบาง เนื่องจากในสภาพจราจรเบาบางการควบคุมสัญญาณไฟแบบปกติจะสามารถจัดแถวคอยได้หมดทุกรอบสัญญาณไฟ การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ที่ว่างหลังแถวคอยเป็นข้อจำกัดของความยาวของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจึงไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว ความยาวรอบสัญญาณไฟจึงจะต้องถูกตั้งไว้ที่ค่าสูงสุดคือ 240 วินาที การตั้งค่าความยาวดังกล่าวจะทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากไม่มีรถยนต์ออกจากทางแยกในขณะที่ได้รับสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะไม่ทำการจำลองสภาพจราจรในสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบาง จะทำการจำลองสภาพจราจรเฉพาะในสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรอิมตัวคงที่ และสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟของทุกกรณีที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรอิมตัวคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก หรือ $\text{Volume/Capacity (v/c)} \geq 1.0$)

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster โดยอาศัยที่ว่างท้ายแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการคำนวณหาความยาวรอบสัญญาณไฟ
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามที่ว่างท้ายแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยพื้นฐาน
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ เหมือนกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีการควบคุมที่ 1

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

- การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณไฟต่าง ๆ เป็นเช่นเดียวกับกรณีที่มีปริมาณจราจรอิมตัวคงที่

วิธีที่ 6 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต

(เฉพาะกรณีที่ใช้โปรแกรมทรานสิตเท่านั้น)

วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ได้มาจากการวิเคราะห์สภาพจราจร ด้วยแนวคิดของโปรแกรมทรานสิตที่

จะใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ทำให้ค่าดัชนีวัดความไม่พอใจ (Disutility Index) ของทั้งโครงข่ายต่ำที่สุด ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟมีดังนี้

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นสัดส่วนของสัญญาณไฟที่ดีที่สุด
- ออฟเซต ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นค่าออฟเซตที่ดีที่สุด

4.5 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรเป็นดัชนีที่สะท้อนให้เห็นถึงความคล่องตัว ค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสีย และความปลอดภัย สำหรับการศึกษานี้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรที่ใช้จะเป็นเพียงบางตัวที่โปรแกรมสามารถแสดงผลให้เห็นได้เท่านั้น ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมทรานสิตและโปรแกรม CORSIM มีดังต่อไปนี้

โปรแกรมทรานสิต

- ความล่าช้าเฉลี่ย -- ความล่าช้าเฉลี่ยของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง
- จำนวนครั้งของการหยุด -- จำนวนครั้งของการหยุดเป็นจำนวนสะสมของการหยุดของยวดยานทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง
- การเผาผลาญเชื้อเพลิง -- การเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าเฉลี่ยการเผาผลาญเชื้อเพลิงในหนึ่งชั่วโมงในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง
- ดัชนีวัดความไม่พอใจ (Disutility Index) -- ดัชนีวัดความไม่พอใจซึ่งเป็นตัวสะท้อนที่เป็นส่วนผสมของความล่าช้าและจำนวนครั้งที่หยุดในช่วงเวลาที่พิจารณาได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง

โปรแกรม CORSIM

- ความล่าช้าเฉลี่ย -- ความล่าช้าเฉลี่ยได้จากการเฉลี่ยความล่าช้าของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่สูญเสียไปที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ
- เวลาในแถวคอย -- เวลาในแถวคอยจะเป็นเวลาสะสมของยวดยานทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่อยู่ในแถวคอยที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ
- อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง -- อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษานี้ค่าอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงอยู่ในรูปแบบของระยะทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อหนึ่งแกลลอน
- อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ -- ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษานี้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในรูปแบบของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อหนึ่งไมล์
- ปริมาณจราจรที่ผ่านออกไปจากทางแยกวิกฤต -- จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตเป็นจำนวนยวดยานทั้งหมดที่ออกจากทางแยกวิกฤตในช่วงเวลาที่พิจารณา

บทที่ 5

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นการจำลองสภาพการจราจรที่ทางแยกเดี่ยวด้วยโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาค และในส่วนที่เป็นการศึกษาในส่วนที่เป็นการจำลองสภาพการจราจรในโครงข่ายที่ใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรทั้งสองประเภท

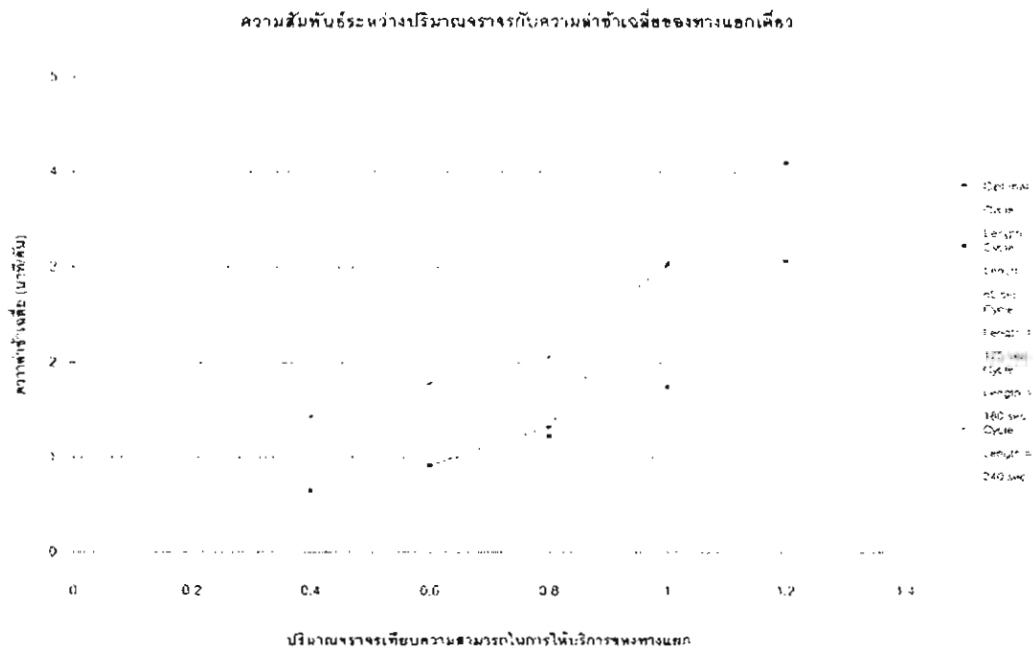
5.1 ผลการศึกษานทางแยกเดี่ยว

การจำลองสภาพการจราจรที่ทางแยกเดี่ยวในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาคเพียงตัวเดียวในการจำลองสภาพการจราจร จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพการจราจรต่าง ๆ ทั้งในสภาพที่มีปริมาณจราจรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และสภาพที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

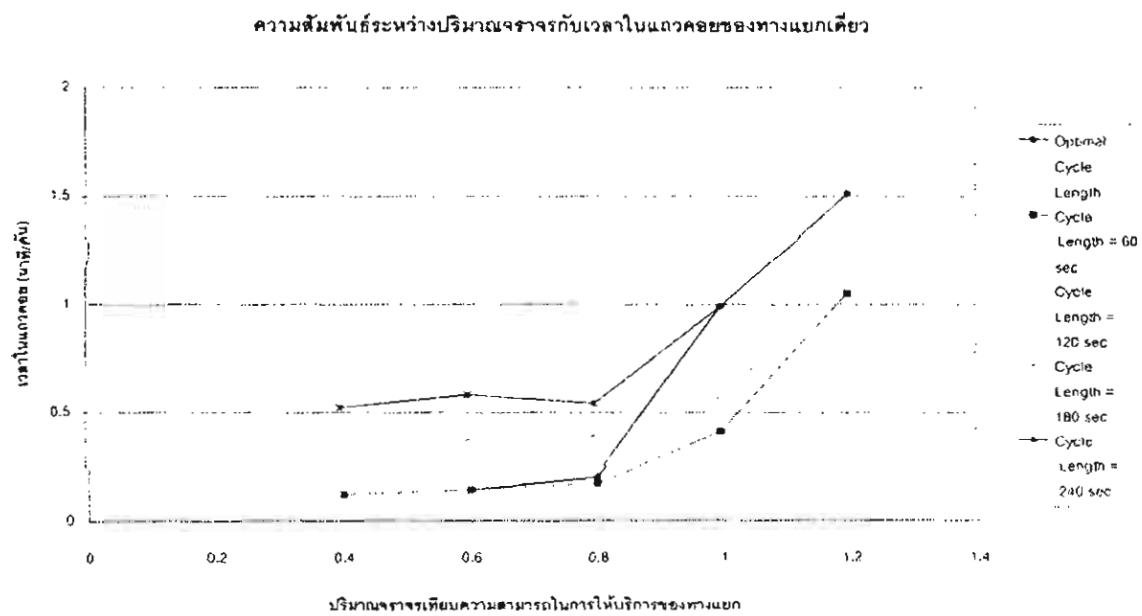
สภาพจราจรคงที่

จากการทดลองควบคุมสัญญาณไฟที่ทางแยกเดี่ยวด้วยการเปลี่ยนแปลงความยาวของรอบสัญญาณไฟจราจร โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวการจราจรทั้งสองทิศทาง พบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้คงที่ ที่ 60 วินาที เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ให้ค่าความล่าช้าต่ำที่สุด

นอกจากวิธีนี้ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้ที่ 60 วินาที ซึ่งเป็นความยาวรอบสัญญาณไฟที่กำหนดไว้เป็นค่าต่ำที่สุด ยังเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ให้ทั้งค่าเวลาในแถวคอยต่ำที่สุด ค่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด และมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุดในทุกกรณี

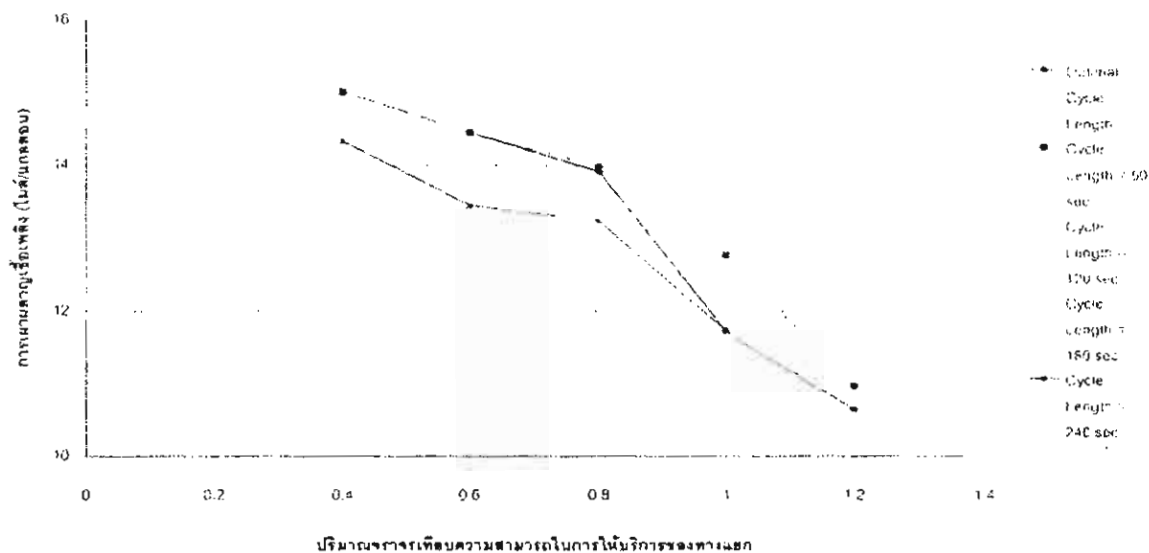


รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับความล่าช้าเฉลี่ยของทางแยกเดียว



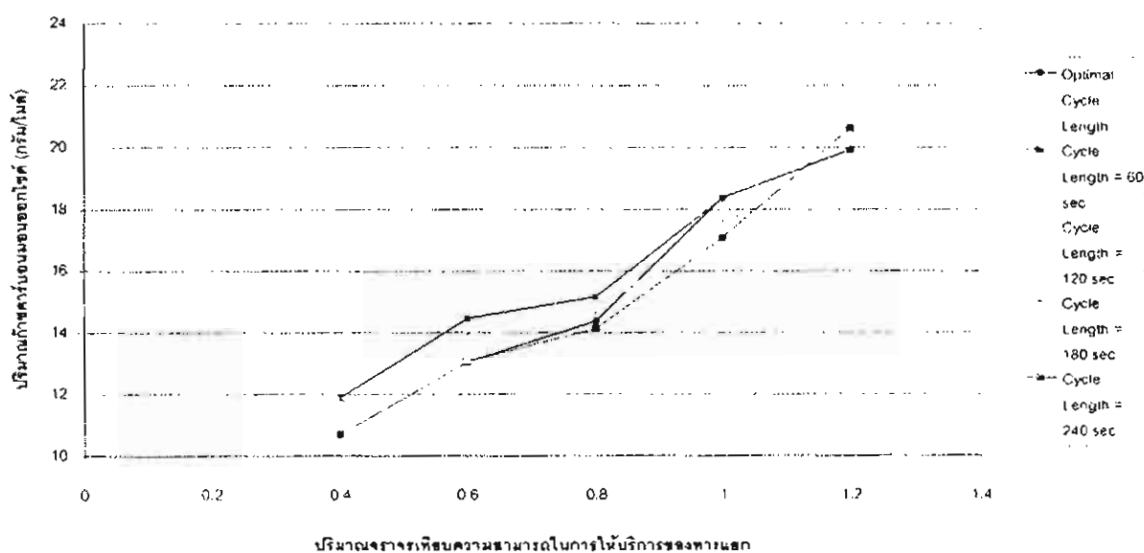
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับเวลาในแถวคอยของทางแยกเดียว

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับการเผาผลาญเชื้อเพลิงของทางแยกเดียว



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับการเผาผลาญเชื้อเพลิงของทางแยกเดียว

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของทางแยกเดียว

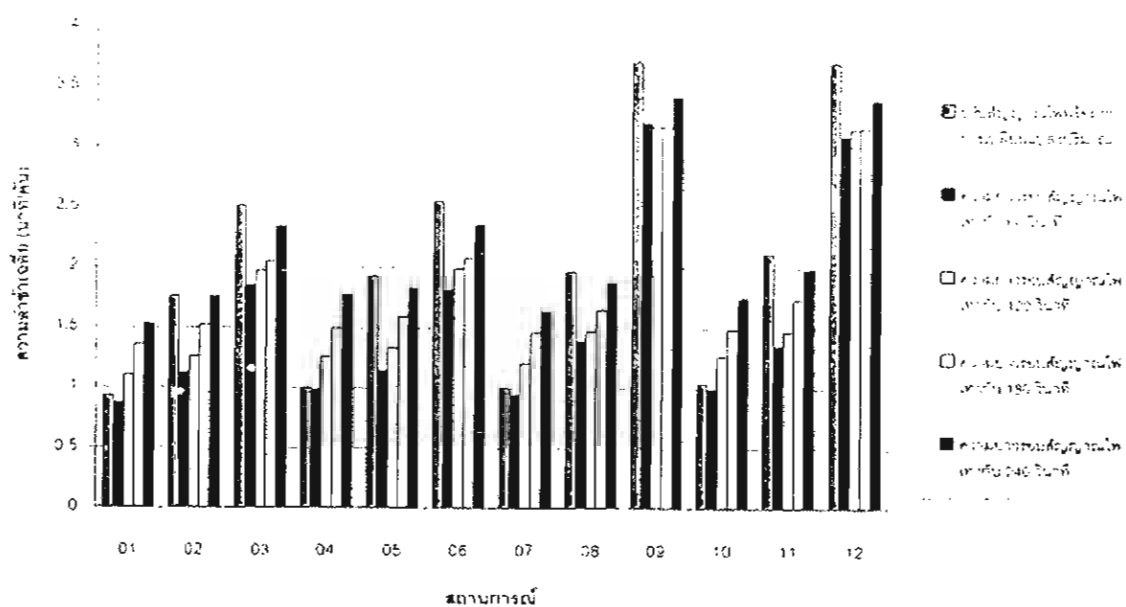


รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจราจรกับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของทางแยกเดียว

สภาพจราจรเปลี่ยนแปลง

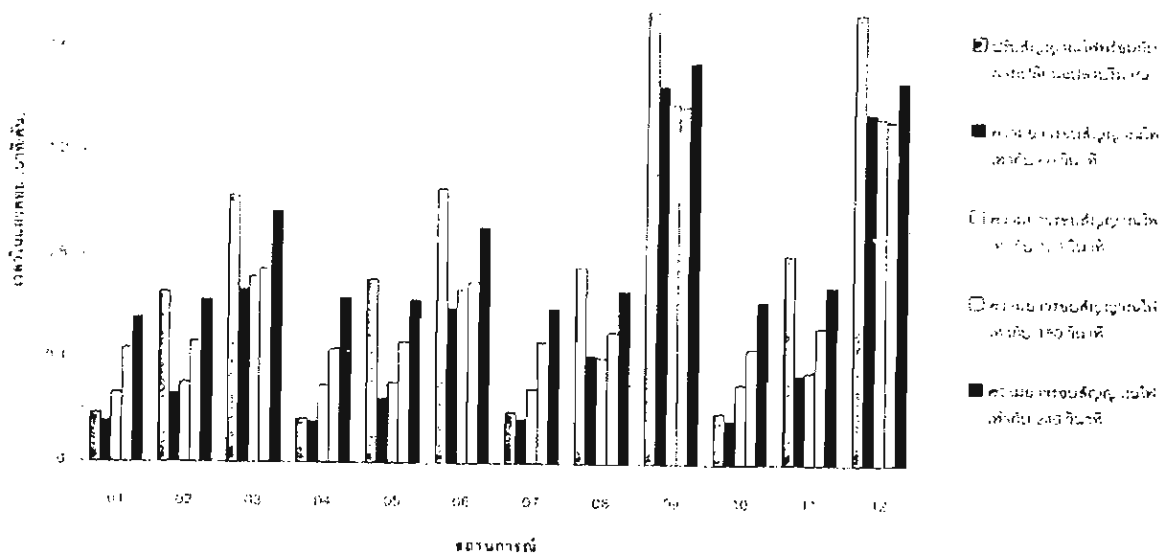
จากการทดลองควบคุมสัญญาณไฟที่ทางแยกเดียวด้วยการเปลี่ยนแปลงความยาวของรอบสัญญาณไฟจราจรไปตามปริมาณการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ต่างๆ ดังปรากฏในตารางที่ 4.5 โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวการจราจรทั้งสองทิศทาง เปรียบเทียบกับการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ

จรรยาได้คงที่ ที่ความยาวรอบสัญญาณไฟต่าง ๆ กัน พบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้คงที่ที่ 60 วินาที เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ให้ค่าความล่าช้าต่ำที่สุดในเกือบทุกกรณี

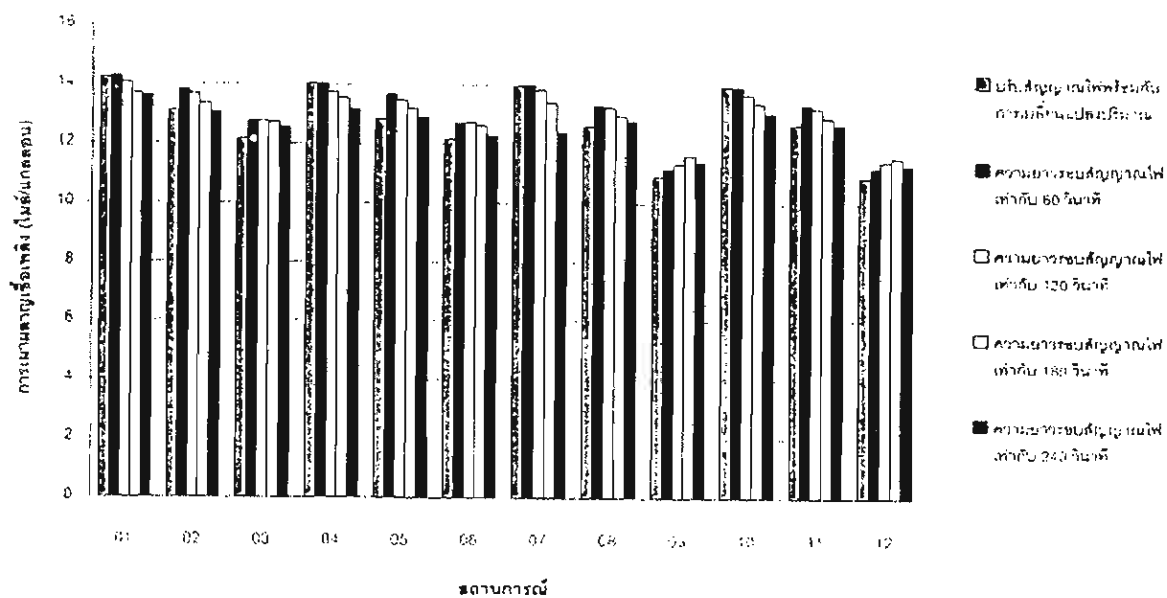


รูปที่ 5.5 ความล่าช้าเฉลี่ย ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง
(กรณีทางแยกเดียว)

สำหรับเวลาในแถวคอยและการเผื่อเวลาเชื่อเพลิงพบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้คงที่ที่ 60 วินาที เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้ค่าทั้งสองดีที่สุดในทุกกรณีที่ปริมาณจราจรในช่วงเวลาปกติต่ำ ๆ ถ้าหากมีปริมาณจราจรในช่วงเวลาปกติสูงขึ้น พบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้คงที่ที่เวลามากกว่า 60 วินาที เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกว่า

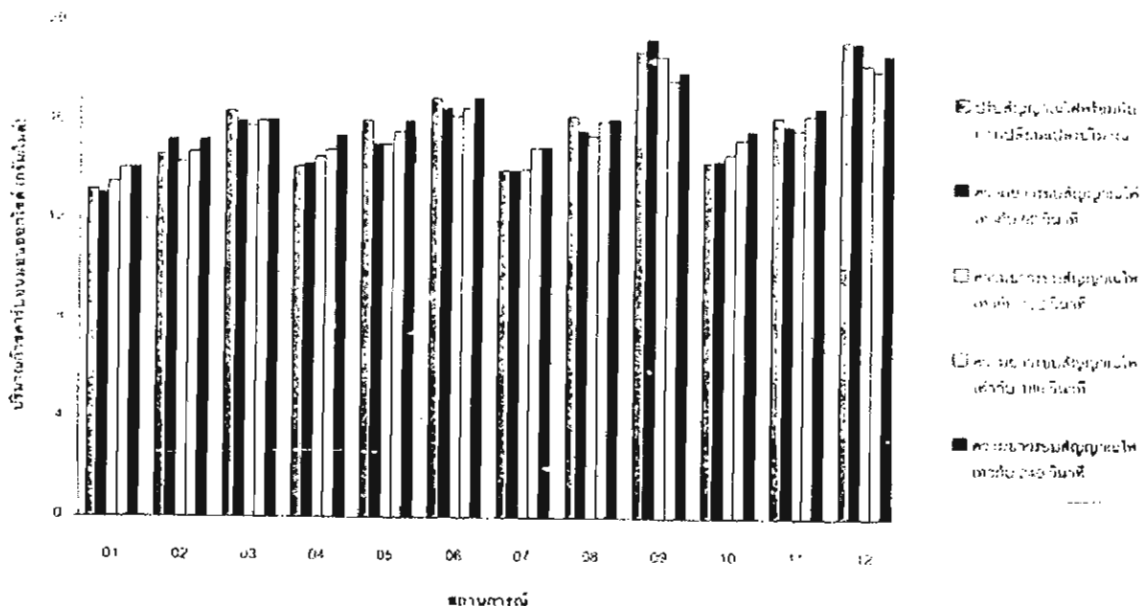


รูปที่ 5.6 เวลาในแถวคอย ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง
(กรณีทางแยกเดียว)



รูปที่ 5.7 อัตราการเผาลำดับเฉลี่ย ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง
(กรณีทางแยกเดียว)

และพบว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้ที่ 120 วินาทีคงที่ เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ต่ำที่สุดในเกือบทุกกรณี แต่ถ้าปริมาณจราจรในช่วงเวลาปกติสูงขึ้น จะพบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟไว้คงที่ที่เวลามากกว่า 120 วินาที จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกว่า



รูปที่ 5.8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพจราจรที่เปลี่ยนแปลง
(กรณีทางแยกเดียว)

5.2 ผลการศึกษาบนถนนหลักสายเดียว

บนถนนสายหลักสายเดียวจะทดสอบประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรสองประเภท คือ ปริมาณการจราจรคงที่ และ ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา (โดยมีช่วงสูงสุดอยู่ในช่วงการจราจรคับคั่ง, oversaturation) โดยทดสอบกับวิธีการควบคุม 10 วิธี แบ่งเป็นวิธีการควบคุมแบบไม่ทันกาล 7 วิธี คือ การเปิดสัญญาณไฟพร้อมกัน และ ใช้ช่วงเวลาสัญญาณไฟยาว (Zero offset and Long Cycle Time) การใช้ออฟเซตเป็นค่าลบ (Negative offset) Alternate Offset วิธีการตั้งรอบสัญญาณไฟจราจรสั้น (Short Cycle Length) Flared Green (แบบที่ 1) Flared Green (แบบที่ 2) การจำกัดปริมาณการจราจร (Metering) และ วิธีการควบคุมแบบทันกาล 3 วิธี คือ การจัดหาที่ว่างสำหรับแถวคอย (Available Storage) ความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นจริง (Queue length) ปริมาณรถที่เข้าสู่ทางแยกที่เกิดขึ้นจริง (Input Volume) ผลการทดสอบจากโปรแกรม CORSIM แสดงได้ดังต่อไปนี้

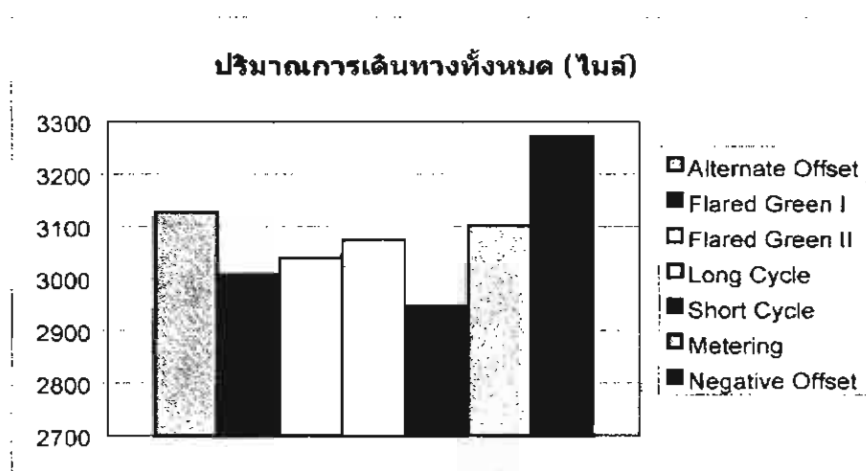
5.2.1 ปริมาณการจราจรคงที่

ผลการศึกษาเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 ถึง รูปที่ 5.14 ซึ่งจะพบว่า การควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธี Negative offset จะให้ค่าความล่าช้ารวมของระบบต่ำที่สุด ในขณะที่การควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีการเปิดความยาวรอบสัญญาณไฟยาว ให้ค่าความล่าช้ารวมของระบบสูงที่สุด (รูปที่ 5.10)

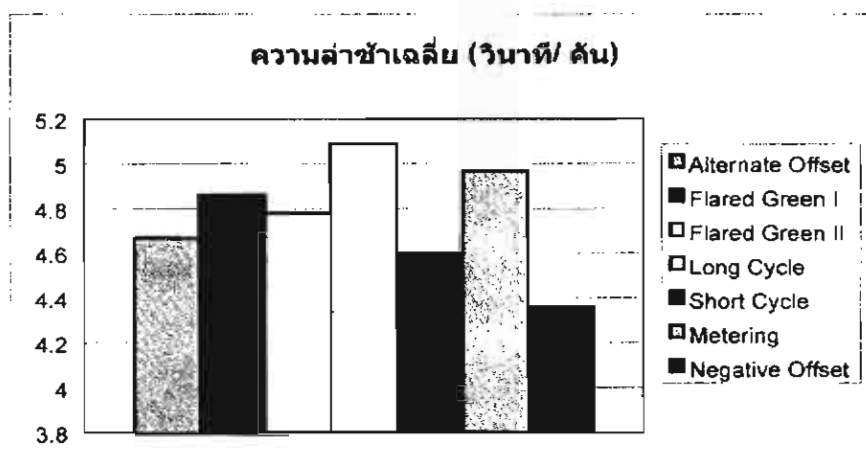
การควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธี Negative offset ยังให้ค่า throughput สูงที่สุด โดยสามารถระบายรถให้ออกจากเส้นหยุดได้รวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้เกิดความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางสูงที่สุด และการประหยัดน้ำมันสูงที่สุด (รูปที่ 5.13)

เมื่อพิจารณาถึงการหยุด และความล่าช้าในแถวคอยแล้ว วิธี Negative offset มิได้ให้ความล่าช้าในแถวคอยต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทดสอบทั้งหมด โดยการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีการเปิดความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น จะให้ค่าการหยุด และความล่าช้าในแถวคอยต่ำที่สุด

รูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าการเปิดสัญญาณไฟ แบบ Simultaneous จะทำให้เกิดความล่าช้าสูงสุด อย่างไรก็ตาม ความล่าช้าจะมาจากการแล่นบนช่วงถนนจะใช้ความเร็วเฉลี่ยได้ต่ำกว่า



รูปที่ 5.9 ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)

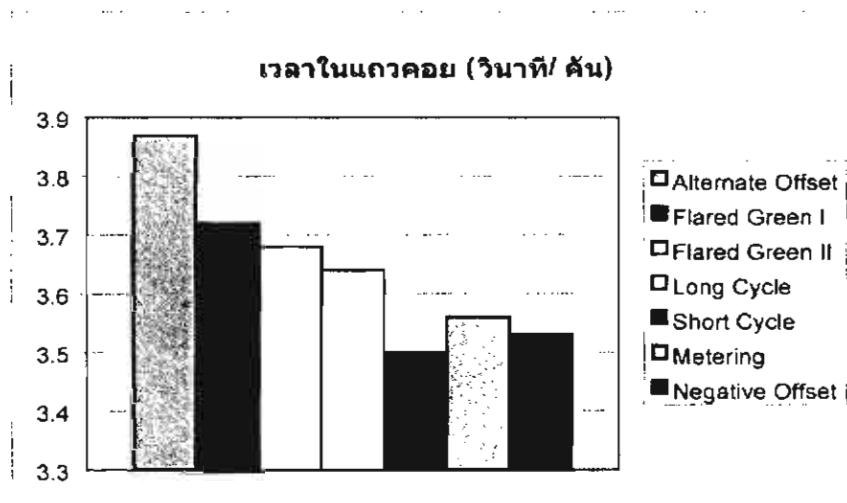


รูปที่ 5.10 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)

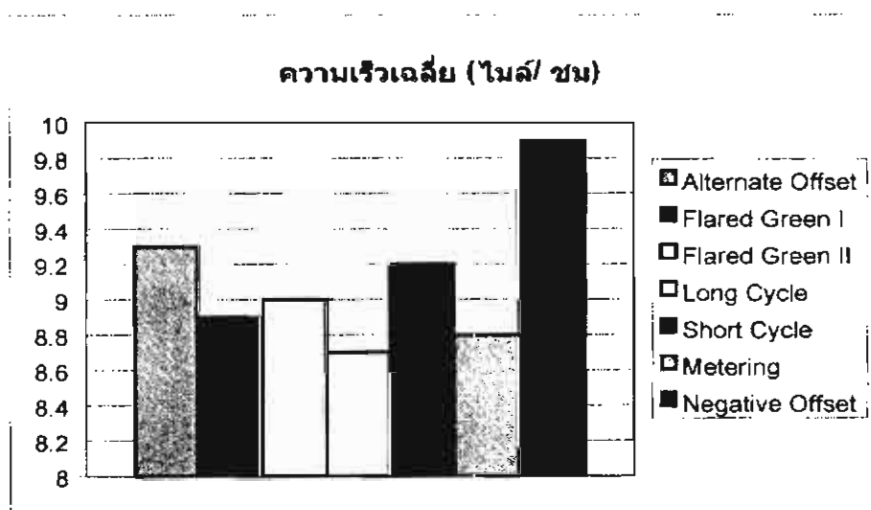
รูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นจะให้ stop time และ queue time ต่ำที่สุด เพราะว่าจากที่ใช้รอบในแต่ละรอบสัญญาณไฟน้อย และเนื่องจากวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟ 120 วินาที จึงทำให้เวลาที่ใช้รอบต่ำกว่าวิธีการอื่นที่ใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟ เท่ากับ 240 วินาที

รูปที่ 5.12 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า วิธี Negative offset จะทำให้ความเร็วเฉลี่ยสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Simultaneous ที่ใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟ และช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเหมือนกัน พบว่า วิธี Negative offset นี้ ทำให้มีพื้นที่ว่างหลังแถวคอย ซึ่งช่วยทำให้รถยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

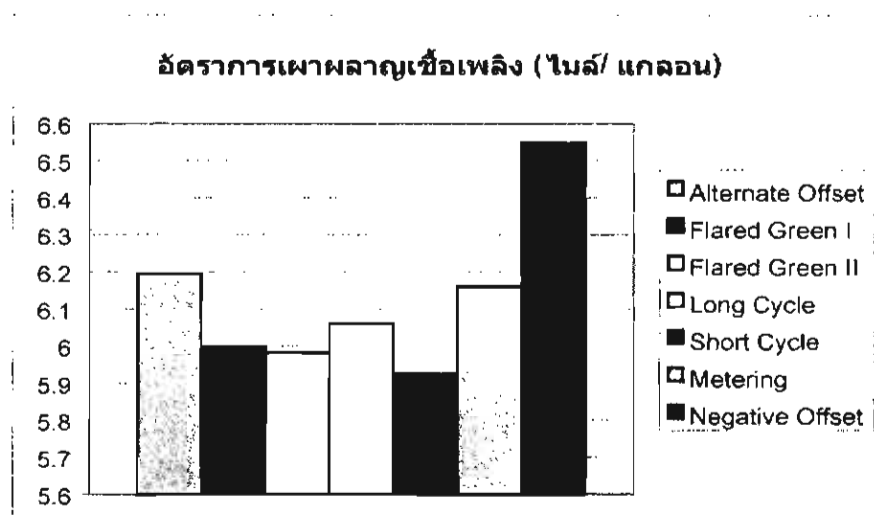
รูปที่ 5.13 และ 5.14 แสดงให้เห็นว่า วิธี Negative offset เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ช่วยลดการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง (ไมล์ต่อแกลลอน) และทำให้ระดับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาต่ำ



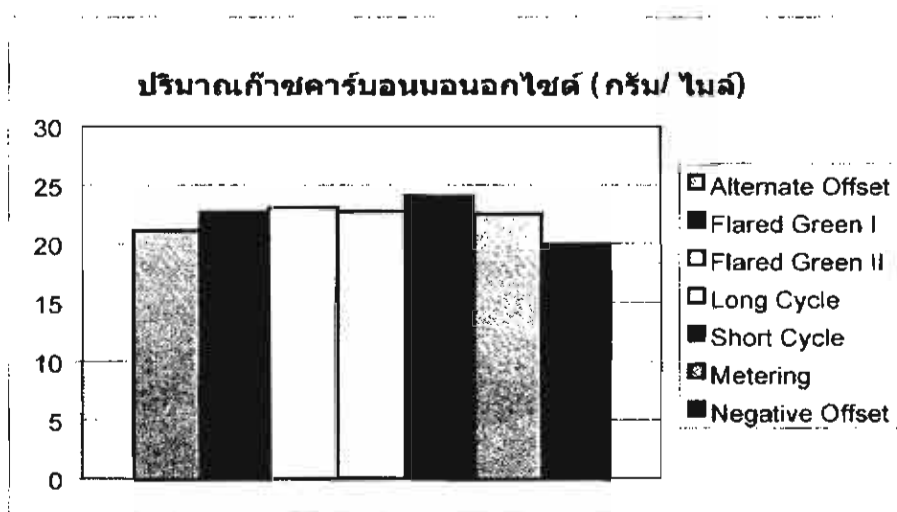
รูปที่ 5.11 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.12 ความเร็วเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.13 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)

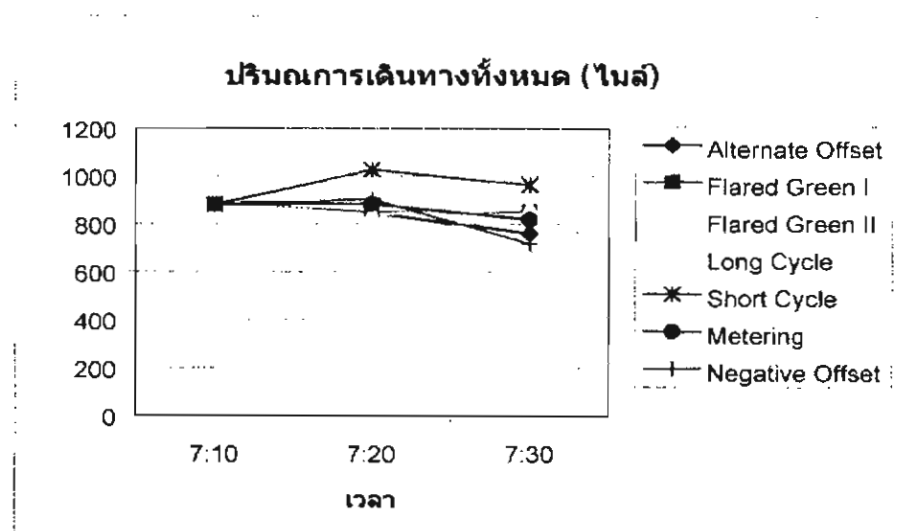


รูปที่ 5.14 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีสายทางหลัก)

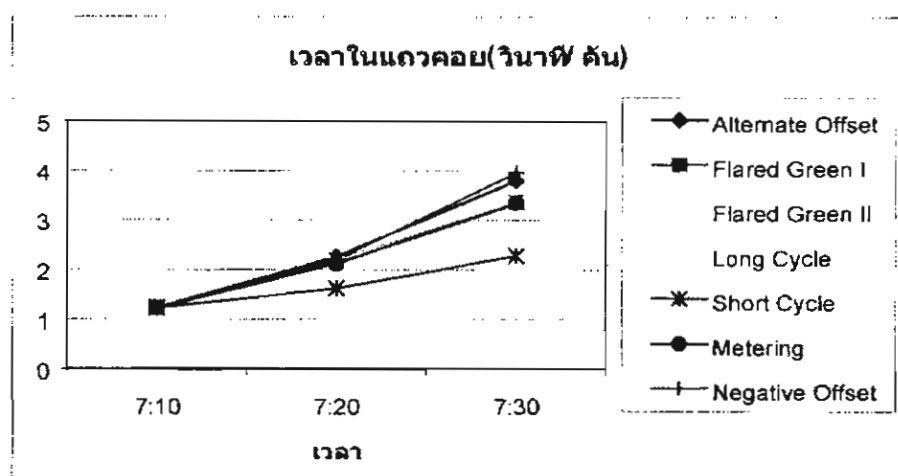
5.2.2 ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรที่ผันแปรตามเวลา โดยลักษณะการจราจรแสดงในบทที่ 4 (รูปที่ 4.14) ผลการศึกษาวិธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลแสดงในรูปที่ 5.15 ถึงรูปที่ 5.19 ส่วนผลการศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลแสดงในรูปที่ 5.20 ถึงรูปที่ 5.25

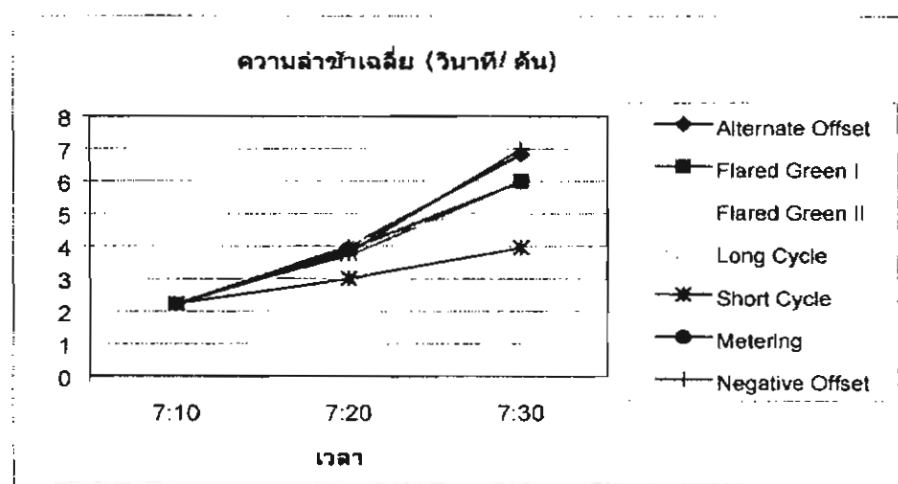
รูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาระหว่าง 7:20 ถึง 7:30 ปริมาณการเดินทางเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณจราจร รูปที่ 5.16 ถึง 5.17 แสดงให้เห็นว่า เวลาในแถวคอย และความล่าช้าเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้สาเหตุมาจากปริมาณจราจรสะสมในแถวคอยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไม่สามารถกำจัดหรือลดความยาวแถวคอยได้



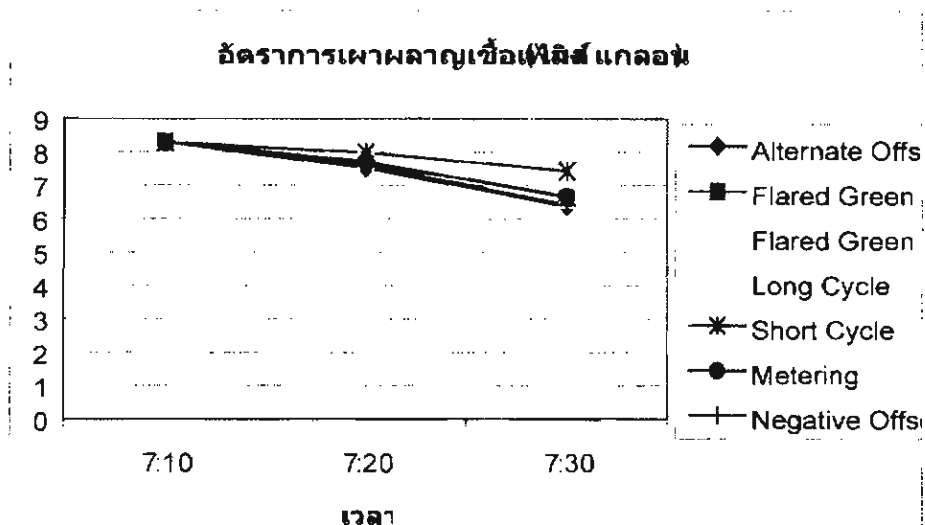
รูปที่ 5.15 ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.16 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก)

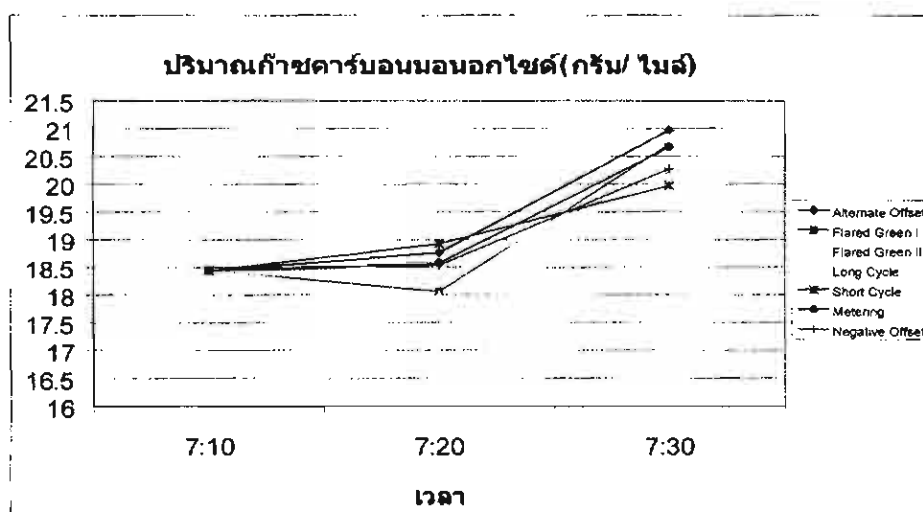


รูปที่ 5.17 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาลในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.18 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาล
ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก)

รูปที่ 5.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้สาเหตุมาจากความเร็วเฉลี่ยที่ลดลง เพราะ เนื่องจากการจราจรติดขัด ทั้งนี้การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นำมาทดสอบส่วนมากเพิ่มขึ้น ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากเวลาที่รถยนต์หยุดในแถวคอยที่บริเวณทางแยกยาวนานขึ้น รูปที่ 5.19 แสดงผลการศึกษาของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งมีผลในทิศทางเดียวกัน

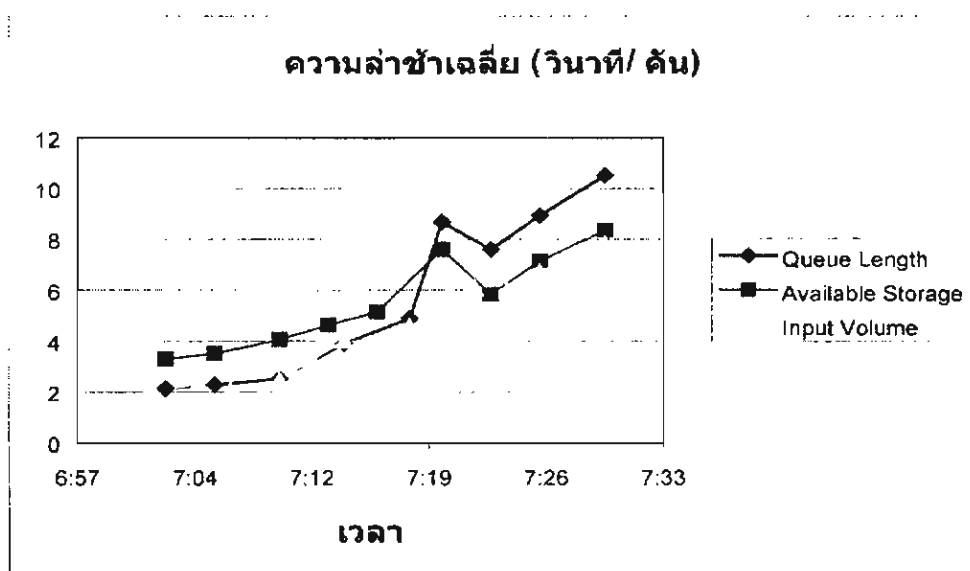


รูปที่ 5.19 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบไม่ทันกาล
ในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง (กรณีสายทางหลัก)

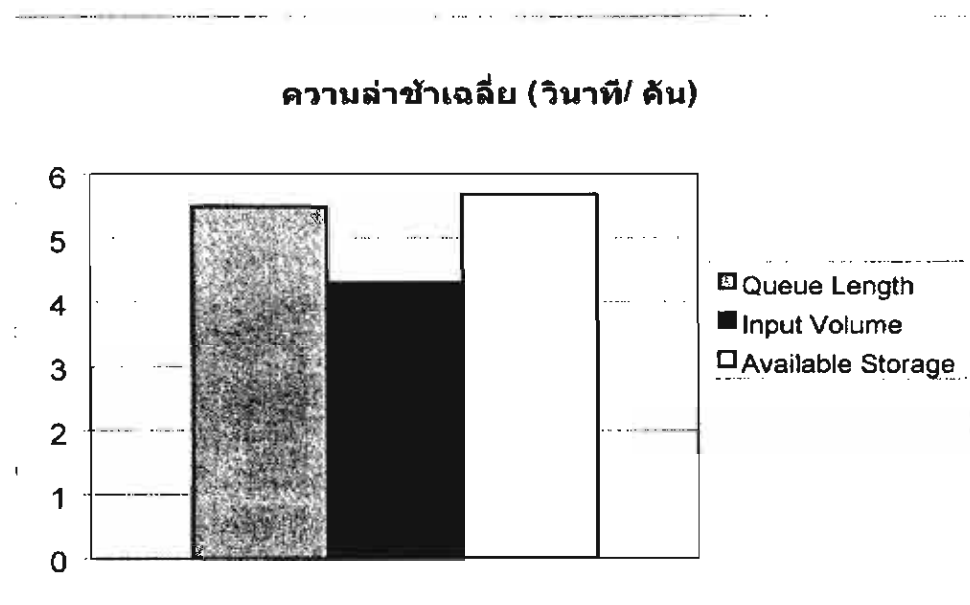
การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีการควบคุมเปลี่ยนแปลงตามเวลา 3 วิธี คือ การจัดหาที่ว่างสำหรับแถวคอย (Available Storage) ความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นจริง (Queue length) และ ปริมาณรถ

ที่เข้าสู่ทางแยกที่เกิดขึ้นจริง (Input Volume) โดยทดสอบในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา ได้ผลเปรียบเทียบกันดังต่อไปนี้ ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 5.20 ถึง 5.25

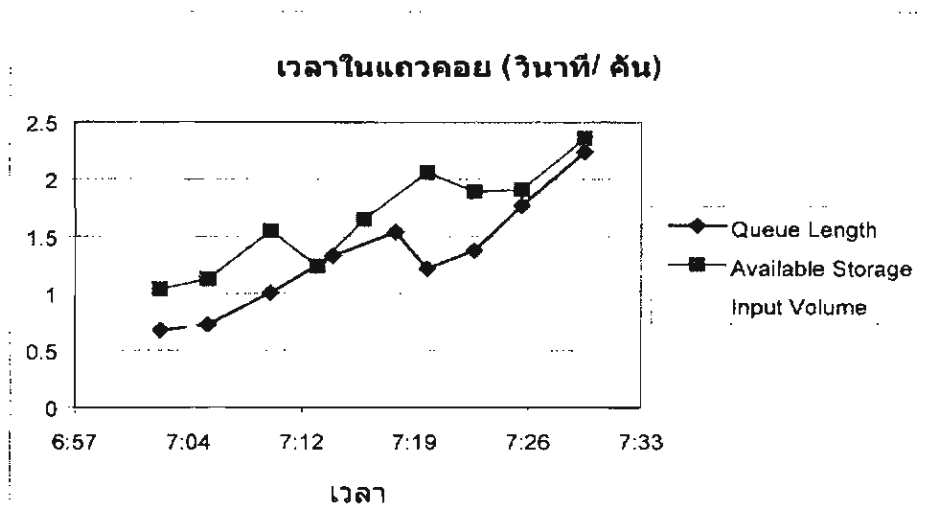
การเปรียบเทียบผลการควบคุมพบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนวณจาก Input Volume จะให้ค่าประสิทธิภาพการเคลื่อนตัวดีที่สุดในเมื่อพิจารณาจาก ความล่าช้าเฉลี่ย และ เวลาในแถวคอย เป็นที่น่าสังเกตว่าวิธี Queue Length จะให้ค่าความล่าช้ารวมเฉลี่ย ต่ำกว่า วิธี Available Storage แต่ทั้งนี้ ความล่าช้าส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงท้ายของการจราจรที่เปลี่ยนแปลง (ช่วงการ Release ขวดยานหลังจาก Oversaturation)



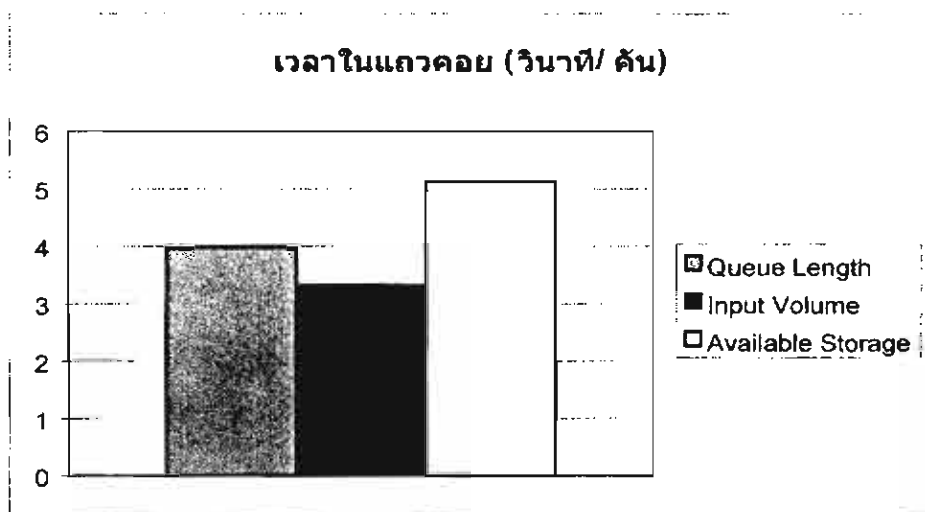
รูปที่ 5.20 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)



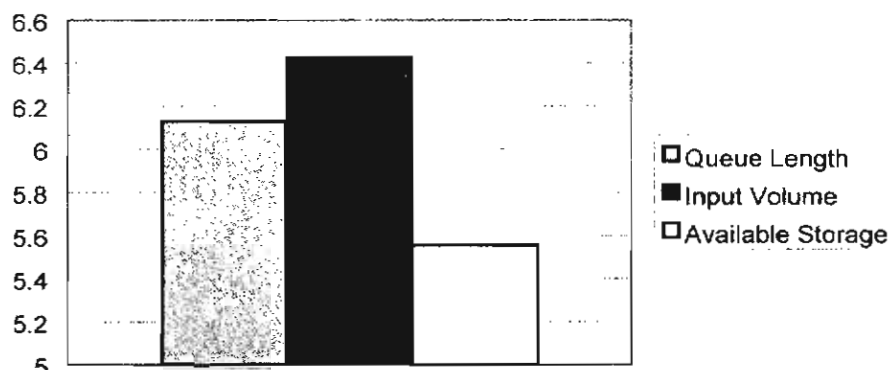
รูปที่ 5.22 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบเวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)

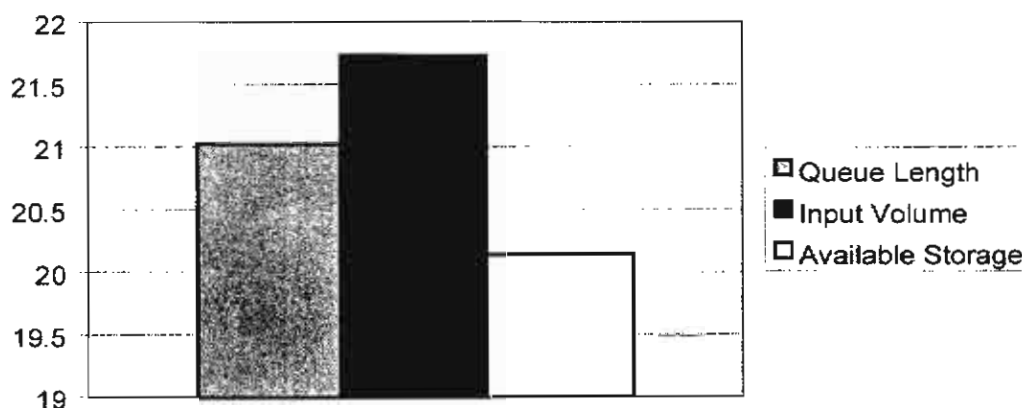
การพิจารณาผลกระทบทางมลภาวะ และ การใช้พลังงาน ในรูปที่ 5.24 และ 5.25 พบว่า วิธี Available Storage เป็นวิธีที่ดีที่สุด

อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง (ไมล์/ แกลลอน)



รูปที่ 5.24 การเปรียบเทียบอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)

ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (กรัม/ ไมล์)



รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุม Real time (กรณีสายทางหลัก)

5.3 ผลการศึกษาบนโครงข่ายถนน

การศึกษาค้นคว้าด้วยโปรแกรมจำลองสภาพจราจร 2 โปรแกรม คือ โปรแกรมการจำลองสภาพการจราจรแบบมหภาค ชื่อว่า โปรแกรมทรานสิต และโปรแกรมการจำลองสภาพการจราจรแบบจุลภาคชื่อว่า โปรแกรม CORSIM แต่ทั้งนี้ค่าตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้วัดโดยโปรแกรมทั้งสองไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากค่าที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้โปรแกรมทรานสิตให้ผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง

5.3.1 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต

ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมทรานสิตในการทดลองจำลองสภาพจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่ หากพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นการพิจารณาในช่วงที่มีปริมาณการจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก และกลุ่มที่เป็นการพิจารณาในช่วงที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก

ผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก

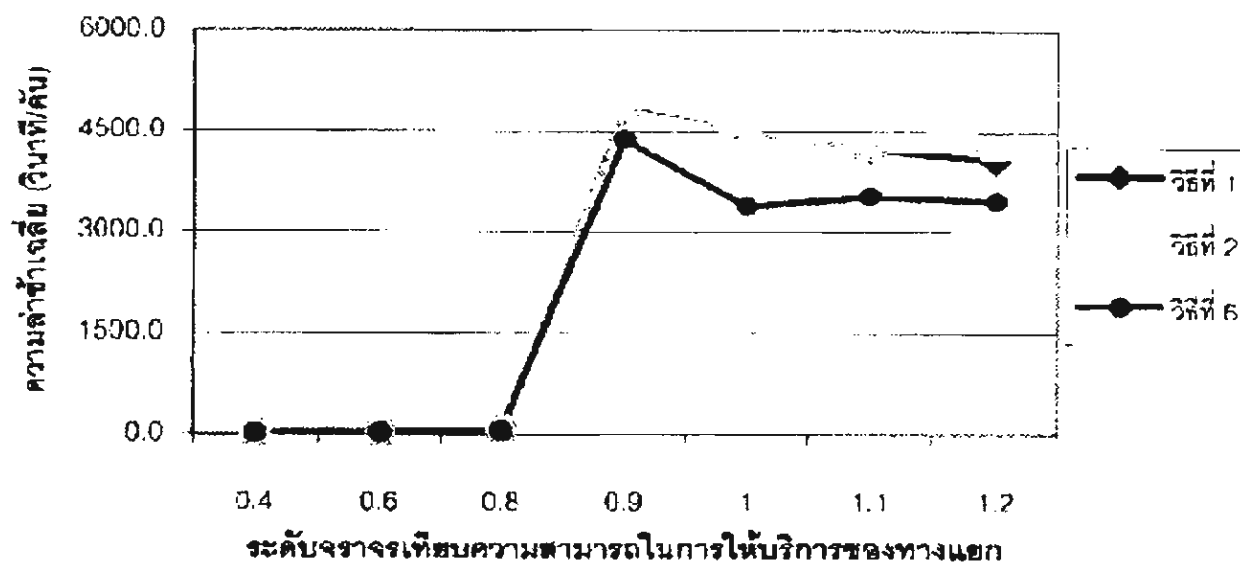
โปรแกรมทรานสิตจะประมวลผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกได้ชัดเจนและสอดคล้องกับความเป็นจริงได้มาก ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) จะส่งผลให้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรทุกชนิดมีค่ามากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) ส่งผลให้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรทุกชนิดมีค่ามากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต (วิธีที่ 6) ดังนั้น สรุปได้ว่า การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต (วิธีที่ 6) ดีกว่าการควบคุมสัญญาณแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) ตามลำดับ

ผลลัพธ์ต่าง ๆ สามารถนำมาสรุปได้เป็นดังรูปที่ 5.26 ถึง รูปที่ 5.29

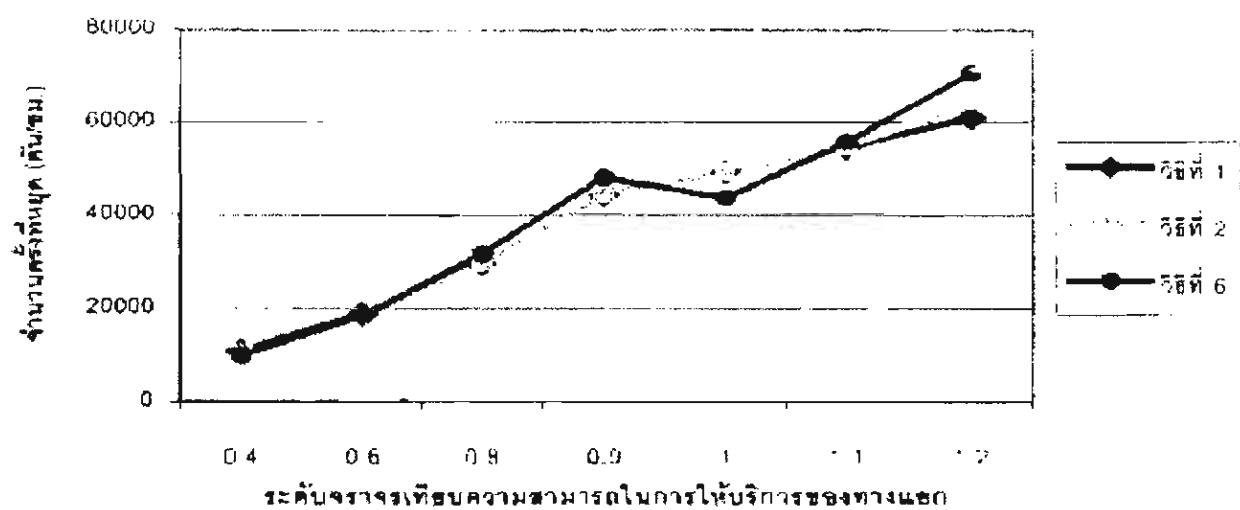
ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต

ระดับจราจรเทียบ ความสามารถในการ ให้บริการของทางแยก	ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/คัน)			จำนวนครั้งที่หยุด (คัน/ชั่วโมง)			การเผาผลาญเชื้อเพลิง (ลิตร)			ดัชนีวัดความไม่พอใจ		
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 6	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 6	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 6	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 6
0.4	25.6	24.6	23.9	10691	10337	9814	958	942	928	110.0	105.6	102.1
0.6	36.1	33.8	30.6	18736	18253	18146	1721	1679	1623	222.1	210.9	196.2
0.8	75.2	78.2	64.9	29441	29556	31669	3463	3690	3244	561.9	1152.0	503.4
0.9	4812	4808	4370	44333	44312	48098	73920	73847	67652	32790	32770	24650
1	4468	4466	3365	49108	49100	43364	76638	76607	58705	33460	33460	27850
1.1	4240	4241	3523	54663	54660	55582	79950	79965	67513	37170	37180	25150
1.2	4059	4266	3448	60940	64346	70616	83652	87777	71644	38110	39200	26990

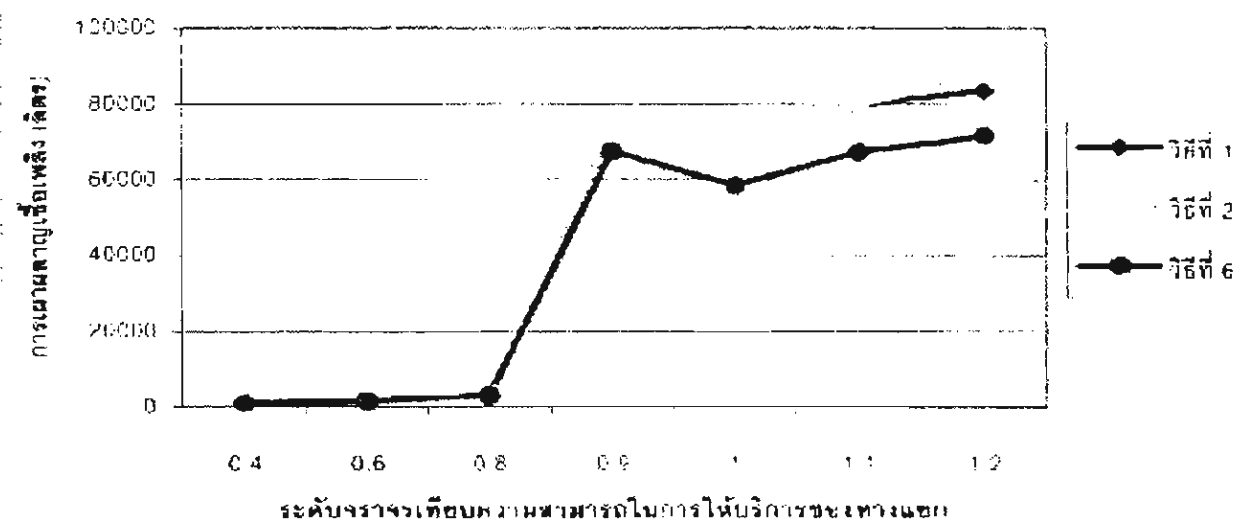
หมายเหตุ : แสดงเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางเท่ากัน



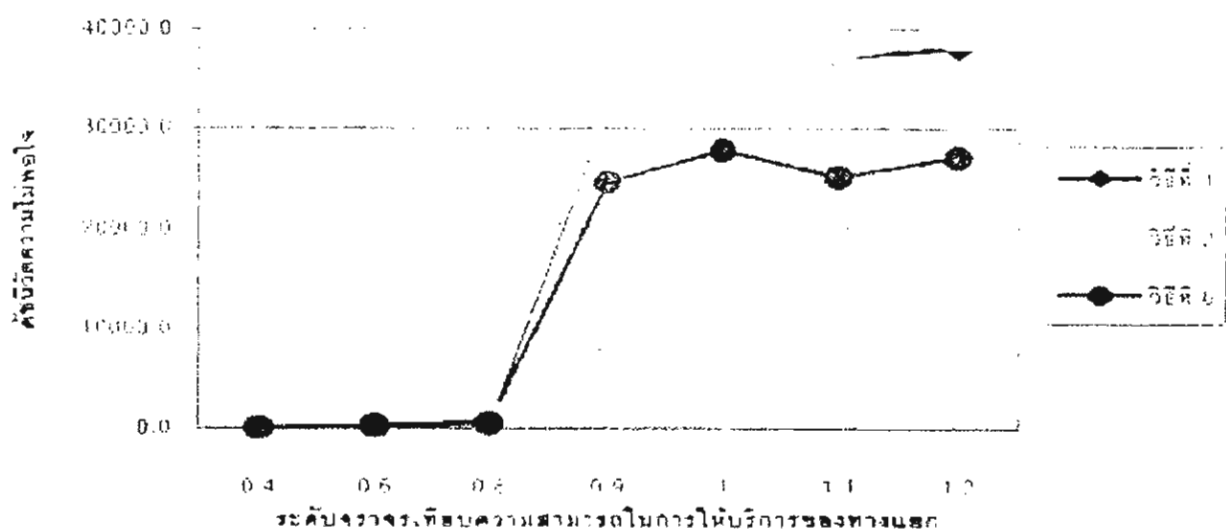
รูปที่ 5.26 ความล่าช้าเฉลี่ยจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน)



รูปที่ 5.27 จำนวนครั้งที่หยุดจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน)



รูปที่ 5.28 อัตราการเผาลาญเฉลี่ยจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน)



รูปที่ 5.29 ดัชนีวัดความไม่พอใจจากโปรแกรมทรานสิต (กรณีโครงข่ายถนน)

ผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก

โปรแกรมทรานสิตจะประมวลผลตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกที่มีค่ามากผิดปกติ ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่มีค่ามากผิดปกติ ได้แก่ ความล่าช้า จำนวนครั้งของการหยุด การเผาผลาญเชื้อเพลิง และดัชนีวัดความไม่พอใจ ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการประมวลผลผลลัพธ์ของโปรแกรมทรานสิตมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจรในช่วงที่มีปริมาณการจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก ทำให้การคำนวณตัววัดประสิทธิภาพซึ่งอาศัยระดับความอิ่มตัวไม่สามารถแสดงให้เห็นลักษณะของการจราจรในสถานะที่เป็นจริงได้ ซึ่งสังเกตได้จากตารางที่ 5.1

จากการศึกษาเพิ่มเติมทำให้ทราบว่า ข้อจำกัดของแบบจำลองและวิธีการคิดของโปรแกรมทรานสิต คือ โปรแกรมทรานสิตจะสามารถรองรับการเกิดปริมาณจราจรอิ่มตัวที่ไม่สามารถจัดแถวคอยได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ ได้เพียง 2 รอบสัญญาณไฟติดต่อกัน หากว่าช่วงเวลาที่ปริมาณการจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกยาวเกินกว่า 2 รอบสัญญาณไฟติดต่อกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมทรานสิตจะได้ค่าที่มากกว่าที่ยอมรับได้ หรือบางครั้งเมื่อมีช่วงเวลาในการจำลองสภาพการจราจรนานมาก ๆ ค่าดังกล่าวจะแสดงผลเป็นค่าติดลบ

อย่างไรก็ตาม จำนวนครั้งของการหยุดสามารถสะท้อนให้เห็นพฤติกรรมจราจรได้ดีกว่าความล่าช้าเฉลี่ย แม้ว่าขีดจำกัดบนซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดไว้สำหรับทั้งจำนวนครั้งของการหยุด และความล่าช้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1000 คัน/ชั่วโมง และ 1000 วินาที/คัน แต่กรณีที่เป็นการจำลองสภาพการจราจรแบบต่อเนื่องเช่นนี้ พจน์ของความล่าช้าจะต้องถูกปรับแก้โดยการลบความล่าช้าบางส่วนออกไปตามหลักการที่วางไว้ของโปรแกรมทรานสิต ในขณะที่พจน์ของจำนวนครั้งของการหยุดไม่มีการปรับแก้ค่าแต่อย่างใด

ถึงแม้ว่าจำนวนครั้งของการหยุดจะไม่ใช้ตัววัดประสิทธิภาพแบบสมบูรณ์ (Absolute) ที่ดีนัก แต่ถ้าหากใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพแบบสัมพัทธ์ (Relative) จำนวนครั้งของการหยุด น่าจะสะท้อนให้เป็นพฤติกรรมจราจรได้บ้าง เนื่องจากจำนวนครั้งของการหยุดที่วัดในสภาพการจราจรอิ่มตัวมีค่าอยู่ที่ขีดจำกัดบน (1000) สามารถจะแสดงให้เห็นโดย

อ้างว่า ค่าจำนวนครั้งของการหยุดที่มากกว่าจะสะท้อนให้เห็นว่า มีจำนวนลิงค์ที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการมากกว่าทางแยกที่มีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยกว่าได้

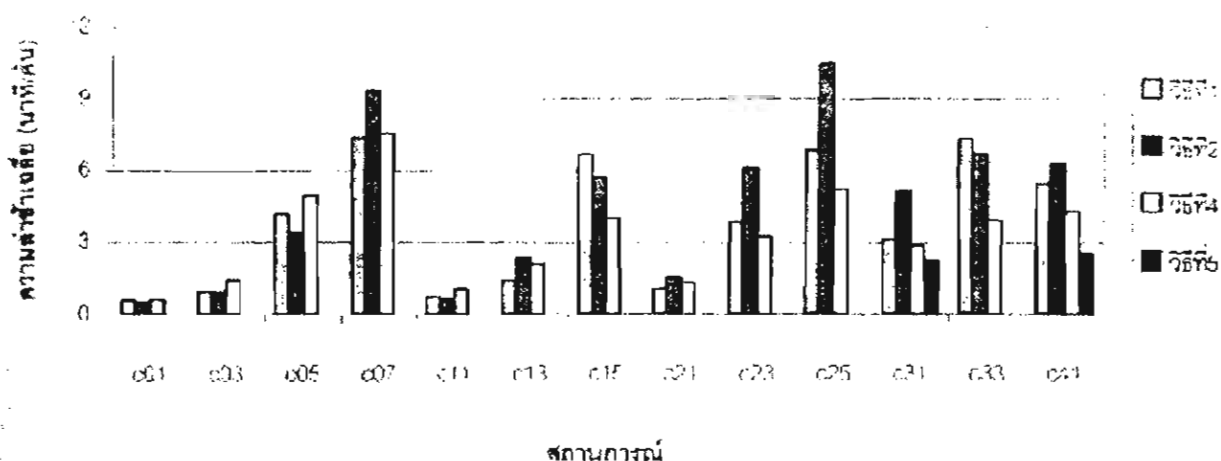
เนื่องจากการนำไปใช้ในกรณีที่มีปริมาณจราจรอัดตัวได้ไม่ดี จึงไม่ได้แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพสำหรับกรณีที่มีปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้ค่าติดลบเกือบทั้งหมด

5.3.2 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรม CORSIM

จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรต่างๆ ทั้งในสภาพที่มีปริมาณการจราจรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และสภาพที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา (รวบรวมไว้ในบทที่ 4) สามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

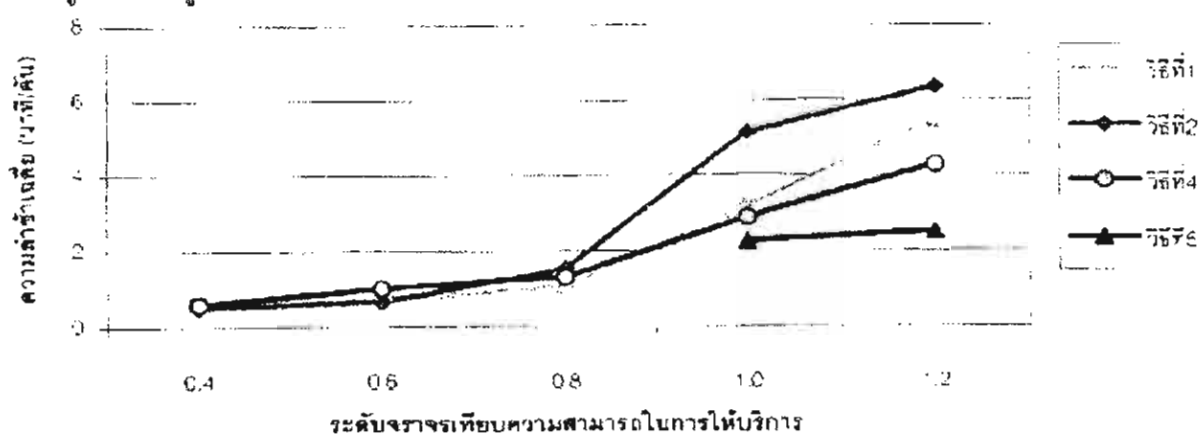
สภาพจราจรเบาบางคงที่

จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรต่าง ๆ กัน พบว่า ในกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางเมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยก (ประมาณ 0.4 และ 0.6 เท่าของระดับความสามารถในการให้บริการของทางแยก) และระดับปริมาณจราจรคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาการศึกษา (สถานการณ์ c01 c03 c05 และ c11) (ตารางที่ 4.6) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้หลักการควบคุมที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) จะมีความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังรูปที่ 5.30 รูปที่ 5.31 เนื่องจากในสภาพการจราจรเบาบาง การให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักจะไม่ส่งผลกระทบต่ออาการจราจรบนถนนรองมากนัก สังเกตได้จากความล่าช้าของถนนสายรองไม่สูง และจำนวนการจัดสัญญาณไฟล้มเหลว (Phase Failure) มีน้อยมาก ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกสามารถเคลื่อนผ่านเส้นหยุดไปได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ แต่ทั้งนี้ก็ยังมีความใกล้เคียงกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นอยู่มาก



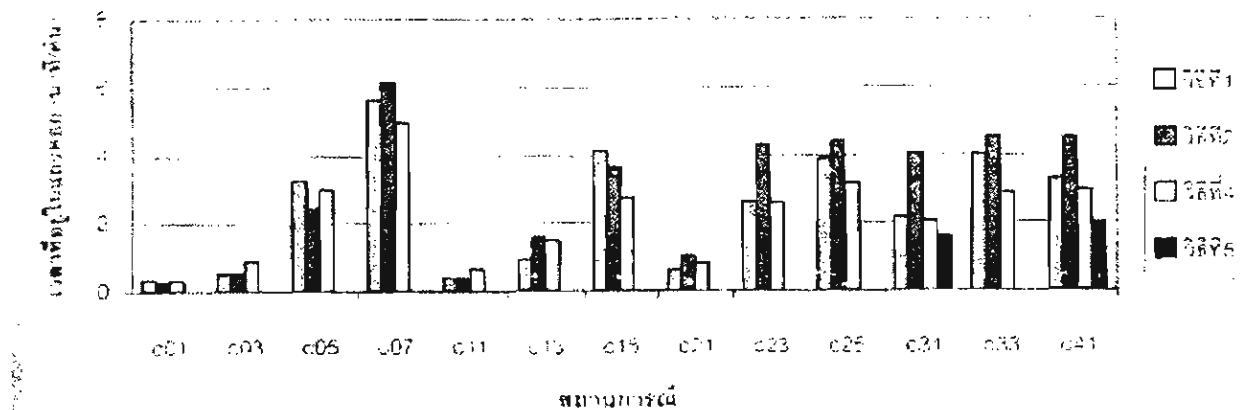
รูปที่ 5.30 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน)

เมื่อระดับปริมาณจากรสูงขึ้นแต่คงยังไม่ถึงระดับความสามารถในการให้บริการของทางแยก โดยมีปริมาณจราจรประมาณ 0.8 เท่า ของความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ c13 และ c21) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เริ่มปรากฏว่า มีกลุ่มยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไปได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ สังเกตจากความล่าช้าเฉลี่ย และจำนวนการจัดสัญญาณไฟล้มเหลวมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ น่าจะเป็นเพราะการตั้งค่าออฟเซตที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เริ่มมีกลุ่มยวดยานที่ไม่สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ ส่วนของการควบคุมสัญญาณไฟที่ให้ค่าความล่าช้าต่ำที่สุดในกรณีที่มีปริมาณจราจรปานกลาง คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนทีเดียวว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตดีกว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น เนื่องจากค่าความล่าช้าที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบอื่น ๆ ก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 5.30 รูปที่ 5.31

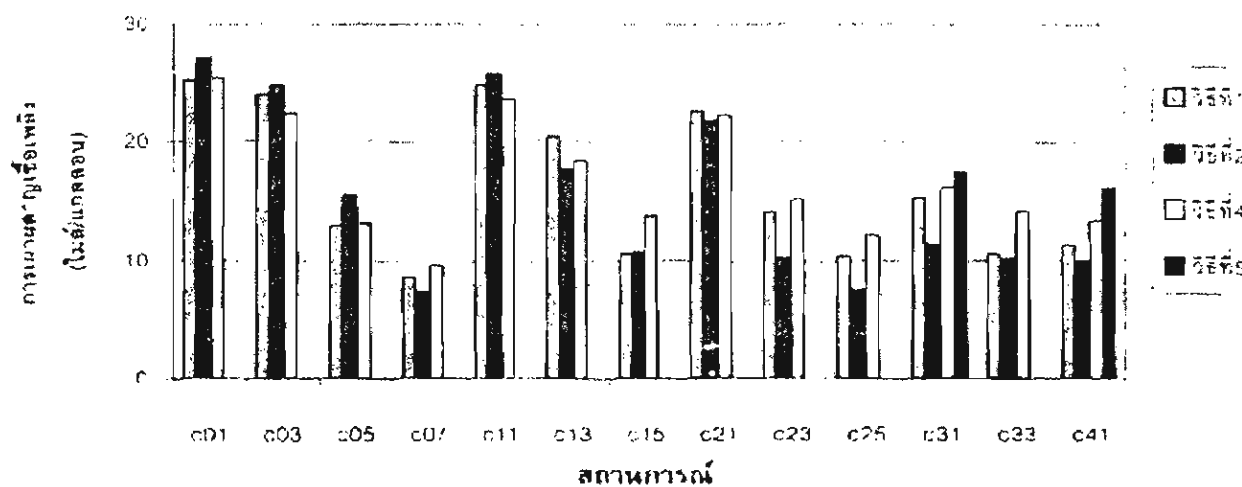


รูปที่ 5.31 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรคงที่เฉพาะกรณีที่ปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง (กรณีโครงข่ายถนน)

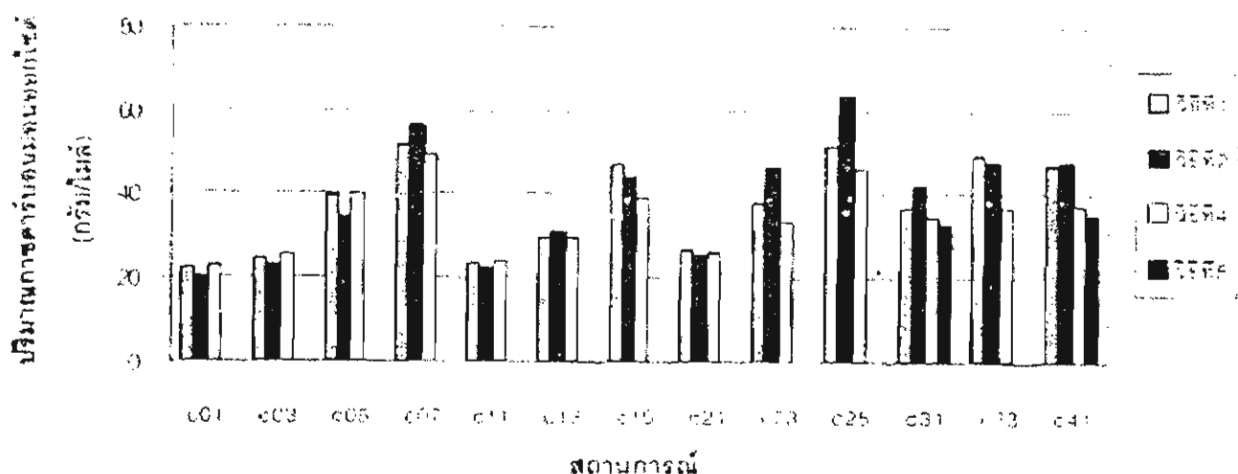
สำหรับวัดตัวประสิทธิภาพการจราจรตัวอื่น ได้แก่ เวลาที่อยู่ในแถวคอย การเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.32 ถึง รูปที่ 5.34 ตามลำดับ



รูปที่ 5.32 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน)



รูปที่ 5.33 อัตราการแผดผลาญเชื้อเพลิง ในสภาพการจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน)

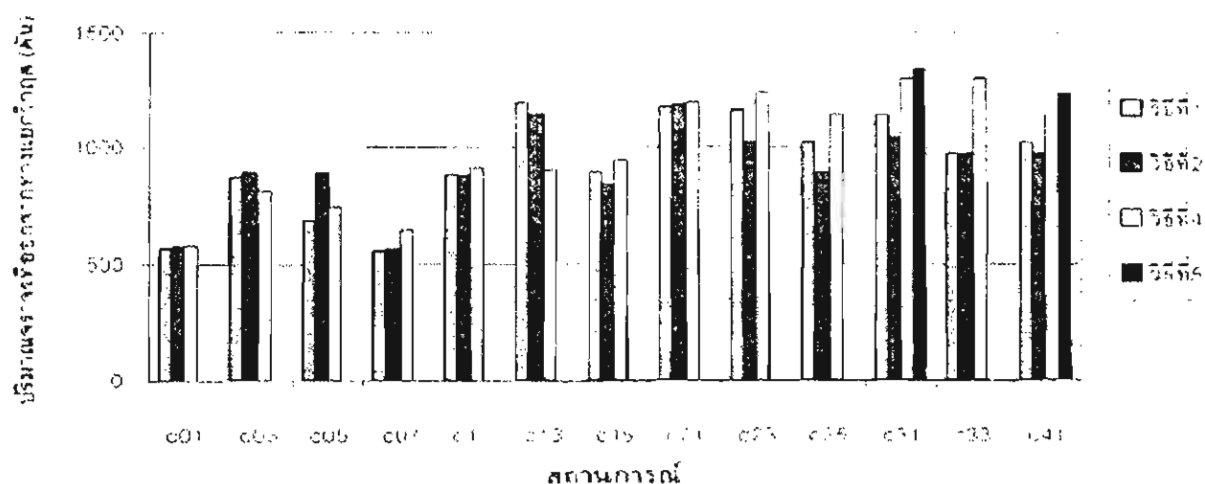


รูปที่ 5.34 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน)

ในแง่ของการพิจารณาเวลาที่อยู่ในแถวคอย วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่มีเวลาที่อยู่ในแถวคอยเฉลี่ยต่ำที่สุดสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรใกล้จุดอิมตัว และกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาสรุปได้เช่นเดียวกับการวัดประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟโดยความล่าช้า ดังแสดงในรูปที่ 5.32

ด้านการเผาลาญเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีทำให้การเผาลาญเชื้อเพลิงดีที่สุดและการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุดสำหรับกรณีที่มีระดับปริมาณจราจรใกล้จุดอิมตัว และปริมาณจราจรเบาบางตามลำดับ แต่ค่าที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นมากนัก สามารถนำมาสรุปได้เช่นเดียวกับการวัดประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 5.33 รูปที่ 5.34

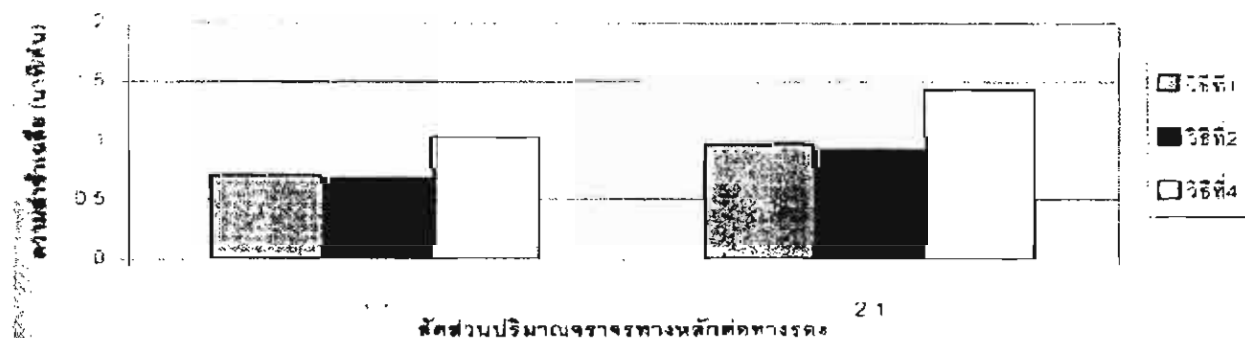
ส่วนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้มีปริมาณจราจรวิ่งออกจากทางแยกวิกฤตมากที่สุด คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) สำหรับกรณีที่มีระดับปริมาณจราจรเบาบาง และปริมาณจราจรใกล้จุดอิมตัวตามลำดับ แต่ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้เหนือกว่าแบบอื่นอย่างชัดเจน ดูรูปที่ 5.35 ประกอบ



รูปที่ 5.35 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตในสภาพจราจรคงที่ (กรณีโครงข่ายถนน)

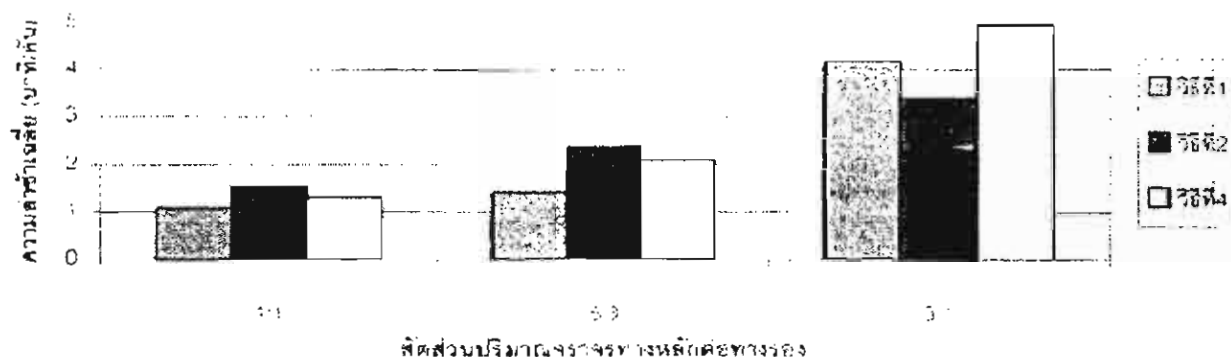
หากพิจารณาในแง่ของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรที่มีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกมีปริมาณไม่เท่ากันทั้งสองทิศทาง ทางแยกที่มีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยก 2 ทิศทางแตกต่างกันมาก จะมีปัญหาต่อการควบคุมสัญญาณไฟมากที่สุด (ในรูปที่ 5.36 รูปที่ 5.37) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่ทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำที่สุด เมื่อมีปริมาณจราจรใกล้เคียงตัวและปริมาณจราจรของทั้งสองทิศทางต่างกันมาก ๆ เนื่องจากการให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักซึ่งมีปริมาณจราจรมากกว่า ส่วนอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก็สามารถสรุปผลได้เช่นเดียวกัน

ระดับจราจรเทียบความสามารถในการให้บริการ = 0.6



รูปที่ 5.36 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรเบาบาง)

ระดับจรรยาเทียบความสามารถในการให้บริการ - 118



รูปที่ 5.37 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน
(ปริมาณจราจรใกล้เคียงกัน)

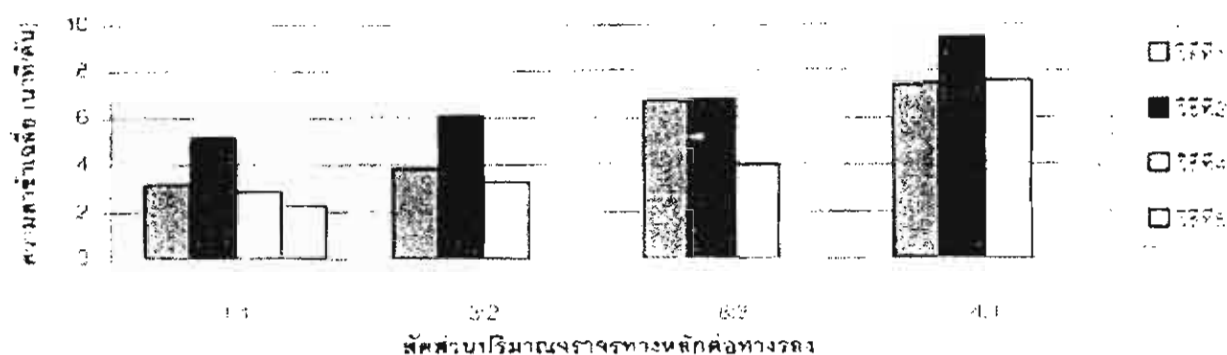
สภาพจราจรอ้อมตัวคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก)

จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรอ้อมตัวคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา (15 นาที) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) เป็นวิธีควบคุมที่ดีที่สุด มีความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด มีการเผื่อเวลาเชื่อเพลิงดีที่สุด มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด และมีปริมาณยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกหลักได้สูงที่สุด (ดูรูปที่ 5.30 รูปที่ 5.32 ถึง รูปที่ 5.35) เนื่องจากในสภาพจราจรอ้อมตัวควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป เมื่อนำไปทดลองจำลองสภาพจราจรแล้วพบว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบดังกล่าว จะมีลักษณะเหมือนเป็นการกรอง (Metering) ปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกวิกฤต จนทำให้ทางแยกวิกฤตมีระดับปริมาณจราจรเข้าสู่ทางแยกต่ำกว่าทางแยกที่ไม่เป็นทางแยกวิกฤตที่ตั้งไว้เดิม และทางแยกวิกฤตใหม่ที่เกิดขึ้นก็คือทางแยกรอง (เดิม) ที่มีปริมาณจราจรต่ำกว่า

เมื่อเวลาในการจำลองสภาพจราจรเพิ่มขึ้นการจำกัดปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกทำให้ ทางแยกรองจะต้องแบกรับปริมาณจราจรส่วนที่ควรจะต้องเคลื่อนที่ผ่านทางแยกรองไปสู่ทางแยกหลัก แต่ไม่สามารถปล่อยออกไปได้ เนื่องจากมีการปรับสัญญาณไฟให้ทิศทางที่ติดกับทิศทางมุ่งเข้ามาสู่ทางแยกหลักมากขึ้น จนทำให้ปริมาณจราจรในทิศทางที่เข้าสู่ทางแยกหลักมีการติดขัดมากขึ้น จึงทำให้การจราจรติดขัดกระจายไปในวงกว้างมากขึ้น

กรณีที่มีปริมาณจราจรของสองทิศทางไม่เท่ากัน วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัดปริมาณจราจร (วิธีที่ 4) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สามารถรองรับสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรไม่เท่ากันทั้งสองทิศทางได้ดีที่สุด (ดูรูปที่ 5.38)

ระดับจราจรเทียบความสามารถในการให้บริการ - 10



รูปที่ 5.38 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรอิมตัว)

เนื่องมาจากผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยอาศัยโปรแกรม CORSIM ในกรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่ข้างต้น แสดงให้เห็นว่ากรณีที่มีปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางเท่ากันและกรณีที่ปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางไม่เท่ากัน วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ดีที่สุดของทั้งสองกรณีข้างต้นคือวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบเดียวกัน ดังนั้นส่วนที่เป็น การจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงในส่วนต่อไปจะเลือกจำลองสภาพจราจรเฉพาะในกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง และอาจจะทำการจำลองสภาพจราจรเพิ่มเติมบางกรณีเพื่อตรวจสอบข้อสมมติฐานข้างต้น

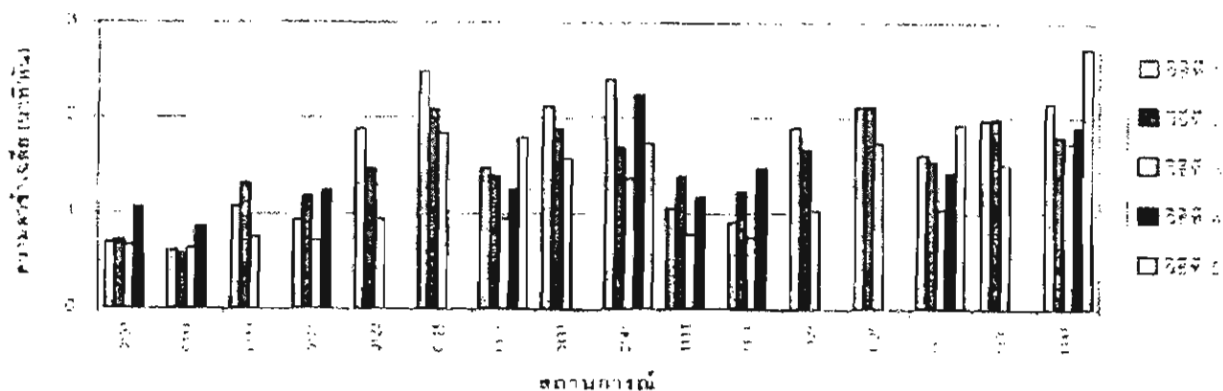
สภาพจราจรเปลี่ยนแปลง

การจำลองสภาพจราจรในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ 5 วิธี ในสภาพจราจรที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 และ ปริมาณการจราจรที่เปลี่ยนแปลงแสดงในตารางที่ 4.7 โดยทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในกรณีช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาวไม่เท่ากัน 2 กรณี คือ กรณีที่มีความยาว 10 นาที และกรณีที่มีความยาว 20 นาที เนื่องจากเวลาที่ยาว 10 นาที ยังไม่ได้ก่อให้เกิดความคับคั่งหตุยภูมิจนแควคยย้อนกลับมาปิดทางแยกก่อนหน้า แต่ในกรณีที่มีความยาวช่วงเวลา 20 นาที ความยาวดังกล่าวยาวเพียงพอที่จะทำให้เกิดแควคยจนย้อนกลับมาปิดทางแยกก่อนหน้าได้

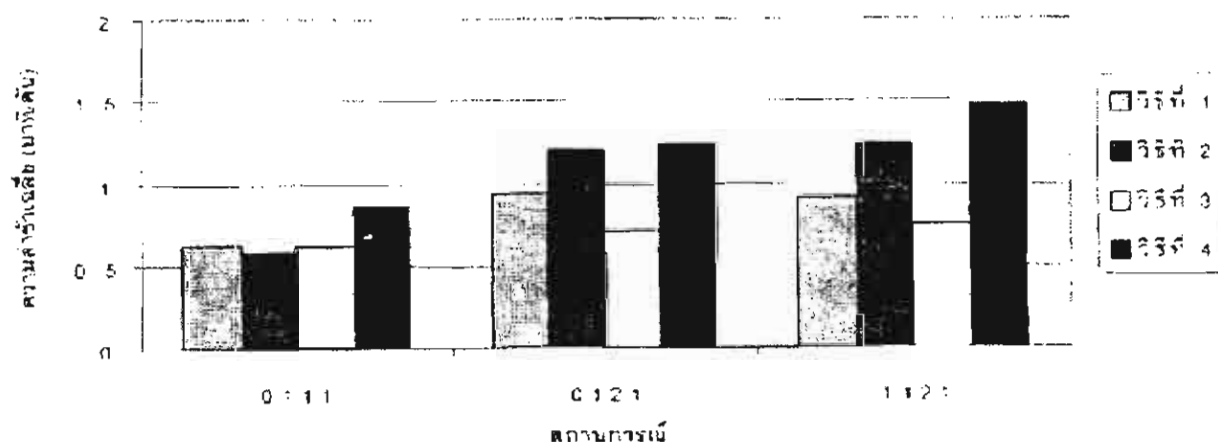
- ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 10 นาที

กรณีที่เป็นกรณีการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรจากระดับหนึ่งขึ้นไปสู่อีกระดับหนึ่ง โดยระดับของปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ระดับ มีระดับของปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ 0103 0111 0113 0121 1113 และ 1121 ในรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.40) พบว่า กรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางนี้ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.40 แต่ในกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางค่าความล่าช้าที่ประเมินได้ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจากวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) มากนัก ในขณะที่มีปริมาณจราจรสูงขึ้นแต่ยังคงไม่เกินระดับการให้บริการของทางแยก จะสังเกตเห็นว่าวิธีการควบคุมสัญญาณ

ไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจรรยาในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างชัดเจนขึ้น



รูปที่ 5.39 ความล่าช้าเฉลี่ย ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



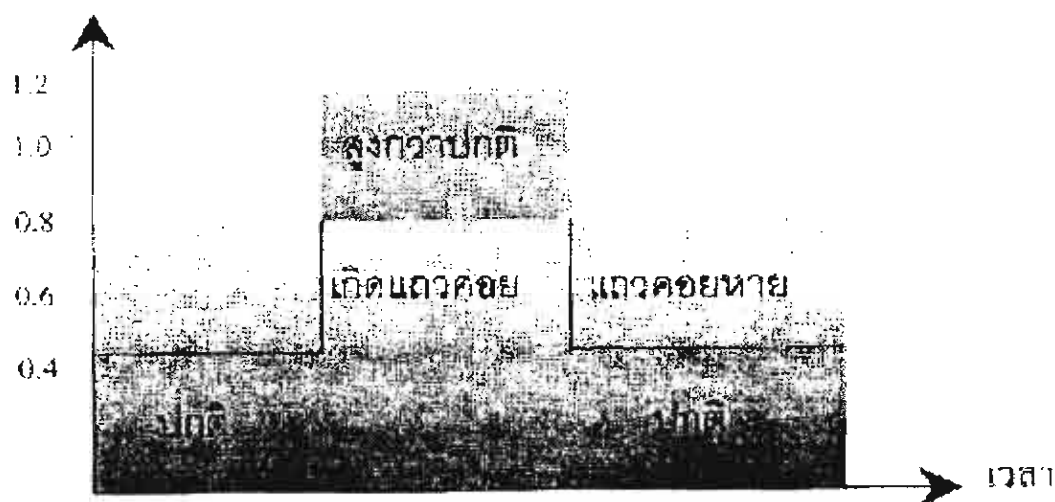
รูปที่ 5.40 ความล่าช้าเฉลี่ยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา)

เหตุผลที่ทำให้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สะท้อนผ่านตัววัดประสิทธิภาพการจราจรให้เห็นว่าเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางและเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 นี้ จะไม่มีขั้วตยานตกค้างที่ทางแยกในทุกรอบสัญญาณไฟในทุกรอบสัญญาณไฟที่มีปริมาณจราจรต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรปกติ แต่เมื่อมีปริมาณจราจรสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 จะไม่สามารถปล่อยกลุ่มขั้วตยานที่รออยู่ที่ทางแยกทั้งหมดได้ จนเหลือเป็นปริมาณจราจรตกค้างที่ทางแยกรวดเร็วที่สุด และเมื่อปริมาณจราจรลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรปกติ การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ 3 จะเป็นวิธีที่ขจัดแถวคอยที่ตกค้างได้รวดเร็ว

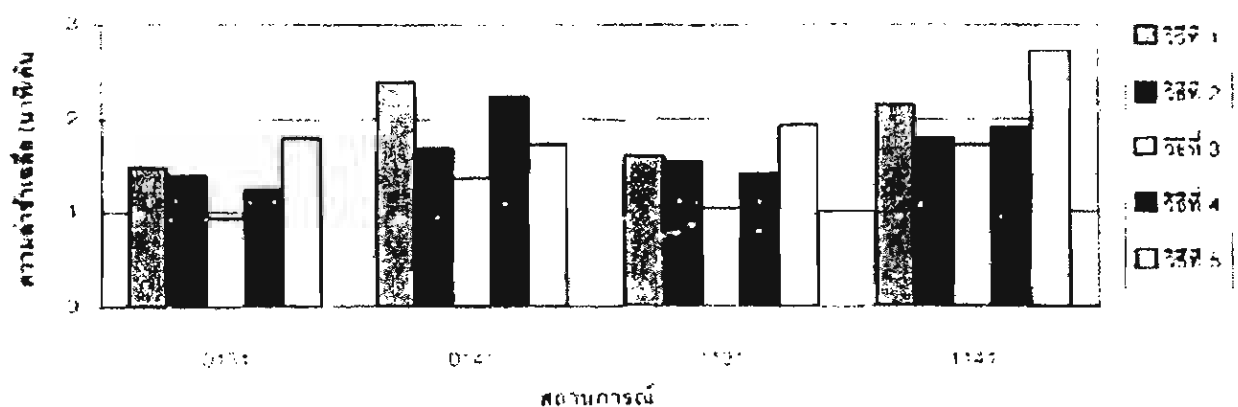
ส่วนกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากปริมาณจราจรเดิมที่ต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกไปเป็นปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วลดลงจนมีปริมาณจราจรในระดับเดิมนั้น อาจแบ่งย่อยลงไปอีก 2 ระดับ ระดับที่หนึ่งมีปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นมากเกินความ

สามารถในการให้บริการของทางแยกเกิดขึ้นเป็นเวลาสั้นเกินกว่าจะเกิดความคับคั่งทุติยภูมิซึ่งเป็นความคับคั่งชนิดที่มีแถวคอยยาวจนสิ้นความยาวของถนน (สถานการณ์ 0123 0131 0125 0133 0141 1125 และ 1133 ในรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.42) ระดับที่สองมีปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นมากเกินไปจนความสามารถในการให้บริการของทางแยกเกิดขึ้นเป็นเวลาจนเกิดความคับคั่งทุติยภูมิ (สถานการณ์ 1141 ในรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.42)

ระดับปริมาณจราจร



รูปที่ 5.41 การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 3 กับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป



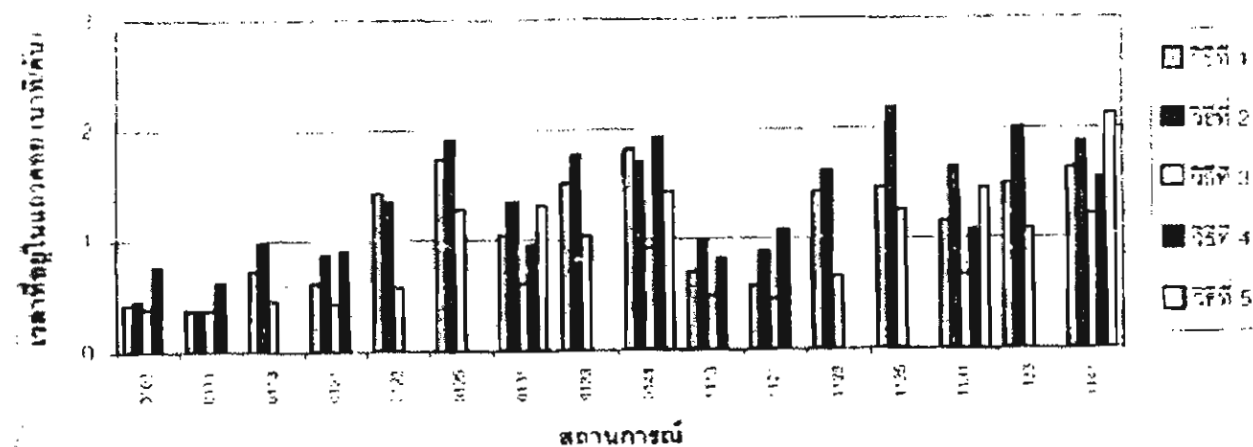
รูปที่ 5.42 ความล่าช้าเฉลี่ย ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรช่วงที่สองเป็นปริมาณจราจรอิ่มตัว)

จากกรณีที่ย่างถึงข้างต้นจะสังเกตว่า กรณีที่ไม่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิยกเว้นสถานการณ์ 1141 ที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิในช่วงเวลาสั้น ๆ การควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) ควบคุมสัญญาณไฟจะส่งผลให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำสุดเช่นเดียวกับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก ส่วนกรณีที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) หากพิจารณาต่อผลลัพธ์ในช่วงท้าย ๆ ของการจำลองสภาพซึ่งเป็นช่วงที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟทุกแบบจะ

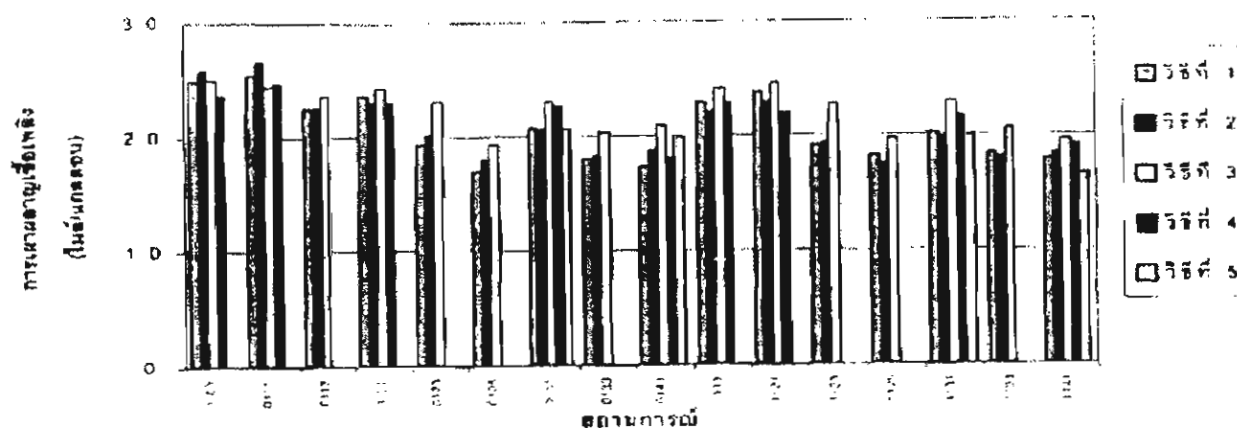
ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพจราจรที่มีความคับคั่งทุติยภูมิจะเป็นกรณีที่ไม่มียุทธวิธีในการควบคุมสัญญาณไฟแบบใดที่จะสามารถจัดการกับเหตุการณ์ดังกล่าวได้

การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) สามารถรองรับการจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด น่าจะมาจากเหตุผลที่ว่า การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่เฉลี่ยปริมาณจราจรจะไม่มีแถวคอยตกค้างอยู่ที่ทางแยกในทุกรอบสัญญาณไฟ และเมื่อมีปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกการควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีดังกล่าวไม่สามารถรองรับปริมาณจราจรในระดับที่เกินความสามารถในการให้บริการได้จนทำให้เกิดแถวคอย แต่เมื่อปริมาณจราจรลดระดับลง การใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ยาวกว่าความยาวรอบสัญญาณไฟแบบวิธีอื่น ๆ จะทำให้การควบคุมแบบนี้สามารถขจัดแถวคอยออกจากทางแยกได้เร็วกว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีอื่น ๆ เช่นกัน

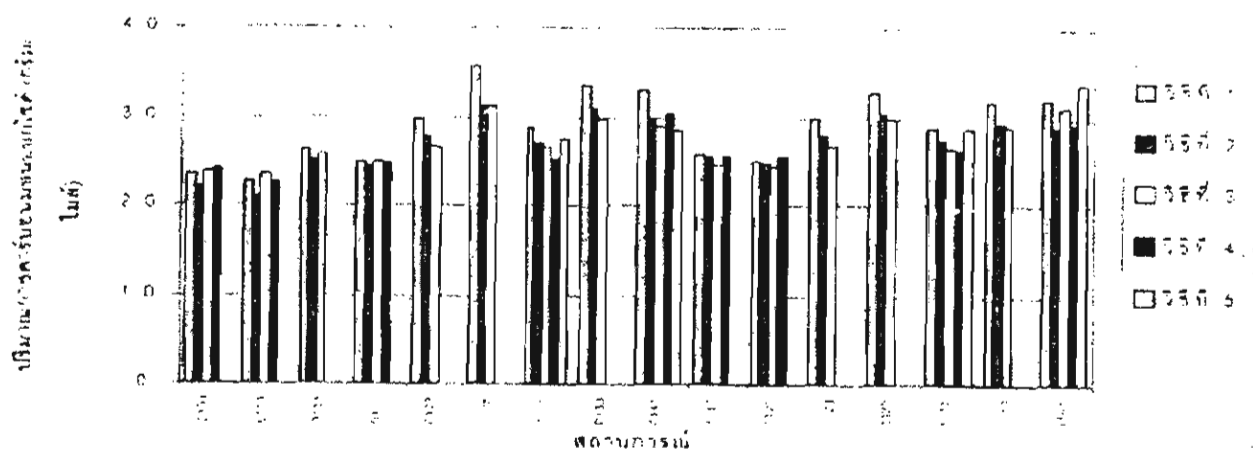
การพิจารณาในส่วนของเวลาที่อยู่ในแถวคอย ดังรูปที่ 5.43 พบว่าจะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับความล่าช้าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.39 ส่วนการเผาลานยูเอชพีและการเล่นกีฬาคาร์บอนมอนอกไซด์ (รูปที่ 5.44 และ รูปที่ 5.45) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะต่างออกไป เนื่องจากมีปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกออกไปไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 5.46 แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นการสรุปผลลัพธ์ยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



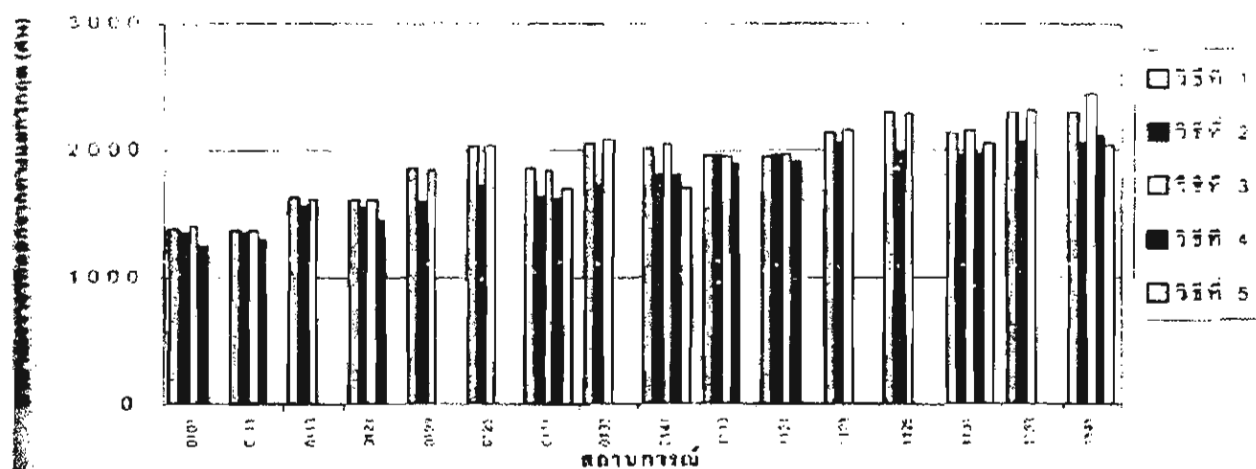
รูปที่ 5.43 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



รูปที่ 5.44 อัตราการเผาลานยูเอชพีเฉลี่ยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



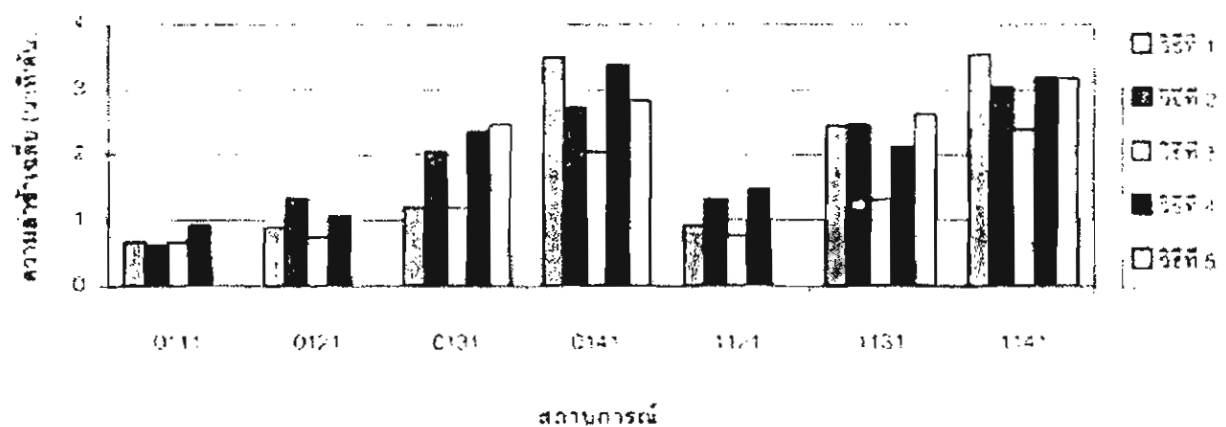
รูปที่ 5.45 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



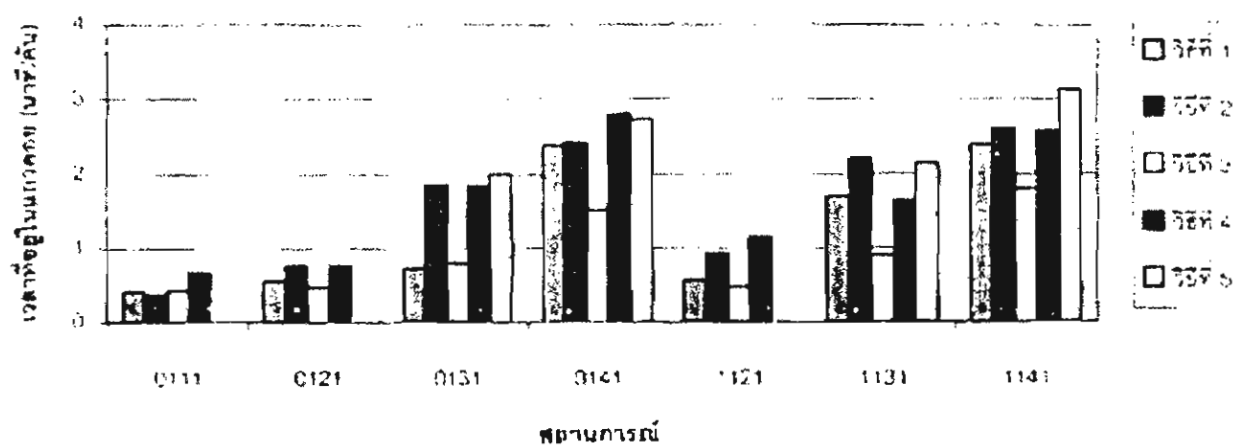
รูปที่ 5.46 จำนวนรถยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤติในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)

- ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 20 นาที

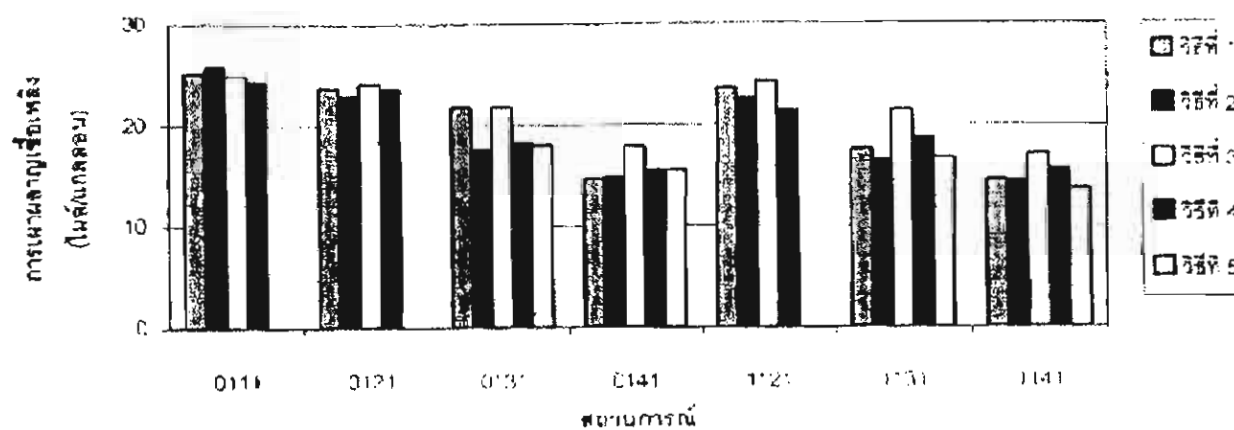
การเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติจากเดิม 10 นาที เป็น 20 นาที ใน การศึกษาครั้งนี้ได้จำลองสภาพจราจรเฉพาะกรณีที่ปริมาณจราจรของทั้งสองทิศทางเท่ากันเท่านั้น วิธีการควบคุม สัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่งขึ้นไปสู่อีกระดับหนึ่งที่มีระดับของ ปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ 0111 0121 และ 1121 ในรูปที่ 5.47) ยังคงเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เช่นเดียวกับกรณีที่ช่วงความ ยาวที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 10 นาที ทั้งในแง่ของตัววัดประสิทธิภาพที่เป็นความล่าช้าเฉลี่ย เวลาใน แถวคอย การเผาผลาญเชื้อเพลิง และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถดูได้จากรูปที่ 5.47 ถึง รูปที่ 5.50



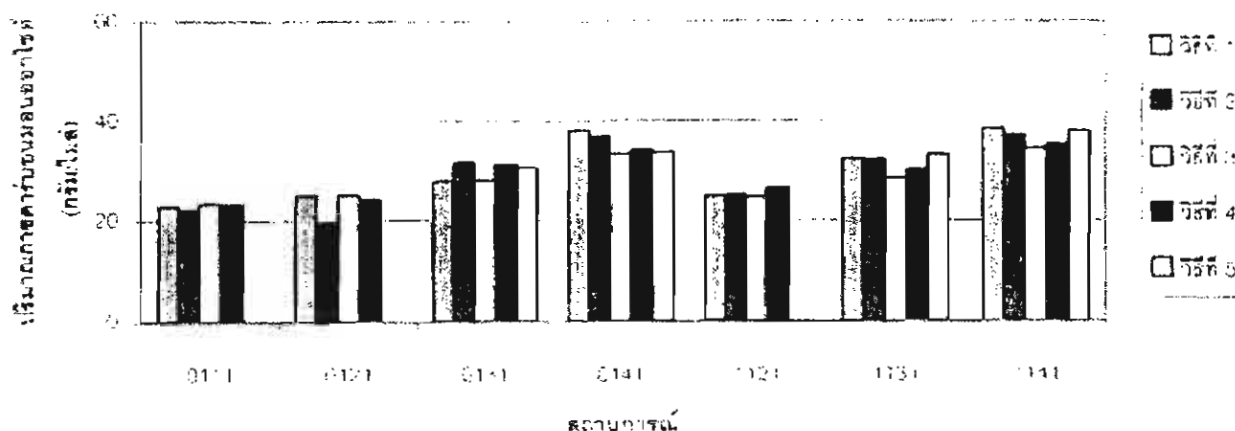
รูปที่ 5.47 ความเข้าใจผิดในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



รูปที่ 5.48 เวลาในแถวคอยในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



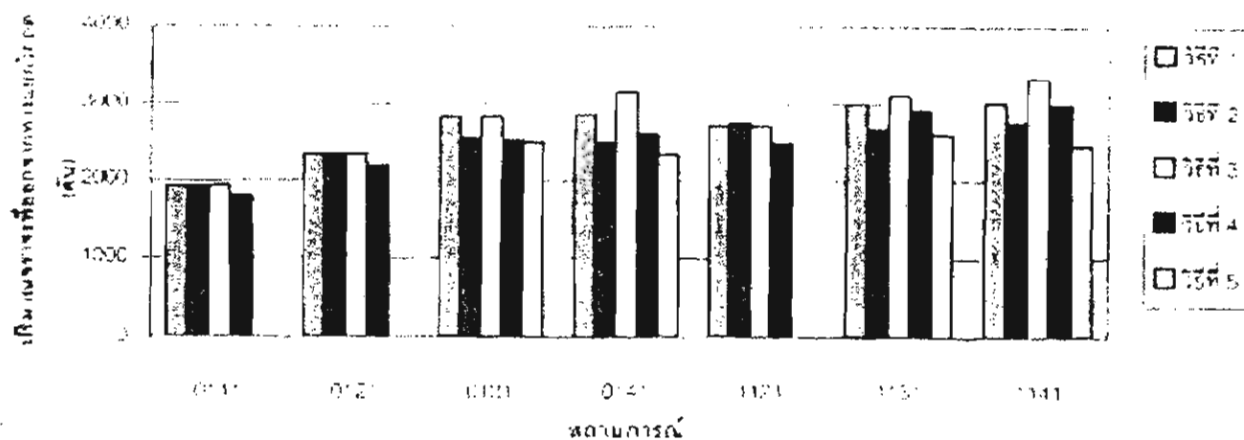
รูปที่ 5.49 อัตราการเผานลาญเชื้อเพลิง ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



รูปที่ 5.50 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)

ส่วนกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากปริมาณจราจรเดิมที่ต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกไปเป็นปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลาสั้นเกินกว่าจะเกิดแถวคอยย้อนกลับ (สถานการณ์ 0131 และ 1131 ในรูปที่ 5.47) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด และกรณีที่มีปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลานานเพียงพอที่จะเกิดแถวคอยย้อนกลับ (สถานการณ์ 0141 และ 1141 ในรูปที่ 5.47) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดเช่นกัน

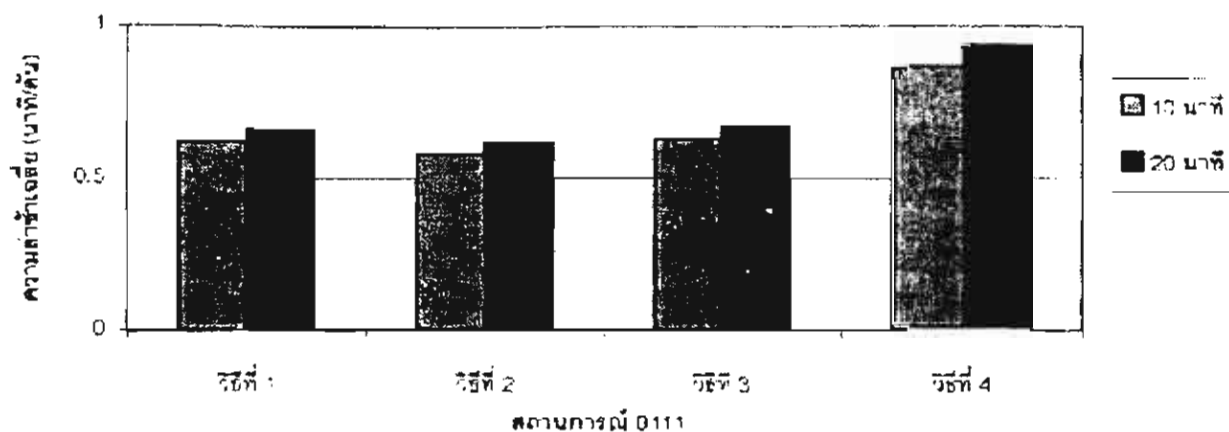
ข้อนำสังเกตอีกประการหนึ่งที่สังเกตได้ คือ จำนวนรถยนต์ที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) เมื่อมีช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงยาวขึ้นจากเดิม 10 นาที (รูปที่ 5.46) เพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที (รูปที่ 5.51) ปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกวิกฤตในกรณีที่มีปริมาณจราจรสูงขึ้น (สถานการณ์ 0141 และ 1141) มีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกมีมากกว่าความสามารถในการให้บริการทางแยกเข้ามาเป็นเวลานานขึ้น ความยาวของแถวคอยที่ยาวมากขึ้นจะเป็นข้อจำกัดในการจัดสัญญาณไฟ การใช้ที่ว่างหลังแถวคอยจะโดยจำกัดมากขึ้น ระยะเวลาในการเปิดสัญญาณไฟจะสั้นลง จึงทำให้ในระยะเวลาที่เท่ากันวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟต่ำกว่าจะมีเวลาสูญเสียอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นมากกว่า (Start up lost time) ปริมาณจราจรที่ผ่านออกจากทางแยกหลัก (ทางแยกที่ 1) มีจำนวนลดลง



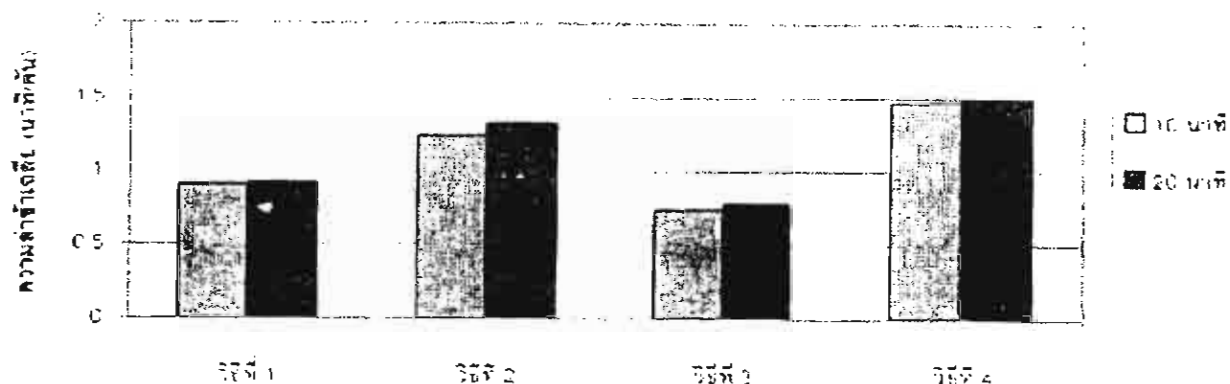
รูปที่ 5.51 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤต ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)

การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ เมื่อมีความยาวช่วงเวลาที่ไม่เท่ากัน

สำหรับสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงในระดับปริมาณจราจรเบาบาง (รูปที่ 5.52) คือ ระดับปริมาณจราจรในช่วงปกติอยู่ที่ประมาณ 0.4 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก เปลี่ยนแปลงไปสู่ระดับประมาณ 0.6 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก พบว่าความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีช่วงปริมาณจราจรสูงกว่า 20 นาทีสูงกว่าความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาทีไม่มากนัก อยู่ในช่วงประมาณ 6.3 ถึง 8.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงในระดับปริมาณจราจรในช่วงปกติประมาณ 0.6 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก เปลี่ยนไปสู่ระดับประมาณ 0.8 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก (รูปที่ 5.53) พบว่า ความล่าช้าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วงประมาณ 0.7 ถึง 2.7 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นการควบคุมสัญญาณไฟให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานเปลี่ยนไป 7.2 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.52 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา

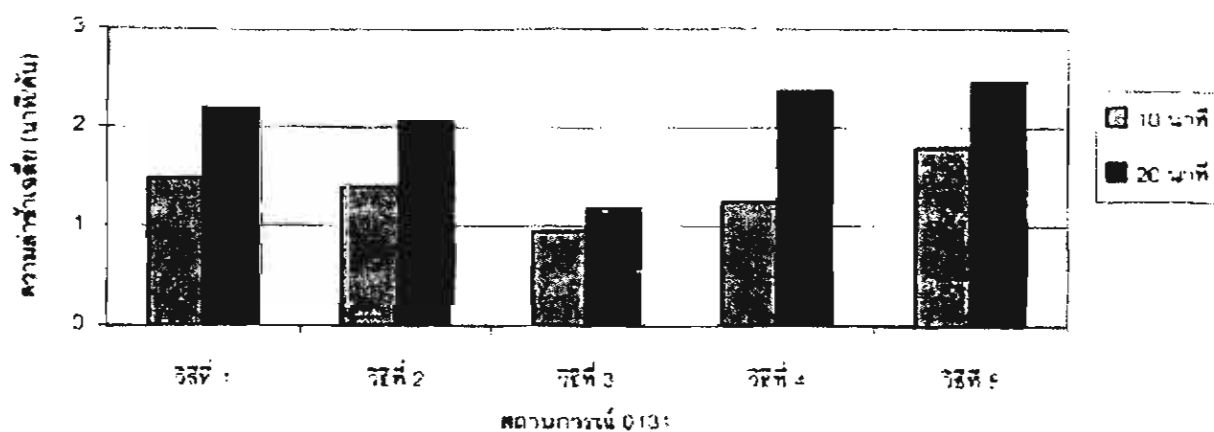


สถานการณ์ที่ 142:

รูปที่ 5.53 สถานการณ์ที่มีปริมาณจากรในช่องที่ไม่ปกติสูงขึ้นแต่ยังต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก

จากเหตุผลประกอบภาพข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มรถยนต์ (วิธีที่ 2) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้ไม่ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ ยาวนานขึ้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มรถยนต์ (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่มีความล่าช้าเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับปริมาณจราจรปกติไปเป็นระดับที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก แต่ยังไม่ถึงแกวคยย้อนกลับไปยังทางแยกก่อนหน้านี้ (รูปที่ 5.54) การเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ จากเดิม 10 นาที ไปเป็น 20 นาที พบว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 และวิธีที่ 5 จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 37.2 ถึง 48.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นต่ำที่สุดคิดเป็น 25.3 เปอร์เซ็นต์ และการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4) จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นมากที่สุดคิดเป็น 89.6 เปอร์เซ็นต์

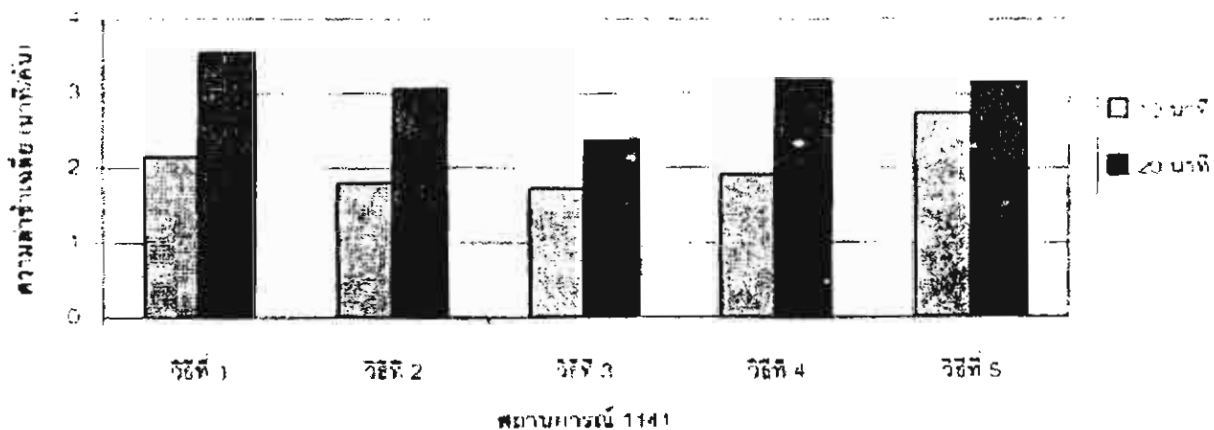


สถานการณ์ที่ 143:

รูปที่ 5.54 สถานการณ์ที่มีปริมาณจากรในช่องที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (แต่ยังไม่ถึงแกวคยย้อนกลับไปยังทางแยกก่อนหน้านี้)

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับปริมาณจราจรปกติไปเป็นระดับที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก และมีแกวคยย้อนกลับไปยังทางแยกก่อนหน้านี้ (รูปที่ 5.54) การเปลี่ยนแปลง

ความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติจากเดิม 10 นาที ไปเป็น 20 นาที พบว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 และวิธีที่ 4 จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 64.4 ถึง 70.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นคิดเป็น 37.6 เปอร์เซ็นต์ และการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 5 จะมีความยาวของที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นต่ำสุดที่คิดเป็น 16.1 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุที่ความล่าช้าของวิธีที่ 5 เปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเป็นเพราะความล่าช้าในช่วงความยาว 10 นาที ก่อนข้างจะเป็นจุดที่เป็นภาวะสมดุล ดังนั้น ช่วงความยาว 20 นาที จึงมีความเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า

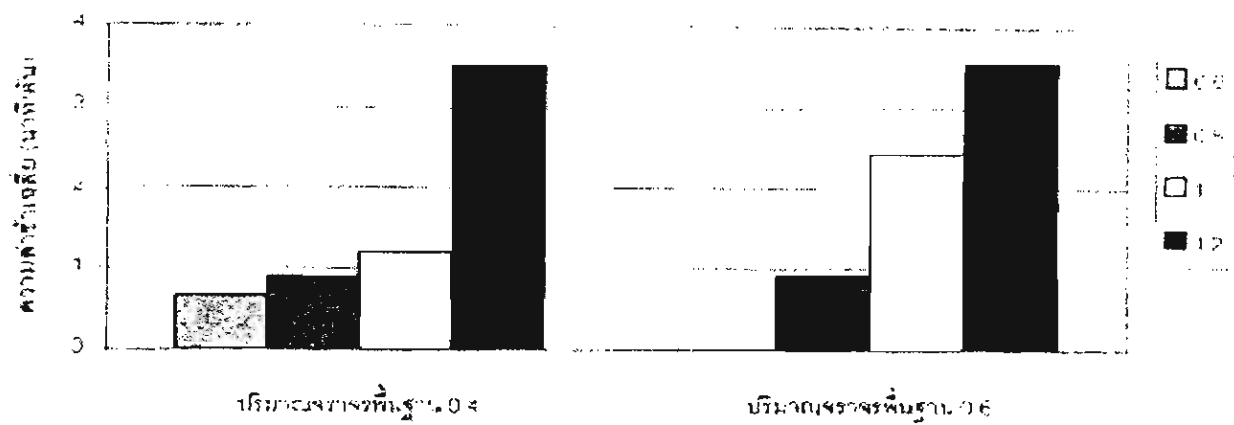


รูปที่ 5.55 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (และมีแถวคอยย้อนกลับไปยังทางแยกก่อนหน้า)

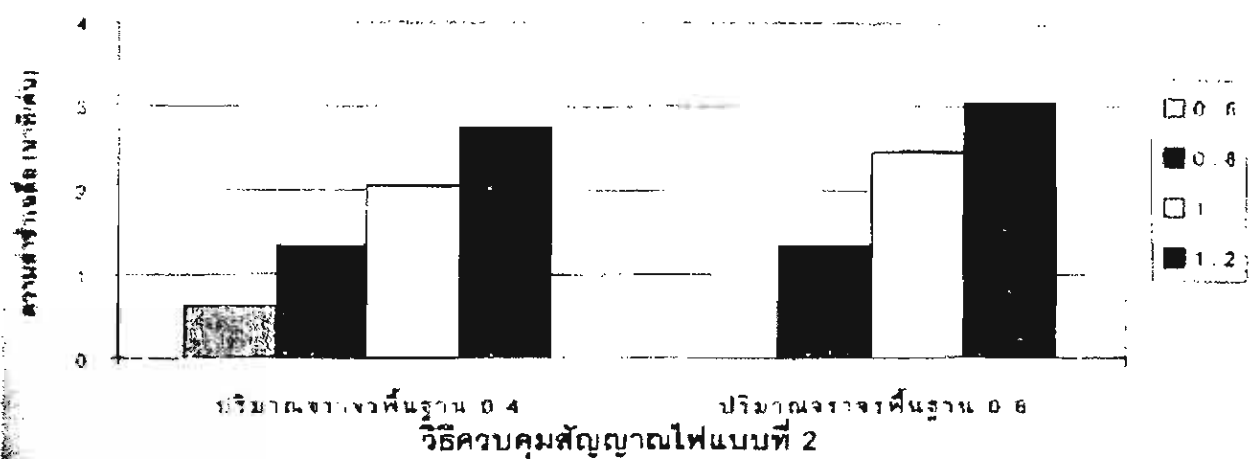
ดังนั้น จะสรุปได้ว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นวิธีที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อมีความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาวนานขึ้น

การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ เมื่อมีระดับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป

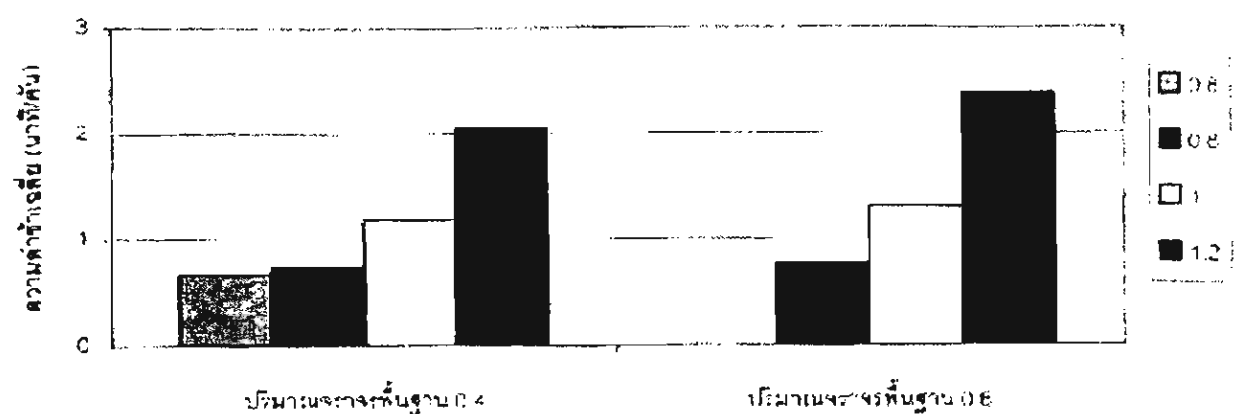
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรม CORSIM มาเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างปริมาณจราจรที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 (รูปที่ 5.56) วิธีที่ 2 (รูปที่ 5.57) วิธีที่ 3 (รูปที่ 5.58) และวิธีที่ 5 (รูปที่ 5.60) จะได้ผลลัพธ์ในทำนองเดียวกัน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรจากสภาพจราจรปกติ (ระดับต่ำ) ไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) จะมีความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้น และเมื่อมีระดับปริมาณจราจรของสภาพจราจรปกติที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) ที่มีระดับเท่ากัน จะมีความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



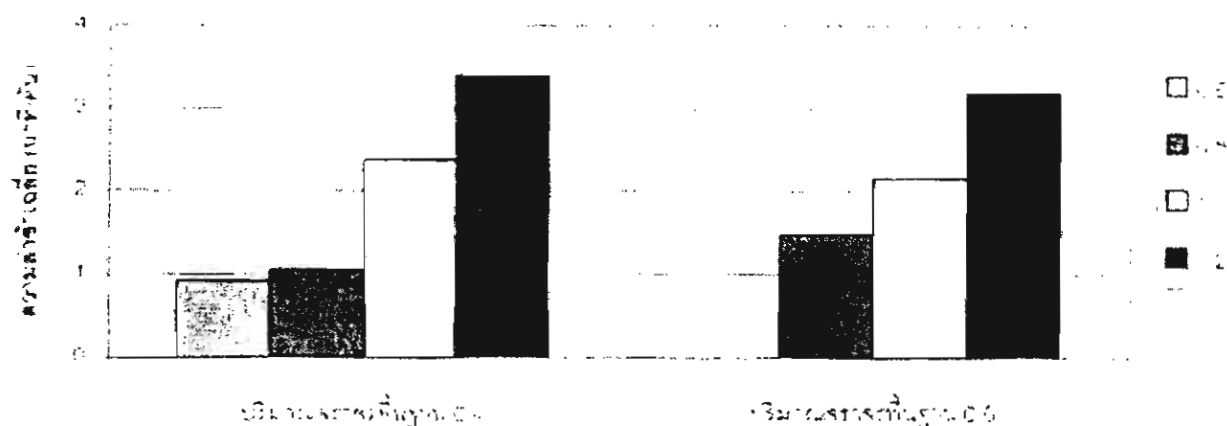
รูปที่ 5.56 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1)



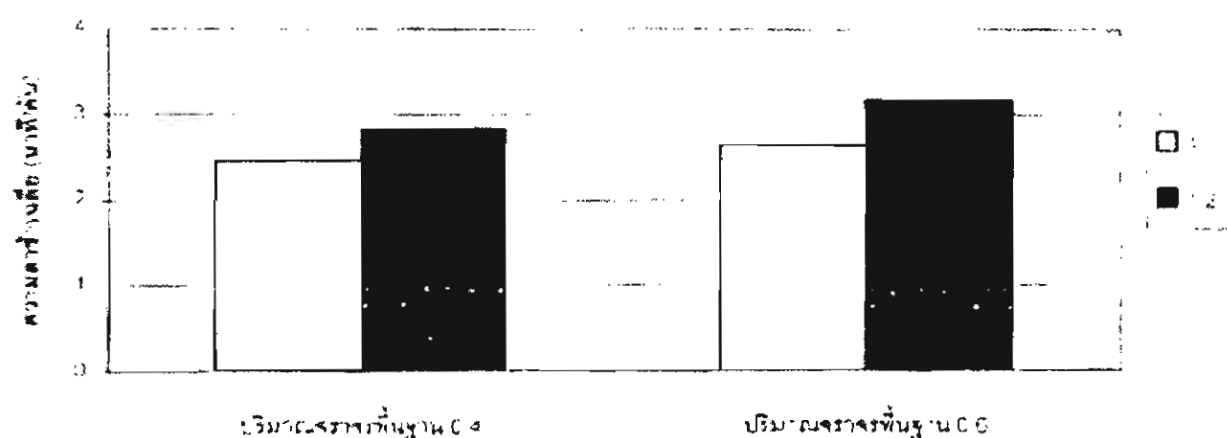
รูปที่ 5.57 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนไหวของกลุ่มรถยนต์ (วิธีที่ 2)



รูปที่ 5.58 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3)



รูปที่ 5.59 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจากรากรจากตัววัด (วิธีที่ 4)



รูปที่ 5.60 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5)

ส่วนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจากรากรจากตัววัด (วิธีที่ 4) ดังแสดงในรูปที่ 5.59 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจากรากรจากสภาพจราจรปกติ (ระดับต่ำ) ไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) จะได้ความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น แต่เมื่อมีระดับปริมาณจากรากรของสภาพจราจรปกติที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) ที่มีระดับเท่ากัน ความล่าช้าที่ประเมินได้มีแนวโน้มว่าจะลดลง

ทั้งนี้จะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจากรากรจากตัววัด (วิธีที่ 4) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรมากที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจากรากรที่สูงมากๆ จะทำให้การควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 4 นี้ ไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงไม่ดีเพียงพอ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่น เป็นการศึกษาประสิทธิภาพ และ ประสิทธิภาพ ของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีต่าง ๆ ในสภาพการจราจรหลายสถานการณ์ โดยเน้นศึกษาสภาพการจราจรหนาแน่น ทั้งที่มีปริมาณการจราจรคงที่ และ เปลี่ยนแปลงตามเวลา

การวิจัยได้รวบรวมแนวคิดวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่มีอยู่จากรายงานการศึกษาในอดีต และ คัดเลือกวิธีการที่เหมาะสม นำมาทดสอบ บนโครงข่ายถนนสามประเภท คือ ทางแยกเดี่ยว ถนนหลักสายเดี่ยว และโครงข่ายถนน (ตาข่าย)

การศึกษาใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร ในการหาตัวชี้วัดประสิทธิภาพ และ ประสิทธิภาพ โดยเลือกใช้โปรแกรม 2 โปรแกรม คือ ทรานสิต (TRANSYT) รุ่นที่ 8.1 และ CORSIM ในการดำเนินการก่อนการใช้งานโปรแกรมทั้งสองได้ทดสอบหาความถูกต้องของคำตอบ (Verification and Validation) เบื้องต้น ซึ่งพบว่าโปรแกรมทรานสิตสามารถใช้ทดสอบสภาพการจราจรได้สมมติ (หรือหนาแน่น) ได้ถึงระดับหนึ่งเท่านั้น ส่วนโปรแกรม CORSIM สามารถใช้งานได้ดี โดยเฉพาะสำหรับการทดสอบปริมาณการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

การวิจัยครั้งนี้สร้างสถานการณ์ของสภาพการจราจร เพื่อทดสอบเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีต่าง ๆ ซึ่งวิธีการควบคุมที่นำมาทดสอบนั้น จะคัดเลือกเฉพาะวิธีที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์การจราจรนั้น ๆ

1. บนทางแยกเดี่ยว ที่ระดับปริมาณการจราจรเข้าสู่ทางแยกคงที่ ประสิทธิภาพ (Performance) ของการควบคุมจะขึ้นโดยตรงกับระดับปริมาณการจราจร

โดยวิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าความล่าช้า เวลาในแถวคอย อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ต่ำที่สุด คือ การควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้รอบสัญญาณไฟสั้น (60 วินาที) ในสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานั้น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟด้วยการใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น ยังคงเป็นวิธีที่ดีที่สุด และมีข้อสังเกตที่สำคัญ คือ ประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟสั้น ในสถานการณ์ปริมาณการจราจรอัตราน้อย แต่วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพแย่มากที่สุด เมื่อปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงแล้ว วิธีการเปิดรอบสัญญาณไฟยาว จะประหยัดเชื้อเพลิงกว่า ทั้งนี้จะต้องพิจารณาปริมาณรถที่ผ่านทางแยกได้ประกอบกันด้วย

2. บนถนนสายหลักสายเดี่ยว ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ 9 วิธี ในสถานการณ์ระดับปริมาณการจราจรเดี่ยวและคงที่ พบว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ Negative offset จะให้ค่าปริมาณรถผ่านโครงข่ายความล่าช้า ความเร็วเฉลี่ย และ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ต่ำที่สุด ในขณะที่การตั้งความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น จะให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และเวลาในแถวคอยสั้นที่สุด เมื่อทดสอบในสถานการณ์ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้ว พบว่า ค่าชี้วัดจะขึ้นอยู่กับการรวมค่าการจราจรด้วย หากประมวลผลการทดสอบ เมื่อสิ้นสุด oversaturation ไปแล้วระยะหนึ่ง พบว่า วิธีการตั้งความยาวรอบ

สัญญาณไฟเส้นที่สี่เป็นวิธีที่ดีที่สุด การทดสอบบนถนนสายหลักสายเดียวนั้น ยังทดลองวิธีการควบคุมที่ใช้ข้อมูลแบบทันกาล 3 วิธี ซึ่งผลสรุปได้ว่า วิธี Input Volume จะให้ค่าความล่าช้าและเวลาในแถวคอยต่ำที่สุด ในขณะที่วิธี Available Storage ให้อัตราการเผื่อผลาญเชื้อเพลิง และ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำที่สุด

3. บนโครงข่าย (ตาข่าย) ได้ทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT และ CORSIM ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT ใช้เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้เฉพาะระดับปริมาณการจราจรต่าง ๆ เท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบ และ สรุปผลของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก

ในการทดสอบด้วยโปรแกรม CORSIM พบว่า เมื่อสภาพการจราจรเบาบางคงที่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต จะให้ผลที่ดี อย่างไรก็ตามวิธีการควบคุมโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานจะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณการจราจร ในสภาพปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก ๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึง Available Storage จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ข้อสังเกตทั่วไป คือ วิธีการคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานนั้น ถึงแม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดี แต่จะมีปริมาณรถทั้งหมดที่สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้น้อย

สำหรับสถานการณ์สภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการทดสอบหลายสถานการณ์ ปริมาณการจราจร พบว่า โดยทั่วไปแล้ววิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีตจะให้ความล่าช้าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม การจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟนั้นมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เพราะ ในสถานการณ์ปริมาณการจราจรต่าง ๆ การควบคุมแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพที่ดีมากน้อยแตกต่างกันออกไป การควบคุมแบบไม่ทันกาลให้ผลที่ดีไม่น้อยกว่าการควบคุมแบบทันกาล หรือ อาจให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดีกว่าในบางกรณี

บนโครงข่าย (ตาข่าย) ได้ทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT และ CORSIM ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT ใช้เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้เฉพาะระดับปริมาณการจราจรต่าง ๆ เท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบ และ สรุปผลของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก

ในการทดสอบด้วยโปรแกรม CORSIM พบว่า เมื่อสภาพการจราจรเบาบางคงที่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต จะให้ผลที่ดี อย่างไรก็ตามวิธีการควบคุมโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานจะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณการจราจร ในสภาพปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก ๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึง Available Storage จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ข้อสังเกตทั่วไป คือ วิธีการคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานนั้น ถึงแม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดี แต่จะมีปริมาณรถทั้งหมดที่สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้น้อย

สำหรับสถานการณ์สภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการทดสอบหลายสถานการณ์ ปริมาณการจราจร พบว่า โดยทั่วไปแล้ววิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีตจะให้ความล่าช้าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม การจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟนั้นมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เพราะ ในสถานการณ์ปริมาณการจราจรต่าง ๆ การควบคุมแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพที่ดีมากน้อยแตกต่างกันออกไป การควบคุมแบบไม่ทันกาลให้ผลที่ดีไม่น้อยกว่าการควบคุมแบบทันกาล หรือ อาจให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดีกว่าในบางกรณี

บนโครงข่าย (ตาข่าย) ได้ทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT และ CORSIM ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม TRANSYT ใช้เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้เฉพาะระดับปริมาณการจราจรต่าง ๆ เท่านั้น จึงไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบ และ สรุปผลของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก

ในการทดสอบด้วยโปรแกรม CORSIM พบว่า เมื่อสภาพการจราจรเบาบางคงที่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต จะให้ผลที่ดี อย่างไรก็ตาม วิธีการควบคุมโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานจะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณการจราจร ในสภาพปริมาณการจราจรหนาแน่นมาก ๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึง Available Storage จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ข้อสังเกตทั่วไป คือ วิธีการคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานนั้น ถึงแม้ว่าจะให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดี แต่จะมีปริมาณรถทั้งหมดที่สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้น้อย

สำหรับสถานการณ์สภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการทดสอบหลายสถานการณ์ ปริมาณการจราจร พบว่า โดยทั่วไปแล้ววิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีตจะให้ความล่าช้าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม การจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟนั้นมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เพราะ ในสถานการณ์ปริมาณการจราจรต่าง ๆ การควบคุมแต่ละวิธีจะให้ประสิทธิภาพที่ดีมากน้อยแตกต่างกันออกไป การควบคุมแบบไม่ทันกาลให้ผลที่ดีไม่น้อยกว่าการควบคุมแบบทันกาล หรือ อาจให้ประสิทธิภาพการจราจรที่ดีกว่าในบางกรณี

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- สรวิศ นฤปิติ และ อนุกัณฑ์ อิศรเสนา ณ อยุธยา. 2541. แบบจำลองการกระจายตัวของกลุ่มรถ. สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตติชัย รุจนกนกนาฏ ชนินทร์ เรืองทวีคุณ และ ชาญวุฒิ จารุชัยมนตรี. 2541. การประยุกต์ใช้โปรแกรมทรานสิตในสภาพการจราจรหนาแน่น. โครงการทางวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปณัสน์ พุกโพธิ์ 2542. การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรที่ติดขัดและเปลี่ยนแปลงตามเวลา. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาต่างประเทศ

- Bell, M. G. H., (1992). Future Directions in Traffic Signal Control. Transportation Research A. Vol.26A, No.4, pp.303-313
- Chiu, S. and Chand, S. (1993). Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic. IEEE. pp. 1371-1376
- Choi, Byung-Kuk. 1997. Adaptive Signal Control for oversaturated arterials. New York.
- Federal Highway Administration. (1998). Traffic Software Integrated System Version 4.2 : User's Guide. Washington : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Foy, M. D., Benekonal, R. F. and Goldberg, D. E. (1992). Signal Timing Determination Using Genetic Algorithms. Transportation Research Record 1365. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.108-115
- Gal-Tzur, A., Mahalel, D. and Prashker, J. N. (1993). Signal Design for Congested Networks Based on Metering. Transportation Research Record 1398. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.111-118
- Gartner, N. H. (1983). OPAC: A Demand -Responsive Strategy for Traffic Signal Control. Transportation Research Record 906. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.75-81
- Gartner, N. H. and Hou, D. L. (1992). Comparative Evaluation of Alternative Traffic Control Strategies. Transportation Research Record 1360. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.66-73
- Gartner, N. H., Stamatiadis, C. and Tarnoff, P. J. (1995). Development of Advanced Traffic Signal Control Strategies for Intelligent Transportation Systems: Multilevel Design. Transportation Research

- Record 1494. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.98-105
- Gordon, R. L. (1969). A Technique for Control of Traffic at Critical Intersections, Transportation Science, 4., pp.279-288.
- Gray, B. M. and Ibbetson, L. (1991). Operational Traffic Control Strategies for Congestion. Traffic Engineering and Control, 32(2), pp.60-66
- Highway Research Board. (1972). Measures of the Quality of Traffic Service : Special Report 130. National Academic of Sciences. National Academy of Engineering. Washington, D.C.
- Longley, D. A. (1968). Control Strategy for a Congested Computer-Controlled Traffic Network. Transportation Research, 2, pp.391-408
- McShane, W. R. and Roess, R. P. (1990). Traffic Engineering. Prentice Hall, New Jersey
- Memon, G. Q. and Bullen, A.G.R.(1996). Multivariate Optimization Strategies for Real-Time Traffic Control Signals. Transportation Research Record 1554. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C., pp.36-42
- Montgomery, F. O. and Quinn, D. J. (1992). Queue Management Strategies Using Fixed Time signal Control. IEEE Conference 355. pp.80-84
- Nataksuji, T. and Kaku, T. (1991). Development of a self-organizing control system using neural network models. Transportation Research Record 1324. National Research Council, Washington, D.C., pp.137-145
- Newell G.F. (1998). The Rolling Horizon Scheme of Traffic Signal Control. Transportation Research A. Vol.32, No.1 pp.39-44
- Ongprasert, S., S. Sirisinha, and W. Techachaiant (2000). Simulation of Traffic During Congestion and Determination of Signal Control Methods. Senior Project Report. Civil Engineering Program, Sirindhorn International Institute of Technology.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (1981). Traffic Control in Saturated Conditions. Paris
- Pignataro, L. J., et al. (1978). Traffic Control in Oversaturated Street Networks. National Cooperative Highway Research Program Report 194. Transportation Research Board. National Research Council, Washington, D.C.
- Quinn, D. J. (1992). A Review of Queue Management Strategies, Traffic Engineering and Control, Nov., pp.600-605
- Rathi, A. K. (1988). A Control Scheme for High Traffic Density Sectors. Transportation Research B. Vol.22B No.2, pp.81-101
- Robertson, D. I. and Bretherton, R. D. (1991). Optimizing Networks of Traffic Signals in Real Time – The SCOOT Method. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol.40, No.1, pp. 11-15.

- Shepherd, SP. (1992). A Review of Traffic Signal Control. ITS Working Paper 349. Institute for Transport Studies University of Leeds.
- Spall J. C. and Chin, D. C. (1997). Traffic-Responsive Signal Timing for System-Wide Traffic Control. Transportation Research C. Vol.5, No.3/4 pp.153-163.
- Underwood, G., et al. (1994). Information Technology on the Move : Technical and Behavioural Evaluations of Mobile Telecommunications. John Wiley & Sons Ltd.,
- Wallace, C et al. (1998). TRANSYT-7F User Guide. Vol. 4. Methodology for Optimizing Signal Timing. Washington : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Webster, F.V., and B.M. Cobbe (1956). Traffic Signals. Road Research Laboratory, Technical paper No. 56, Her Majesty's Stationery Office, London.

PERFORMANCE OF TRAFFIC SIGNAL CONTROL IN SATURATED TRAFFIC CONDITIONS

Sorawit NARUPITI
 Assistant Professor in Transportation
 Department of Civil Engineering
 Chulalongkorn University
 Phayathai Road, Patumwan, Bangkok
 10330 Thailand
 Fax: +66-2-251-7304
 E-mail: kong@chula.ac.th

Panat POOKPHO
 Research Assistant
 Department of Civil Engineering
 Chulalongkorn University
 Phayathai Road, Patumwan, Bangkok
 10330 Thailand
 Fax: +66-2-251-7304
 E-mail: panat@chula.com

Abstract: This paper summarizes the traffic signal control performances during the period of traffic saturation. The efficiency of traffic operations in various traffic conditions and signal control methods are investigated. The study focuses on two types of saturated traffic demand; constant and time-dependent. The study also explores various traffic control strategies for congested conditions. They range from fixed time to real-time adaptive control. The analyses are mainly conducted using CORSIM simulation. The impacts of the control on delay, queue, fuel consumption, and other indicators are assessed. The results of each control are compared and the control that yields the highest performance in each traffic scenario is disclosed. The results of the research will lead to the better traffic control and operations which accounts for congested conditions.

Key Words: Signal Control, Saturated condition, Performance

1. INTRODUCTION

Signal control is a common practice in the management of traffic in urban areas. The traffic control has an advantage on its adaptability to current traffic conditions. Many of existing traffic control systems are designed to cope with variable traffic conditions, from low flow to high flow level as well as varying traffic volume. Nonetheless, few of them exclusively deal with saturated traffic conditions. Many cities experience the situation where the demand for traffic passing through a road link exceeds its capacity during considerable time period in a day. This saturated traffic condition makes aggravating traffic congestion that lasts for expansive time.

The attempts to yield more efficient signal control methods are dated back 30 years ago by several researchers. The review is summarized in Organisation of Economic Co-operation and Development, OECD (1981). There have been many traffic signal control techniques available to cope with a variety of traffic conditions. Some researchers have worked on the theoretical solutions while the practitioners have adopted those findings into many commercial signal control systems. It is noted that many systems lack the signal control determination exclusively for saturated traffic conditions. Moreover, there is no comparative study on the effectiveness of each signal control method in a traffic control condition. In addition, there is no investigation of the performance over the range of the traffic volumes.

This paper addresses the testing and comparative study of various traffic signal control methods under diverse traffic conditions. The focus aims at the signal control in saturated conditions, both constant and time-varying traffic levels.

2. THEORETICAL BACKGROUND

Many theoretical researches of optimal signal control have been done for many decades. The early examination was conducted by rigorous mathematical formulation and analysis. Webster was the first who extensively investigated signal performance and signal setting method for undersaturated traffic flow condition. The examination on traffic signal control in undersaturated (or low flow) condition is now more or less well researched. The signal control policy is to yield the maximum efficient use and minimize travel time loss. The implicit assumption of the signal control is that the interference between intersections is negligible. This control policy is adopted in many commercial signal control systems, such as

TRANSYT, SYNCHRO™, and SCOOT. Most of them recommend the signal setting with a method similar to Webster's calculation and by means of an optimization method.

The traffic signal control near or in saturated conditions has also long been studied. These signal control methods are reviewed by OECD (1981) and Shepherd (1992). The controls in these traffic conditions are somewhat more difficult than the low flow conditions since they require much of real-time traffic information and more adaptive signal setting. Some special control procedures are required to deal with the effect of queues that interact adjacent intersections. The concept of queue management is suggested to replace the delay minimization policy, although this is not directly applied in most commercial signal control software. Quinn (1992) suggested that the queue length should determine the signal control policy during saturated traffic condition. Figure 1 shows that once the queue length is permanently developed at intersection approaches, the control method should shift from delay minimization to capacity maximization. When the queues extend to fill the approaches (or the queue storages are full), then the signal should be adjusted so that the intersection blockage is prevented. After the oversaturation is over, the signal is set to fasten the release of the queues.

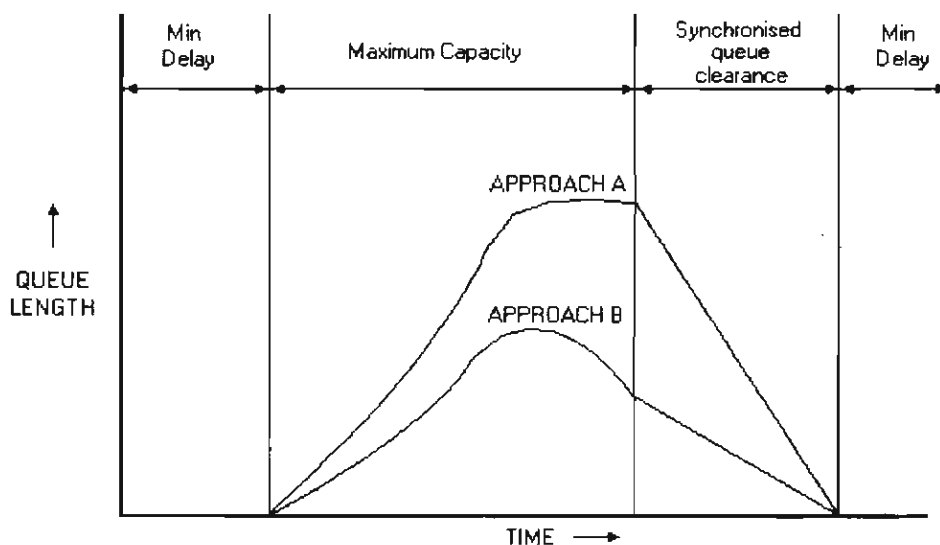


Figure 1. Signal control by queue management technique (Quinn, 1992)

Although several concepts of signal control in saturated conditions are recommended, there are only few work that explicitly investigate the performance and practicality of these techniques.

Two major limitations of the application of the signal control policy in saturated conditions are (1) when and how fast the control methods should be implemented and (2) the amount of traffic information for signal control should be obtained. Most commercial signal control systems have "sluggishness" factor that prevents the signal from sudden change. This may be a major limitation since the timings during the queue-growing period require fast adaptation. Yielding more advanced control requires also an amount of traffic data, real-time and more frequent. Not only traffic volume in each movement but also queue length or another queue information is requested for signal control determination. This means more investment on traffic data gathering effort and more accuracy.

3. RESEARCH METHODOLOGY

The study is designed to compare the performance of signal control methods under various traffic conditions.

As it is impossible to experiment the control across geometric configuration, a hypothetical network is selected to be a test bed for this study. A road network consists of a five-intersection corridor whose the middle intersection intersects with another major street. The layout of the test network is shown in Figure 2. It is noted that the construction of the network does not mean to represent any real-world road network but builds the reference level for

ผลผลิตที่ได้จากโครงการ คือ การตีพิมพ์ใน the East Asian Society of Transport Studies

Narupiti, S. and P. Pookpho (2001) Performance of Traffic Signal Control in Saturated Traffic Conditions. *Proceedings of the Fourth Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Hanoi, Vietnam, 24-26 October.

ภาคผนวก

comparison. The dimension of the test network is associated with the duration of study (simulation time) and tested traffic volumes.

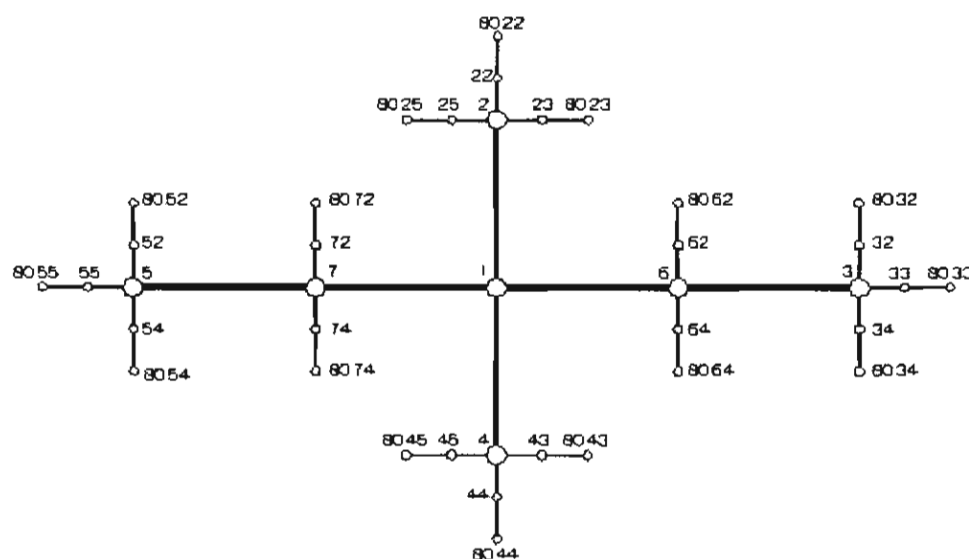


Figure 2. Network for testing signal control

Two types of traffic are examined: constant and time-dependent conditions. The constant traffic conditions are the traffic operation where the levels of traffic volumes entering the network are assumed constant throughout the simulation period, although the actual simulated volumes may slightly vary due to stochastic nature of simulation. The time-dependent traffic conditions are the traffic operation where the volumes of entering volumes vary over time. This represents the peak duration in the real world. The peak duration can be the rush-hour peak period or the surge of traffic due to abnormal high/low flow such as the traffic from special events.

The levels of traffic volumes and the duration of study are arranged to cover the low-flow and high-flow traffic conditions. At the higher flow, traffic may be saturated and queue accumulation may take place. The test environment (road network, traffic volume, and simulation period) is established to depict a variety of traffic conditions, from undersaturation to oversaturation, with and without queue spillback.

To supply various traffic conditions, the traffic is loaded on this network so that the degree of saturation (DS) of traffic at the critical intersection (bottleneck) is at 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, and 1.2. The traffic conditions are then classified into two main categories: undersaturated ($DS \leq 0.8$) and saturated conditions ($DS \geq 1.0$).

At the undersaturated traffic level, two traffic factors are varied; proportion of traffic on main and cross streets, and the level of traffic demand (or volume/capacity ratio). Some of the traffic conditions are partially tested to understand the trend and the consequences of the control.

Table 1. Design of experiment on traffic levels to be tested in constant traffic conditions

Traffic Level (V/C)	Proportion of traffic on main and cross streets (main street : cross street)							
	1:1	1.33:1	1.5:1	1.67:1	2:1	2.67:1	3:1	4:1
0.4	X							
0.6	X				X			
0.8	X			X			X	
1.0	X		X			X		X

1.2	X	X			X			
-----	---	---	--	--	---	--	--	--

Special attention is paid to the undersaturated and saturated conditions where traffic levels are time-dependent. The schematic representation of varying traffic flow in saturated conditions is illustrated in Figure 3, to see the whole effect of oversaturation.

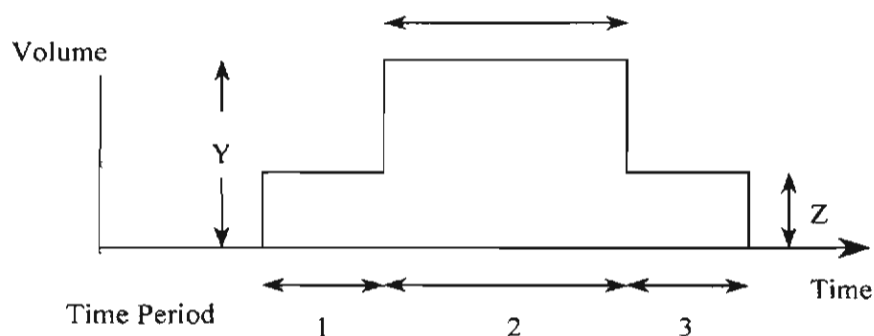


Figure 3. Time-dependent traffic flow in saturated condition

The signal control methods to be tested are:

Method 1 – Using the historical traffic volume

This traffic signal control setting uses Webster's signal setting method to calculate cycle time and green time. However, at a saturated traffic condition the cycle time will be set at the maximum value (240 seconds). The cycle time does not have to be set identical for each intersection in the network. In other words, each intersection will operate individually. There is no attempt to adjust the signal according to the critical intersection. There is no offset setting for this method. During varying volume conditions, the volume of traffic is assumed to be known (from historical volume pattern) and the signal setting is adjusted right away according to the estimated volumes. This method represents an individual signal operation.

Method 2 – Consider progression on the main road

This method pays attention on the progression on the main flow movements. The cycle time and offset on the main road are synchronized. The cycle time is determined from a critical intersection (where the highest intersection degree of saturation takes place). The green time is allocated as the proportion of traffic volume in each direction. The offset in the low flow condition is set to minimize stops or maximize the green band on the main roads. In a constant saturated traffic condition, the negative offset is set to synchronize the movement of queue on the road link and the traffic entering from upstream intersection. The procedure follows Pignataro *et al.* (1978). In the time-dependent flow situation, the signal setting is adjusted according to estimated traffic volume as in the method 1. This method represents a conventional fixed time signal setting as area traffic control in which all intersections in the region (network) are coordinated.

Method 3 – Using an average historical traffic volume

This method will be used only in the time-dependent traffic condition. The method averages the volume of traffic during the entire range of study duration and adjusts the cycle time and green time using Webster's technique. The procedure is similar to the method 1, each intersection operates individually and no offset setting. This control method represents the decentralized fixed time control at each intersection when traffic data is aggregated and no real-time data is available.

Method 4 – Using real-time actual counts

This method utilizes the real-time traffic data measured at each intersection approaches. The traffic counts are then used to modify cycle time and green time for each individual intersection. The offset is not set for this method. This method represents an adaptive signal control using real-time traffic information at each intersection. It implies an adaptive decentralized traffic control with no linkage between intersections.

Method 5 – Using a storage management concept

This method is used only when a road link is filled by a traffic queue, basically at oversaturated traffic situations. The signal control is calculated using queue storage concept to prevent a queue blockage at an upstream intersection. Since this method

is used in saturated condition, the cycle time is set at the maximum of 240 seconds. Green time is allocated due to the spaces on the downstream links. There is no offset setting for this method.

The simulation is used to test the signal control methods. Two candidates of simulation programs are TRANSYT-7F and CORSIM. In 1999, Federal Highway Administration in the United States has released the version 8 of TRANSYT-7F simulation software. Although traffic is macroscopically modeled, the software is claimed the capability of simulating oversaturated traffic condition. However, from the early investigation, it is found that there is a significant restriction on the TRANSYT-7F in that it could accurately report the results only when the queues are not accumulating up to two consecutive cycles. If the queues accumulate beyond the program limit, then the program outputs would wrongly reported. It is plausible to accept only the results in only undersaturated traffic conditions.

The CORSIM is a microscopic simulation model that could be used without the above problem. The program has been validated by many agencies in the United States and accepted for all traffic projects. The model can convincingly replicate the oversaturated traffic conditions where a traffic queue extends from one intersection to another. The program is flexible in altering the signal timings. The outputs of the programs are measures of effectiveness (MOEs) that indicate the performance of the signal operations. The indicators used for this study are:

- Average delay per vehicle
- Queue time (or waiting time)
- Fuel consumption
- Carbonmonoxide level (as a measure of environmental impact)
- Throughput

4. FINDINGS

4.1. Signal Control Performance in Constant Undersaturated Traffic Conditions

The traffic condition allows the signal control a wide range of setting and, thus, most of signal control methods are determined and compared. The signal control performances can be found for two types of traffic volumes; constant and variable volume during the study duration. For constant traffic volumes, the results are illustrated in Figure 4.

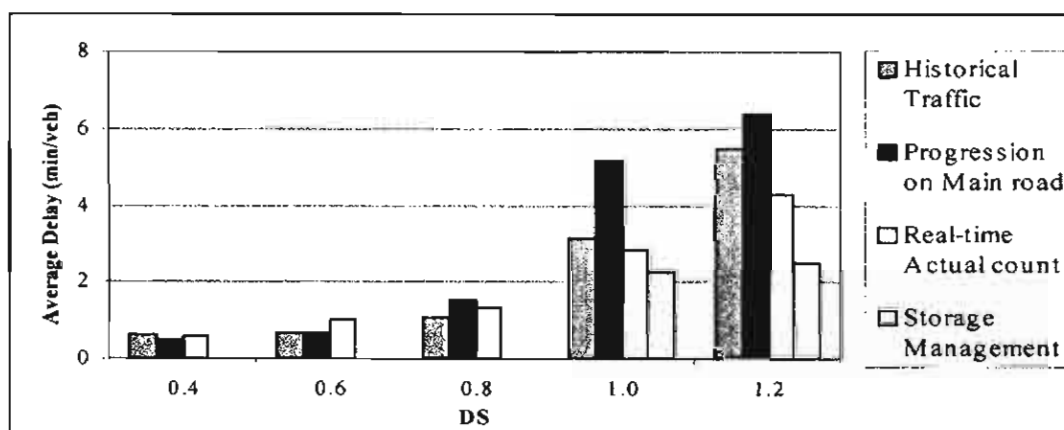


Figure 4. Performances of signal control in undersaturated conditions

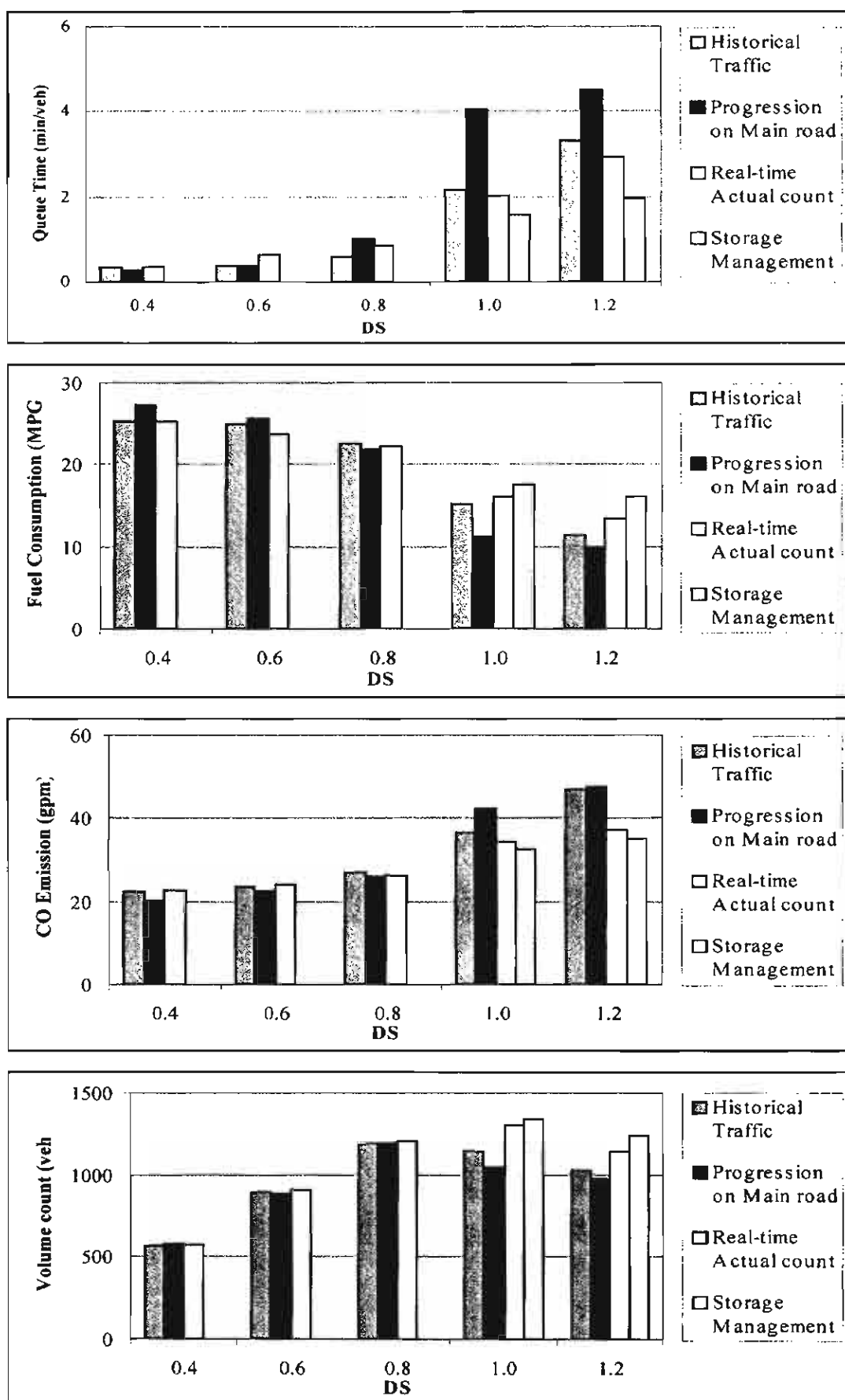


Figure 4. Performances of signal control in undersaturated conditions (Cont'd)

The following section will compare the individual intersection delay optimization (method 1), provision of progression (method 2), and the split real-time adaptation (method 4). At the same traffic volume patterns (main street : cross street = 1:1), traffic control method 2, provision of progression on the main street, brings about the lowest delay in the low flow condition ($v/c = 0.4$ and 0.6). The method 1 yields slight lower delay than the method 4. It implies that the modification of traffic split using real-time information does give better benefits when the constant flow is undersaturated. Nonetheless, when the flow is heavier (v/c is 0.8 and above), the real-time signal setting becomes more advantageous. The setting to favor progression results gives the highest delay among the three methods. Considering fuel consumption and queue time, the conclusions are similar to the delay deliberation, the signal setting for progression results in the highest performance in the low flow conditions, while the real-time split setting is the most efficient in the saturated conditions. However, at the near-saturated condition or $v/c = 0.8$, the three indicators draw a slight different conclusion. At this traffic conditions, the signal setting to yield minimum intersection delay does not give the lower average network vehicular delay than the setting for progression. Nevertheless, it gives lower fuel consumption and queue time. It is scrutinized that the progression gives lower percent stop and this may contribute to lower travel time and thus overall delay (percent stop by method 1 is 145% while percent stop by method 2 is 118%).

4.2. Signal Control Performance in Constant Saturated Traffic Conditions

From the experiments on the signal control in constant saturated traffic conditions, the method 5, the queue storage concept, produces the highest performance in terms of delay, fuel consumption, emission, and throughput (Figure 4). This signal control method filters excess amount of traffic entering the critical intersection. Thus, the degree of saturation at to-be-critical intersection is maintained at a certain level, while the approaching intersections cumulate the metered traffic and may turn a new oversaturated intersection.

It is mentioned that the control method 5 creates a wide area of congestion. The control attempts to prevent the intersection blockage by giving green time to uncongested (unaffected) movements. The traffic entering the congested area is thus given shorter green time at the upstream intersections. Then, as time goes by, the surrounded intersections to the (first) critical intersection possess long queues. Thus, the congestion (and queue) is spread further from the first critical intersection.

4.3. Signal Control Performance in Time-dependent Saturated Traffic Conditions

This section shows the degree of effectiveness that each signal control method provides when there is a surge of traffic demand. Five control techniques are studied; the intersection delay minimization (method 1), progression (method 2), delay minimization using historical traffic data (method 3), adaptive split setting using real-time volume (method 4), and queue control (method 5). The testing is conducted on various levels of the traffic demand and two periods of peak; 10 and 20 minutes. The difference between the two periods is that the 10-minute traffic surge does not produce the spillback (upstream intersection blockage) while the 20-minute traffic surge will produce the blockage.

4.3.1. When traffic volume peak period is 10 minutes

The traffic conditions in this consideration are further categorized into 2 groups: the surge is below the capacity of the intersections and the surge is above the capacity of the intersections.

When the traffic demand does not exceed capacity in the peak period, the signal control is aimed at properly adapting signal to yield better efficiency, in addition to make better the measures of effectiveness. Since there are a wide variety of traffic volume levels at each movement, the findings are compared to illustrate the performances of the signal control in various matters.

Comparing the control methods at different traffic level during peak duration, it is found that the control method 3, using historical data to set the signal timings, generates the highest performances in most categories. The exception is at the low traffic level where the progression still performs better. This may be because at the changing traffic level it is more efficient to preset the signal to the anticipated traffic, rather than being reactive as in the control method 4. It is also worth noting that the queue control performs very badly in a low-

level surge traffic condition and it performs relatively well (the second highest performance) when the surge traffic is heavier.

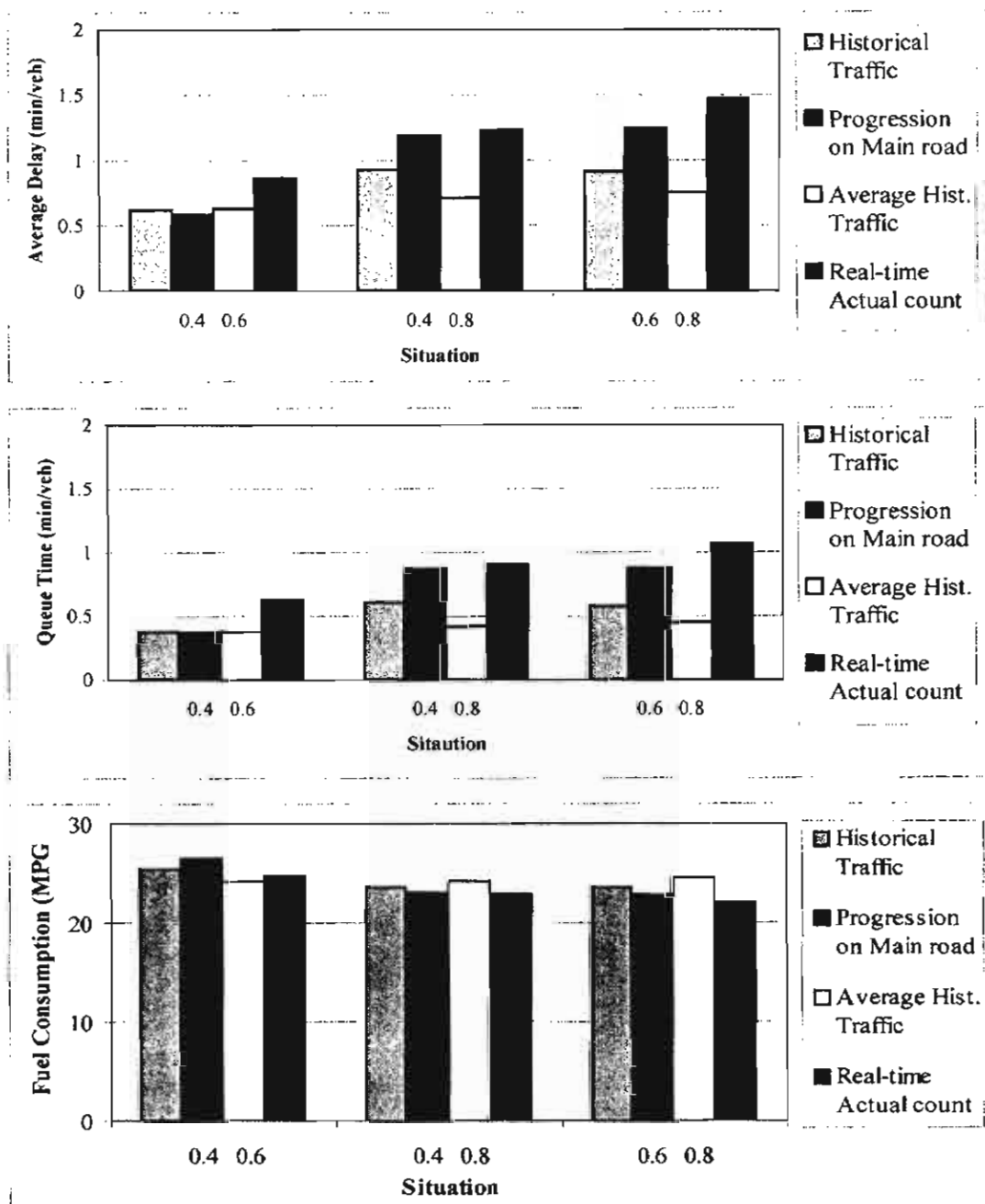


Figure 5. Performances of traffic signal control in saturated conditions (no spillback)
The surge is below the capacity of the intersections

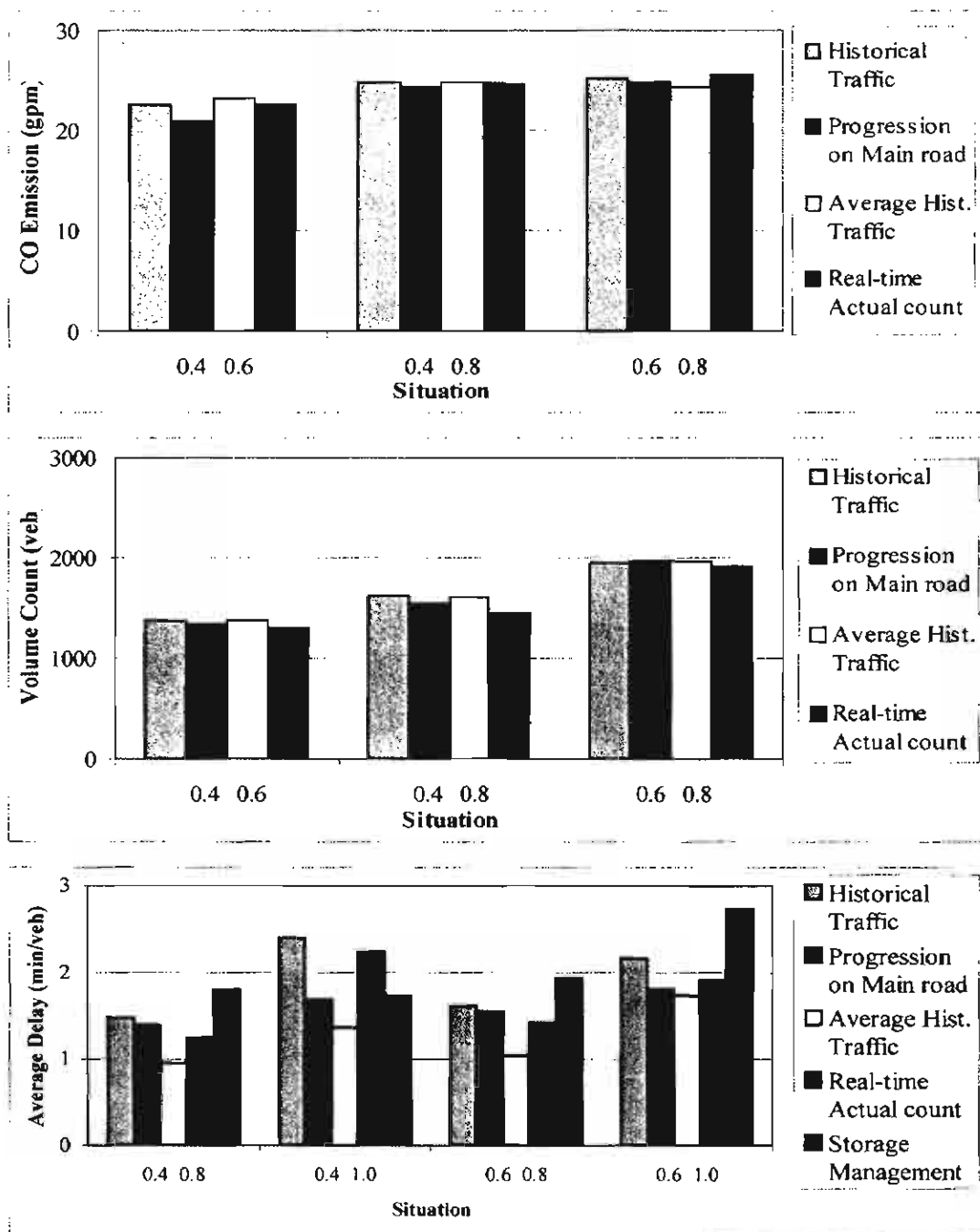


Figure 5. Performances of traffic signal control in saturated conditions (no spillback)
The surge is below the capacity of the intersections (Cont'd)

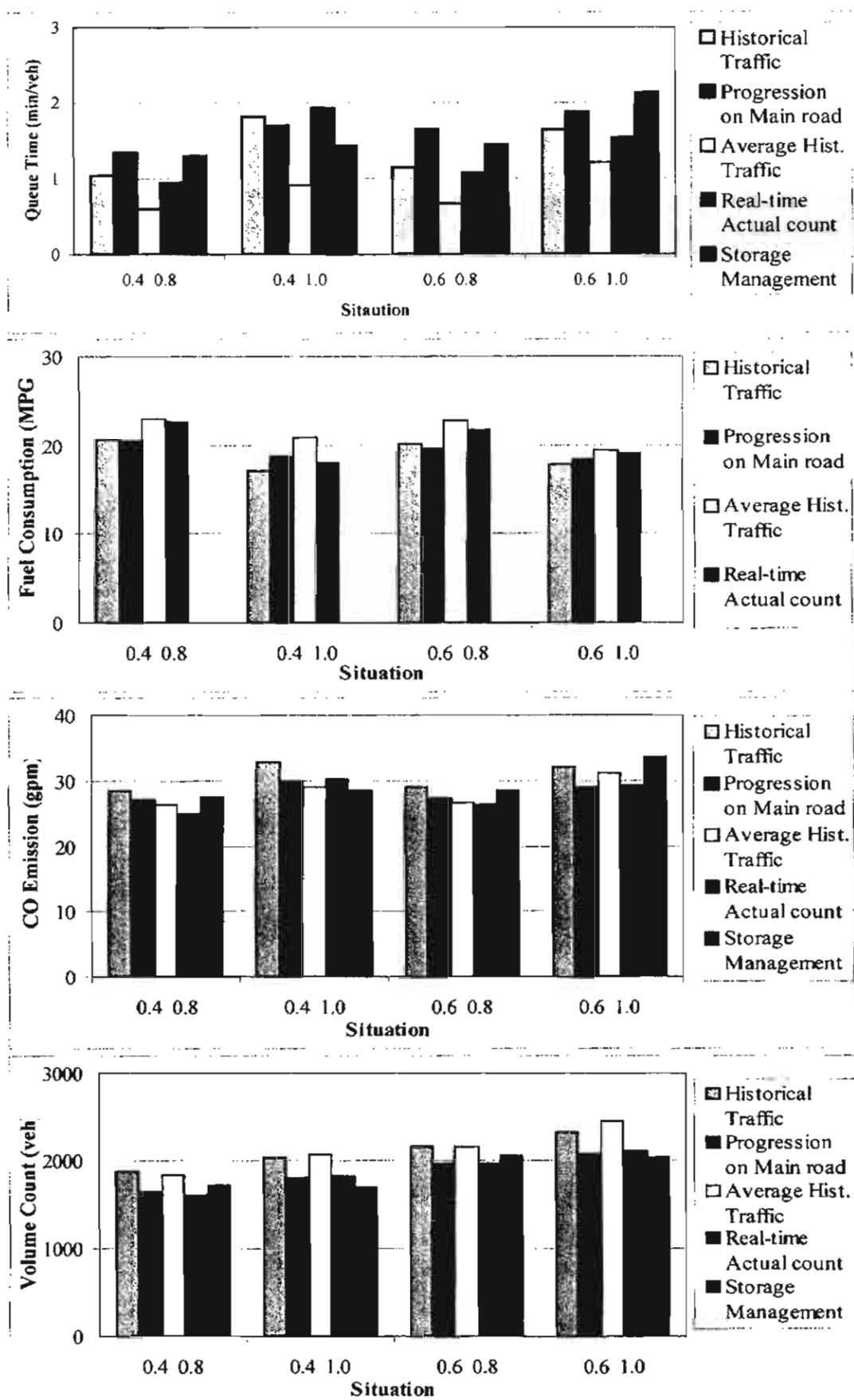


Figure 6. Performances of traffic signal control in saturated conditions (no spillback)

The surge is above the capacity of the intersections.

4.3.2. When traffic volume peak period is 20 minutes

The traffic in this condition is simulated to examine the effectiveness of signal control when the traffic level during peak period is oversaturated. At this traffic level, there will be a blockage at the upstream intersections. The performances of signal control methods are displayed in Figure 7.

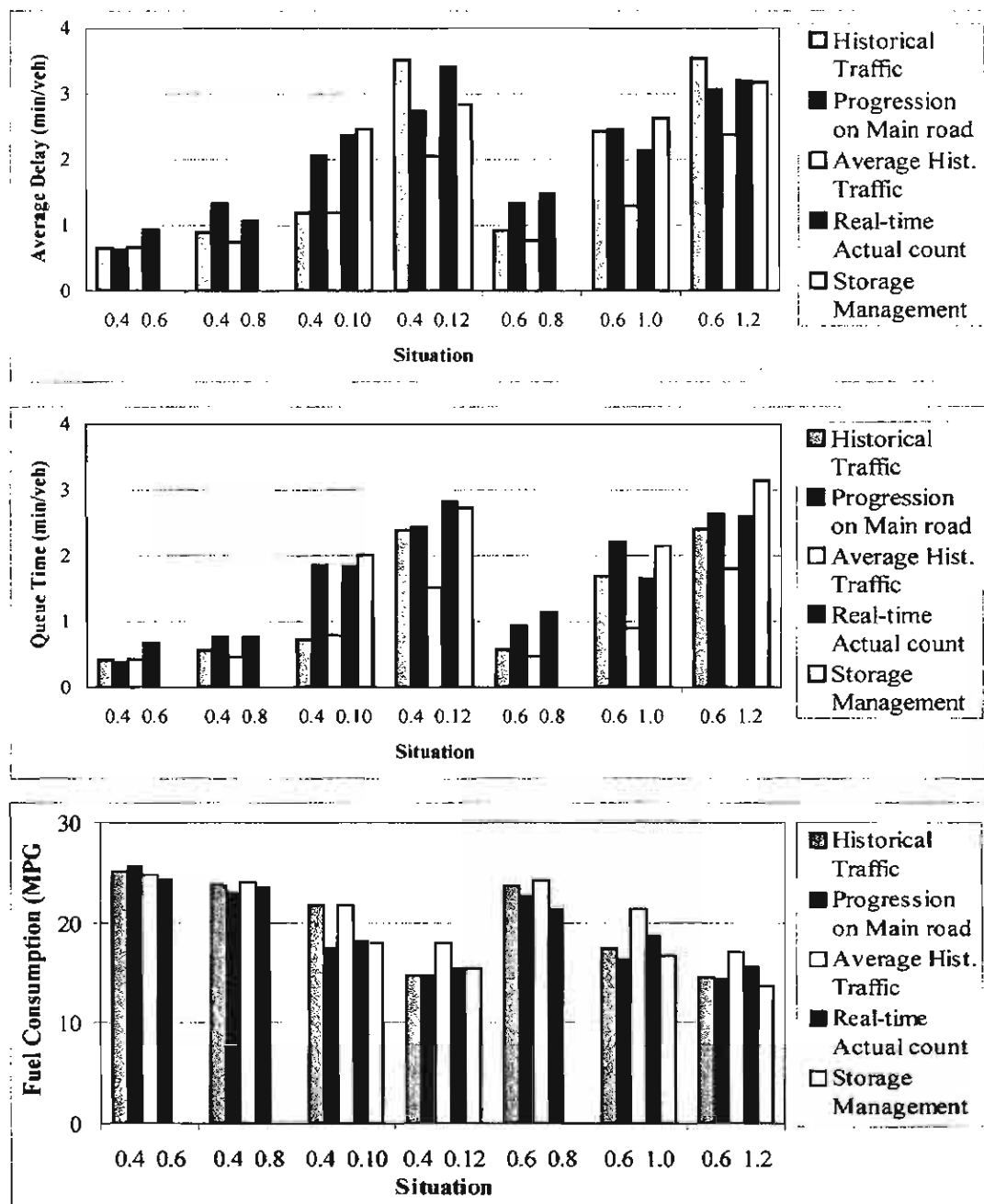


Figure 7. Performances of traffic signal control in saturated conditions (with spillback)

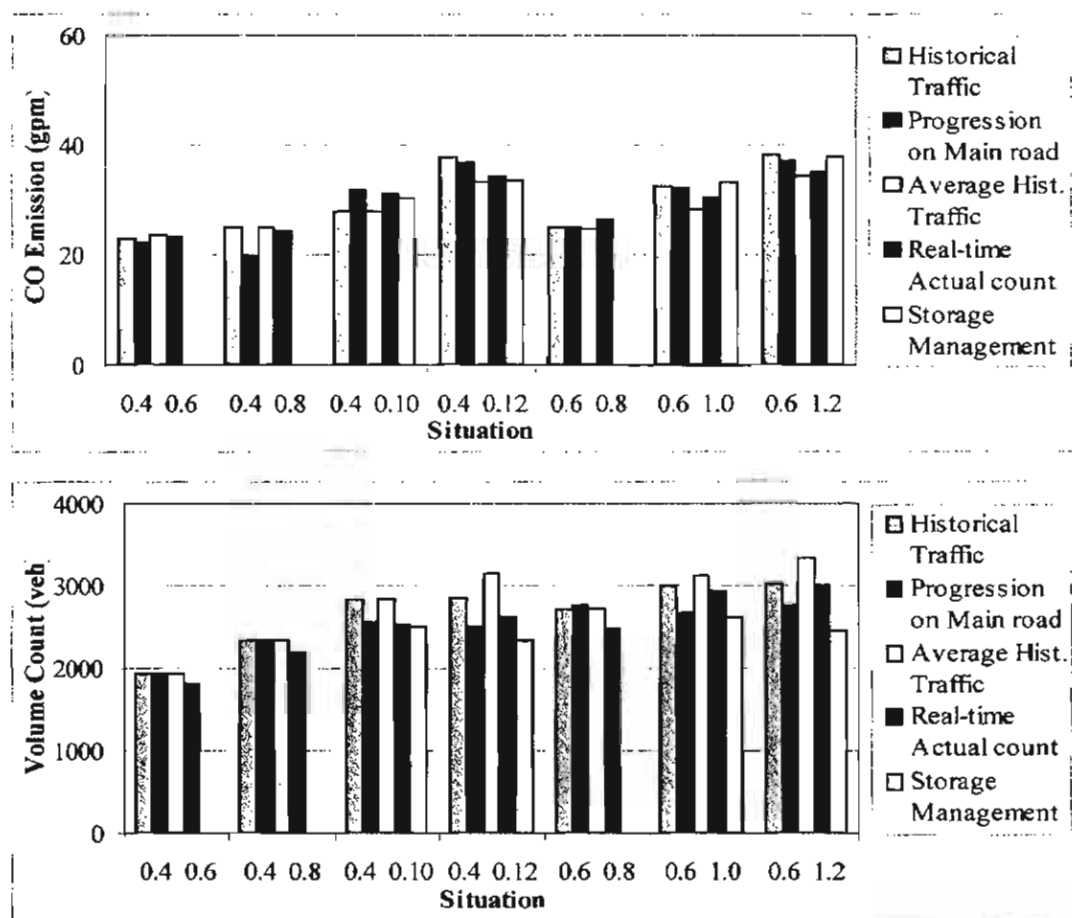


Figure 7. Performances of traffic signal control in saturated conditions (with spillback)
(Cont'd)

The results of the experiments show the same direction as the condition when traffic volume peak of 10 minutes. The presetting of signal timing using historical (or anticipated) traffic data (control method 3) gives the highest performance except the low traffic condition.

The performance in this traffic condition can be explained by the throughput. At the lower traffic flow level, the control method 3 releases traffic out of the network in the amount very close to control method 1 and 2. However, at the higher traffic level, the throughput effectiveness of the method 3 becomes more evident. Comparing the 10-minute and 20-minute peak situation, the controls at the heavier traffic can allow less number of traffic out of the critical intersection and the network. This is because the queue spillback places out restriction to the signal control and therefore forces the signal to operate at a shorter cycle. This creates the longer start-up lost time to the entire traffic operation.

It is noted that the control method 5 does not give better results than the control method 3. Despite the control method 5 is designed to prevent the queue blockage and set the signal timing according to the synchronize the queue movement and storage, it does not provide lower delay nor the total queue time of the road network. This may be because the control focuses on the management of queue and thus the traffic moves at a lower speed and is subject to lost time due to the starts and stops. Unlike the control method 3 that has "internal" metering at the upstream intersections, the control method 5 attempts to fill the approaches of the critical intersection and thus prolongs the saturation at the critical intersection.

4.4 Comparison of signal control methods at different volume levels

In time-dependent traffic environments, one traffic signal control technique will yield different performances at different traffic levels. This section compares the performances of

the signal controls in various traffic levels. Figure 8 shows the comparison of signal control performances in two time-dependent traffic levels; when the peak traffic levels are undersaturated (degrees of saturation are 0.6 and 0.8) and the peak periods are 10 and 20 minutes. The figure exhibits that in the case of the saturation level of 0.6, most signal control methods would perform similarly, as indicated by the similar percentage of increase in the average total delay. In the higher traffic level, it is found that the signal setting to favor progression will have a discernable increase in the delay. Therefore, although the signal setting for progression yields the highest performance in many of low flow conditions (as displayed in Figure 9), the performance of this control method is relatively worse when the flow is higher and varying.

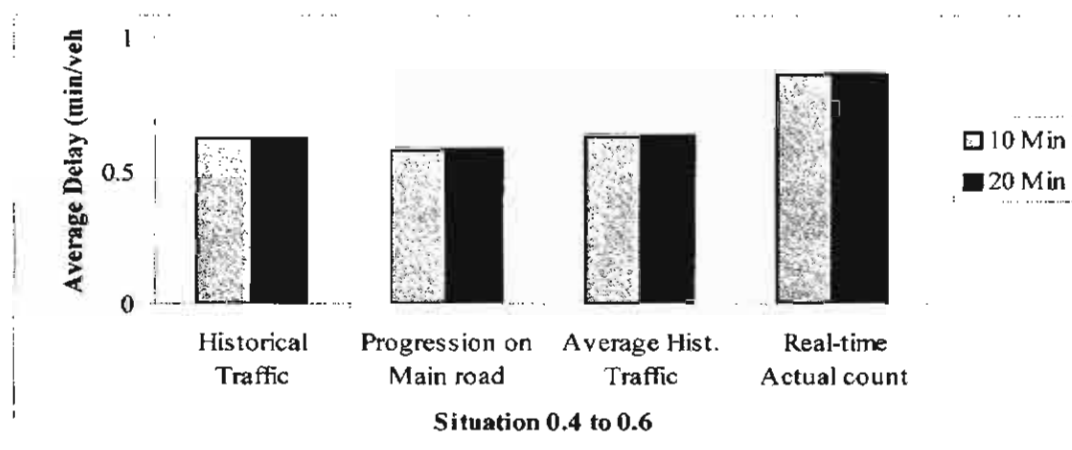


Figure 8. Comparison of signal control performances when the peak traffic levels are undersaturated (degrees of saturation is 0.6) and the peak periods are 10 and 20 minutes

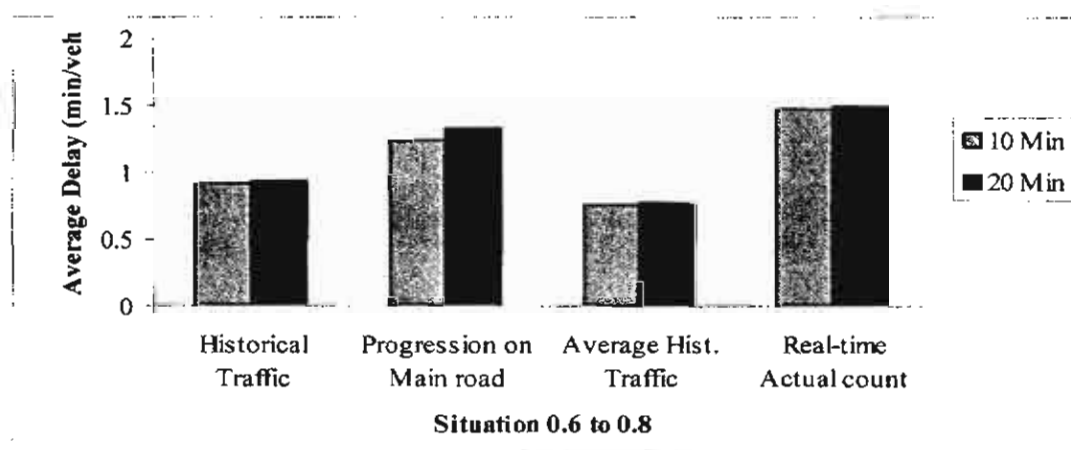


Figure 9. Comparison of signal control performances when the peak traffic levels are undersaturated (degrees of saturation is 0.8) and the peak periods are 10 and 20 minutes

When the flow is higher up to the saturation during the peak period, the conditions can be classified as (1) the flow does not produce the intersection blockage, and (2) the flow creates the spillback and gridlock. Figure 10 and Figure 11 show the performances of traffic control techniques in both conditions.

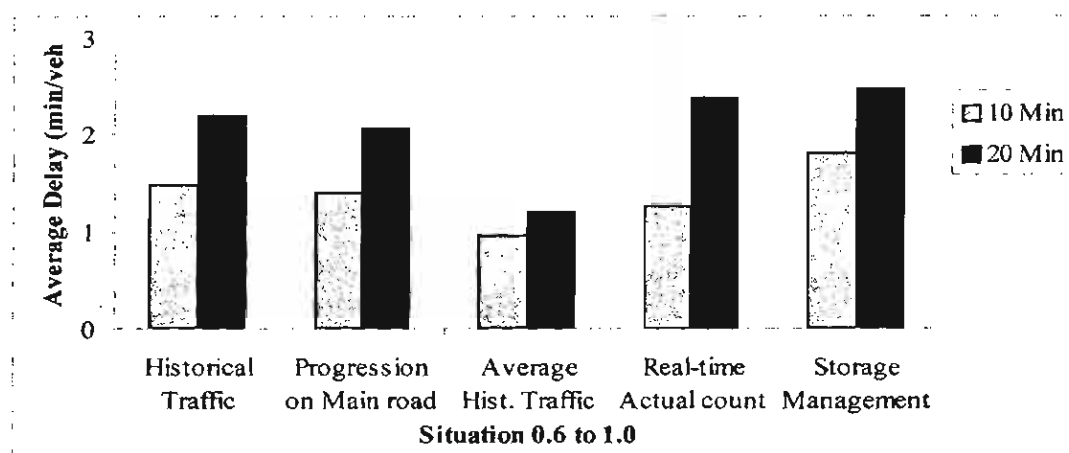


Figure 10. Comparison of signal control performances when the peak traffic levels are saturated (the flow does not produce the intersection blockage)

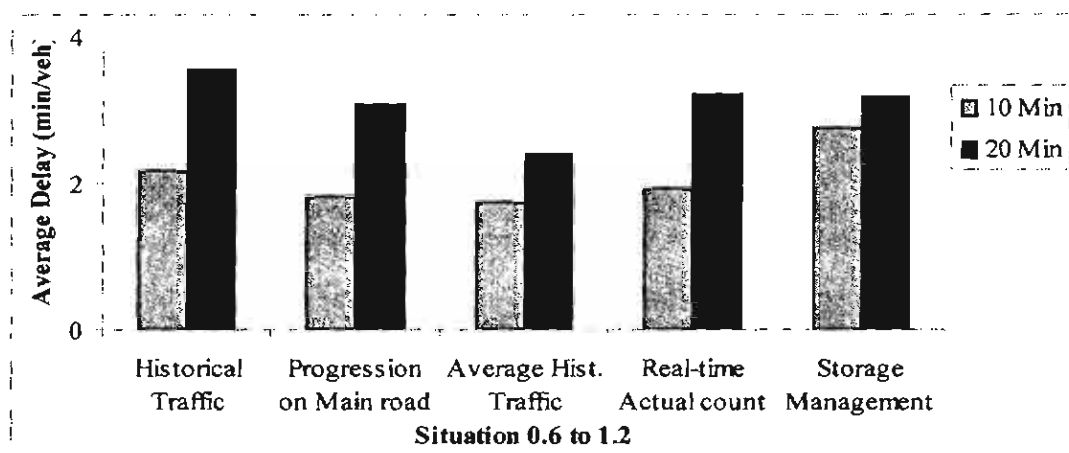


Figure 11. Comparison of signal control performances when the peak traffic levels are saturated (the flow creates the spillback and gridlock)

5. CONCLUSION

The performances of traffic signal control methods, at various traffic flow conditions, are tested and compared using CORSIM microscopic simulation model. The test environments are designed so that the effectiveness of the controls can be assessed in a wide variety of flows. The flow conditions under investigation are undersaturated and saturated, and constant and time-dependent. The performances are indicated by delay, time in queue, throughput, fuel consumption, and CO₂ emission.

The results reveal that there is no single control method that gives the highest efficiency in the entire range of traffic environments. In the constant low flow conditions, the control method using historical traffic data and the method to provide the progression give the lowest network delay. In the saturated flow conditions, however, the control by queue management performs the best. In the varying traffic volume conditions, the setting using average historical traffic data gives the lowest delay. The other measures of effectiveness indicate similar conclusions, although there may be slight alteration in the comparison.

Although the control method using average historical traffic data yields good performance in time-dependent conditions, this control method creates a spread of congestion to the wider area, since it makes the spillback of queue to the surrounded intersections (to the critical one).

From the experiments in this study, it is found that the signal should have various control

policies. At lower flow, the signal should employ a control to favor progression or control using the historical traffic data to yield low delay. When the traffic is heavier, the queue control should take place.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Thailand Research Fund (TRF) to support this research under the PDF/14/2542 contract.

REFERENCES

- Bell, M.G.H. (1992) Future directions in traffic signal control, **Transportation Research A**, Vol. 26, No. 4, 303-313.
- Choi, B.K. (1993) **Adaptive Signal Control for Oversaturated Arterials**. Ph.D. Thesis, University of Texas at Austin, U.S.A.
- Gal-Tzur, A., Mahalel, D. and Prashker, J.N. (1993) Signal design for congested networks based on metering, **Transportation Research Record 1398**, 111-118.
- Gartner, N.H., and Hou, D.L. (1992) Comparative evaluation of alternative traffic control strategies, **Transportation Research Record 1360**, 66-73.
- Gray, B.M. and Ibbetson, L. (1991) Operational traffic control strategies for congestion, **Traffic Engineering and Control**, Vol. 32(2), 60-66.
- Organisation of Economic Co-operation and Development (1981) **Traffic Control in Saturated Conditions**. Paris.
- Pignataro, L.J. *et.al.* (1978) **Traffic Control in Oversaturated Street Networks**. National Cooperative Highway Research Program Report 194. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Pookpho, P. (1999) **Signal Control in a Time-Dependent Saturated Traffic Condition**. Master's Thesis, Chulalongkorn University, Thailand.
- Quinn, D.J. (1992) A review of queue management strategies, **Traffic Engineering and Control**, November, 600-605.
- Shepherd, S.P. (1992) A review of traffic signal control, **ITS Working Paper 349**. Institute for Transport Studies, University of Leeds.