การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรอิ่มตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลา

นายปนัสย์ พุกโพธิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-824-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIGNAL CONTROL IN TIME-DEPENDENT SATURATED TRAFFIC CONDITIONS

Panat Pookpho

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-82 1-7

ต้นฉบับไม่มีหน้าอนุมัติ

NO PAGE ACCEPTED IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

ปนัสย์ พุกโพธิ์ : การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรอิ่มตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลา. (SIGNAL CONTROL IN TIME-DEPENDENT SATURATED TRAFFIC CONDITIONS) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ, 139 หน้า. ISBN 974-334-824-7.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการหาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่มีปริมาณการจราจรไม่คงที่โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม TRANSYT-7F และโปรแกรม CORSIM การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรคงที่นั้นเป็นการทดสอบวิธีการจัดสัญญาณไฟสี่แบบที่คำนวณจากข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีตและให้ความสำคัญกับยวดยานบนถนนสายหลัก ข้อมูลการจราจรจากตัววัดปริมาณการจราจรและที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป วิธีการจัดสัญญาณไฟดังกล่าวยังนำไปทดสอบในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลง และเพิ่มวิธีการควบคุมโดยคำนวณจากข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งวิธี

ผลจากการจำลองสภาพการจราจรพบว่า โปรแกรม TRANSYT-7F ไม่สามารถใช้ได้กับกรณีที่มีปริมาณการจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก และกรณีที่มีปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลง ส่วนการจำลองสภาพการจราจรโดยใช้โปรแกรม CORSIM ให้ผลลัพธ์ว่า ในสภาพการจราจรคงที่วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต และให้ความสำคัญกับยวดยานบนถนนสายหลักเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความล่าช้าต่ำที่สุดเมื่อมีปริมาณการจราจรเบาบาง แต่ถ้ามีปริมาณการจราจรหนาแน่นขึ้นจนถึงระดับปริมาณการจราจรอิ่มตัว การควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความล่าช้าต่ำที่สุด ส่วนในสภาพการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาวิธีการควบคุมสัญญาณที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีตเฉลี่ย เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สามารถรองรับความผันแปรได้ดีที่สุด ในแง่ของความล่าช้าทั้งกรณีที่มีและไม่มีแถวคอยยาวย้อนกลับไปบดบังทางแยกถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

AN ABSTRACT

3970944621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: SIGNAL CONTROL / SATURATED / TIME-DEPENDENT / TRANSYT-7F / CORSIM

PANAT POOKPHO : SIGNAL CONTROL IN TIME-DEPENDENT SATURATED TRAFFIC CONDITIONS. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.SORAWIT NARUPITI, Ph.D., 139 pp.
ISBN 974-334-824-7.

This thesis explores an appropriate signal control for a varying traffic volume condition using traffic simulation programs: TRANSYT-7F and CORSIM. The four signal controls are determined for constant trafffic conditions based on the traffic volume in the past, the traffic volume in the past with progression on arterial. The traffic volume from detectors and the downstream reserved capacity. Meanwhile in the time-dependent traffic conditions, the four signal controls and the additional average traffic volume in the past control technique are applied.

The results shown that the TRANSYT-7F can not be applied in saturated traffic conditions and time-dependent traffic conditions, whereas the CORSIM can be employed in these problems appropriately. In constant traffic conditions, the signal control considering the past traffic volume and progression on the main street yields the best result in delay minimization, when the traffic level is low. In heavier traffic up to the saturation, the signal control considering the queue storage capacity gives the highest performance. When the level of traffic varies, the signal setting with past average traffic information is best in handling the congestion, both with and without the spillback.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัยนี้ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง นอกจากนั้นท่านอาจารย์ยังให้ความช่วยเหลือแก่ผู้เขียนอีกหลายเรื่อง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา และอาจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ที่ให้คำแนะนำในการวิจัยนี้ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ผู้เขียนขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เขียน และผู้เขียนสำนึกในบุญคุณของบิดา มารดา ที่สนับสนุนทางด้านการเงิน ให้กำลังใจและเข้าใจเสมอมา

ผู้เขียนขอขอบพระคุณพี่น้อย อารียา และห้องธุรการภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ช่วยเหลือเรื่องเอกสารและให้ความอนุเคราะห์ตลอดมา ขอขอบคุณคุณวิรัช หิรัญ คุณฐิติมา วงศ์อินตา และคุณอนิรุทธ์ อุโคตรที่ช่วยจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ ตลอดจนเพื่อน ๆ และน้อง ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งและการจราจรที่ช่วยให้กำลังใจและร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมา รวมทั้งห้องวิจัยทางด้านการขนส่งซึ่งผู้เขียนได้ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือผู้เขียนซึ่งมิได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความมานะพยายาม และอดทนอย่างมาก ดังนั้นคุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแก่บุคคลที่มองเห็นคุณค่าของวิทยานิพนธ์ และหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีส่วนช่วยเหลือประเทศชาติได้ในระดับหนึ่ง

ปนัสย์ พุกโพธิ์

เมษายน 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 การทบทวนผลงานในอดีต 7

2.1 การควบคุมสัญญาณไฟ 7

2.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบาง 8

2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัว 12

2.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ 18

2.5 การควบคุมสัญญาณไฟเมื่อมีปริมาณจราจรที่เปลี่ยนไป 24

บทที่ 3 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร 26

3.1 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน 27

3.2 การเปรียบเทียบและคัดเลือกโปรแกรมสำหรับทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัว 28

3.3 โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT) 29

3.4 โปรแกรม CORSIM (NETSIM) 44

บทที่ 4 การออกแบบการศึกษา 47

4.1 ลักษณะโครงข่าย 47

4.2 สมมติฐาน 49

4.3 ตัวแปร 51

4.4 การออกแบบการศึกษา 51

4.5 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร 59

บทที่ หน้า

บทที่ 5 ผลการศึกษา 61
5.1 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต 61
5.2 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรม CORSIM 65
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 83
6.1 สรุปผลการศึกษา 83
6.2 ข้อเสนอแนะ 85
รายการอ้างอิง 86
ภาคผนวก 89
ภาคผนวก ก. ปริมาณจราจร 90
ภาคผนวก ข. การจัดสัญญาณไฟ 93
ภาคผนวก ค. ผลลัพธ์จากการประมวลผล 116
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างลักษณะการจราจรในแบบกราฟฟิกที่ได้จากการประมวลผล
โปรแกรม CORSIM 131
ประวัติผู้เขียน 139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	เปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพจราจรในปัจจุบันด้วยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา	29
3.2	ดัชนีการกระจายตัว (Platoon Dispersion Index)	34
3.3	ระดับการให้บริการสำหรับทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ	39
4.1	ปริมาณจราจรคงที่ที่ใช้ในการศึกษา	52
4.2	ปริมาณจราจรและช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา	53
5.1	ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต	62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	โครงข่ายที่ใช้ในการศึกษา	3
1.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่โครงข่าย	6
2.1	แผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน	9
2.2	วิธีการกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยก	13
2.3	การจัดค่าออฟเซตเพื่อความเป็นธรรม	15
2.4	วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางหลัก	15
2.5	Cyclic Flow Profiles.	19
2.6	หลักการทำงานของเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค	23
2.7	หลักการทำงานของ Fuzzy Logic	24
2.8	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อขจัดแถวคอย	25
3.1	ลักษณะรูปแบบการจราจรแยกปริมาณการจราจรขาเข้าและปริมาณการจราจรขาออก	31
3.2	ลักษณะของรูปแบบการจราจรรวม	31
3.3	ความล่าช้าสม่ำเสมอ	37
3.4	สภาพความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะทางของการเข้าและออกจากแถวคอยของยวดยาน	40
4.1	โครงข่ายของแบบจำลอง	47
4.2	ลักษณะทางกายภาพของทางแยก	48
4.3	จังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุด(เริ่มต้น)	50
4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤติ	52
4.5	ปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัว	54
5.1	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ	62
5.2	จำนวนครั้งที่หยุดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ	63
5.3	การเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ	63
5.4	ดัชนีวัดความไม่พอใจของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ	63
5.5	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่	65
5.6	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่ (เฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง)	66
5.7	เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่	66
5.8	อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่	67

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
5.9	ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่	67
5.10	จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่	68
5.11	ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน	68
5.12	ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัว)	69
5.13	ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรอิ่มตัว)	70
5.14	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)	71
5.15	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และ ปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา)	71
5.16	เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 3 กับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป	72
5.17	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และ ปริมาณจราจรช่วงที่สองเป็นปริมาณจราจรอิ่มตัว)	72
5.18	เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)	73
5.19	อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)	74
5.20	ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)	74
5.21	จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)	74
5.22	ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	75
5.23	เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	75

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
5.24	อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	76
5.25	ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	76
5.26	จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)	77
5.27	สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา	78
5.28	สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงขึ้น แต่ยังต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก	78
5.29	สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (แต่ยังไม่มีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า)	79
5.30	สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (และมีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า)	79
5.31	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1)	80
5.32	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2)	80
5.33	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3)	81
5.34	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4)	81
5.35	วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5)	81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การจัดการจราจรในปัจจุบันอาศัยการควบคุมสัญญาณไฟเป็นหลัก เนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟเป็นแนวทางในการจัดการจราจรที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายที่สุด และใช้งบประมาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการจัดการจราจรแนวทางอื่น เช่น การเพิ่มพื้นผิวการจราจร และการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของถนน เป็นต้น การปรับปรุงสัญญาณไฟเพียงอย่างเดียวสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของทางแยกได้มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Gartner,1992)

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรที่ทางแยกในขณะนั้นและระบบควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ อันได้แก่ ระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed Time Control) กับ ระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (Responsive Control)

ปัญหาหลักของการควบคุมสัญญาณไฟปัญหาหนึ่ง คือ การจราจรบนถนนที่มีรูปแบบและระยะเวลาที่เกิดสภาพการจราจรนั้นไม่คงที่ ซึ่งหมายถึงสภาพการจราจรเบาบางที่เปลี่ยนไปเป็นสภาพการจราจรอิ่มตัวชั่วระยะเวลาหนึ่งและเปลี่ยนกลับมาเป็นสภาพการจราจรเบาบางอีกครั้งหนึ่ง อันจะทำให้การควบคุมสัญญาณไฟไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เป็นอยู่ในขณะนั้น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบหนึ่งอาจจะส่งผลดีต่อการจราจรรูปแบบหนึ่ง แต่ในทางกลับกันวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนั้นอาจจะไม่เหมาะสมต่อการจราจรอีกรูปแบบหนึ่งก็ได้ ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรและรูปแบบของการจราจรได้ดีกว่า น่าจะทำให้การจัดการจราจรโดยรวมได้ผลดีกว่าด้วยและจะสามารถช่วยลดความสูญเสียอันเนื่องมาจากการจราจรซึ่งคิดเป็นมูลค่ามหาศาลได้

ระบบควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ซึ่งเป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (Traffic Responsive System) จึงเป็นที่นิยมมากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed Time Control) ที่ใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐาน เนื่องจากการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ของข้อมูลปริมาณจราจรในขณะนั้น ๆ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ได้

อย่างไรก็ตามวิธีการและประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมสัญญาณไฟที่ระดับปริมาณจราจรและรูปแบบของการจราจรแบบต่าง ๆ ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดลงไปว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบใดจะให้ผลดีต่อระบบที่ระดับต่าง ๆ กันได้มากกว่ากัน และเมื่อทราบรูปแบบและระดับปริมาณการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกที่แน่นอน จะมีเกณฑ์ในการเลือกวิธีการควบคุมสัญญาณไฟอย่างไรที่จะส่งผลดีต่อระบบได้มากกว่าซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อทบทวนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ระดับปริมาณการจราจรเบาบางและระดับปริมาณจราจรอิ่มตัว

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ระดับปริมาณการเปลี่ยนแปลง

1.2.4 เพื่อทำให้ทราบถึงผลของการผันแปรของปริมาณการจราจรต่อประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

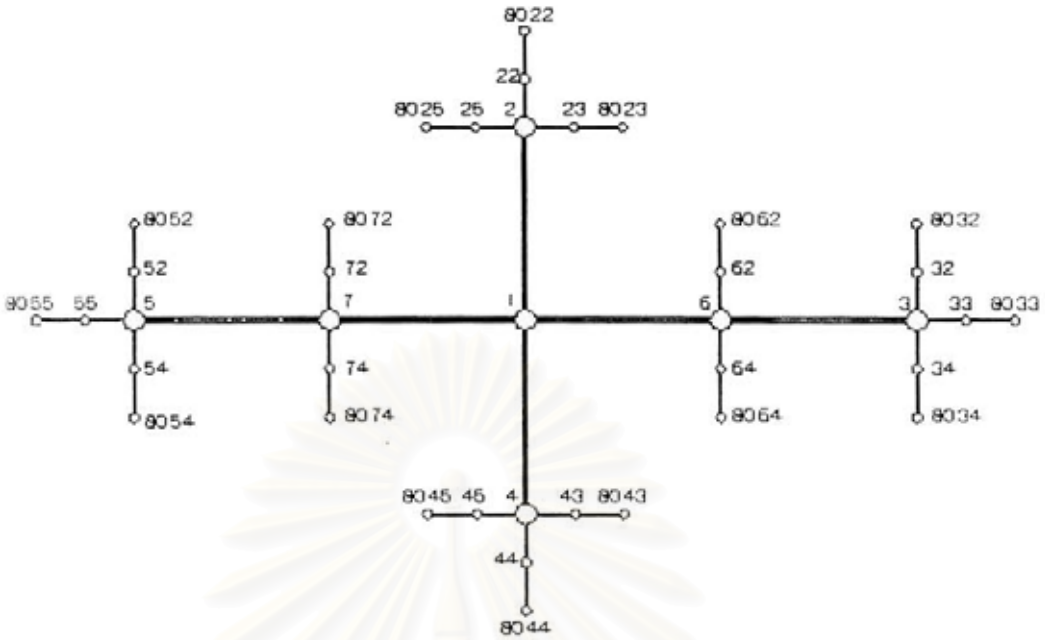
1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟอาศัยการจำลองสภาพการจราจร (Traffic Simulation) โดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1.3.1 ใช้โปรแกรมทรานสิต TRANSYT-7F(TRAffic Network StudY Tool, Version 7F) รุ่นที่ 8 ในการจำลองสภาพการจราจร (Simulation) เพื่อทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรต่าง ๆ

1.3.2 ใช้โปรแกรม NETSIM (NETwork SIMulation) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรในการจำลองสภาพการจราจรเพื่อทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรต่าง ๆ

1.3.3 โครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยทางแยก 7 ทางแยก (ดังแสดงในรูปที่1.1)ถนนภายในโครงข่ายทุกสายเป็นถนนแบบที่วิ่งสวนทางกันมีความยาวเท่ากับ500เมตร หรือ 1600 ฟุต มีเลนรอเลี้ยวยาวข้างละ 50 เมตร หรือ 160 ฟุต และมีทางแยกวิกฤต (Critical Intersection, CI) อยู่ตรงกลางซึ่งเป็นจุดตัดของถนนสายหลัก 2 สาย



รูปที่1.1 โครงข่ายที่ใช้ในการศึกษา

1.3.4 ปริมาณการจราจรที่ใช้ทดสอบจะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบในสภาพจราจรอิ่มตัว แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบในสภาพจราจรอื่น ๆ ก็ยังเป็นสิ่งจำเป็น อันได้แก่ สภาพจราจรเบาบาง และ สภาพจราจรใกล้จุดอิ่มตัว

1.3.5 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้อาจแบ่งได้ 4 กลุ่ม มีดังต่อไปนี้

1.3.5.1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงความล่าช้าที่เกิดขึ้น

ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟเพื่อจัดทำให้มีความล่าช้าที่เกิดขึ้นเท่ากันทุกทิศทางโดยจัดสัญญาณไฟเขียวให้ตามสัดส่วนของปริมาณที่เข้ามาสู่ทางแยก เช่น การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของ Webster

1.3.5.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน

ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟให้ความสำคัญแก่ทิศทางใดทิศทางหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น วิธีการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักให้สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไป วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

1.3.5.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกโดยอาศัยตัววัดปริมาณจราจร

ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟเหมาะกับสภาพจราจรที่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากใช้ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของรอบสัญญาณไฟก่อนหน้าเป็นปัจจัยในการจัดสัญญาณไฟในรอบสัญญาณไฟต่อไป

1.3.5.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป

ได้แก่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการจัดสัญญาณไฟในรอบสัญญาณไฟต่อไป

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น ๆ ที่นำไม่นำมาทดสอบ ได้แก่ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณน้อย วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟมาก และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ซึ่งมีวิธีข้อจำกัดด้านข้อมูลจราจรที่ใช้ในหลักการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

แบ่งออกเป็น

1.4.1 ทบทวนทฤษฎีและผลงานในอดีต ศึกษาทฤษฎีและผลงานในอดีตที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ แล้วศึกษาการใช้งานโปรแกรมทรานสิตรุ่นที่ 8 ทั้งด้านการจำลองสภาพจราจร และการหาวิธีการตั้งค่าที่ดีที่สุดของโปรแกรม รวมทั้ง การป้อนข้อมูลและผลลัพธ์จากการประมวลผล

1.4.2 กำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิเคราะห์ เป็นการกำหนดแนวทางการดำเนินงานที่จะทำต่อไป โดยกำหนดวัตถุประสงค์และนโยบายให้สอดคล้องกัน

1.4.3 ศึกษาโปรแกรมจำลองสถานการณ์ TRANSYT – 7F รุ่นที่ 8

1.4.4 ศึกษาโปรแกรมจำลองสถานการณ์ NETSIM

1.4.5 การออกแบบการศึกษา

ทำการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สภาพการจราจรต่าง ๆ ดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ	สภาพจราจรเบาบาง	สภาพจราจรอิ่มตัว
วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงความล่าช้าที่เกิดขึ้น	☑	☑
วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน	☑	☑
วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกโดยอาศัยตัววัดปริมาณจราจร	☑	☑
วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป	☑	☑

นำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ มาทดสอบที่สภาพการจราจรต่าง ๆ กัน โดยไม่มีการผันแปรของสภาพการจราจร

1.4.6 จำลองการควบคุมสัญญาณไฟในโปรแกรมและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยตัววัด

1.4.6.1 จำลองวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ เมื่อมีปริมาณจราจรคงที่ทั้งสองทิศทางตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (อัตราส่วนของ2ทิศทางเป็น 1:1) โดยเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรต่าง ๆ กัน คือ ปริมาณจราจรที่ทำให้ทางแยกมีระดับของการอิ่มตัวเป็น 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ

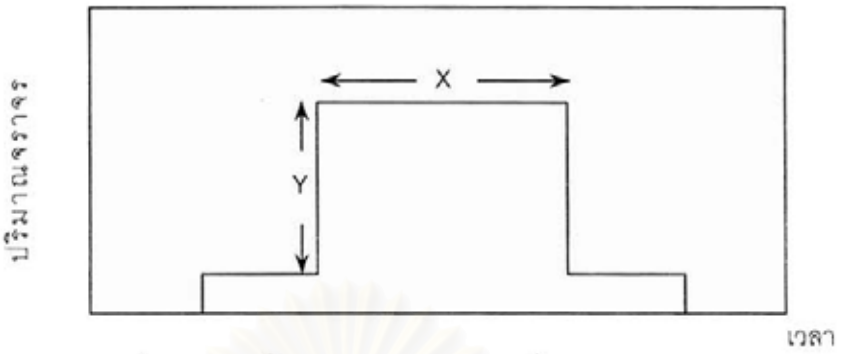
1.4.6.2 จำลองวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ โดยมีปริมาณจราจรคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษา แต่มีระดับของปริมาณจราจรของแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากัน (อัตราส่วนของสองทิศทางไม่เท่ากับ 1:1) และเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรต่าง ๆ กัน คือ ปริมาณจราจรที่ทำให้ทางแยกมีระดับของการอิ่มตัวเป็น 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ

1.4.6.3 นำผลที่ได้มาจากการจำลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยตัววัดที่สะท้อนถึงความคล่องตัว

1.4.7 ทำการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟเมื่อมีปริมาณการจราจรไม่คงที่

1.4.7.1 เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ ในกรณีที่มีปริมาณจราจรไม่คงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร ดังรูปที่ 1.2 โดยมีระดับปริมาณจราจร Y ต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่โครงข่าย

1.4.7.2 ตรวจสอบดูประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทดสอบโดยใช้ตัววัดที่สำคัญ

1.4.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองสภาพจราจรในแบบต่าง ๆ ข้างต้น มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์

1.4.9 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำผลที่ได้มาสรุปว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบใด สามารถควบคุมการจราจรได้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่จำลองเพียงใด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อใช้เป็นแนวทางที่ช่วยตัดสินใจเลือกวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสภาพจราจรต่าง ๆ

1.5.2 เพื่อทราบผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรต่อวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

1.5.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางที่ช่วยตัดสินใจเลือกใช้ หรือลงทุนกับเทคโนโลยีในการควบคุมสัญญาณไฟแบบใหม่ที่สามารถทำนายปริมาณจราจรได้ล่วงหน้าแบบที่ดีพอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การทบทวนผลงานในอดีต

การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟมีขึ้นพร้อมกับการประดิษฐ์สัญญาณไฟตั้งแต่ต้นคริสตศตวรรษที่ 20 อย่างไรก็ดีมีการค้นคว้าวิธีการควบคุมในสภาพการจราจรที่แปรเปลี่ยนได้ด้วยหลักการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มากในช่วงคริสตทศวรรษที่ 50 โดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวตะวันตก (อังกฤษ) เช่น Webster's และเมื่อมีการพัฒนาด้านการประมวลผลและการตรวจจับข้อมูลในช่วงคริสตทศวรรษที่ 70 ทำให้งานวิจัยในด้านนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว มีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับหรือประมาณผลการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และ/หรือ แบบจำลองสภาพจราจร(Simulation)

การศึกษาผลงานในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัว 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 ส่วนกรณีที่มีสภาพจราจรอิ่มตัวแถวคอยที่เกิดจะสะสมจนไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ จนบางครั้งทำให้มีแถวคอยยาวจนย้อนกลับมาขวางทางแยก วัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจึงเป็นการจัดระบบโดยรวมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Pignataro,1978) (Rathi,1988)

2.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบาง

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเบาบางมีวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟคือการควบคุมสัญญาณไฟให้เกิดผลกระทบที่ไม่พึงปรารถนาต่อผู้ขับขี่น้อยที่สุด อันได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่ทางแยกมีค่าน้อยที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้จำนวนรถที่หยุดน้อยคันที่สุดและจำนวนครั้งของการหยุดน้อยครั้งที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้ตัววัดประสิทธิภาพ(Performance Index)ต่ำที่สุด หรือการควบคุมสัญญาณไฟทำให้มีปริมาณการจราจรที่ผ่านทางแยกออกไปมากที่สุด (Pignataro,1978) (Rathi,1988)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้ในสภาพจราจรเบาบางมีดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเวบสเตอร์ (Webster,1958)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเวบสเตอร์เหมาะสำหรับทางแยกที่เป็นทางแยกเดี่ยวหรือเป็นทางแยกในโครงข่ายแต่ทางแยกแต่ละแห่งอยู่ไกลกันมากจนไม่ส่งผลกระทบถึงกันและใช้ได้กับระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed time traffic control system) จุดมุ่งหมายของวิธีการควบคุมสัญญาณแบบนี้คือการลดความล่าช้าที่ทางแยกให้มีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยการจัดรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว ทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยที่ทุกถนนมีค่าเท่า ๆ กัน ความยาวรอบสัญญาณไฟมาจากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

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

โดย C_O คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด (วินาที)

L คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณ (วินาที)

Y_i คือ อัตราส่วนของปริมาณการจราจรวิกฤตต่อปริมาณการจราจรอิ่มตัวของจังหวะสัญญาณลำดับ

สมการที่ (2.1) ได้มาจากการวิเคราะห์สภาพการจราจรที่มีปริมาณจราจรคงที่ แต่การเข้าของรถจะมีความผันแปรอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของการสุ่มของ headway(stochastic)

วิธีการควบคุมแบบนี้ใช้ได้เฉพาะในสภาพการจราจรเบาบาง เนื่องจากพจน์ Y_i ไม่สามารถมีค่าเกินกว่า1.0ได้ หรือในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ค่า Y_i ไม่เกิน0.9

2.2.2 วิธีการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักให้สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปโดยไม่ต้องหยุดรถ (Progression)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับโครงข่ายที่มีถนนสายหลักสายเดียว เนื่องจากมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลัก (Arterial) มีความล่าช้าต่ำที่สุด โดยทำให้กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกสัญญาณไฟโดยไม่ต้องหยุดรถ ค่าความยาวรอบสัญญาณและค่าสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวได้มาจากการคิดแบบเดียวกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้สูตรคำนวณของเวบสเตอร์สำหรับทางแยกเดี่ยว แต่จะมีการตั้งค่าออฟเซต ค่าออฟเซตที่ตั้งจะเป็นค่าที่ทำให้กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถ

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

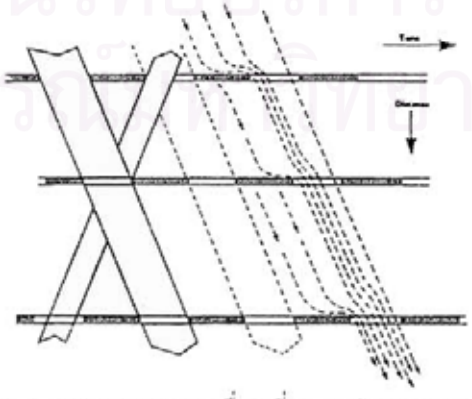
โดย t_{ideal} คือ ค่าออฟเซต (วินาที)

L คือ ความยาวของถนน (เมตร)

V คือ ความเร็วโดยประมาณของกลุ่มยวดยาน (เมตรต่อวินาที)

LOST TIME คือ เวลาที่สูญเสียในการปล่อยรถที่ค้างอยู่ในแถวคอย(รวม) ก่อนรถจากทางแยกก่อนหน้าที่จะเดินทางมาถึงเส้นหยุด (วินาที)

ในสภาพการจราจรเบาบางการควบคุมสัญญาณไฟโดยให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวด ยานจะสามารถทำให้กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักสามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปจากทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถ แต่เมื่อมีปริมาณการจราจรเพิ่มมากขึ้นจนแถวคอยที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้การควบคุมสัญญาณไฟโดยให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานไม่สามารถจัดให้กลุ่มยวดยานผ่านทางแยกได้ในรอบสัญญาณไฟเดียว เป็นที่มาของการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าออฟเซตเป็นลบ หรือ Reverse Progression



รูปที่ 2.1 แผนภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มยวดยาน

ที่มา : Robertson (1991)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักสามารถแบ่งย่อยเป็น 2 เทคนิค

เทคนิคที่ 1 การให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่ายโดยวิธีแมกซ์แบน (MAXBAND)

วิธีการให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่ายโดยวิธี แมกซ์แบน เป็นการทำให้กลุ่มยวดยานบนถนน (Platoon) เคลื่อนที่ผ่านทางแยกสัญญาณไฟออกไปได้มากที่สุดโดยมีความกว้างของแถบ (Bandwidth) ของแต่ละทิศทางที่เท่ากัน ความกว้างของแถบถูกกำหนดอยู่ในรูปของค่าอัตราส่วนของปริมาณรถในแต่ละทิศทาง (Directional Volume Ratio, K) การใช้ความกว้างของแถบของแต่ละทิศทางที่เท่ากันเป็นจุดด้อยของเทคนิคนี้ เพราะไม่เหมาะกับกรณีที่มีสภาพการจราจรของ 2 ทิศทางมีความแตกต่างกันมาก และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ยังไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร

เทคนิคที่ 2 การให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนเส้นทางหลักในโครงข่ายโดยวิธีมัลติแบน (MULTIBAND)

เป็นวิธีการที่พยายามแก้จุดด้อยของวิธีแมกซ์แบน โดยทำให้มีขนาดความกว้างของแถบ (Bandwidth) แตกต่างกันไปตามลักษณะของปริมาณจราจร ความกว้างของแถบในแต่ละทิศทางไม่จำเป็นต้องเท่ากันแต่จำเป็นต้องมีทิศทางขนานกันโดยตลอด

นอกจากนี้ยังมีวิธีพัฒนาขึ้นใหม่หลายวิธี เช่น PROS (PRogressive OpportunitieS) ซึ่งเป็นการหาโอกาสในการแล่นผ่านทางแยกใด ๆ ทางแยกหนึ่ง โดยการแล่นนี้สามารถใช้ความเร็วที่ต้องการได้ (Wallace et. al.,1998)

2.2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบควบคุมสัญญาณไฟประเภทแปรเปลี่ยน ตามสภาพการจราจร (Actuated and Semi-actuated Control)

การควบคุมสัญญาณไฟโดยเครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้อาศัยเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) เพื่อจัดลำดับจังหวะสัญญาณไฟ ความยาวรอบสัญญาณไฟ และสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ให้เป็นไปตามหลักการพื้นฐานที่ได้ตั้งไว้ให้กับระบบสัญญาณไฟคือไม่ทำให้เกิดการหยุดโดยไม่จำเป็น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้กับเครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้จะมีข้อดี คือจะเป็นการควบคุมที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรขณะใด ๆ ดังเป็นข้อได้เปรียบของการตรวจจับ

รถแบบทันกาล (Real-time) แต่การควบคุมจะอาศัยหลักการคงที่ที่โปรแกรมได้วางไว้ และหลักการดังกล่าวจะใส่ได้เพียงหลักการเดียวตลอดช่วงของปริมาณการจราจร

เครื่องควบคุมสัญญาณไฟประเภทนี้ ยังแบ่งย่อยออกตามลักษณะการทำงานได้ 2 ลักษณะ

ลักษณะที่ 1 เครื่องควบคุมชนิดกึ่งคงที่กึ่งแปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Semi-actuated)

การควบคุมประเภทนี้ใช้ได้กับสามแยกหรือทางแยกเดี่ยวในโครงข่ายซึ่งทางแยกแต่ละแห่งอยู่ไกลกันมากจนไม่ส่งผลต่อกัน เครื่องควบคุมชนิดนี้จะมีเครื่องตรวจจับปริมาณรถเฉพาะบนถนนสายรอง ถนนสายหลักจะได้รับสัญญาณไฟเขียวตลอดเวลา เครื่องควบคุมให้สัญญาณไฟเขียวกับถนนสายรองก็ต่อเมื่อเครื่องตรวจจับปริมาณรถตรวจพบว่ามีรถเข้ามาสู่ทางแยกจากถนนสายรอง ฉะนั้นการควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้ดีในกรณีที่สภาพการจราจรของถนนสายรองเบาบาง รถที่วิ่งบนถนนสายหลักจะวิ่งได้แบบต่อเนื่อง ในทางกลับกันข้อเสียของการที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องตรวจจับปริมาณรถบนถนนสายหลักคือจะไม่สามารถรับทราบข้อมูลปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก ดังนั้นกรณีที่รถในถนนสายรองมีจำนวนมากจะทำให้รถที่วิ่งบนถนนสายรองได้เปรียบรถบนถนนสายหลัก

ลักษณะที่ 2 เครื่องควบคุมชนิดแปรเปลี่ยนตามสภาพการจราจร (Actuated)

การควบคุมประเภทนี้ใช้ได้ที่ทางแยกเดี่ยวหรือเป็นทางแยกในโครงข่ายแต่ทางแยกแต่ละแห่งอยู่ไกลกันมากจนไม่ส่งผลต่อกัน เครื่องควบคุมชนิดนี้จะมีเครื่องตรวจจับปริมาณรถบนถนนทุกทิศทางเพื่อใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรของทุกทิศทางในการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวให้แปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรที่ตรวจพบได้จากเครื่องตรวจจับตามหลักการที่ได้ตั้งไว้ให้กับระบบสัญญาณไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัว

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

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้ในสภาพจราจรอิ่มตัวมีดังต่อไปนี้

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

สามารถแบ่งย่อยการกรองปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกหรือปิดกั้นจราจรบางส่วนที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤตได้เป็น 3 รูปแบบ

<u>รูปแบบที่ 1</u> การกรองปริมาณจราจรภายในโครงข่าย (Internal Metering)

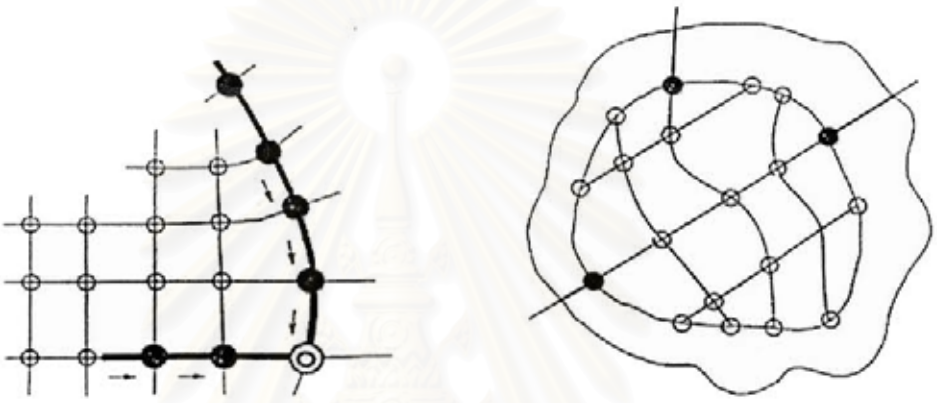
เป็นการกรองหรือปิดกั้นปริมาณการจราจรบางส่วนที่ผ่านทางแยกอื่น ๆ ที่อยู่ภายในโครงข่ายเพื่อเข้ามาสู่ทางแยกที่พิจารณา โดยทั่วไปมักจะเป็นทางแยกที่ประสบปัญหาจราจรสูงสุดหรือเรียกว่าทางแยกวิกฤต (Critical Intersection)

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)

เป็นการตั้งค่าออฟเซตเพื่อทำให้รถจำนวนใหม่เข้ามาที่ทางแยกเป็นเวลาเดียวกันกับแถวคอยที่ตกค้างจากรอบสัญญาณไฟก่อนหน้าเคลื่อนออกไปจากทางแยกพอดี การตั้งค่าออฟเซตจะเปลี่ยนไปเป็นดังสูตรคำนวณต่อไปนี้ (NCHRP,1978)

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

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)

วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวและมีรถแถวคอยในถนนสายหลักยาวจนปิดกั้นทางแยกจนรถที่อยู่ในถนนสายรองไม่สามารถเคลื่อนตัวออกไปได้ มีวัตถุประสงค์คือทำให้รถที่วิ่งอยู่ในถนนสายรองมีโอกาสเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไปได้โดยไม่ถูกแถวคอยจากถนนสายหลักปิดกั้น การควบคุมสัญญาณไฟจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักก่อน และจะให้สัญญาณไฟเขียวจนกระทั่งรถที่กั้นทางแยกเริ่มที่จะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไป จากนั้นเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวให้รถในทิศทางรองและให้สัญญาณไฟเขียวจนกระทั่งได้ค่าเหมาะสมที่รถปริมาณหนึ่งจากสายรองสามารถเลี้ยวเข้าสู่ทางหลักได้ ซึ่งไม่มากจนทำให้เกิดแถวคอยยาวจนกีดขวางทางแยก ค่าออฟเซตที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้ (NCHRP,1978)

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

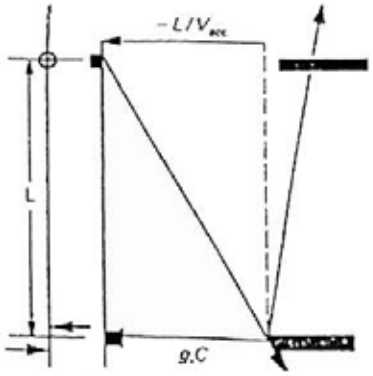
โดย t_{equity} คือ ค่าออฟเซตของวิธีจัดค่าออฟเซตด้วยดุลยพินิจ (วินาที)

g_1 คือ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวของทางแยก

C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

L คือ ระยะห่างระหว่างทางแยกสัญญาณไฟ (ฟุต)

V_{acc} คือ ความเร็วของกลุ่มจราจร (Acceleration wave) มีค่าประมาณ 16 ฟุตต่อวินาที

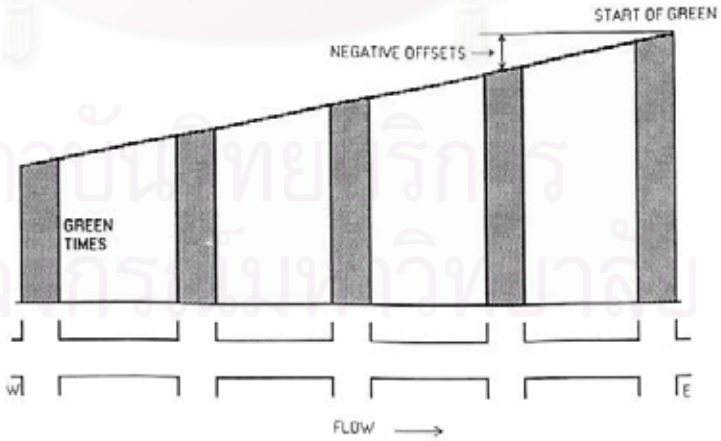


รูปที่ 2.3 การจัดค่าออฟเซตเพื่อความเป็นธรรม

ที่มา : McShane and Roess (1990)

2.3.4 วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (Flared green)

การให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่งนิยมใช้สำหรับโครงข่ายที่มีถนนสายหลักสายเดียว จุดประสงค์หลักของวิธีการนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพของการเคลื่อนตัวของการจราจร โดยการเปิดไฟเขียวในสัดส่วนที่มากขึ้นทำให้ปริมาณรถที่ทางแยกถัดไปได้อัตราส่วนของไฟเขียวมากขึ้นและมีแถวคอยลดลงเรื่อย ๆ ลักษณะที่ปรากฏดูคล้ายกับการกรองรถเข้าสู่โครงข่าย (Metering) โดยสัญญาณไฟเขียวที่มีอัตราส่วนของไฟเขียวน้อยกว่าจะเป็นตัวกรองปริมาณรถที่จะไปสู่ทางแยกถัดไป



รูปที่ 2.4 วิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางหลัก

ที่มา : Quinn (1992)

2.3.5 วิธีการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟน้อย

หลักการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟน้อยเพื่อทำให้มีปริมาณยวดยานที่วิ่งออกจากทางแยกสม่ำเสมอ มีระดับของปริมาณการจราจรอิ่มตัวสูง และมีโอกาสที่จะขจัดรถเลี้ยวที่ขวางทางแยกได้ดีกว่า

2.3.6 วิธีการใช้สัญญาณไฟแบบที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟมาก

หลักการควบคุมสัญญาณไฟโดยการเปิดสัญญาณไฟที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟมากจะใช้เพื่อระบายยวดยานให้ออกจากบริเวณที่มีการจราจรอิ่มตัวซึ่งเป็นวิธีที่ตำรวจบางพื้นที่นิยมใช้ วิธีการดังกล่าวจะมีผลดีตรงที่จะลดสัดส่วนของความสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรและช่วยเพิ่มความสามารถในการให้บริการของทางแยก

Newell (1998) ได้เสนอหลักการในการตัดสินใจว่าควรจะเพิ่มหรือลดช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวไว้ว่า การเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวก่อนที่แถวคอยหมด(ลดช่วงเวลา)จะส่งผลดีต่อการจราจรเฉพาะในกรณีที่ปริมาณการจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในรอบถัดไปมีแนวโน้มที่ลดลงเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติยังไม่มีวิธีการใดที่สามารถคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคตได้แม่นยำเพียงพอ

2.3.7 วิธีการเปิดสัญญาณไฟตามหลักการจัดการกับที่ว่างบนถนน

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นิยมใช้อีกวิธีหนึ่งคือการควบคุมสัญญาณไฟตามหลักการจัดการกับที่ว่างบนถนนซึ่งมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การควบคุมการเกิดแถวคอยจนย้อนกลับไปกีดขวางทางแยกก่อนหน้า มีบุคคลหรือกลุ่มบุคคลจำนวนมากที่สนใจเกี่ยวกับการจัดการที่ว่างบนถนนดังนี้

OECD(1981) เสนอว่าสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัว การคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟจะถูกควบคุมด้วยความยาวของที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป แต่ความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจะต้องยาวไม่เกินกว่าความยาวของถนนนั้น ๆ สามารถแสดงได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

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

โดย C คือ ความยาวของรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

f คือ ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)

L คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอย (เมตร)

d คือ ความยาวของยานพาหนะ (เมตรต่อคัน)

NCHRP(1978) เสนอว่าการคำนวณสัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพื่อที่จะทำให้อัตราการเกิดความคับคั่งในทุกทิศทางเท่า ๆ กัน จะสังเกตได้จากแถวคอยที่เกิดขึ้นจนย้อนกลับไปถึงขวางจราจรที่ทางแยกก่อนหน้าจะเกิดขึ้นพร้อมกันทุกทิศทาง สัดส่วนไฟเขียวดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

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

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

$$Q_A = L_A - f_A C$$

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

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

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

โดย α คือ ตัวปรับแก้

g_A คือ อัตราส่วนของสัญญาณไฟเขียวของจังหวะสัญญาณไฟ A

L_A คือ ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอย, คัน

l คือ เวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากการจราจรเริ่มเคลื่อนตัว,วินาที l

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อลองใช้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวที่ได้จากสูตรคำนวณข้างต้นทำงานจริง จะพบว่าสัดส่วนของไฟเขียวของทางแยกถัดไปจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับวิธีการให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่ง (Flared green)

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยอื่นได้เสนอวิธีการควบคุมสัญญาณไฟไว้อีกหลายแบบซึ่งจะกล่าวโดยย่อ ๆ ได้ดังนี้

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

Longley (1968) ทำงานบนโครงข่ายที่มีถนนสายหลักเส้นเดียวเช่นกัน โดยการรักษาสมดุลของแถวคอยบนถนนทั้ง4ทิศทาง เมื่อสิ้นสุดรอบสัญญาณไฟจะมีการพิจารณาค่าออฟเซตใหม่สำหรับสัญญาณไฟในรอบหน้าโดยอาศัยผลของแถวรอที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

Todli (1974) ควบคุมสัญญาณไฟโดยจัดให้สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียวแปรตามความยาวของแถวคอย โดยเป็นการทำงานบนโครงข่าย

2.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่

การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ซึ่งเป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร (Traffic Responsive System) จะใช้คอมพิวเตอร์และเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) เป็นส่วนประกอบหลักในการควบคุมสัญญาณไฟ การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่มีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในขณะนั้นๆนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นผลให้สามารถตอบสนองต่อสภาพจราจรในขณะนั้นๆได้รวดเร็ว และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจรได้ถ้าหากมีวิธีการควบคุมที่ดีเพียงพอ ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่จะเป็นที่นิยมมากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ (Fixed Time Control) แบบเดิมที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐาน

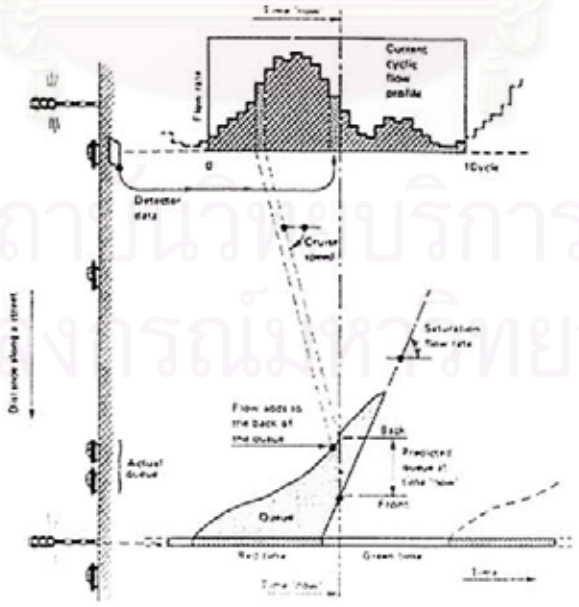
การควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่บางส่วนเป็นการควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนกลางเป็นตัวประมวลผล (Urban Traffic Control, UTC หรือ Area Traffic Control, ATC) ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะมีหลักการในการควบคุมคงที่แบบหนึ่ง เช่น ระบบSCOOT (Signal Cycle Offset Optimization Technique) และระบบSCAT (Sydney Coordinated Area Traffic System) เป็นต้น ในขณะที่บางส่วนจะเป็นการ

ควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนกลางเป็นตัวประมวลผล แต่จะมีเทคนิคในการควบคุมสัญญาณไฟที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพจราจรที่ไม่คงที่ เช่น วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคเจเนติก อัลกอริทึม, วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ, วิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค, และวิธีการเปิดสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัสซี ลอจิค เป็นต้น เทคนิคดังกล่าวมาแล้วข้างต้นอาจรวมเรียกว่าเป็นการทำงานแบบ "ปัญญาประดิษฐ์" (Artificial Intelligence, AI)

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟสมัยใหม่ที่ปรากฏมีดังต่อไปนี้

2.4.1 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบ SCOOT

เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่เรียกว่าAdaptive ซึ่งหมายความว่าระบบSCOOT จะใช้ข้อมูลจราจรในปัจจุบันเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่เรียกว่า 'Cyclic Flow Profiles' ซึ่งใช้ในการประมาณจำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยกในช่วงสัญญาณไฟแดง โดยการคาดการณ์จำนวนรถที่เข้ามาสู่ทางแยกซึ่งได้มาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟจราจรหลาย ๆ แบบอันได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต แล้วพิจารณาหาชุดของพารามิเตอร์ในการจัดสัญญาณไฟที่มีผลรวมของเวลาในการรอคอยและจำนวนครั้งที่หยุดโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดของทุกทางแยกพร้อม ๆ กัน ซึ่งหมายถึงค่าสัญญาณไฟที่ได้จะทำให้ผลรวมของเวลาในการคอยและหยุดของรถทุกคันที่เข้าสู่ทางแยกน้อยที่สุด โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่ากลุ่มยวดยานจะเคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยกด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง 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 หากพบว่าจะต้องเพิ่มหรือลดจังหวะสัญญาณไฟจราจรระบบ SCOOT จะปรับการเปลี่ยนแปลงทีละเล็กละน้อยอย่างค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้ระบบ SCOOT จะทำการตรวจสอบความเหมาะสมของความยาวรอบสัญญาณไฟและออฟเซตในทุกรอบสัญญาณและเมื่อเวลาผ่านไป 2-3 นาที

ข้อสังเกต ระบบ SCOOT จะใช้วัตถุประสงค์ในการควบคุมสัญญาณไฟเพียงวัตถุประสงค์เดียวในการควบคุมสัญญาณไฟทุกสภาพจราจร ดังนั้นถึงแม้ว่าระบบ SCOOT จะแปรเปลี่ยนสัญญาณไฟตามสภาพจราจรอย่างไร แต่ตั้งอยู่บนวัตถุประสงค์ของการควบคุมคงเดิมเสมอ

2.4.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้ระบบSCAT

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

ข้อมูลที่ระบบ SCAT ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟคือระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ใช้อย่างเต็มที่ต่อช่วงสัญญาณไฟเขียวทั้งหมด ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ใช้คือความยาวรอบสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวของช่องทางที่มีระดับความอิ่มตัวสูงสุด จังหวะสัญญาณไฟที่ใช้คือจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มยวดยานบนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด

2.4.3 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคเจเนติก อัลกอลิทึม (Genetic Algorithm, GA)

เทคนิคเจเนติก อัลกอลิทึมเป็นเทคนิคหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ โดยมีแนวคิดมาจากหลักการพื้นฐานของเซลของสิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบย่อยๆที่เรียกว่ายีน (gene) ยีนแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะที่เปลี่ยนแปลงไปตามวิธีการแตกหน่อ (Reproduction) การข้ามพันธ์ (Cross-Over) และการผ่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เหล่า (Mutation) ของยีนลูกจากยีนแม่ การใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อใช้ในการสร้างชุดของพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟ ได้แก่ การจัดจังหวะสัญญาณไฟ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนของสัญญาณไฟเขียว และค่าออฟเซต (Foy,1992)

การแตกหน่อ(Reproduction) เช่น ยีนอนุพันธ์123 ได้มาจากยีนแม่ 12

การข้ามพันธ์(Cross-Over) เช่น ยีนแม่12 และยีนแม่34 เมื่อผ่านการข้ามพันธ์แล้วจะได้อนุพันธ์เป็นยีนอนุพันธ์14 และยีนอนุพันธ์23

การผ่าเหล่า(Mutation) เช่น ยีนแม่1234 อาจผ่าเหล่าเป็นยีนอนุพันธ์1254

การเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดจะเลือกตามเงื่อนไขที่วางไว้ของเทคนิคเทคนิคเจเนติก อัลกอลิทึม 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

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

โดย f' คือ ค่าของ Heuristic Function

g คือ ค่าใช้จ่ายจากภาวะเริ่มต้นถึงภาวะปัจจุบัน

h' คือ ค่าใช้จ่ายโดยประมาณจากภาวะปัจจุบันถึงภาวะสุดท้าย

2.4.4 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System, ES)

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

รูปแบบของเงื่อนไขโดยทั่วไปจะใช้รูปแบบการหาเหตุผล 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการหาเหตุผลแบบอุปนัย (Induction) ซึ่งเป็นการสรุปเหตุผลมาจากเหตุการณ์ย่อยเพื่อสรุปหาเหตุการณ์ใหญ่ รูป

แบบการหาเหตุผลแบบนิรนัย (Deduction) ซึ่งเป็นการหาเหตุผลจากเหตุการณ์ใหญ่ไปเป็นเหตุการณ์ย่อย และรูปแบบการหาเหตุผลแบบต่อเนื่อง

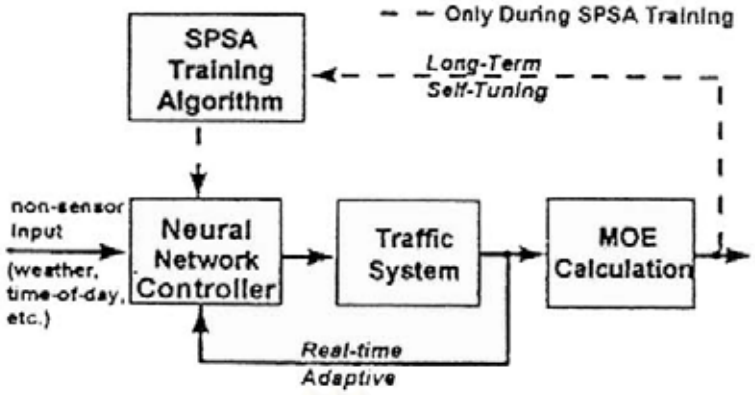
Ritchie(1990) นำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่วางไว้ในตัวระบบผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะประมวลผลลัพธ์ โดยเงื่อนไขที่วางไว้จะได้มาจากข้อมูลในอดีตจำนวนมาก และผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณผ่านระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีคำตอบเพียงที่ชัดเจนเพียงคำตอบเดียวที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้ก่อนทุกประการ เช่น การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้พารามิเตอร์หนึ่ง จะต้องมีคุณสมบัติต่าง 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



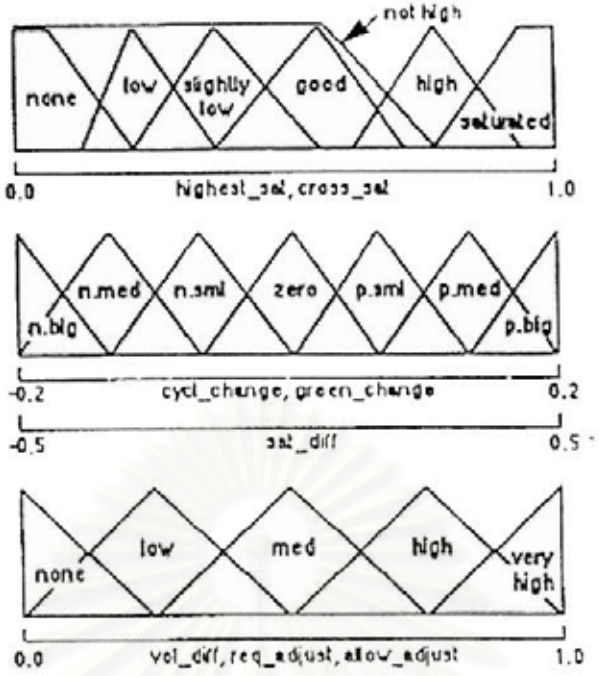
รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค
ที่มา : Spall and Chin (1997)

2.4.6 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัสซี ลอจิค (Fuzzy Logic, FL)

การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้เทคนิคฟัสซี ลอจิคมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความจะเป็น (Probabilistic) เป็นตัวช่วยในการตัดสินใจ โดยระบบเลือกพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟที่มีความน่าจะเป็นไปได้ตรงตามเงื่อนไขที่วางไว้มากที่สุด โดยเงื่อนไขที่วางไว้เป็นเงื่อนไขในลักษณะที่เป็นความน่าจะเป็นที่ได้มาจากข้อมูลในอดีตเป็นพื้นฐาน

Pappis and Mamdani (1977) ใช้การควบคุมสัญญาณไฟโดยเทคนิคฟัสซี ลอจิคในการควบคุมสัญญาณไฟที่เป็นทางแยกของถนนวิ่งทางเดียว (One-way Street) โดยการวางเครื่องตรวจจับปริมาณรถ (Detector) ไว้ตรงตำแหน่งที่ไกลพอที่จะเก็บข้อมูลปริมาณจราจร และทำนายอัตราปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก จำนวนรถที่ผ่านทางแยกออกไปและความยาวของแถวคอยที่เวลา N วินาทีต่อไป ผลการทำนายจะผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัสซี (Fuzzy Decision) เพื่อหาว่าควรเพิ่มเวลาไฟเขียวที่ N วินาทีถัดไปหรือไม่ โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นจะเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

Chui. and Chand (1993) ใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้เทคนิคฟัสซี ลอจิคในการควบคุมโครงข่ายที่เป็นทางแยกของถนนที่วิ่งสวนทาง โดยการใช้ข้อมูลจราจรของทางแยกต่าง ๆ ที่เป็นอิสระต่อกัน ผ่านกระบวนการตัดสินใจแบบฟัสซี (Fuzzy Decision) เพื่อใช้ในการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร จังหวะสัญญาณไฟจราจร และค่าออฟเซต ให้ได้สัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวของช่องทางที่มีระดับความอิ่มตัวสูงสุด การจัดจังหวะสัญญาณไฟที่สามารถรักษาระดับความอิ่มตัวให้คงที่ และจัดให้มีค่าออฟเซตที่ทำให้กลุ่มยวดยานบนทิศทางหลักในกลุ่มย่อยมีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่ารถที่วิ่งอยู่ในโครงข่ายจะไม่สามารถเปลี่ยนช่องทางและเลี้ยวได้

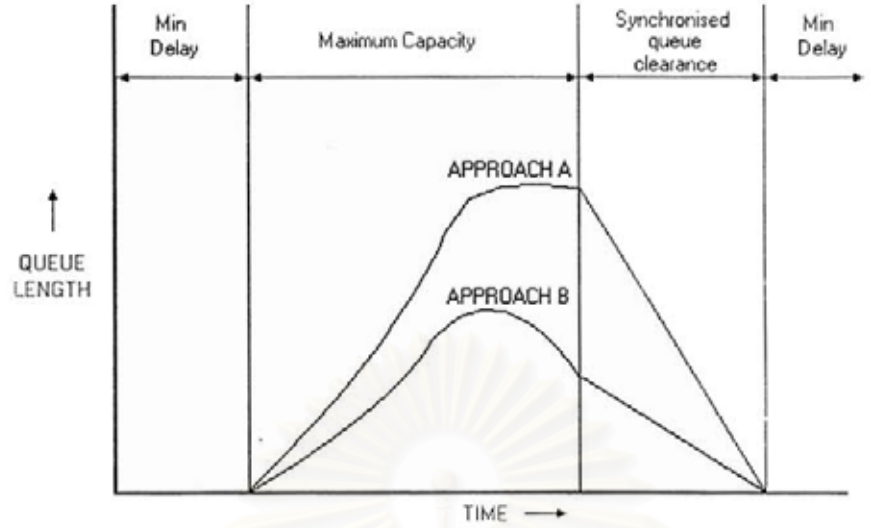


รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของ Fuzzy Logic

ที่มา : Chui, S. and Chand, S. (1993)

2.5 การควบคุมสัญญาณไฟเมื่อมีปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป

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



รูปที่ 2.8 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟเพื่อขจัดแถวคอย

ที่มา : Quinn (1992)

จะเห็นได้ว่าวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพจราจร ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีควรจะมีความยืดหยุ่นที่ดีเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์ของการควบคุมสัญญาณไฟ และระบบควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้จะต้องสามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรได้ ฉะนั้นระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เป็นแบบคงที่ (Fixed time) จึงไม่สามารถใช้งานได้ ส่วนระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เป็นแบบตอบสนองต่อปริมาณจราจรปัจจุบัน (Responsive) จะสามารถใช้งานได้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

แบบจำลองมหภาคเป็นแบบจำลองที่พิจารณาลักษณะจราจรเป็นกลุ่มยวดยาน โดยไม่พิจารณารายละเอียดระหว่างรถ 2 คัน แต่จะพิจารณาพฤติกรรมของการจราจรโดยรวม การพิจารณาในลักษณะจราจรดังกล่าวเป็นการรวมพฤติกรรมที่เกิดจากปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างรถแต่ละคัน ตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้จะเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณากลุ่มยวดยานที่มีลักษณะเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างยวดยานในแง่ของสถิติ โปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการประมวลผลที่นิยมในปัจจุบัน คือ โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT) โปรแกรม HCS โดยอาศัยโปรแกรม CINEMA ช่วย และ โปรแกรม Synchro® เป็นต้น

3.1 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (Traffic Simulation Programs)

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นิยมใช้ในปัจจุบันทั้งที่เป็นแบบจำลองมหภาคและแบบจำลองจุลภาคมีดังต่อไปนี้

3.1.1 โปรแกรม CORSIM (Netsim)

โปรแกรม CORSIM เป็นระบบโปรแกรมที่มีโปรแกรมย่อยชื่อ Netsim ซึ่งใช้แบบจำลองแบบจุลภาคที่ให้ความสำคัญกับข้อมูลในระดับย่อย คือระดับยวดยานสามารถจำลองสภาพจราจรเพื่อใช้ในการประเมินผลทั้งทางแยกที่มีสัญญาณไฟและไม่มีสัญญาณไฟ แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรม CORSIM เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถตามกัน สามารถใช้จำลองสภาพจราจรได้ทั้งระดับทางแยกเดี่ยวและระดับโครงข่าย อีกทั้งโปรแกรม CORSIM ยังเป็นโปรแกรมที่ได้รับการทดสอบและเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าเป็นโปรแกรมหนึ่งที่สามารถสะท้อนให้เห็นลักษณะจราจรได้ถูกต้องพอสมควร

3.1.2 โปรแกรม SimTraffic

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

3.1.3 โปรแกรม HCS

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

3.1.4 โปรแกรม Synchro®

โปรแกรม Synchro® เป็นโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคของ HCM ในการจำลองสภาพจราจรและสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบที่เหมาะสมกับสภาพจราจรขณะนั้น ๆ ทั้งในการพิจารณาทางแยกเดี่ยวและโครงข่าย ข้อได้เปรียบของโปรแกรม Synchro® ที่มีเหนือโปรแกรม HCS อยู่

ตรงที่โปรแกรม Synchro® สามารถปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ออฟเซตและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวได้ง่ายกว่ามาก และยังสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบที่เหมาะสมในระดับโครงข่ายได้

3.1.5 โปรแกรมทรานสิต (TRANSYT)

โปรแกรมทรานสิตเป็นโปรแกรมแบบที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการจำลองสภาพจราจรและสามารถแนะนำวิธีการจัดสัญญาณไฟแบบเพื่อใช้ในการประเมินผลการจัดสัญญาณไฟเป็นหลักที่เหมาะสมกับสภาวะที่เป็นเงื่อนไขที่ถูกสร้างไว้ได้ในระดับโครงข่าย เช่น เงื่อนไขในการสร้างวิธีจัดสัญญาณไฟให้มีความล่าช้าที่เกิดขึ้นต่ำสุด โปรแกรมทรานสิตจะประเมินสภาพจราจรได้ทั้งในแง่ความล่าช้า จำนวนการหยุดและการเผาผลาญเชื้อเพลิง อีกทั้งโปรแกรมทรานสิตสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ที่แสดงลักษณะการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน ข้อดีประการหนึ่งของโปรแกรมทรานสิต คือ สามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองมหภาคได้อย่างอิสระ โดยสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้และมีสมการความสัมพันธ์ให้เลือกใช้จำนวนมากพอสมควร

โปรแกรมทรานสิตในรุ่นที่ 8 ซึ่งเป็นรุ่นล่าสุดของโปรแกรมทรานสิตได้รับการตรวจสอบแล้วว่าสามารถนำไปใช้ในการจำลองสภาพจราจรอิ่มตัวได้ดีพอสมควร (จิตติชัย และคณะ, 2541)

3.2 การเปรียบเทียบและคัดเลือกโปรแกรมสำหรับทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัว

การคัดเลือกโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรอิ่มตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะใช้หลักเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

เกณฑ์ที่ 1 ในแง่ของการนำไปใช้จำลองสภาพจราจรในสภาพจริงแล้วสามารถสามารถสะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมที่เป็นจริงได้อย่างชัดเจน

เกณฑ์ที่ 2 สามารถใช้จำลองแบบจำลองที่มีเป็นโครงข่ายจราจรได้

เกณฑ์ที่ 3 สามารถใช้จำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะเป็นหลายช่วงเวลาต่อเนื่องได้

เกณฑ์ที่ 4 สามารถใช้จำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัวได้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบโปรแกรมจำลองสภาพจราจรในปัจจุบันด้วยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา

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 และโปรแกรมดังกล่าวมีข้อได้เปรียบทางด้านความยืดหยุ่นในการจำลองสภาพจราจรมาก 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 กระบวนการจำลองสภาพ(Simulation Process)

โปรแกรมทรานสิตมีรูปแบบการจำลองสภาพจราจรอยู่ 2 ลักษณะซึ่งใช้ในสภาพจราจรที่แตกต่างกัน คือ การจำลองแบบลิงค์และการจำลองแบบขั้นซึ่งสามารถใช้ในการจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัวได้ ซึ่งมีรายละเอียดของการจำลองแต่ละรูปแบบดังนี้

แบบที่1 การจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ (Link-wise Simulation)

การจำลองแบบสภาพจราจรแบบลิงค์เป็นวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบที่ทำการคำนวณลิงค์และโหนด โดยคำนวณวนซ้ำผ่านทุกลิงค์แล้วจึงคำนวณซ้ำผ่านทุกขั้นเวลา (loop through all links, then loop through all time step) วิธีการจำลองแบบลิงค์นี้จะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง สามารถให้ผลที่น่าเชื่อถือในสภาพจราจรที่ไม่ติดขัด แต่จะไม่เหมาะเมื่อนำไปใช้กับกรณีที่มีสภาพจราจรติดขัด เนื่องจากจะไม่มีการนำผลของแถวคอยตกค้างจากรอบสัญญาณก่อนหน้ามาคิดเป็นปัจจัย

นอกจากนี้ในการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ จะสมมติให้รถที่เข้ามาในโครงข่ายเกิดขึ้นที่เส้นหยุดโดยไม่คำนึงถึงความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้น จึงไม่คำนวณเวลาที่รถวิ่งจากแถวคอยมาถึงเส้นหยุด และจะสมมติให้แถวคอยเป็นแถวคอยในลักษณะแนวตั้ง (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

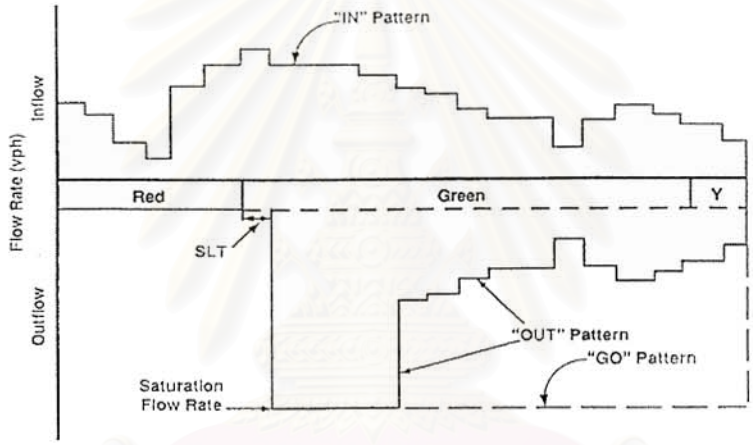
- แสดงแบบจำลองของสภาพการติดขัด รวมทั้งผลจากความยาวของแถวคอยที่ล้นออกมายังลิงค์ถัดไป (Spillback effects)
- ทำให้การคำนวณความยาวแถวคอยที่แม่นยำขึ้น
- ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกจะเกิดที่ด้านหลังของแถวคอย
- มีการแสดงการจำลองสภาพจราจรหลายช่วงเวลา

- สามารถใช้กับกลุ่มทางแยกที่ติดกันแต่มีความยาวรอบสัญญาณไฟแตกต่างกันได้

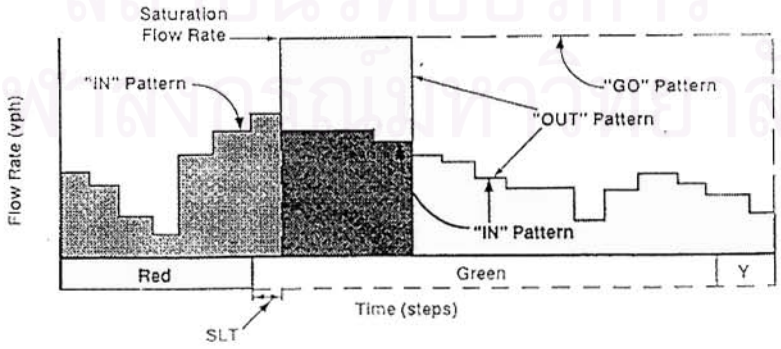
การจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลามีประสิทธิภาพในการคำนวณน้อยกว่าการจำลองแบบลิงค์ กล่าวคือจะใช้เวลาในการคำนวณนานกว่า แต่อย่างไรก็ดีในสภาพจราจรอิ่มตัวการจำลองสภาพจราจรแบบนี้มีความถูกต้องมากกว่า

3.3.2 รูปแบบการจำลองการจราจร

การประมวลผลลัพธ์ของโปรแกรมทรานสิตอาศัยรูปแบบการจำลองสภาพจราจร 3 รูปแบบ คือ รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยก (IN) รูปแบบการจราจรอิ่มตัว (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

$$IN_{it} = \sum_{j}^{n} F_{ij}\left(P_{ij} OUT_{jt'}\right) \qquad (3.1)$$

โดย IN_{it} = ลักษณะรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ลิงค์ i ที่ขั้นเวลา t

F_{ij} = ตัวคูณสำหรับการปรับแก้

P_{ij} = สัดส่วนของรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป

$OUT_{jt'}$ = รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจากลิงค์ j ที่ขั้นเวลา t'

สำหรับการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกสมมติว่าเกิดขึ้นที่เส้นหยุด ส่วนการจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลาปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกสมมติว่าเกิดขึ้นที่ท้ายแถวคอย

รูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของลิงค์ภายนอกโครงข่ายที่สนใจและการจราจรที่เข้ามาสู่ระบบระหว่างทางแยกภายในโครงข่าย (Midblock) มีลักษณะสม่ำเสมอ แต่เมื่อเวลาผ่านไปรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกมีแนวโน้มว่าเป็นรูปแบบการจราจรแบบสุ่ม ส่วนรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกของลิงค์ภายในโครงข่ายจะมีรูปแบบที่ได้รับผลมาจากการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน

รูปแบบที่ 2 รูปแบบการจราจรอิ่มตัว

รูปแบบการจราจรอิ่มตัวหรือเรียกอย่างย่อว่า รูปแบบแบบ "GO" คือ อัตราที่ปริมาณจราจรเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุด สำหรับกรณีที่ช่วงสัญญาณไฟเขียวมีความยาวเพียงพอ ค่าปริมาณจราจรอิ่มตัวจะเป็นค่าที่ต้องใส่เอง (user input) สำหรับการจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลา ปริมาณจราจรที่ย้อนกลับไปบังทางแยกเนื่องจากถนนที่ทางแยกถัดไปอยู่ในสภาพอิ่มตัว จะทำให้รูปแบบการจราจรอิ่มตัวมีค่าลดลง ลิงค์ที่มีปริมาณจราจรอยู่เต็ม จะมีรูปแบบการจราจรอิ่มตัวเป็นศูนย์

รูปแบบที่ 3 รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป

รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปหรือเรียกอย่างย่อว่า รูปแบบแบบ "OUT" จะเป็นภาพตัดขวางของการจราจรที่ผ่านเส้นหยุดออกไป โดยรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจะมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการจราจรอิ่มตัวตลอดช่วงเวลาที่มีแถวคอย หลังจากที่แถวคอยหมดไปรูปแบบการจราจรที่

เคลื่อนที่ออกไปจะมีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกตลอดช่วงเวลาไฟเขียวประสิทธิผลที่เหลือ

3.3.3 รูปแบบของสัญญาณไฟรอบแรก

การจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลาซึ่งเหมาะสมกับการจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัวจะมีความยุ่งยากเล็กน้อย เนื่องจากขาดข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณในรอบแรก คือ รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปของการจราจรในรอบก่อนหน้า ส่วนการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์จะไม่มีปัญหาเนื่องจากการจำลองสภาพจะไล่ไปจากทางแยกไปสู่ที่ทางแยกถัดไป ดังนั้นจึงมีรูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปที่แน่นอนสำหรับข้อมูลที่ทางแยกถัดไป

ในกรณีที่เป็นการจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลาจึงจะต้องมีการใส่รูปแบบของสัญญาณไฟในรอบแรกก่อน จึงจะได้รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไป แต่ทั้งนี้ยังจะไม่มีการคำนวณตัววัดประสิทธิภาพอื่น ๆ ในการจำลองสัญญาณไฟในรอบแรกนี้

จากคำอธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้ โปรแกรมทรานสิตจะใช้แบบจำลองที่มีพื้นฐานของวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบลิงค์เพื่อสร้างรูปแบบการจราจรของสัญญาณไฟรอบแรก แต่ในการสร้างแถวคอยจะต้องสร้างช่วงเวลาอีกช่วงหนึ่งเพื่อจำลองสภาพโดยมีพื้นฐานของวิธีการจำลองสภาพจราจรแบบขั้นเวลา ซึ่งจะใช้แบบจำลองแถวคอยอีกแบบหนึ่งที่มีระบบกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ปริมาณจราจรเต็มลิงค์แล้วย้อนกลับไปบังทางแยก

3.3.4 การกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน (Platoon dispersion)

สัญญาณไฟจราจรเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดกลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ไปในลิงค์ โปรแกรมทรานสิตจะสร้างแบบจำลองของการกระจายตัวของกลุ่มยวดยานไปตามความยาวของถนน

การจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์ : ปริมาณจราจรที่เข้ามาเปรียบเสมือนว่าเข้ามาที่เส้น หยุดโดยไม่มีการคำนึงถึงความยาวของแถวคอย

การจำลองสภาพการจราจรแบบขั้นเวลา : ปริมาณจราจรที่เข้ามาเปรียบเสมือนว่าเข้ามาที่ตำแหน่งหลังสุดของแถวคอย โดยที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้

ดังนั้นปริมาณการจราจรที่เคลื่อนที่เข้ามาสู่ทางแยกจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

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

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

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

α = ปัจจัยการกระจายตัวของกลุ่มยวดยาน

v_t = ปริมาณจราจรของกลุ่มยวดยานกลุ่มแรกที่ช่วงเวลา t

β = ตัวคูณโดยปกติใช้เท่ากับ 0.8

T = เวลาในการเดินทางบนลิงค์ (นับเป็นจำนวนขั้นเวลา)

F = ตัวคูณปรับแก้

ค่าแฟคเตอร์การกระจายตัวของกลุ่มยวดยานมีค่าขึ้นอยู่กับปัจจัยของ ความชัน (grade) ความโค้ง (curvature) การจอดรถ(parking) ปริมาณจราจรทิศตรงข้ามที่ตัดกระแสจราจร(opposing flow interference) และการขัดขวางการจราจรจากแหล่งอื่น ๆ (other sources of impedance) (สรวิศ และ อนุกัลย์, 2541) ส่วนค่าแฟคเตอร์การกระจายตัวของกลุ่มยวดยานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.35

ตารางที่ 3.2 ดัชนีการกระจายตัว (Platoon Dispersion Index)

ดัชนีการกระจายตัว	การกระจายตัว	หมายเหตุ
ศูนย์	การกระจายตัวสม่ำเสมอ	ไม่มีความผันแปร
ค่าน้อย		มีการกระจายตัวน้อย ไม่มีการขัดขวางจากสภาพจราจรโดยรอบ
ค่ามาก	กระจายตัวน้อย มีการประสานสัญาณไฟ มีความแตกต่างของความเร็วมาก	

วิธีการวัดเวลาในการเดินทาง (Travel time) แบ่งเป็น 2 กรณี

การจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์ : จะนับเวลาในการเดินทางจากเส้นหยุดของทางแยกก่อนหน้าไปถึงเส้นหยุดของทางแยกถัดไป

การจำลองสภาพการจราจรแบบขั้นเวลา : จะนับเวลาในการเดินทางจากเส้นหยุดของทางแยกก่อนหน้าไปถึงหลังของแถวคอยของทางแยกถัดไป

3.3.5 ความผันแปรของตัวพารามิเตอร์

ความผันแปรของตัวพารามิเตอร์เป็นการเปรียบเทียบตัววัดประสิทธิภาพของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป หากเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใส่ไว้หรือตั้งไว้จะสามารถทดสอบได้โดยการจำลองสภาพการจราจรแบบลิงค์เท่านั้น สามารถสรุปความผันแปรอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวรอบสัญญาณไฟและการจัดจังหวะสัญญาณไฟจะส่งผลให้รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปและรูปแบบของการจราจรที่ทางแยกถัดไปผันแปรจากเดิม
- บนลิงค์ใดๆ รูปแบบการจราจรที่เคลื่อนที่ออกไปจะมีค่าเท่ากับปริมาณการจราจร
- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวจะทำให้ลักษณะการจราจรเปลี่ยนแปลงไป

หลักการสำคัญประการหนึ่งของโปรแกรมทรานสิตคือ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์จากโปรแกรมอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟมีค่ามากกว่าความผันแปรของตัวพารามิเตอร์ปัจจุบัน จะต้องคำนวณรูปแบบของปริมาณการจราจรของถนนถัดไปซ้ำอีกครั้งอีกครั้ง แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าจะถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงและไม่มีความแตกต่างระหว่างลิงค์จึงไม่มีการคำนวณหาค่าปริมาณการจราจรซ้ำ

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)
- เวลาที่สามารถขจัดสภาพการจราจรติดขัด
- ระยะเวลาที่ใช้ในการขจัดสภาพการจราจรติดขัด

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่สำคัญแสดงไว้ดังต่อไปนี้

3.3.6.1 ความล่าช้าและระดับการให้บริการ

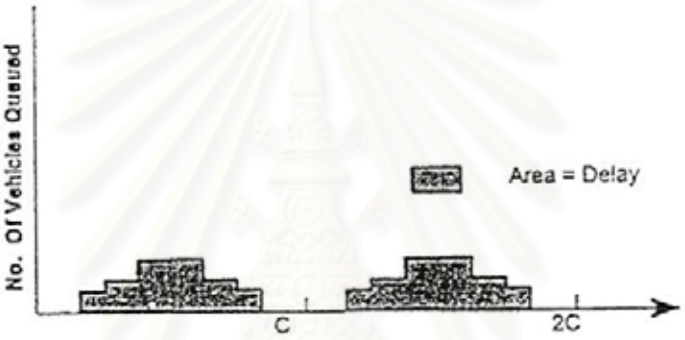
ตัววัดประสิทธิภาพที่สำคัญที่สุด คือ ความล่าช้าของยวดยาน เนื่องจากเป็นตัวสะท้อนที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากเวลาที่สูญเสีย ความไม่สะดวกสบาย ความวิตกกังวล การใช้ทรัพยากร นอกจากนี้ความล่าช้าที่ทางแยกยังชี้ว่าการจัดสัญญาณไฟแบบใดเป็นการจัดสัญญาณไฟที่ดีกว่า

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

โปรแกรมทรานสิตจะประเมินความล่าช้าจากการเคลื่อนตัวของยวดยานผ่านทางแยกที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาว่ารถที่วิ่งผ่านทางแยกออกไปโดยมีการหยุดรอเปรียบเทียบกับรถที่วิ่งผ่านทางแยกออกไปโดยไม่ต้องหยุดรอซึ่งเป็นสภาพอุดมคติ (Ideal Condition) โดยไม่คำนึงว่าจะมีจำนวนครั้งของการหยุดต่างกันแต่จะใช้การพิจารณาการเผาผลาญพลังงานเป็นเกณฑ์หลัก โปรแกรม

ทรานสิตจะไม่แสดงวิถีทางเดิน (Trajectory) ของยวดยานเป็นรายคันเพื่อใช้ในการประมาณค่าความล่าช้า หากแต่โปรแกรมจะมองภาพโดยรวมของภาพร่างของกระแสจราจร (Flow profiles) เพื่อใช้ในการประเมินความล่าช้า

การประเมินความล่าช้าของโปรแกรมทรานสิตจะแบ่งความล่าช้าเป็น 2 กลุ่ม คือ ความล่าช้าสม่ำเสมอ (Uniform delay) สำหรับกรณีที่สามารถจัดรถให้ออกจากทางแยกได้หมดใน 1 รอบสัญญาณไฟ และ ความล่าช้าแบบสุ่ม (Random delay) เป็นพจน์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่สามารถจัดสัญญาณไฟให้รองรับปริมาณจราจรที่มีมากขึ้นจนไม่สามารถขจัดแถวคอยได้ภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ สำหรับพจน์ที่เป็นความล่าช้าสม่ำเสมอ โปรแกรมทรานสิตจะคำนวณค่าความล่าช้าสม่ำเสมอจากความยาวแถวคอยเฉลี่ยใน 1 รอบสัญญาณไฟ ความล่าช้าสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับพื้นที่แรเงาในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความล่าช้าสม่ำเสมอ

ที่มา : Wallace, et al. (1998)

ความล่าช้าสม่ำเสมอสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.4

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

โดยที่ D_u = ความล่าช้าสม่ำเสมอ (คัน-ชม/ชม)

m_t = ความยาวของแถวคอยในขั้นเวลา t (คัน)

N = จำนวนขั้นเวลาใน 1 รอบสัญญาณไฟ

ความล่าช้าข้างต้นไม่สามารถจะตอบสนองปริมาณยวดยานที่เข้ามาสู่ทางแยกแบบไม่คงที่ ดังนั้นจะต้องมีพจน์ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับคำนวณผลของความล่าช้าในช่วงที่เป็นแบบสุ่ม และความล่าช้าในช่วงที่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (Oversaturated delay, D_{ro}) โดยท

รานสิตในรุ่นที่ 8 ใช้ความล่าช้าในช่วงที่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกตามแบบจำลองของ HCM ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \tag{3.5}$$

โดย d = ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน)

d_1 = ความล่าช้าสม่ำเสมอเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน)

PF = ตัวคูณสำหรับความล่าช้าที่มาจากการให้ความสำคัญแก่กลุ่มรถ

d_2 = ความล่าช้าส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความล่าช้าแบบสุ่ม (วินาทีต่อคัน)

d_3 = ความล่าช้าส่วนเกินเนื่องมาจากความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นก่อนช่วงเวลาที่ทำการจำลองสภาพจราจร (วินาทีต่อคัน)

หรืออาจลดรูปสมการ 3.5 ลงมาเป็น

$$D = D_u + D_{ro} \tag{3.6}$$

โดย D_u หาได้จากสมการที่ 3.4 และ

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

T = ความยาวช่วงเวลาที่พิจารณา (ชั่วโมง)

K = ตัวคูณความล่าช้าซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ สำหรับกรณีที่เป็นการควบคุมแบบคงที่ จะใช้ค่า K = 0.5

I = ตัวคูณสำหรับกรองปริมาณจราจร (Filtering)

C = ความสามารถในการให้บริการของช่องทางเดินรถ (คันต่อชั่วโมง)

X = ระดับความอิ่มตัว

V = ปริมาณจราจรบนถนน

หากมีการจำลองสภาพจราจรแบบหลายช่วงเวลาต่อเนื่องกัน โปรแกรมจะปรับแก้แบบจำลองอีกครั้งด้วยส่วนประกอบที่แสดงได้ดังสมการ 3.8

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

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

ตารางที่ 3.3 ระดับการให้บริการสำหรับทางแยกที่มีการควบคุมด้วยสัญญาณไฟ

ที่มา : Wallace, et al. (1998)

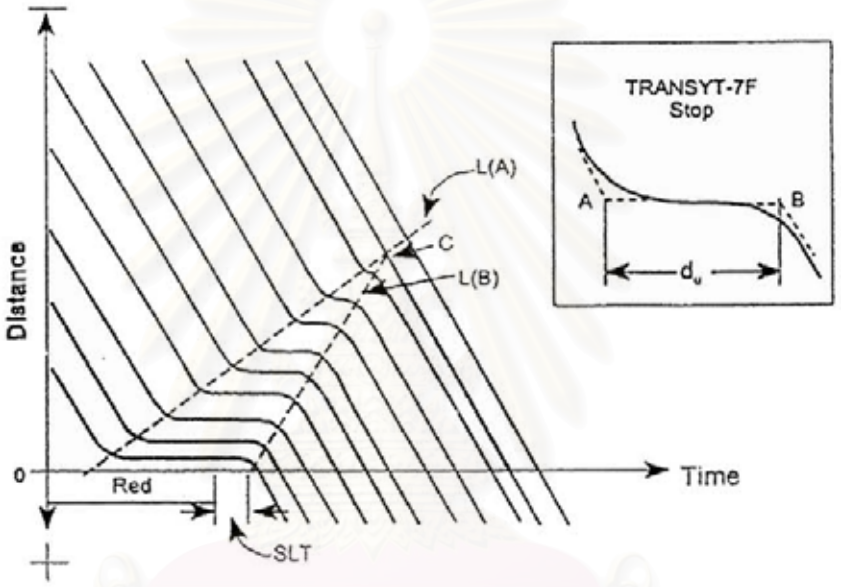
ระดับการให้บริการ	สภาพจราจร	ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/คัน)
A	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างเต็มที่และสามารถผ่านไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียว	น้อยกว่า 10
B	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน สามารถเคลื่อนตัวได้ดีแต่มีการหยุดเกิดขึ้นมากกว่าระดับ A	ระหว่าง 10 กับ 20
C	การเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานยังสามารถเคลื่อนตัวได้แต่มีจำนวนรถที่ต้องหยุดมากขึ้น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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.6.2 จำนวนครั้งของการหยุด

โปรแกรมทรานสิตจะสมมติว่ายวดยานที่มีความล่าช้าจะต้องหยุดเสมอ แต่ในความเป็นจริงไม่ใช่ว่าจะเป็นอย่างสมมติฐานเสมอไป แต่เนื่องจากในสภาพการหยุดของรถจะมีอยู่หลายกรณี กล่าวคือการหยุดอาจจะหยุดจริงหรือชะลอแต่ไม่หยุด จากรูปที่ 3.4 แสดงสภาพความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับระยะทางของการเข้าและออกจากแถวคอยของยวดยาน

เมื่อจุด A และ B คือ จุดที่ยวดยานเข้าและออกจากแถวคอย
L(A) และ L(B) คือขอบด้านหลังและด้านหน้าของของแถวคอยตามลำดับ



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

สำหรับการจำลองแบบของรอบเดี่ยวในโปรแกรมทรานสิตจะคำนวณจำนวนครั้งของการหยุดโดยคูณเปอร์เซนต์ของจำนวนยวดยานที่หยุดกับจำนวนรถที่ออกจากเส้นหยุด เมื่อปริมาณจราจรที่ลิงค์เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกกล่าวคือยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ทั้งหมดในช่วงเวลาไฟเขียว ดังนั้นผลคูณจำนวนครั้งของการหยุดดังกล่าวจะพิจารณาเฉพาะรถที่สามารถเคลื่อนที่ออกได้ในช่วงเวลาไฟเขียว ส่วนรถที่ไม่สามารถเคลื่อนตัวผ่านทางแยกได้จะไม่นำมาพิจารณา ถึงแม้ว่าจะหยุดคอยในสัญญาณที่ผ่านมาก็ตาม

ดังนั้นผลรวมของจำนวนครั้งของการหยุดทั้งหมดจึงเท่ากับผลบวกของผลคูณดังกล่าวบวกด้วยจำนวนรถที่ติดอยู่ในแถวคอย ผลเนื่องจากการรวมจำนวนการหยุดของรถที่ไม่สามารถผ่านทางแยกไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียวเข้าไป

โปรแกรมทรานสิตจะคำนวณจำนวนครั้งของการหยุดในสภาพที่รถสามารถผ่านทางแยกไปได้และไม่สามารถผ่านไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียว (Random–plus–oversaturation) ต่อชั่วโมงดังสมการ

$$h = \frac{3240 N_0}{C} \tag{3.9}$$

เมื่อ h = จำนวนครั้งของการหยุด

C = ความยาวของรอบสัญญาณไฟ

N_0 = แถวคอยที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นในสภาพวะ Random–plus–oversaturation

ในกรณีของการคำนวณความล่าช้าในหน่วยวินาที การคำนวณส่วนประกอบของการหยุดในสภาวะ Random–plus–oversaturation จะคำนวณแยกต่างหากเมื่อพิจารณาแบบจำลองหลายรอบ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$h_d = \frac{q\ N_d}{Capacity\ \ per\ \ cycle} \tag{3.10}$$

เมื่อ h_d = ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในสภาพจราจรอิ่มตัว

q = อัตราการเข้ามาของรถ (คัน/ชั่วโมง)

N_d = แถวคอยในสภาพจราจรอิ่มตัว

3.3.6.3 การเผาผลาญเชื้อเพลิง

แบบจำลองการเผาผลาญเชื้อเพลิงที่ใช้ในโปรแกรมทรานสิตมีเงื่อนไขดังนี้

- แบบจำลองอธิบายเกี่ยวกับเหตุการณ์จริงซึ่งทรานสิตสามารถแปลงเป็นความสัมพันธ์เชิงตัวเลขระหว่างความล่าช้าและจำนวนครั้งในการหยุดได้
- แบบจำลองง่ายต่อการปรับเทียบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ คือ

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

เมื่อ F = การเผาผลาญพลังงาน (แกลลอน(ลิตร)ต่อชั่วโมง)

TT = การเดินทางทั้งหมด (คัน-ไมล์(คัน-กิโลเมตร)ต่อชั่วโมง)

D = ความล่าช้าทั้งหมด (คัน-ชั่วโมง ต่อ ชั่วโมง)

S = จำนวนการหยุดทั้งหมดต่อชั่วโมง

K_{ij} = สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วที่ใช้ในการเดินทาง (V_i) บนลิงค์ i ซึ่งเป็นปัจจัยของเวลาในการเดินทาง (j=1) ความล่าช้าที่เกิดขึ้น (j=2) และ การหยุด (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 สัมประสิทธิ์การถดถอย และ V_i คือความเร็วบนลิงค์ i

3.3.6.4 ดัชนีวัดความไม่พึงพอใจ (Disutility Index)

ดัชนีความไม่พอใจจะอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของความล่าช้าและจำนวนครั้งของการหยุด ซึ่งโปรแกรมทรานสิตจะใช้ดัชนีวัดความไม่พึงในการตัดสินว่าวิธีการควบคุมสัญญาณแบบใดเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด สามารถแสดงได้โดย

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

เมื่อ DI = ดัชนีความไม่พอใจ

d_i = ความล่าช้าบนลิงค์ i (คัน-ชั่วโมง)

K = สัมประสิทธิ์ที่ใช้เป็นตัวแปรในการชดเชยจำนวนครั้งในการหยุด ซึ่งจะแสดงถึงความสำคัญของการหยุดที่สัมพันธ์กับความล่าช้า

S_i = จำนวนครั้งในการหยุดบนลิงค์ i

w_{xi} = ตัวแปรที่ใช้ถ่วงน้ำหนักความล่าช้าและจำนวนครั้งในการหยุด

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

QP = การชดเชยแถวคอย

การขดเขยแถวคอยเป็นพจน์ที่ใช้หาค่าความยาวแถวคอยปลายกระแสจราจรที่ยาวมาถึงทางแยกอื่น(Spillback) ที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

ถ้าการจำลองสภาพแบบลิงค์ถูกใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

$$QP = QB_i W_q (q_i - qc_i) \tag{3.13}$$

เมื่อ

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

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

W_q = ขอบเขตของโครงข่ายที่ครอบคลุมความยาวแถวคอยปลายกระแสจราจรที่ยาวจนถึงทางแยกอื่น

q_i = ความยาวแถวคอยมากที่สุดบนลิงค์ i ที่คำนวณได้

qc_i = ความสามารถของลิงค์ i ที่สามารถมีความยาวแถวคอยได้มากที่สุด (Queuing Capacity)

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

$$QP = QW_F F_i \tag{3.14}$$

เมื่อ

F_i = จำนวนของลิงค์ที่เต็ม

W_F = ขอบเขตของโครงข่ายที่ครอบคลุมถึงจำนวนของลิงค์ที่เต็ม

ส่วนค่า Q เหมือนกับสมการข้างต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 ซึ่งได้จากการวิจัยมามากกว่า 20 ปี เพื่อปรับปรุงและแก้ไขให้เหมาะกับสภาพเงื่อนไขตามสภาพแวดล้อมที่จะจำลองจริง โปรแกรมพยายามที่จะจำลองสภาพการจราจร . ให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงและสามารถจำลองเหตุการณ์หรือข้อกำหนดเฉพาะของระบบการจราจรได้ เช่น ช่องจราจรที่ถูกกำหนดให้เลี้ยวได้อย่างเดียว หรือเพื่อรถประจำทางเท่านั้น กิจกรรมของคนเดินเท้า และกิจกรรมของรถประจำทาง โปรแกรมสามารถที่จะสร้างรูปแบบการจราจรที่มีปริมาณการจราจร และเวลาของสัญญาณไฟจราจรเป็นคาบ ๆ และยังสามารถรายงานผลช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง และช่วงเวลาที่มีการจราจรปกติ ความล่าช้า (Delay) จำนวนครั้งที่จัดสัญญาณไฟล้มเหลว (Phase Failure) ความเร็วระยะทางทั้งหมดที่รถ

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 และสัญญาณจราจรเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟแดงรถจะลดความเร็วลงด้วยอัตราหน่วงอัตราหนึ่งจนกระทั่งความเร็วลดลง และรถจะลดความเร็วลงด้วยอัตราหน่วงอีกอัตราหนึ่ง จนกว่าจะหยุดรถ และเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียว รถคันแรกจะวิ่งด้วยความเร็วอิสระ (Free Flow Speed) โดยรถคันที่ 2 จากด้านหน้า

จะเริ่มเร่งความเร็วด้วยอัตราเร่งอีกอัตราหนึ่งที่กำหนดไว้ตามหลังรถคันแรก และรถคันถัดมาอีกคันจะเริ่มเร่งต่อมา ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่ตามกัน (Car following Theory)

และในกรณีที่มีปริมาณจราจรมากจนมีแถวคอยยาวย้อนมาปิดทางแยกถัดไป ยวดยานจะถูกกำหนดไว้ว่ามีความน่าจะเป็นเท่าไรที่จะหยุดรอที่เส้นหยุด หรือจะวิ่งไปต่อแถวคันหน้าทั้งทางตรงและทางเลี้ยวซึ่งกรณีหลังก็จะมีผลกระทบต่อรถในทางขวางด้วย

3.4.2 ตัววัดประสิทธิภาพ

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่สำคัญได้มาจากการประมวลผลของโปรแกรม โดยการวัดจากยวดยานทีละคันที่มีลักษณะการเข้ามาสู่โครงข่ายแบบสุ่ม และเคลื่อนที่ในโครงข่ายด้วยทฤษฎีของรถเคลื่อนที่ตามกัน (Car following Theory)

ตัววัดประสิทธิภาพที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีดังนี้

3.4.2.1 ความล่าช้าเฉลี่ย

ความล่าช้าเฉลี่ยได้จากการเฉลี่ยความล่าช้าของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่สูญเสียไปที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

3.4.2.2 เวลาในแถวคอย

เวลาในแถวคอยจะเป็นเวลาสะสมของยวดยานทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่อยู่ในแถวคอยที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

3.4.2.3 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง

อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ค่าอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงอยู่ในรูปแบบของระยะทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อหนึ่งแกลลอน โดยโปรแกรมจะนำลักษณะของการเคลื่อนที่ของยวดยานไปใช้ในการหาการเผาผลาญเชื้อเพลิงของยวดยานแต่ละคัน

3.4.2.4 ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์

ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในรูปแบบของปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อหนึ่งไมล์ โดยโปรแกรมจะนำลักษณะของการเคลื่อนที่ของยวดยานไปใช้ในการหาปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของยวดยานแต่ละคัน

3.4.2.5 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤต

จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตเป็นจำนวนยวดยานทั้งหมดที่ออกจากทางแยกวิกฤตในช่วงเวลาที่พิจารณา

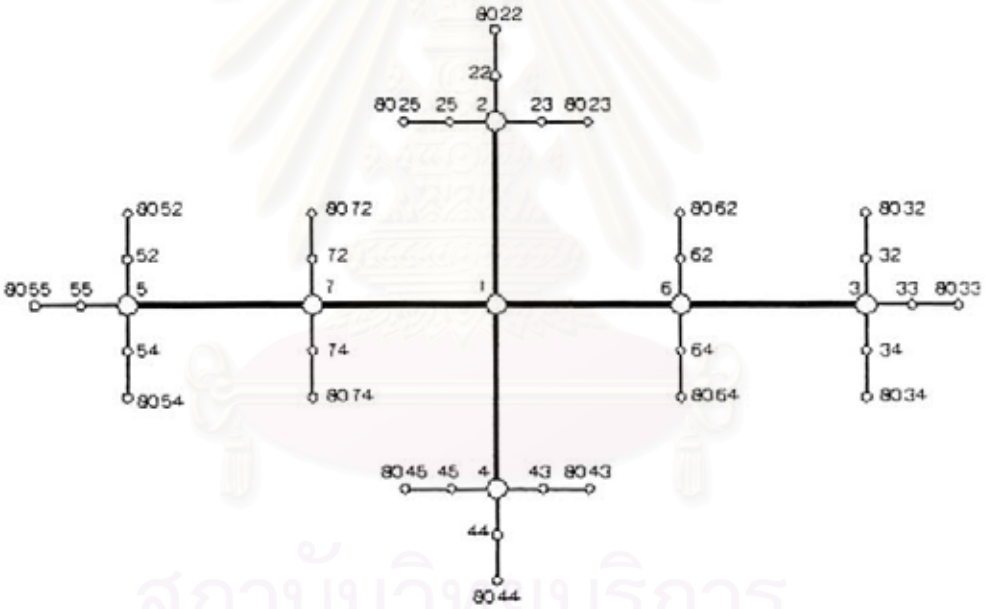
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การออกแบบการศึกษา

การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟ โดยอาศัยโปรแกรมทรานสิตและโปรแกรม CORSIM ในบทนี้จะกล่าวถึง ลักษณะโครงข่ายที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจร และการจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายที่มีลักษณะการจราจรแตกต่างกัน

4.1 ลักษณะโครงข่าย

โครงข่ายที่ใช้สำหรับการทดสอบการจำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะการจราจรต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยแสดงในรูปของโครงข่าย โหนด (Node) และลิงค์ (Link) ตัวเลขในรูปแสดงเลขที่ของทางแยก

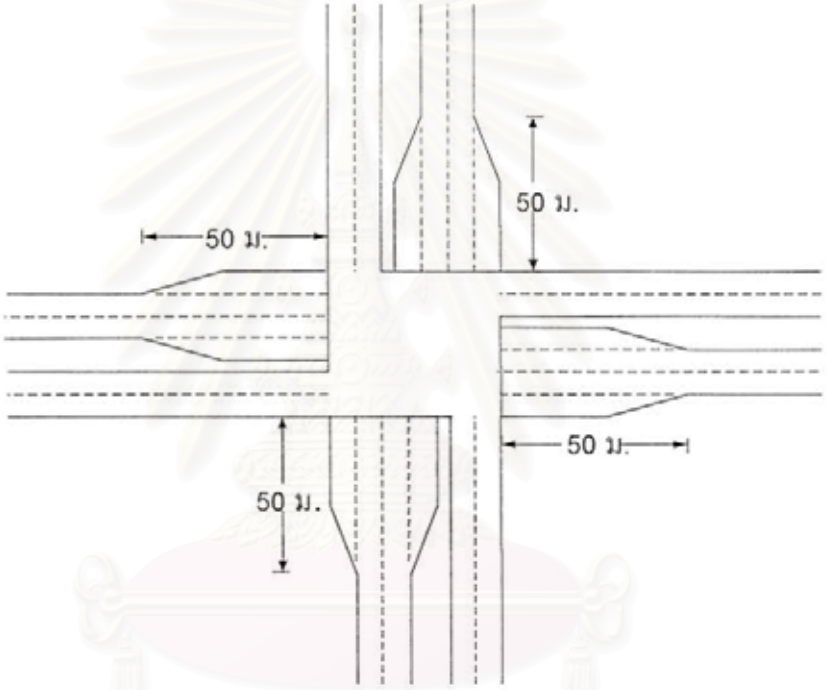


รูปที่ 4.1 โครงข่ายของแบบจำลอง

ลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นโครงข่ายที่ออกแบบให้มีทางแยกวิกฤติ (Critical Intersection, CI) เกิดขึ้นที่ทางแยกที่ 1 ซึ่งเป็นจุดตัดของถนนสายหลัก 2 สาย เมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นมากขึ้นจะทำให้ไม่สามารถขจัดความยาวของแถวคอยได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ เมื่อเวลาผ่านไปแถวคอยจะมีความยาวเพิ่มขึ้นจนสะสมย้อนกลับไปทางแยกก่อนหน้า อีกทั้งมีข้อจำกัดของพื้นที่สะสมแถวคอยของช่วงถนนระหว่างทางแยกวิกฤตจนถึงทางแยกถัดไปและช่วงถนนระหว่างทางแยกวิกฤตทางแยกก่อนหน้า ซึ่งถ้าหากปริมาณจราจรโดยรวมมีมากขึ้นจะทำให้ทางแยก

ของทั้งโครงข่ายไม่สามารถขจัดแถวคอยที่ยาวขึ้นได้ จะทำให้ทางแยกวิกฤตมีข้อจำกัดของพื้นที่สะสมแถวคอยในการควบคุมสัญญาณไฟจากทางแยกโดยรอบทุกทิศทาง

ลักษณะทางกายภาพของถนนบนโครงข่าย กำหนดให้ถนนโครงข่ายเป็นถนนที่มีการจราจรวิ่งสวนทางและมีช่องจราจรข้างละ 2 ช่องทาง มีความยาวระหว่างทางแยกใด ๆ เท่ากับ 500 เมตร มีช่องทางเลี้ยวขวาและช่องทางเลี้ยวซ้ายยาวช่องทางละ 50 เมตร ปริมาณจราจรอิ่มตัว (Saturation flow) สำหรับทิศทางตรงและปริมาณจราจรอิ่มตัวสำหรับทิศทางเลี้ยว ในการจำลองนี้ใช้ค่าเท่ากับ 1850 และ 1650 คันต่อชั่วโมงตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของทางแยก

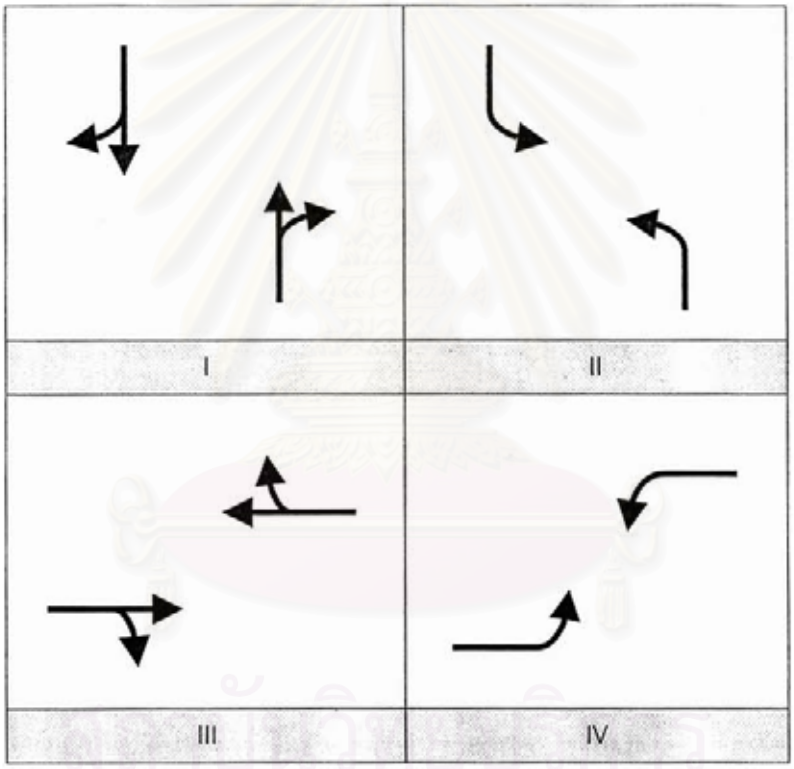
สำหรับการจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายอาศัยโปรแกรมทรานสิต ทิศทางการเคลื่อนที่ของจราจรเป็นการเคลื่อนที่แบบชิดซ้ายเช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของจราจรในประเทศไทย แต่สำหรับการจำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายอาศัยโปรแกรม CORSIM ทิศทางการเคลื่อนที่จราจรเป็นการเคลื่อนที่แบบชิดขวาซึ่งตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของจราจรในประเทศไทย ดังนั้นการเขียนโครงข่ายจะเป็นไปในลักษณะตรงข้าม โดยคิดว่าการเคลื่อนที่ทิศทางเลี้ยวขวาเปลี่ยนไปเป็นการเคลื่อนที่ทิศทางเลี้ยวซ้าย และการเคลื่อนที่ทิศทางเลี้ยวซ้ายเปลี่ยนไปเป็นการเคลื่อนที่ทิศทางเลี้ยวขวา

4.2 สมมติฐาน

สมมติฐานที่จำเป็นในการป้อนเข้าสู่โปรแกรม นำมาจากลักษณะการจราจรที่ปรากฏจริง โดยพยายามกำหนดให้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานครหรือสมมติฐานให้สอดคล้องกับค่าอื่น ๆ ในการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สมมติว่าไม่มีปริมาณจราจรที่เข้ามาระหว่างทางแยก (Midblock)
- สมมติว่ารถเลี้ยวซ้ายจะต้องหยุดรอสัญญาณไฟเขียวเช่นเดียวกับรถทางตรง
- กำหนดเวลารอบสัญญาณไฟต่ำสุดไว้ที่ 60 วินาที และ เวลารอบสัญญาณไฟสูงที่สุดไว้ที่ 240 วินาที
- เมื่อมีปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้นจนแถวคอยล้นทางแยก การเข้ามาของรถที่ทางแยกก่อนหน้าสู่ทางแยกปัจจุบันจะถูกกันจากความยาวของแถวคอยของทางแยกปัจจุบัน จึงสมมติว่าหากความยาวของแถวคอยที่ทางแยกปัจจุบันยาวเต็มความยาวลิงค์ รถที่เข้ามาจากทางแยกก่อนหน้าทั้งหมด จะถูกกันไม่ให้เคลื่อนที่เข้าสู่ทางแยกปัจจุบัน
- และในขณะที่ปริมาณจราจรสำหรับทางเลี้ยว มีปริมาณมากจนล้นความยาวของช่องทางเลี้ยว จะส่งผลให้ปริมาณรถในทิศทางตรงที่อยู่ในช่องทางติดกับช่องทางเลี้ยวไม่สามารถเคลื่อนที่ได้
- ข้อจำกัดที่กำหนดขึ้นเพื่อกำหนดช่วงเวลาที่สนใจ ใช้สำหรับการหาการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดที่โปรแกรมทรานสิตแนะนำ (Optimization) คือ กำหนดเวลารอบสัญญาณไฟต่ำสุดไว้ที่ 60 วินาที และ เวลารอบสัญญาณไฟสูงที่สุดไว้ที่ 240 วินาที
- เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น (Start - up Lost Time, SLT) เป็นเวลาที่เสียไปเนื่องจากการเริ่มต้นของไฟเขียว โดยโปรแกรมทั้งสองสมมติว่าเวลาสูญเสียตอนเริ่มต้น เกิดจากรถคันแรกทั้งหมด โดยทั่วไปใช้เวลาสูญเสียตอนเริ่มต้นเท่ากับ 4 วินาที
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้มีการขยายเวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Extension of Effective Green, EEG) เป็นเวลาในช่วงสัญญาณไฟเหลืองรวมกับช่วงสัญญาณไฟแดงพร้อมกัน (All - Red) โดยทั่วไปใช้การขยายเวลาไฟเขียวประสิทธิผลเท่ากับ 4 วินาที
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้มีปริมาณจราจรอิ่มตัว (Saturation flow) แยกเป็นปริมาณจราจรอิ่มตัวสำหรับทิศทางตรงและปริมาณจราจรอิ่มตัวสำหรับทิศทางเลี้ยวเท่ากับ 1850 และ 1650 คันต่อชั่วโมงตามลำดับ
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้ความเร็วเฉลี่ยของรถบนถนน มีค่าเท่ากับ 48 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- สำหรับโปรแกรมทรานสิต กำหนดให้ระยะห่างระหว่างยวดยานขณะหยุด และระยะห่างระหว่างยวดยานขณะออกจากเส้นหยุด มีค่าเท่ากับ 6 เมตร และ 12 เมตร ตามลำดับ

- สำหรับโปรแกรม CORSIM กำหนดให้ใช้ระยะห่างระหว่างยวดยานขณะออกจากเส้นหยุด (Discharge headway) เป็น 1.9 วินาที
- สำหรับโปรแกรม CORSIM กำหนดให้มีเฉพาะรถยนต์ส่วนบุคคล โดยมีความยาวของตัวรถเท่ากับ 16 ฟุต และ 14 ฟุต คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 75 และ 25 ตามลำดับ
- สัดส่วนของปริมาณจราจรทางตรงต่อปริมาณจราจรทางเลี้ยวซ้ายและปริมาณจราจรทางเลี้ยวขวาเป็นร้อยละ 65 ต่อ 25 ต่อ 10 ตามลำดับ เพื่อรองรับปริมาณจราจรดังกล่าว จึงจัดจังหวะสัญญาณไฟโดยการหาจังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุดด้วยโครงข่ายที่มีปริมาณจราจรเบาบางโดยอาศัยโปรแกรม Synchro® แล้วลองเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟหลายๆ แบบ พบว่าจังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่ไม่มีรถเลี้ยวขวาตัดกระแสรถทางตรงในช่องทางวิ่งสวน (Opposed Lane) เป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 จังหวะสัญญาณไฟที่ดีที่สุด(เริ่มต้น)

จังหวะสัญญาณไฟชุดที่แสดงข้างต้นมีข้อได้เปรียบตรงที่การจัดจังหวะสัญญาณไฟโดยจัดให้ทิศทางที่มีระดับความอิ่มตัวเท่า ๆ กันรวมไว้ด้วยกัน สำหรับระยะเวลาของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงได้ในภาคผนวก ข.

4.3 ตัวแปร

ในการศึกษาครั้งนี้ ตัวแปรส่วนใหญ่จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดสัญญาณไฟ ได้แก่ ความยาวรอบสัญญาณไฟ สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ออฟเซต ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข. และตัวแปรอีกส่วนจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร ได้แก่ ปริมาณจราจร และช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรคงที่ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4.4 การออกแบบการศึกษา

การออกแบบการศึกษาจะเป็นการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณจราจร และ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

4.4.1 ปริมาณจราจร

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟต่าง ๆ กัน ได้แก่ สภาพปริมาณจราจรคงที่ และ ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา

1. <u>ปริมาณจราจรคงที่</u>

ในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพจราจรที่ระดับปริมาณที่ทำให้ทางแยกวิกฤติมีระดับของการอิ่มตัวประมาณ 0.4 0.6 0.8 1.0 และ 1.2 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก ตามลำดับ และทดสอบที่ความยาวคาบเท่ากับ 15 นาที ปริมาณจราจรที่ระดับต่าง ๆ สรุปในตารางที่ 4.1 และรายละเอียดของปริมาณจราจรแสดงในภาคผนวก ก.

ในกรณีที่จำลองปริมาณจราจรคงที่นี้ จะสมมติว่าที่ทุกทางแยกและทุกทิศทางจะมีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกที่ระดับของการอิ่มตัวเท่า ๆ กัน และพร้อม ๆ กัน โดยปริมาณจราจรของทั้งทิศทางหลักและปริมาณจราจรของทิศทางรองมีสัดส่วนเป็น 1 : 1

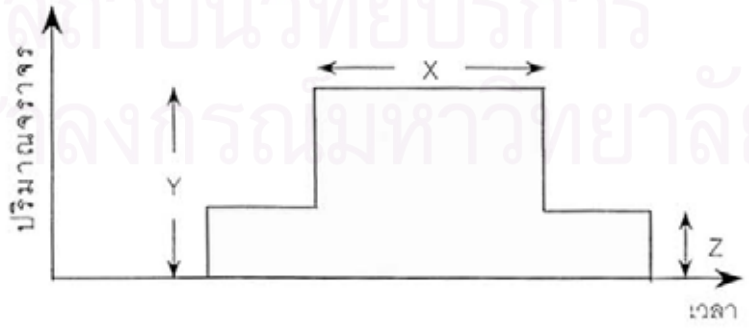
และส่วนหลังเป็นการจำลองสภาพจราจรที่ระดับความอิ่มตัวต่าง ๆ เช่นเดียวกัน หากแต่มีปริมาณจราจรในทิศทางหลักซึ่งมีปริมาณจราจรมากกว่าปริมาณจราจรในทิศทางรองเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีแรก ส่วนปริมาณจราจรในทิศทางรองไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม ปริมาณจราจรและสัดส่วนของปริมาณจราจรทิศทางหลักเทียบกับทิศทางรองสรุปอยู่ในตารางที่ 4.1 และรายละเอียดของปริมาณจราจรแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 ปริมาณจราจรคงที่ที่ใช้ในการศึกษา

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

2. ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา

การทดสอบการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะเป็นการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยการจำลองสภาพปริมาณจราจรที่ระดับต่างๆ กัน และมีระยะเวลาในการเกิดปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปริมาณจราจรปกติแตกต่างกัน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรอาจแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกวิกฤติ

โดย X คือ ระยะเวลาที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก

Y,Z คือ ระดับปริมาณจราจร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

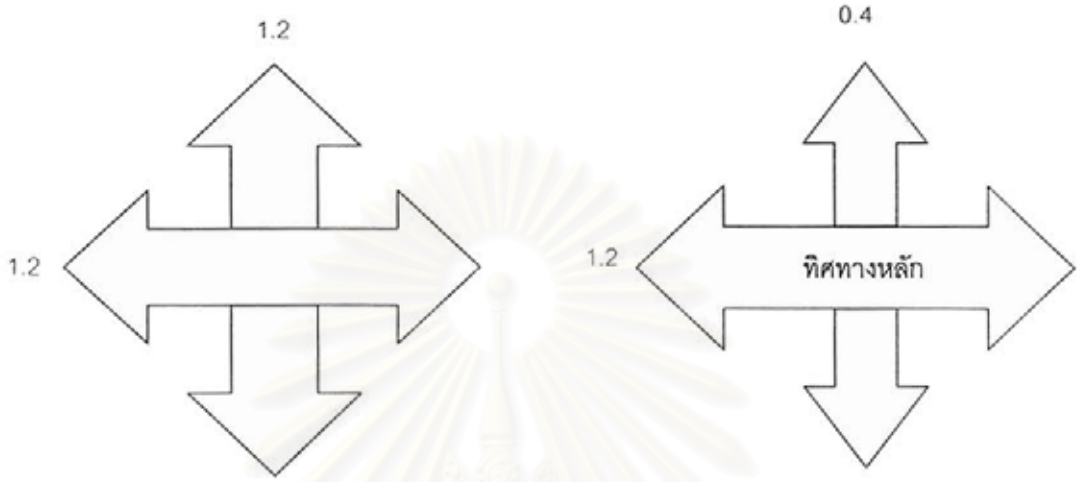
สำหรับปริมาณจราจรในช่วงแรกก่อนมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต และปริมาณจราจรในช่วงหลังจากมีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต(Z) ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรประมาณร้อยละ 40 และ 60 เมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต ส่วนช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(X) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดช่วงเวลาดังกล่าวไว้ 10 และ 20 นาที โดยมีระดับปริมาณจราจรเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก(Y) ประมาณร้อยละ 60 80 100 และ 120 เมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤต

สัดส่วนของปริมาณจราจรเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกวิกฤตและช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจรสรุปอยู่ในตารางที่ 4.2 และรายละเอียดของปริมาณจราจรแสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.2 ปริมาณจราจรและช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา

กรณี	คาบที่ 1		คาบที่ 2		คาบที่ 3	
	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)	ปริมาณจราจร / ความสามารถในการให้บริการ	ช่วงเวลา (นาที)
1	0.4	10	0.6	10	0.4	10
2	0.4	10	0.8	10	0.4	10
3	0.4	10	1.0	10	0.4	10
4	0.4	10	1.2	10	0.4	10
5	0.6	10	0.8	10	0.6	10
6	0.6	10	1.0	10	0.6	10
7	0.6	10	1.2	10	0.6	10
8	0.4	10	0.6	20	0.4	10
9	0.4	10	0.8	20	0.4	10
10	0.4	10	1.0	20	0.4	10
11	0.4	10	1.2	20	0.4	10
12	0.6	10	0.8	20	0.6	10
13	0.6	10	1.0	20	0.6	10
14	0.6	10	1.2	20	0.6	10

สำหรับกรณีที่มีระดับปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกจะเกิดขึ้นทุกทิศทางเฉพาะที่ทางแยกวิกฤตเท่านั้น ส่วนทางแยกอื่นในโครงข่ายที่ไม่ใช่ทางแยกวิกฤตจะมีระดับปริมาณจราจรที่มากกว่าความสามารถในการให้บริการเฉพาะทิศทางที่มีปริมาณจราจรอันเนื่องมาจากทางแยกวิกฤตเท่านั้น



ก. ปริมาณจราจรที่ทางแยกวิกฤต ข. ปริมาณจราจรที่ทางแยกอื่น

รูปที่ 4.5 ปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัว

4.4.2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟ

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในการศึกษาครั้งนี้ทั้งที่เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้สำหรับกรณีที่มีสภาพจราจรคงที่ที่ระดับปริมาณจราจรเบาบาง กรณีที่มีสภาพจราจรคงที่ที่ระดับปริมาณจราจรอิ่มตัว และกรณีที่มีสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>วิธีที่ 1</u> วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นจะต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการคำนึงการตั้งค่าออฟเซต ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟแยกเป็นการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ กันได้ดังนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางคงที่

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

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

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

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 1 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตที่ทราบถึงเวลาที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรขึ้นแน่นอน ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะกับปริมาณจราจรดังที่กล่าวไว้ข้างต้นในการควบคุมสัญญาณไฟ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรทันทีที่เกิดมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง

วิธีที่ 2 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักให้เคลื่อนตัวไปโดยไม่ถูกกีดขวางจากสัญญาณไฟ (Progression) ส่วนรถในอีกทิศทางหนึ่งจะไม่ได้จัดให้มีการเคลื่อนที่แบบที่ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณไฟ ดังนั้นจะสังเกตว่าความแตกต่างจากการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 คือ จะต้องจัดให้ทุกทางแยกในโครงข่ายที่พิจารณาโดยเฉพาะทางแยกที่อยู่บนถนนสายหลักมีค่าความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ค่าตัวแปรเกี่ยวกับ

การควบคุมสัญญาณไฟแยกเป็นการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ กันได้ดังนี้

กรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางคงที่

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 และหากว่าความยาวรอบสัญญาณไฟของทางแยกในโครงข่ายไม่เท่ากัน จะต้องจัดให้มีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากันทั่วทั้งโครงข่าย โดยการปรับให้ความยาวรอบสัญญาณไฟของทางแยกที่สั้นกว่ายาวมากขึ้นจนเท่ากับความยาวรอบสัญญาณไฟที่ยาวที่สุดที่คำนวณได้
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีตเช่นเดียวกับวิธีที่ 1
- ออฟเซต ตั้งค่าออฟเซตเพื่อให้ความสำคัญแก่กลุ่มยวดยานบนถนนในทิศทางจากทางแยกที่ 5 ผ่านทางแยกที่ 1 ไปยังทางแยกที่ 3

กรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก หรือ 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 ดังนั้นจึงใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะกับปริมาณจราจรดังที่กล่าวไว้ข้างต้นในการควบคุมสัญญาณไฟ และเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับปริมาณจราจรทันทีที่เกิดมีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 1

<u>วิธีที่ 3</u> วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตั้งค่าความยาวรอบสัญญาณไฟและสัดส่วนสัญญาณไฟเขียว วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 นี้จะใช้ทดสอบเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเท่านั้น โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นจะต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน ดังนั้นจึงไม่มีการคำนึงการตั้งค่าออฟเซต ค่าตัวแปรเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงเป็นดังต่อไปนี้

<u>กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง</u>

ในการศึกษาครั้งนี้จะสมมติว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยระหว่างระดับที่มีปริมาณจราจรที่เป็นระดับพื้นฐานกับระดับที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติในการตั้งค่าตัวควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้การควบคุมที่คำนวณได้ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 หากแต่ใช้ปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ยเป็นปัจจัยพื้นฐาน โดยที่ทางแยกต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่จำเป็นจะต้องมีความยาวรอบสัญญาณไฟเท่ากัน
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ย
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ เช่นเดียวกับการควบคุมแบบที่ 1

<u>วิธีที่ 4</u> วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจร

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟในกรณีนี้จะใช้ปริมาณการจราจรที่วัดได้จากตัววัดปริมาณจราจร (Detector) ซึ่งวางไว้บริเวณต้นถนนก่อนเข้ามาสู่ทางแยกสำหรับใช้เป็นปัจจัยพื้นฐานในการนำไปคำนวณการจัดสัญญาณไฟในรอบถัดไป ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟของทุกกรณีที่มีปริมาณจราจรแตกต่างกันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของ Webster โดยอาศัยปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจรเป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ

- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามปริมาณจราจรที่ได้จากตัววัดปริมาณจราจรเป็นพื้นฐาน
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ เหมือนกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีการควบคุมที่ 1

<u>วิธีที่ 5</u> วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป

วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการคำนวณหาการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมในรอบสัญญาณไฟถัดไป วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ไม่เหมาะสมกับสภาพการจราจรเบาบาง เนื่องจากในสภาพจราจรเบาบางการควบคุมสัญญาณไฟแบบปกติจะสามารถขจัดแถวคอยได้หมดทุกรอบสัญญาณไฟ การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ที่ว่างหลังแถวคอยเป็นข้อจำกัดของความยาวของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจึงไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว ความยาวรอบสัญญาณไฟจึงจะต้องถูกตั้งไว้ที่ค่าสูงสุดคือ 240 วินาที การตั้งค่าความยาวดังกล่าวจะทำให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากไม่มียวดยานออกจากทางแยกในขณะที่ได้รับสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะไม่ทำการจำลองสภาพจราจรในสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบาง จะทำการจำลองสภาพจราจรเฉพาะในสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวคงที่ และสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟของทุกกรณีที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>กรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวคงที่</u> (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก หรือ Volume/Capacity (v/c) $\geq$ 1.0)

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ คำนวณจากสูตรคำนวณของWebster โดยอาศัยที่ว่างท้ายแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยในการคำนวณหาค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ใช้วิธีการแบ่งสัดส่วนสัญญาณไฟเขียวไปตามที่ว่างท้ายแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นปัจจัยพื้นฐาน
- ออฟเซต ไม่มีการตั้งค่าออฟเซตในวิธีการจัดควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ เหมือนกับการควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีการควบคุมที่ 1

<u>กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง</u>

การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณไฟต่าง ๆ เป็นเช่นเดียวกับกรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวคงที่

<u>วิธีที่ 6</u> วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต (เฉพาะกรณีที่ใช้โปรแกรมทรานสิตเท่านั้น)

วิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้ได้มาจากการวิเคราะห์สภาพจราจรด้วยแนวคิดของโปรแกรมทราสิตที่จะใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ทำให้ค่าดัชนีวัดความไม่พอใจ (Disutility Index) ของทั้งโครงข่ายต่ำที่สุด ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสัญญาณไฟมีดังนี้

- ความยาวรอบสัญญาณไฟ ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นความยาวรอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด
- สัดส่วนสัญญาณไฟเขียว ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นสัดส่วนของสัญญาณไฟที่ดีที่สุด
- ออฟเซต ได้มาจากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิตว่าเป็นค่าออฟเซตที่ดีที่สุด

4.5 ตัววัดประสิทธิภาพการจราจร

ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรเป็นดัชนีที่สะท้อนให้เห็นถึงความคล่องตัว ค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียและความปลอดภัย สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรที่ใช้จะเป็นเพียงบางตัวที่โปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์ให้เห็นได้เท่านั้น ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมทรานสิตและโปรแกรม CORSIM มีดังต่อไปนี้

<u>โปรแกรมทรานสิต</u>

- ความล่าช้าเฉลี่ย

ความล่าช้าเฉลี่ยของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง

- จำนวนครั้งของการหยุด

จำนวนครั้งของการหยุดเป็นจำนวนสะสมของการหยุดของยวดยานทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเผาผลาญเชื้อเพลิง

การเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าเฉลี่ยการเผาผลาญเชื้อเพลิงในหนึ่งชั่วโมงในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง

- ดัชนีวัดความไม่พอใจ (Disutility Index)

ดัชนีวัดความไม่พอใจซึ่งเป็นตัวสะท้อนที่เป็นส่วนผสมของความล่าช้าและจำนวนครั้งที่หยุดในช่วงเวลาที่พิจารณาได้มาสูตรคำนวณของแบบจำลอง

โปรแกรม CORSIM

- ความล่าช้าเฉลี่ย

ความล่าช้าเฉลี่ยได้จากการเฉลี่ยความล่าช้าของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่สูญเสียไปที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

- เวลาในแถวคอย

เวลาในแถวคอยจะเป็นเวลาสะสมของยวดยานทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งวัดมาจากเวลาที่อยู่ในแถวคอยที่ทางแยกอันเนื่องมาจากหยุดรอสัญญาณไฟ

- อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง

อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ค่าอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงอยู่ในรูปแบบของระยะทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ต่อหนึ่งแกลลอน

- อัตราการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์

ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาของยวดยานแต่ละคันในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์อยู่ในรูปแบบของปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่อหนึ่งไมล์

- ปริมาณจราจรที่ผ่านออกไปจากทางแยกวิกฤต

จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตเป็นจำนวนยวดยานทั้งหมดที่ออกจากทางแยกวิกฤตในช่วงเวลาที่พิจารณา

บทที่ 5
ผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้อาศัยโปรแกรมจำลองสภาพจราจร 2 โปรแกรม คือ โปรแกรมทรานสิตซึ่งใช้แบบจำลองมหภาค และโปรแกรม CORSIM ซึ่งใช้แบบจำลองจุลภาคในการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ค่าตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้วัดโดยโปรแกรมทั้งสองไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากค่าที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟ โดยใช้โปรแกรมทรานสิตให้ผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง

5.1 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต

ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมทรานสิตในการทดลองจำลองสภาพจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่ หากพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เป็นการพิจารณาในช่วงที่มีปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก และกลุ่มที่เป็นการพิจารณาในช่วงที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก

<u>ผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก</u>

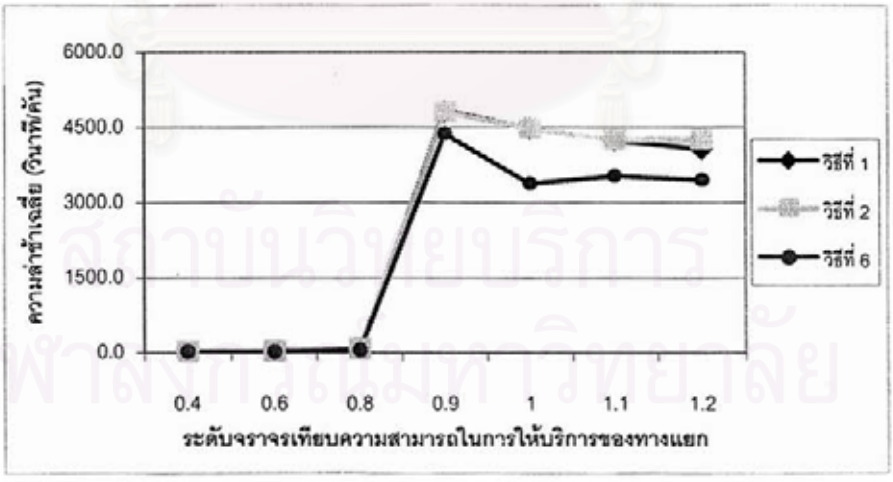
โปรแกรมทรานสิตจะประมวลผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรน้อยกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกได้ชัดเจนและสอดคล้องกับความเป็นจริงได้มาก ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) จะส่งผลให้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรทุกชนิดมีค่ามากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) ส่งผลให้ตัววัดประสิทธิภาพจราจรทุกชนิดมีค่ามากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต (วิธีที่ 6) ดังนั้นสรุปได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ที่ได้จากการแนะนำจากโปรแกรมทรานสิต (วิธีที่ 6) ดีกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรมทรานสิตเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรทั้ง 2 ทิศทางเท่ากันแสดงในตารางที่ 5.1 ส่วนผลลัพธ์ในกรณีอื่น ๆ แสดงเพิ่มเติมในภาคผนวก ค.

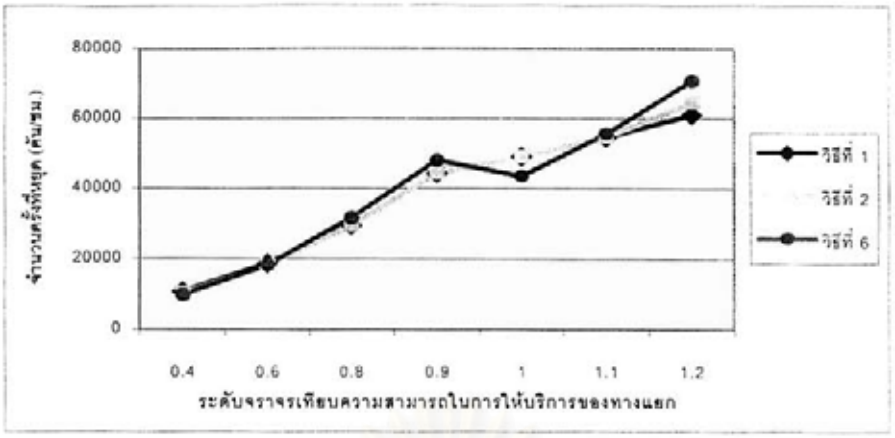
ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยอาศัยโปรแกรมทรานสิต

ระดับจราจรเทียบความสามารถในการให้บริการของทางแยก	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

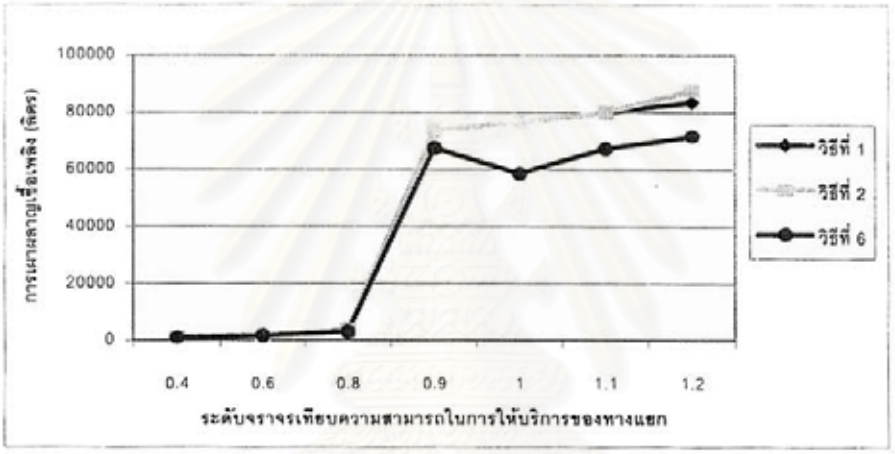
หมายเหตุ : แสดงเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางเท่ากัน



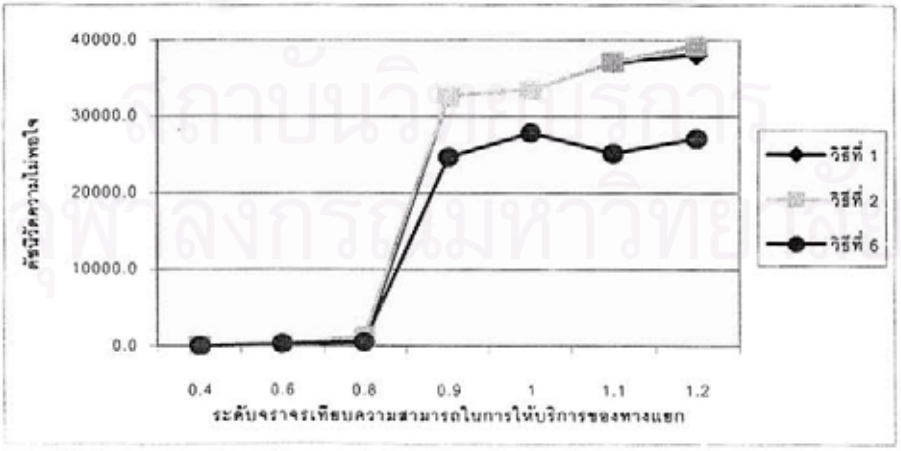
รูปที่ 5.1 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ



รูปที่ 5.2 จำนวนครั้งที่หยุดของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ



รูปที่ 5.3 การเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ



รูปที่ 5.4 การเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ

ผลลัพธ์ในส่วนที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก

โปรแกรมทรานสิตจะประมวลผลตัววัดประสิทธิภาพการจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกมีค่ามากผิดปกติ ตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่มีค่ามากผิดปกติ ได้แก่ ความล่าช้า จำนวนครั้งของการหยุด การเผาผลาญเชื้อเพลิง และดัชนีวัดความไม่พอใจ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบจำลองที่ใช้ในการประมวลผลลัพธ์ของโปรแกรมทรานสิตมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก ทำให้การคำนวณตัววัดประสิทธิภาพซึ่งอาศัยระดับความอิ่มตัวไม่สามารถแสดงให้เห็นลักษณะของการจราจรในสภาวะที่เป็นจริงได้ซึ่งสังเกตได้จากตารางที่ 5.1

จากการศึกษาเพิ่มเติมทำให้ทราบว่าข้อจำกัดของแบบจำลองและวิธีการคิดของโปรแกรมทรานสิต คือ โปรแกรมทรานสิตจะสามารถรองรับการเกิดปริมาณจราจรอิ่มตัวที่ไม่สามารถขจัดแถวคอยได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟได้เพียง 2 รอบสัญญาณไฟติดต่อกัน หากว่าช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกยาวเกินกว่า 2 รอบสัญญาณไฟติดต่อกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมทรานสิตจะได้ค่าที่มากเกินกว่าที่ยอมรับได้หรือบางครั้งเมื่อมีช่วงเวลาในการจำลองสภาพจราจรนานมาก ๆ ค่าดังกล่าวจะแสดงผลเป็นค่าติดลบ

อย่างไรก็ตามจำนวนครั้งของการหยุดสามารถสะท้อนให้เห็นพฤติกรรมจราจรได้ดีกว่าความล่าช้าเฉลี่ย แม้ว่าขีดจำกัดบนซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้กำหนดไว้สำหรับทั้งจำนวนครั้งของการหยุดและความล่าช้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1000 คัน/ชั่วโมง และ 1000 วินาที/คัน แต่กรณีที่เป็นการจำลองสภาพจราจรแบบต่อเนื่องเช่นนี้พจน์ของความล่าช้าจะต้องถูกปรับแก้โดยการลบความล่าช้าบางส่วนออกไปตามหลักการที่วางไว้ของโปรแกรม ทรานสิต ในขณะที่พจน์ของจำนวนครั้งของการหยุดไม่มีการปรับแก้ค่าแต่อย่างใด

ถึงแม้ว่าจำนวนครั้งของการหยุดจะไม่ใช่ตัววัดประสิทธิภาพแบบสมบูรณ์ (Absolute) ที่ดีนัก แต่ถ้าหากใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพแบบสัมพัทธ์ (Relative) จำนวนครั้งของการหยุดน่าจะสามารถสะท้อนให้เป็นพฤติกรรมจราจรได้บ้าง เนื่องจากจำนวนครั้งของการหยุดที่วัดในสภาพจราจรอิ่มตัวมีค่าอยู่ที่ขีดจำกัดบน (1000) สามารถจะแสดงให้เห็นโดยอ้อมว่า ค่าจำนวนครั้งของการหยุดที่มากกว่าจะสะท้อนให้เห็นว่ามีจำนวนลิงค์ที่มีปริมาณจราจรมากกว่าความสามารถในการให้บริการมากกว่าทางแยกที่มีจำนวนครั้งของการหยุดน้อยกว่าได้

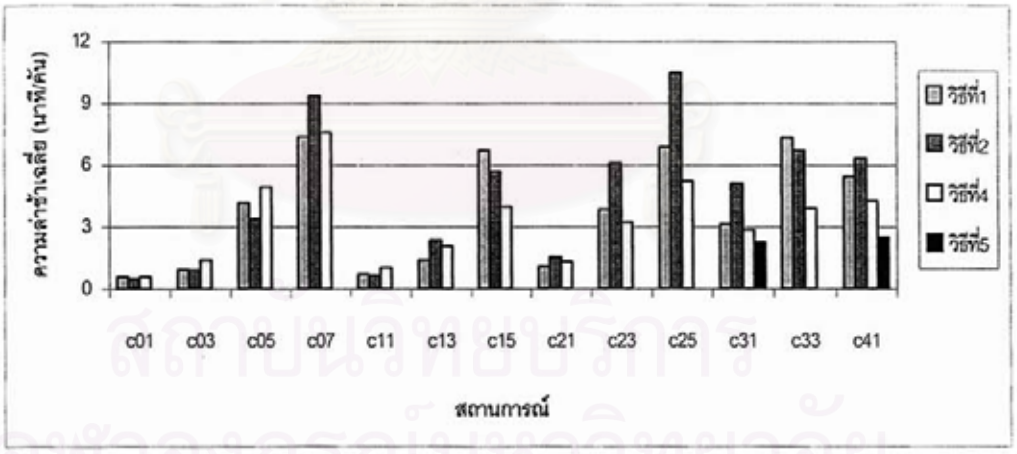
เนื่องจากการนำไปใช้ในกรณีที่มีปริมาณจราจรอิ่มตัวได้ไม่ดี จึงไม่ได้แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ที่ได้ค่าติดลบเกือบทั้งหมด

5.2 ผลการศึกษาโดยอาศัยโปรแกรม CORSIM

จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรต่าง ๆ ทั้งในสภาพที่มีปริมาณจราจรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และสภาพที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

สภาพจราจรเบาบางคงที่

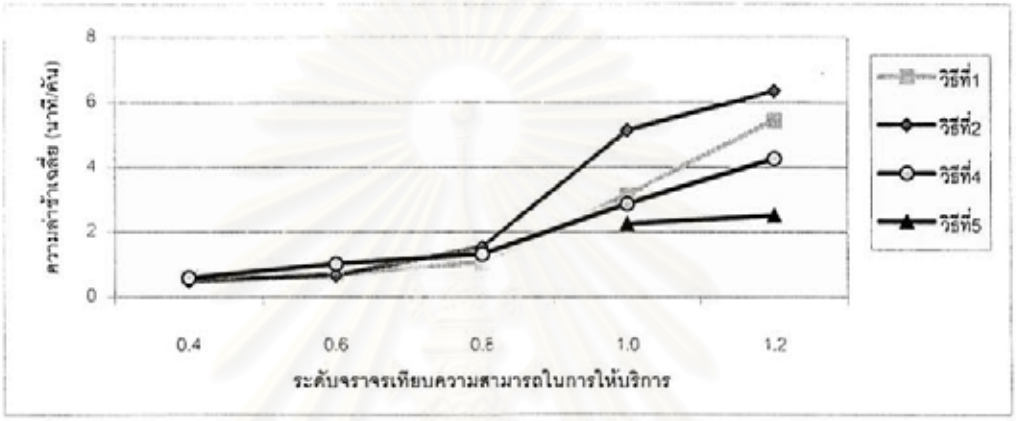
จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรต่าง ๆ กันพบว่าในกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางเมื่อเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยก (ประมาณ 0.4 และ 0.6 เท่าของระดับความสามารถในการให้บริการของทางแยก) และระดับปริมาณจราจรคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา (สถานการณ์ c01 c03 c05 และ c11) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้หลักการควบคุมที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) จะมีความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังรูปที่ 5.5 รูปที่ 5.6 และรายละเอียดในภาคผนวก ค. เนื่องจากในสภาพจราจรเบาบางการให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักจะไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจรบนถนนรองมากนัก สังเกตได้จากความล่าช้าของถนนสายรองไม่สูงและจำนวนการจัดสัญญาณไฟล้มเหลว (Phase Failure) มีน้อยมาก ปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกสามารถเคลื่อนผ่านเส้นหยุดไปได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ แต่ทั้งนี้ก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นอยู่มาก



รูปที่ 5.5 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่

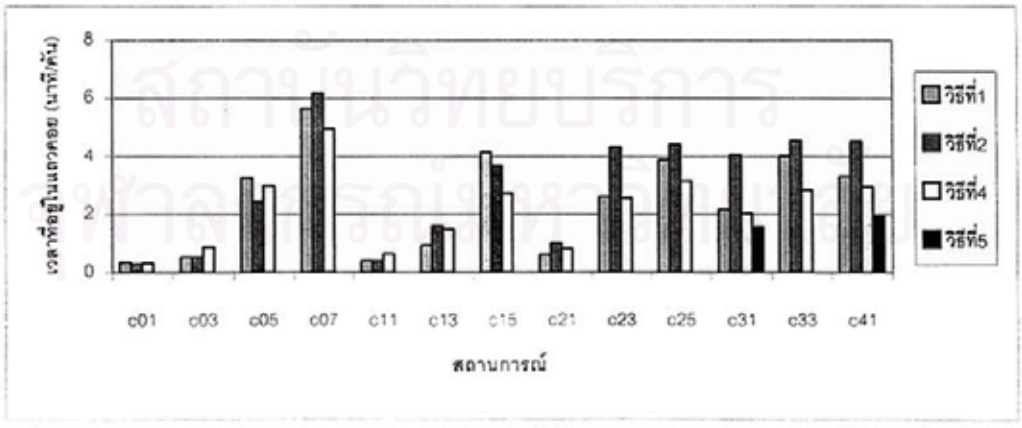
และเมื่อระดับปริมาณจราจรสูงขึ้นแต่คงยังไม่ถึงระดับความสามารถในการให้บริการของทางแยก โดยมีปริมาณจราจรประมาณ 0.8 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ c13 และ c21) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เริ่มปรากฏว่ามีกลุ่มยวดยานไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านทางแยกออกไปได้หมดภายใน 1 รอบสัญญาณไฟ

สังเกตจากความล่าช้าเฉลี่ยและจำนวนการจัดสัญญาณไฟล้มเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นมาก ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการตั้งค่าออฟเซตที่ไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เริ่มมีกลุ่มยวดยานที่ไม่สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกออกไปได้ใน 1 รอบสัญญาณไฟ ส่วนการควบคุมสัญญาณไฟที่ให้ค่าความล่าช้าต่ำสุดในกรณีที่มีปริมาณจราจรปานกลาง คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนทีเดียวว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตดีกว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น เนื่องจากค่าความล่าช้าที่ได้จากวิธีการควบคุมแบบอื่น ๆ ก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 5.5 รูปที่ 5.6 และรายละเอียดในภาคผนวก ค.



รูปที่ 5.6 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่
(เฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง)

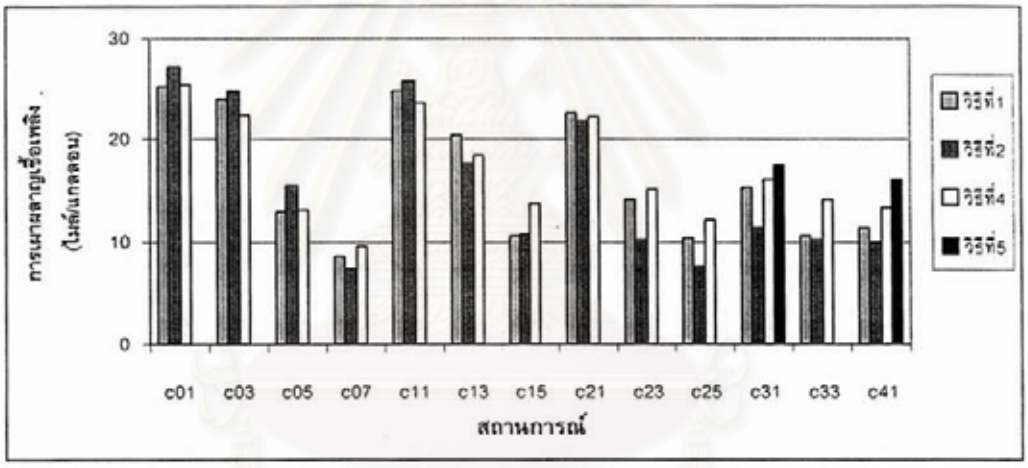
สำหรับตัววัดประสิทธิภาพการจราจรตัวอื่น ได้แก่ เวลาที่อยู่ในแถวคอย การเผาผลาญเชื้อเพลิง และการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ถึง รูปที่ 5.9 ตามลำดับ



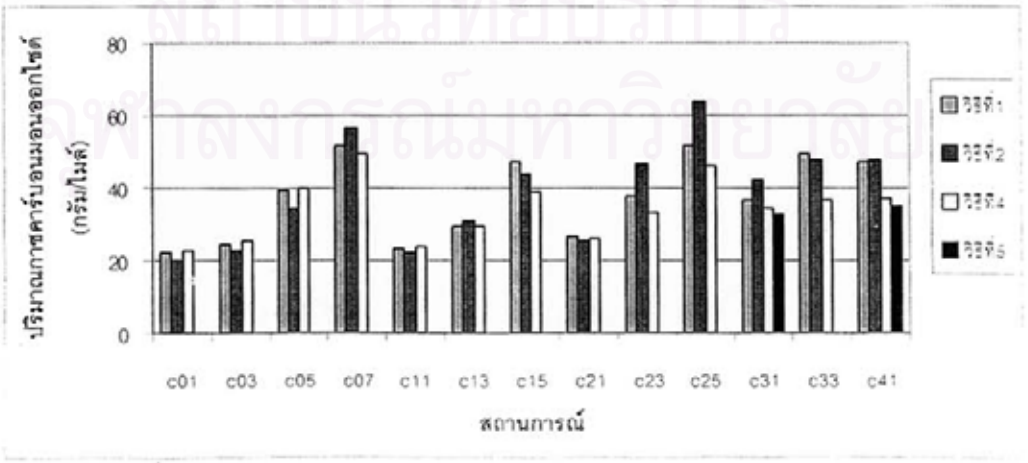
รูปที่ 5.7 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่

ในแง่ของการพิจารณาเวลาที่อยู่ในแถวคอย วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่มีเวลาที่อยู่ในแถวคอยเฉลี่ยต่ำที่สุดสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัว และกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาสรุปได้เช่นเดียวกับการวัดประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟโดยความล่าช้า ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และรายละเอียดในภาคผนวก ค.

ด้านการเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีทำให้การเผาผลาญเชื้อเพลิงดีที่สุดและการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ต่ำที่สุดสำหรับกรณีที่มีระดับปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัว และปริมาณจราจรเบาบางตามลำดับ แต่ค่าที่ได้มีค่าไม่แตกต่างจากวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นมากนัก สามารถนำมาสรุปได้เช่นเดียวกับการวัดประสิทธิภาพการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่นข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 5.8 รูปที่ 5.9 และรายละเอียดในภาคผนวก ค.

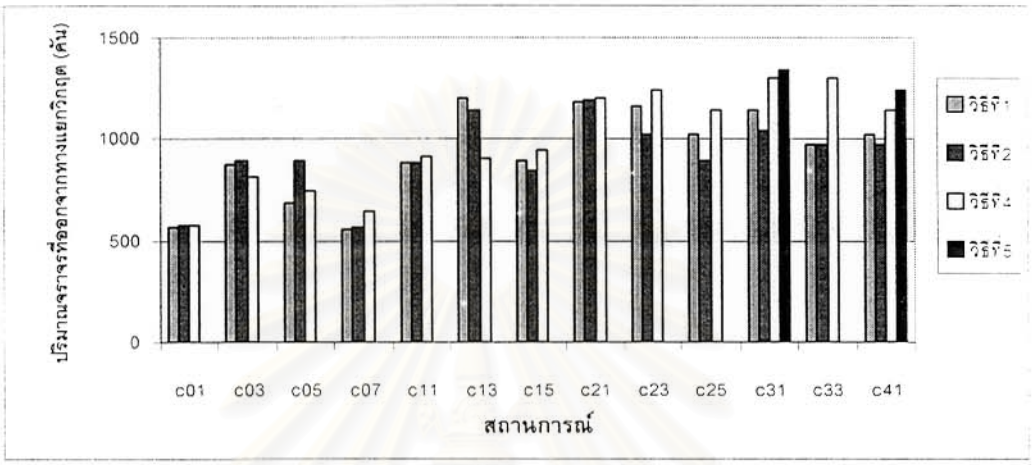


รูปที่ 5.8 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่



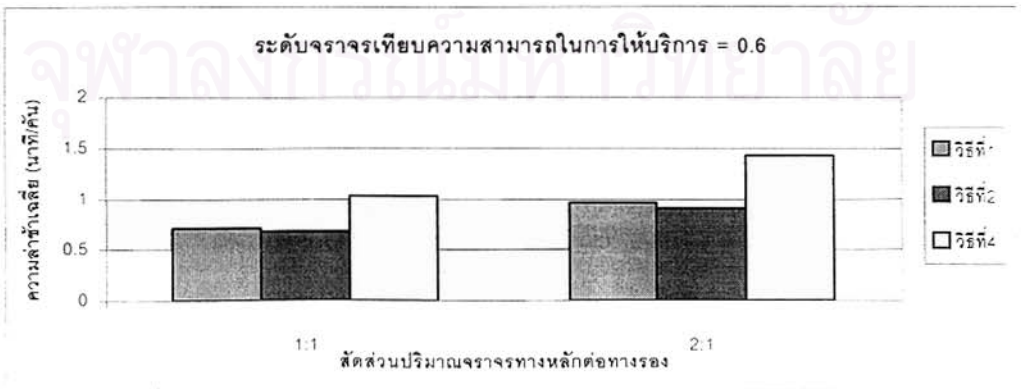
รูปที่ 5.9 ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่

ส่วนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้มีปริมาณจราจรวิ่งออกจากทางแยกวิกฤตมากที่สุด คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) สำหรับกรณีที่มีระดับปริมาณจราจรเบาบางและปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัวตามลำดับ แต่ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้เหนือกว่าแบบอื่นอย่างชัดเจน ดูรูปที่ 5.10 และรายละเอียดในภาคผนวก ค. ประกอบ

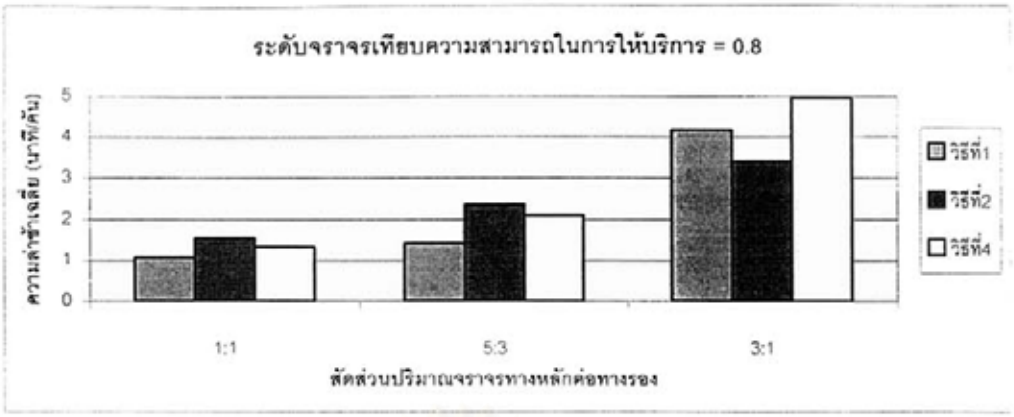


รูปที่ 5.10 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรคงที่

หากพิจารณาในแง่ของการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรที่มีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกมีปริมาณไม่เท่ากันทั้งสองทิศทาง ทางแยกที่มีปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยก 2 ทิศทางแตกต่างกันมาก จะมีปัญหาต่อการควบคุมสัญญาณไฟมากที่สุด (ในรูปที่ 5.11 รูปที่ 5.12 และรายละเอียดในภาคผนวก ค.) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่ทำให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำที่สุด เมื่อมีปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัวและปริมาณจราจรของทั้งสองทิศทางต่างกันมาก ๆ เนื่องจากเป็นการให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลักซึ่งมีปริมาณจราจรมากกว่า ส่วนอัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงและปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ก็สามารถสรุปผลได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.11 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรเบาบาง)



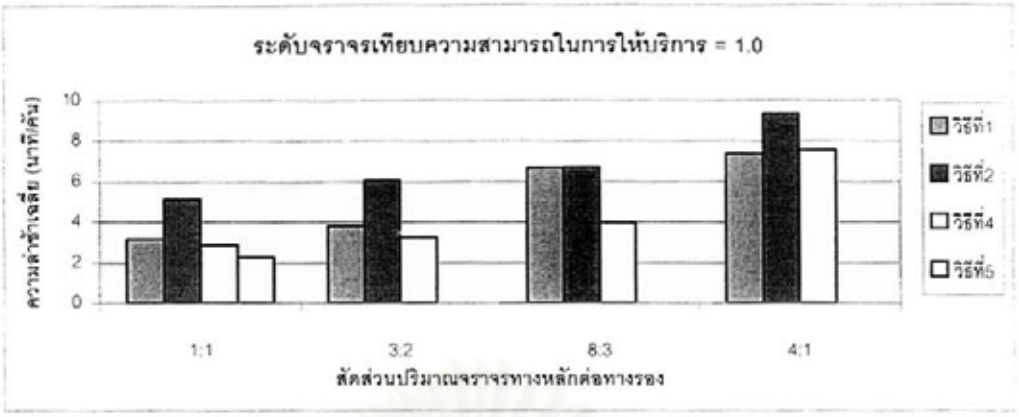
รูปที่ 5.12 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรใกล้จุดอิ่มตัว)

สภาพจราจรอิ่มตัวคงที่ (ปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก)

จากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ที่สภาพจราจรอิ่มตัวคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา (15 นาที) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) เป็นวิธีควบคุมที่ดีที่สุด มีความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด มีการเผาผลาญเชื้อเพลิงดีที่สุด มีการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ต่ำที่สุด และมีปริมาณยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกหลักได้สูงที่สุด (ดูรูปที่ 5.5 รูปที่ 5.7 ถึง รูปที่ 5.10 และรายละเอียดในภาคผนวก ค.ประกอบ) เนื่องจากในสภาพจราจรอิ่มตัวควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยที่ทางแยกถัดไป เมื่อนำไปทดลองจำลองสภาพจราจรแล้วพบว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบดังกล่าวจะมีลักษณะเหมือนเป็นการกรอง (Metering) ปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกวิกฤต จนทำให้ทางแยกวิกฤตมีระดับปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกต่ำกว่าทางแยกที่ไม่เป็นทางแยกวิกฤตที่ตั้งไว้เดิม และทางแยกวิกฤตใหม่ที่เกิดขึ้นก็คือทางแยกรอง(เดิม)ที่มีปริมาณจราจรต่ำกว่า

เมื่อเวลาในการจำลองสภาพจราจรนานขึ้นการจำกัดปริมาณจราจรเข้ามาสู่ทางแยกทำให้ทางแยกรองจะต้องแบกรับปริมาณจราจรส่วนที่ควรจะต้องเคลื่อนที่ผ่านทางแยกรองไปสู่ทางแยกหลัก แต่ไม่สามารถปล่อยออกไปได้ เนื่องจากมีการปรับสัญญาณไฟให้กับทิศทางที่ตัดกับทิศทางมุ่งเข้ามาสู่ทางแยกหลักมากขึ้น จนทำให้ปริมาณจราจรในทิศทางที่เข้าสู่ทางแยกหลักมีการติดขัดมากขึ้น จึงทำให้การจราจรติดขัดกระจายไปในวงกว้างมากขึ้น

กรณีที่มีปริมาณจราจรของสองทิศทางไม่เท่ากัน วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัดปริมาณจราจร (วิธีที่ 4) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สามารถรองรับสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรไม่เท่ากันทั้งสองทิศทางได้ดีที่สุด (ดูรูปที่ 5.13 และรายละเอียดในภาคผนวก ค. ประกอบ)



รูปที่ 5.13 ความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีปริมาณจราจรสองทิศทางต่างกัน (ปริมาณจราจรอิ่มตัว)

และเนื่องมาจากผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยอาศัยโปรแกรม CORSIM ในกรณีที่มีปริมาณจราจรคงที่ข้างต้น แสดงให้เห็นว่ากรณีที่ปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางเท่ากันและกรณีที่ปริมาณจราจรทั้งสองทิศทางไม่เท่ากัน วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ดีที่สุดของทั้งสองกรณีข้างต้นคือวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบเดียวกัน ดังนั้นส่วนที่เป็นการจำลองสภาพจราจรในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลงในส่วนต่อไปจะเลือกจำลองสภาพจราจรเฉพาะในกรณีที่มีปริมาณจราจรเท่ากันทั้งสองทิศทาง และอาจจะทำการจำลองสภาพจราจรเพิ่มเติมบางกรณีเพื่อตรวจสอบข้อสมมติฐานข้างต้น

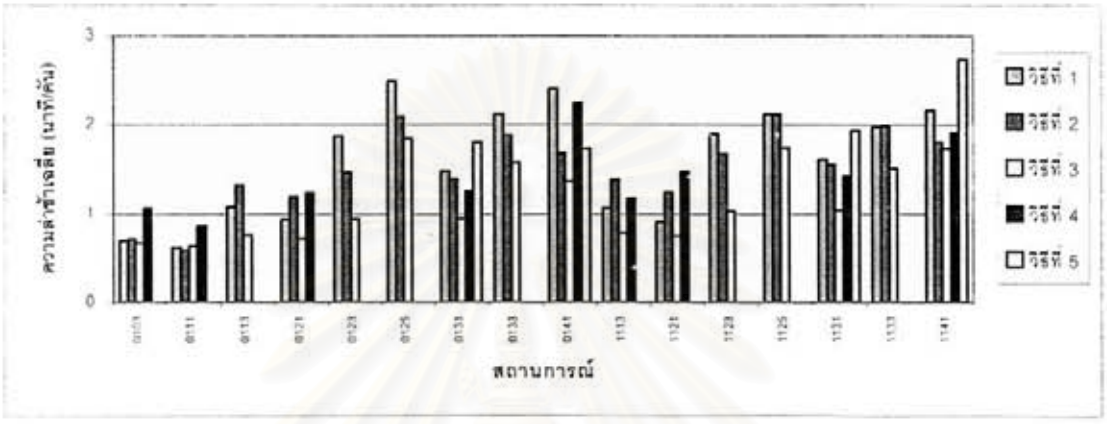
<u>สภาพจราจรเปลี่ยนแปลง</u>

การจำลองสภาพจราจรในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟ 5 วิธี ในสภาพจราจรที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยทดสอบวิธีควบคุมสัญญาณไฟในกรณีช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาวไม่เท่ากัน 2 กรณี คือ กรณีที่มีความยาว 10 นาที และ กรณีที่มีความยาว 20 นาที เนื่องจากช่วงเวลาที่ยาว 10 นาที ยังไม่ได้ก่อให้เกิดความคับคั่งทุติยภูมิจนแถวคอยย้อนกลับมาปิดทางแยกก่อนหน้า แต่ในกรณีที่มีความยาวช่วงเวลา 20 นาที ความยาวดังกล่าวยาวเพียงพอที่จะทำให้เกิดแถวคอยจนย้อนกลับมาปิดทางแยกก่อนหน้าได้

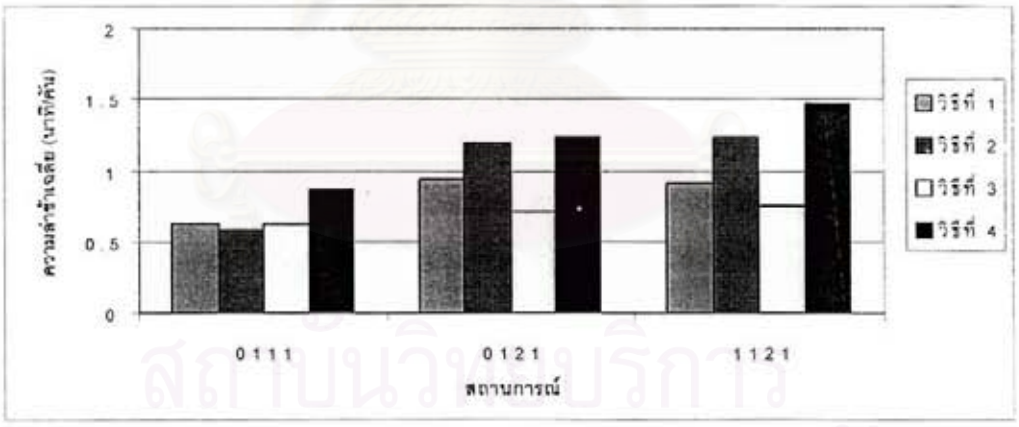
- ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 10 นาที

กรณีที่เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรจากระดับหนึ่งขึ้นไปสู่อีกระดับหนึ่ง โดยระดับของปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงทั้ง 2 ระดับ มีระดับของปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ 0103 0111 0113 0121 1113 และ1121 ในรูปที่ 5.14 และ รูปที่ 5.15) พบว่ากรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางนี้ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่

5.14 และรูปที่ 5.15 แต่ในกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางค่าความล่าช้าที่ประเมินได้ไม่มีความแตกต่างจากความล่าช้าเฉลี่ยจากวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1) และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) มากนัก ในขณะที่มีปริมาณจราจรสูงขึ้นแต่ยังคงไม่เกินระดับการให้บริการของทางแยก จะสังเกตเห็นว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุดอย่างชัดเจนขึ้น



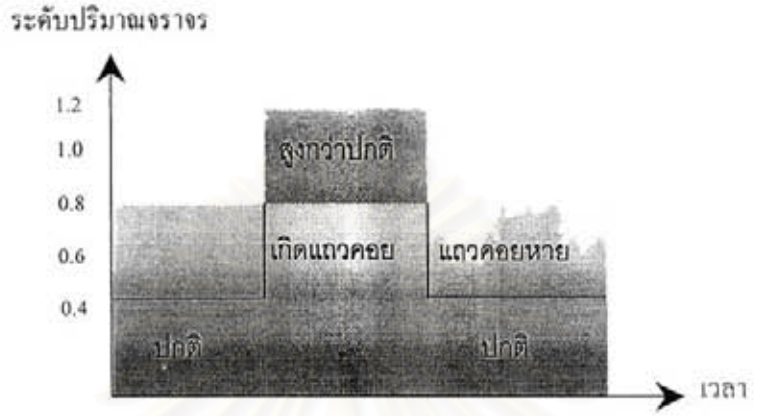
รูปที่ 5.14 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



รูปที่ 5.15 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา)

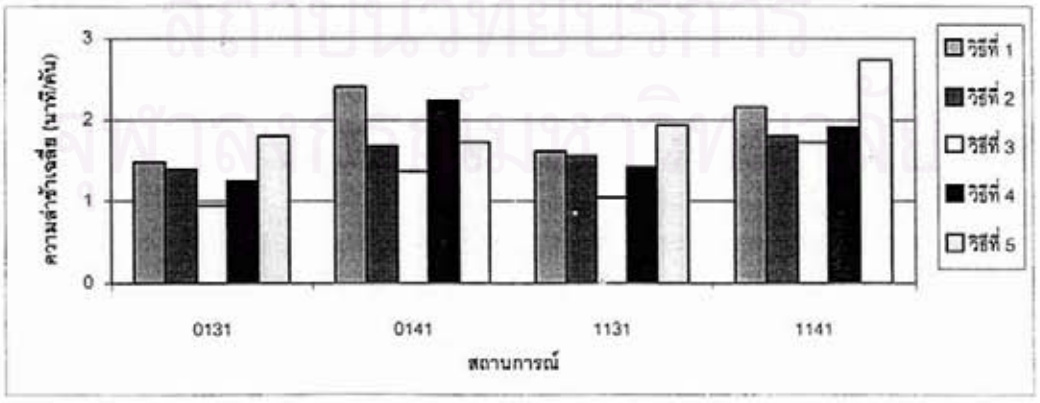
เหตุผลที่ทำให้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่สะท้อนผ่านตัววัดประสิทธิภาพการจราจรให้เห็นว่าเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเบาบางและเปลี่ยนแปลงตามเวลา ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 นี้ จะไม่มียวดยานตกค้างที่ทางแยกในทุกรอบสัญญาณไฟในรอบสัญญาณไฟที่มีปริมาณจราจรต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรปกติ แต่เมื่อมี

ปริมาณจราจรสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ 3 จะไม่สามารถปล่อยกลุ่มยวดยานที่รออยู่ที่ทางแยกทั้งหมดได้ จนเหลือเป็นปริมาณจราจรตกค้างที่ทางแยกรวดเร็วที่สุด และเมื่อปริมาณจราจรลดลงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรหรือช่วงปริมาณจราจรปกติ การควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบที่ 3 จะเป็นวิธีที่ขจัดแถวคอยที่ตกค้างได้รวดเร็ว



รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 3 กับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป

ส่วนกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากปริมาณจราจรเดิมที่ต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกไปเป็นปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วลดลงจนมีปริมาณจราจรในระดับเดิมนี้ อาจแบ่งย่อยลงไปอีก 2 ระดับ ระดับที่หนึ่งมีปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกเกิดขึ้นเป็นเวลาสั้นเกินกว่าจะเกิดความคับคั่งทุติยภูมิซึ่งเป็นความคับคั่งชนิดที่มีแถวคอยยาวจนล้นความยาวของถนน (สถานการณ์ 0123 0131 0125 0133 0141 1125 และ 1133 ในรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.17) ระดับที่สองมีปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยกเกิดขึ้นเป็นเวลาจนเกิดความคับคั่งทุติยภูมิ (สถานการณ์ 1141 ในรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.17)

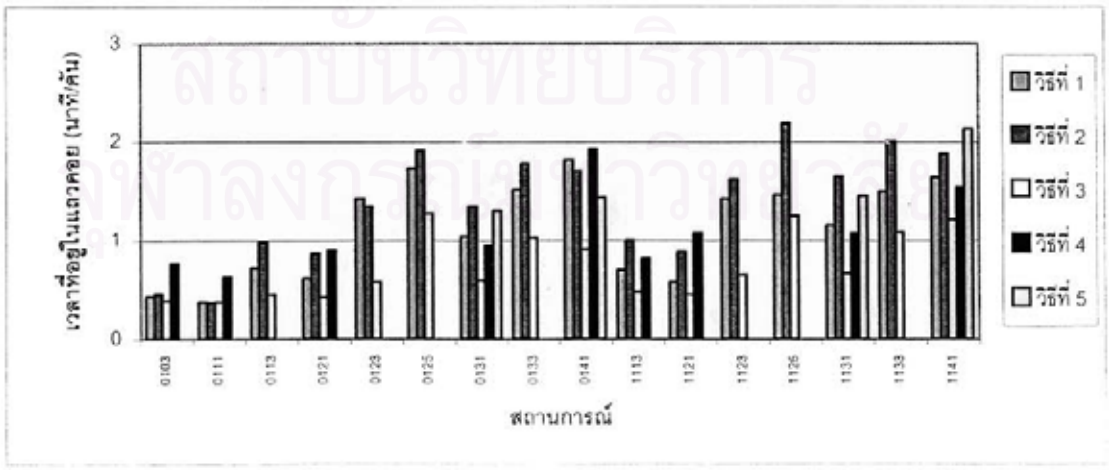


รูปที่ 5.17 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที และปริมาณจราจรช่วงที่สองเป็นปริมาณจราจรอิ่มตัว)

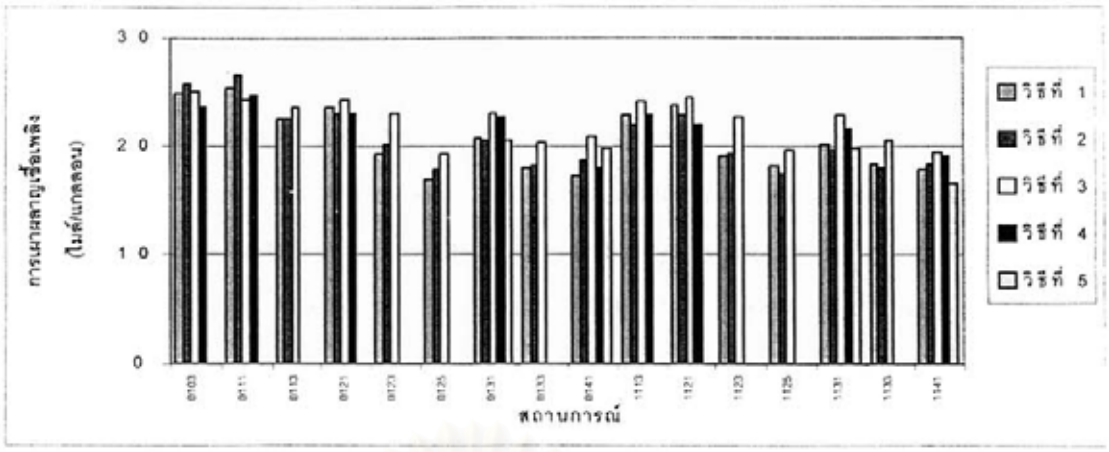
จากกรณีที่อ้างถึงข้างต้นจะสังเกตุว่ากรณีที่ไม่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิยกเว้นสถานการณ์ 1141 ที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิในช่วงเวลาสั้น ๆ การควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) ควบคุมสัญญาณไฟจะส่งผลให้ความล่าช้าที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำสุดเช่นเดียวกับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก ส่วนกรณีที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้เกิดความล่าช้าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) หากพิจารณาดูผลลัพธ์ในช่วงท้าย ๆ ของการจำลองสภาพซึ่งเป็นช่วงที่เกิดความคับคั่งทุติยภูมิ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟทุกแบบจะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างจะใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพจราจรที่มีความคับคั่งทุติยภูมิจะเป็นกรณีที่ไม่มีวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบใดที่จะสามารถจัดการกับเหตุการณ์ดังกล่าวได้

เหตุที่การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) สามารถรองรับการจราจรในกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด น่าจะมาจากเหตุผลที่ว่า การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่เฉลี่ยปริมาณจราจรจะไม่มีแถวคอยตกค้างอยู่ที่ทางแยกในทุกรอบสัญญาณไฟ และเมื่อมีปริมาณจราจรมากเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก การควบคุมสัญญาณไฟโดยวิธีดังกล่าวไม่สามารถรองรับปริมาณจราจรในระดับที่เกินความสามารถในการให้บริการได้จนทำให้เกิดแถวคอย แต่เมื่อปริมาณจราจรลดระดับลง การใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ยาวกว่าความยาวรอบสัญญาณไฟแบบวิธีอื่น ๆ จะทำให้การควบคุมแบบนี้สามารถขจัดแถวคอยออกจากทางแยกได้เร็วกว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีอื่น ๆ เช่นกัน

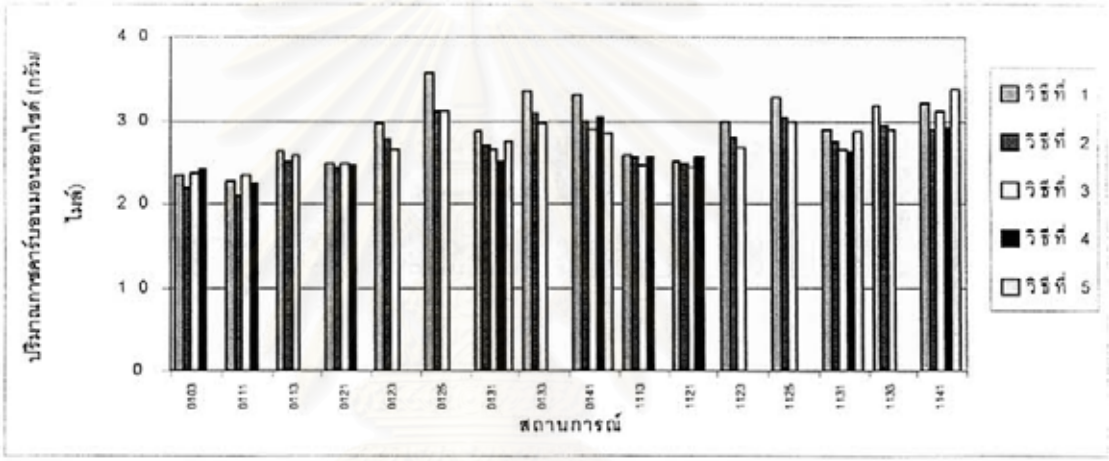
การพิจารณาในส่วนของเวลาที่อยู่ในแถวคอย ดังรูปที่ 5.18 พบว่าจะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับความล่าช้าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.14 ส่วนการเผาผลาญเชื้อเพลิงและการปล่อยกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ (รูปที่ 5.19 และ รูปที่ 5.20) พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะต่างออกไป เนื่องจากมีปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยกออกไปไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 5.21 แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นการสรุปผลลัพธ์ยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



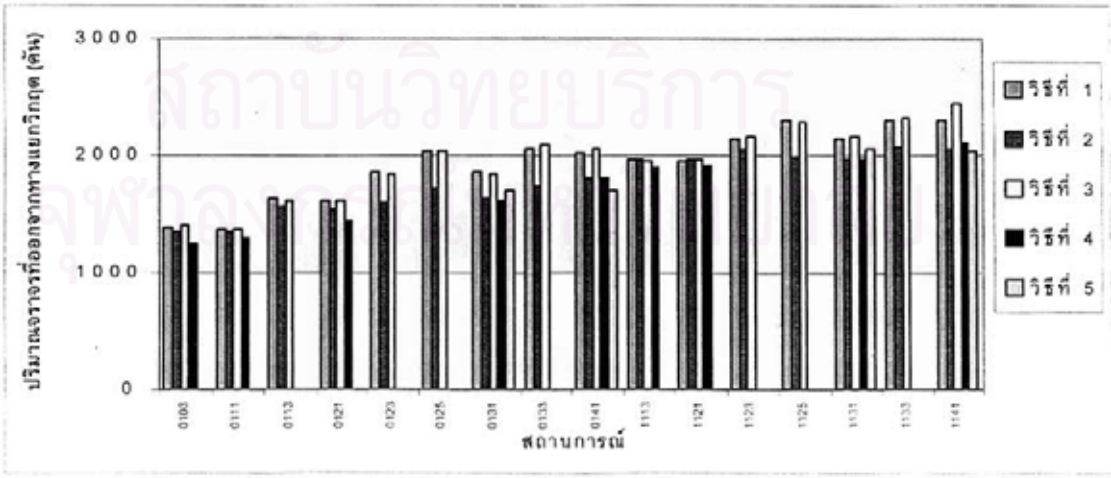
รูปที่ 5.18 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง
(ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



รูปที่ 5.19 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



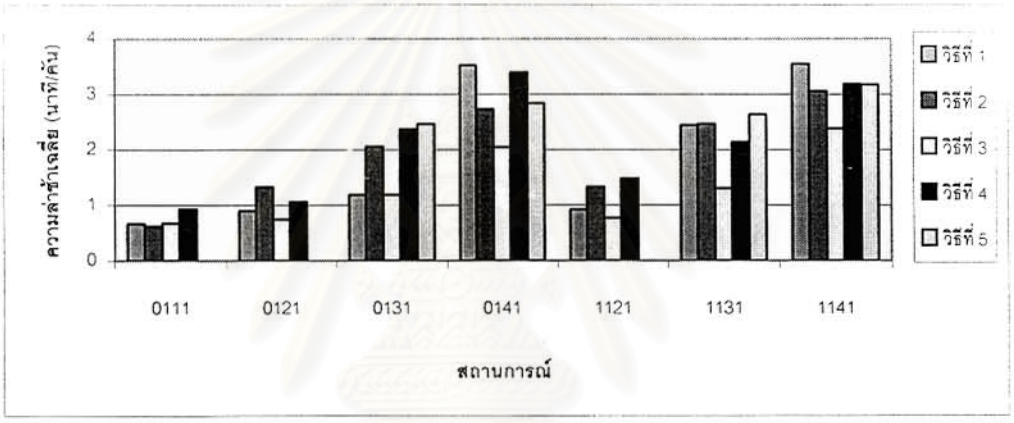
รูปที่ 5.20 ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)



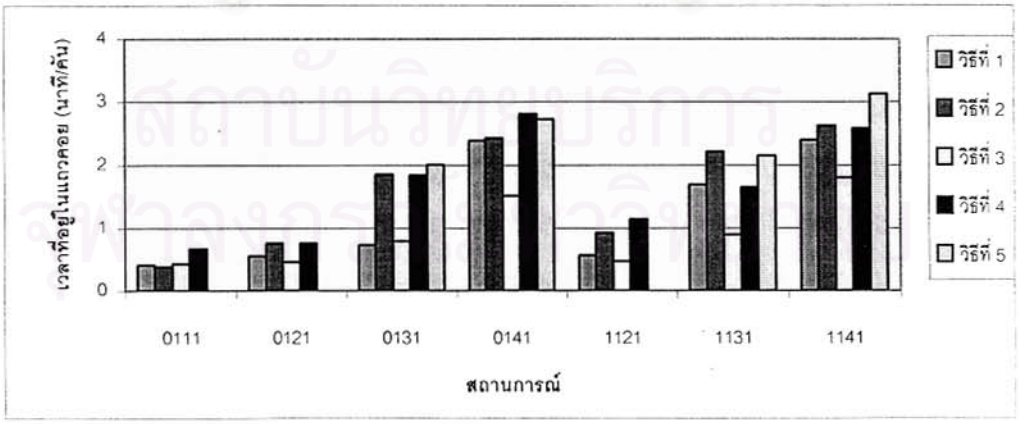
รูปที่ 5.21 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาที)

- ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 20 นาที

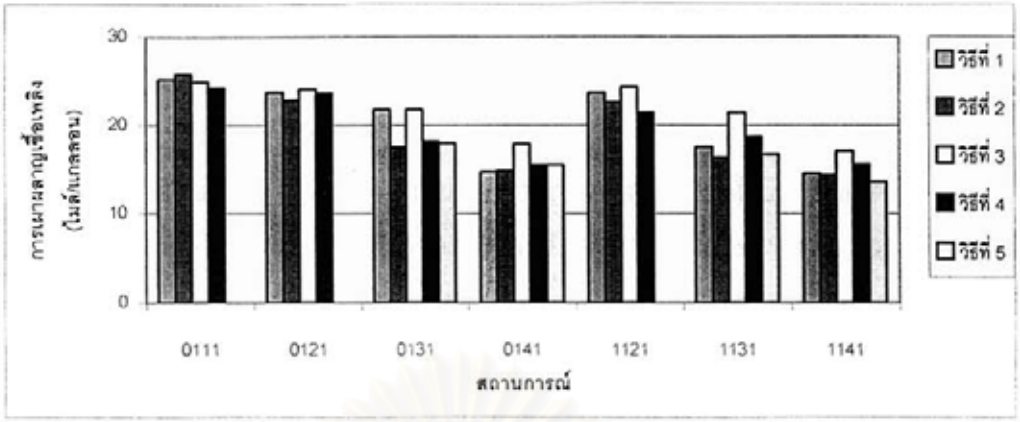
การเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติจากเดิม 10 นาที เป็น 20 นาที ในการศึกษาครั้งนี้ได้จำลองสภาพจราจรเฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรของทั้งสองทิศทางเท่ากันเท่านั้น วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดสำหรับกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่งขึ้นไปสู่อีกระดับหนึ่งที่มีระดับของปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก (สถานการณ์ 0111 0121 และ1121 ในรูปที่ 5.22) ยังคงเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เช่นเดียวกับกรณีที่ช่วงความยาวที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าระดับปกติยาว 10 นาที ทั้งในแง่ของตัววัดประสิทธิภาพที่เป็นความล่าช้าเฉลี่ย เวลาในแถวคอย การเผาผลาญเชื้อเพลิง และปริมาณกาซคาร์บอนมอนออกไซด์ สามารถดูได้จากรูปที่ 5.22 ถึง รูปที่ 5.25



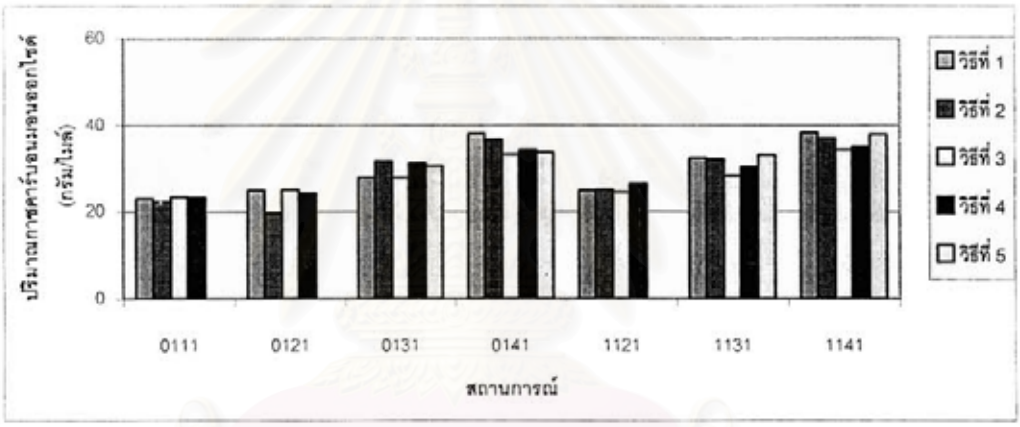
รูปที่ 5.22 ความล่าช้าเฉลี่ยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



รูปที่ 5.23 เวลาในแถวคอยของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



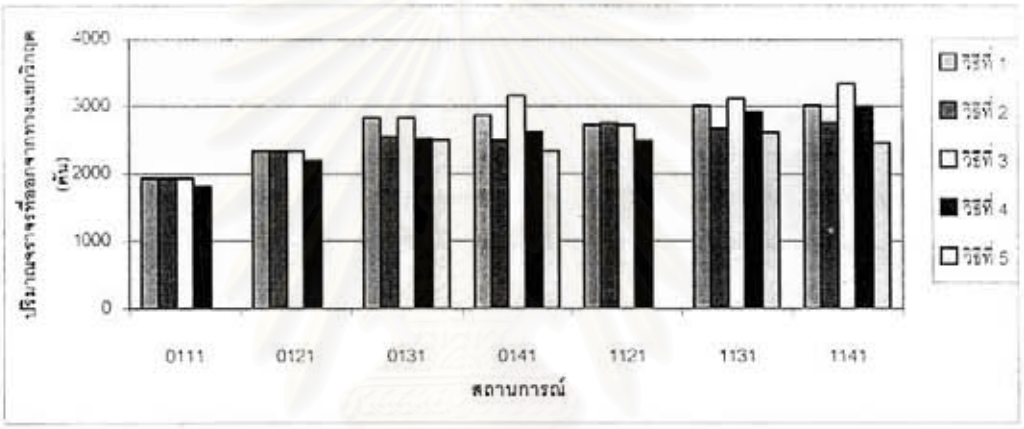
รูปที่ 5.24 อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิงของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)



รูปที่ 5.25 ปริมาณกาซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)

ส่วนกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากปริมาณจราจรเดิมที่ต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกไปเป็นปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลาสั้นเกินกว่าจะเกิดแถวคอยย้อนกลับ (สถานการณ์ 0131 และ 1131 ในรูปที่ 5.22) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุด และกรณีที่มีปริมาณจราจรที่สูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเป็นระยะเวลานานเพียงพอที่จะเกิดแถวคอยย้อนกลับ (สถานการณ์ 0141 และ 1141 ในรูปที่ 5.22) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) จะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดเช่นกัน

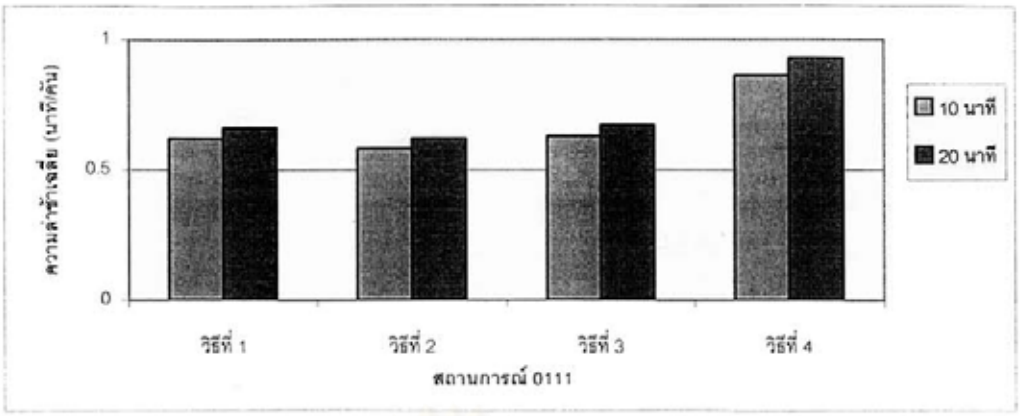
ข้อน่าสังเกตอีกประการหนึ่งที่สังเกตได้ คือ จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) เมื่อมีช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงยาวขึ้นจากเดิม 10 นาที (รูปที่ 5.21) เพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที (รูปที่ 5.26) ปริมาณจราจรที่ออกจากทางแยกวิกฤตในกรณีที่มีปริมาณจราจรสูงขึ้น (สถานการณ์ 0141 และ 1141) มีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากปริมาณจราจรที่เข้ามาสู่ทางแยกมีมากกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกเข้ามาเป็นเวลานานขึ้น ความยาวของแถวคอยที่ยาวมากขึ้นจะเป็นข้อจำกัดในการจัดสัญญาณไฟ การใช้ที่ว่างหลังแถวคอยจะโดนจำกัดมากขึ้น ระยะเวลาในการเปิดสัญญาณไฟจะสั้นลง จึงทำให้ในระยะเวลาที่เท่ากันวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีความยาวรอบสัญญาณไฟต่ำกว่าจะมีเวลาสูญเสียอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นมากกว่า (Start up lost time) ปริมาณจราจรที่ผ่านออกจากทางแยกหลัก (ทางแยกที่1) มีจำนวนลดลง



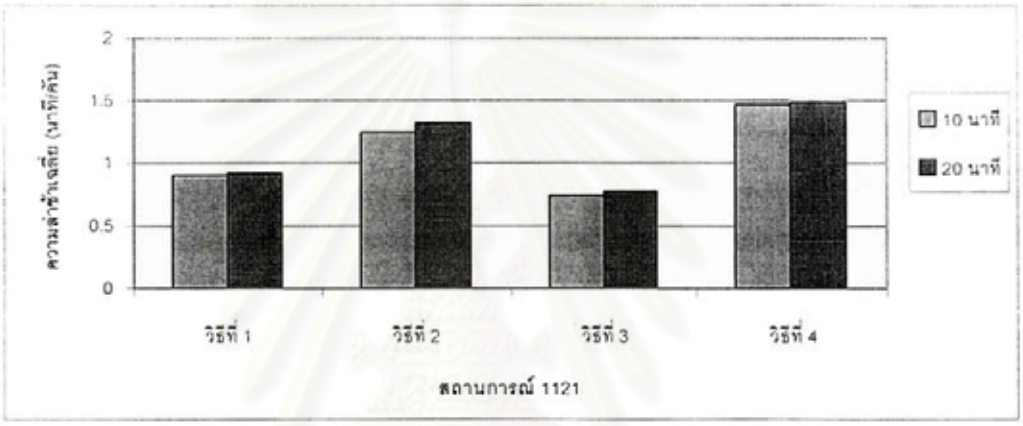
รูปที่ 5.26 จำนวนยวดยานที่ออกจากทางแยกวิกฤตของวิธีการควบคุมต่าง ๆ ในสภาพจราจรเปลี่ยนแปลง (ช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาที)

<u>เปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ เมื่อมีความยาวช่วงเวลาที่ไม่เท่ากัน</u>

สำหรับสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงในระดับปริมาณจราจรเบาบาง (รูปที่ 5.27) คือระดับปริมาณจราจรในช่วงปกติอยู่ที่ประมาณ 0.4 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยกเปลี่ยนแปลงไปสู่ระดับประมาณ 0.6 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก พบว่าความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 20 นาทีสูงกว่าความล่าช้าเฉลี่ยในกรณีที่มีช่วงปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาว 10 นาทีไม่มากนัก อยู่ในช่วงประมาณ 6.3 ถึง 8.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงในระดับปริมาณจราจรในช่วงปกติอยู่ที่ประมาณ 0.6 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก เปลี่ยนไปสู่ระดับประมาณ 0.8 เท่าของความสามารถในการให้บริการของทางแยก (รูปที่ 5.28) พบว่าความล่าช้าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วงประมาณ 0.7 ถึง 2.7 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นการควบคุมสัญญาณไฟให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานเปลี่ยนไป 7.2 เปอร์เซ็นต์



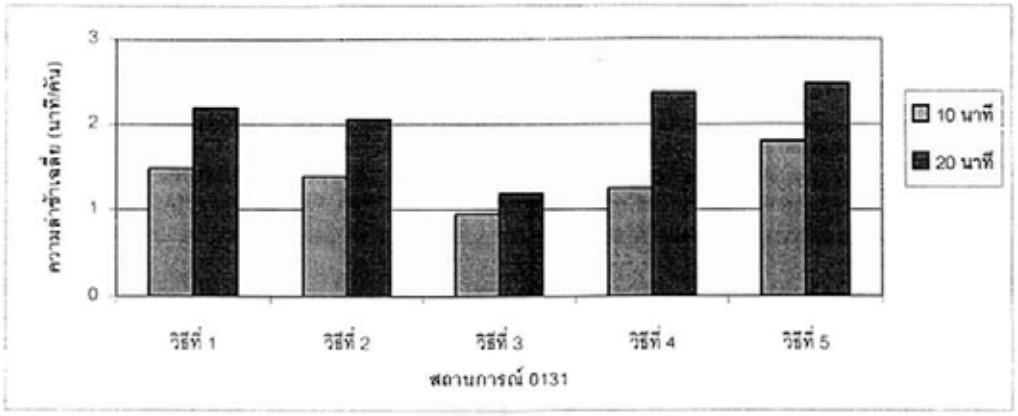
รูปที่ 5.27 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรเบาบางทั้งสองช่วงเวลา



รูปที่ 5.28 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงขึ้น
แต่ยังต่ำกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก

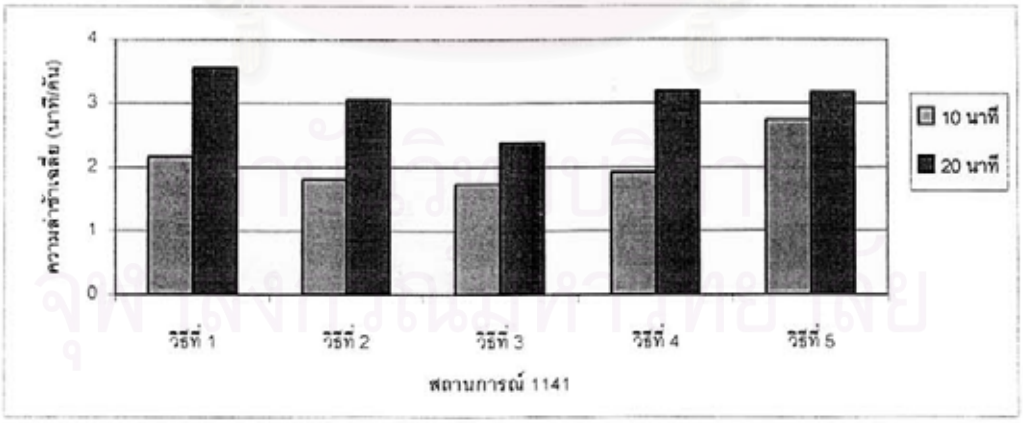
จากเหตุผลประกอบภาพข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้ไม่ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาวนานขึ้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2) เป็นวิธีที่มีความล่าช้าเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

ส่วนกรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับปริมาณจราจรปกติไปเป็นระดับที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก แต่ยังไม่มีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า (รูปที่ 5.29) การเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติจากเดิม 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



รูปที่ 5.29 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (แต่ยังไม่มีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า)

กรณีที่มีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงจากระดับปริมาณจราจรปกติไปเป็นระดับที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยก และมีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า (รูปที่ 5.29) การเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติจากเดิม 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 และการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ความยาวของที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) จะมีความล่าช้าเพิ่มขึ้นต่ำที่สุดคิดเป็น 16.1 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุที่ความล่าช้าของวิธีที่ 5 เปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเป็นเพราะความล่าช้าในช่วงความยาว 10 นาที ค่อนข้างจะเป็นจุดที่เป็นภาวะสมดุล ดังนั้นช่วงความยาว 20 นาที จึงมีความเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า

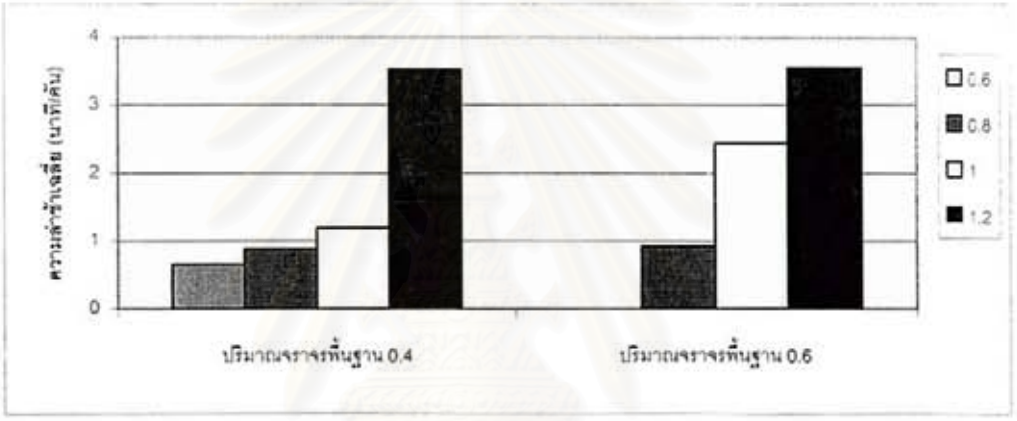


รูปที่ 5.30 สถานการณ์ที่มีปริมาณจราจรในช่วงที่ไม่ปกติสูงกว่าความสามารถในการให้บริการ (และมีแถวคอยย้อนกลับไปบังทางแยกก่อนหน้า)

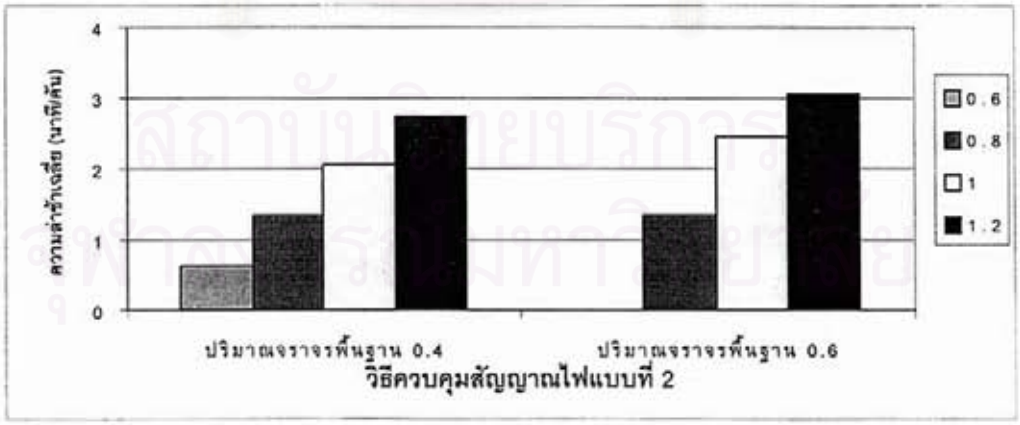
ดังนั้นจะสรุปได้ว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3) เป็นวิธีที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อมีความยาวช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติยาวนานขึ้น

เปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่าง ๆ เมื่อมีระดับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไป

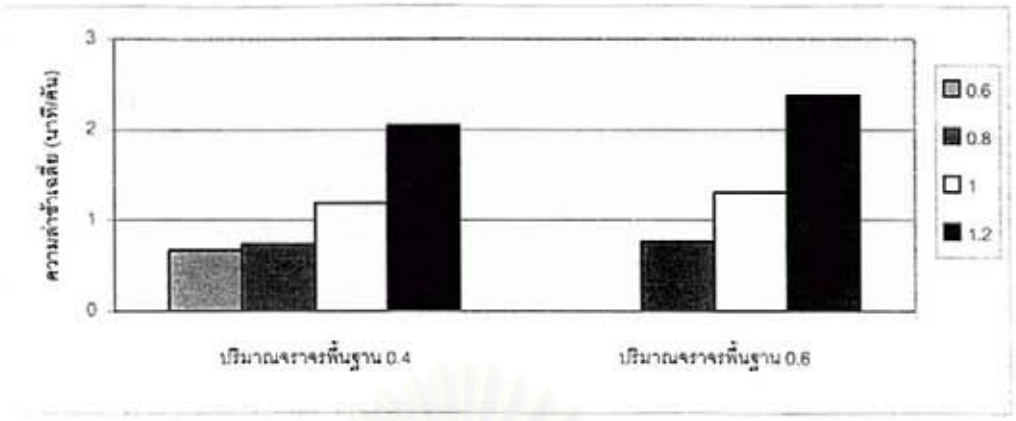
เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรม CORSIM มาเปรียบเทียบดูความแตกต่างระหว่างปริมาณจราจรที่ระดับต่าง ๆ กัน พบว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 1 (รูปที่ 5.31) วิธีที่ 2 (รูปที่ 5.32) วิธีที่ 3 (รูปที่ 5.33) และวิธีที่ 5 (รูปที่ 5.35) จะได้ผลลัพธ์ในทำนองเดียวกัน คือ การเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรจากสภาพจราจรปกติ (ระดับต่ำ) ไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) จะมีความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้น และเมื่อมีระดับปริมาณจราจรของสภาพจราจรปกติที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) ที่มีระดับเท่ากัน จะได้ความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



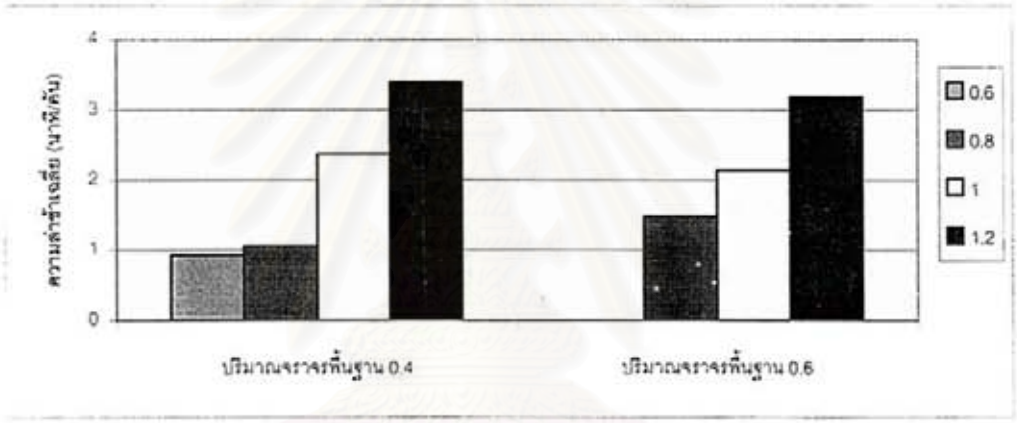
รูปที่ 5.31 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1)



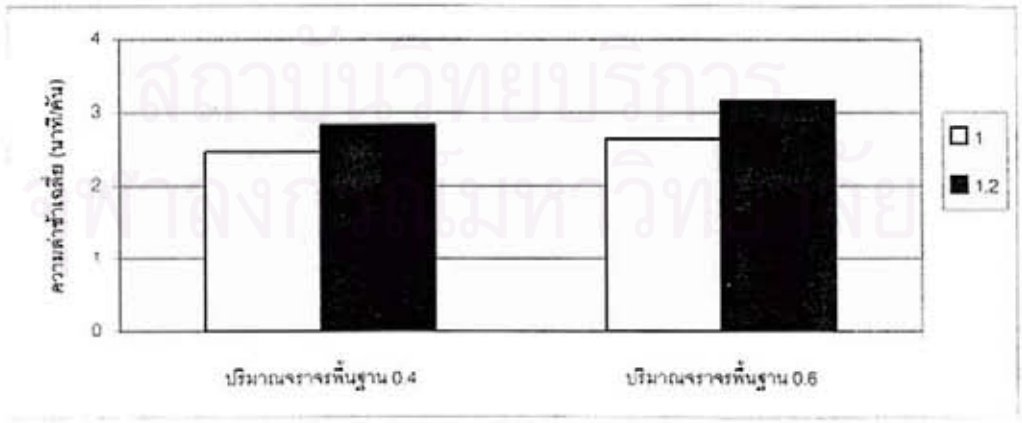
รูปที่ 5.32 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่คำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน (วิธีที่ 2)



รูปที่ 5.33 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 3)



รูปที่ 5.34 วิธีและการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4)



รูปที่ 5.35 วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5)

ส่วนวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4) ดังแสดงในรูปที่ 5.34 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรจากสภาพจราจรปกติ (ระดับต่ำ) ไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) จะได้ความล่าช้าที่ประเมินได้เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบอื่น แต่เมื่อมีระดับปริมาณจราจรของสภาพจราจรปกติที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพจราจรที่สูงกว่าปกติ (ระดับสูง) ที่มีระดับเท่ากัน ความล่าช้าที่ประเมินได้มีแนวโน้มว่าจะลดลง

ทั้งนี้จะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ใช้ปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4) เป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพจราจรมากที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับปริมาณจราจรที่สูงมาก ๆ จะทำให้การควบคุมสัญญาณไฟวิธีที่ 4 นี้ ไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงไม่ดีเพียงพอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการหาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่มีปริมาณการจราจรโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรที่มีกระบวนการประมวลผลที่แตกต่างกัน 2 โปรแกรม คือ โปรแกรม TRANSYT-7F รุ่นที่ 8 และ โปรแกรม CORSIM การศึกษาจะเน้นไปที่การจำลองการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรอิ่มตัวและเปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นการจำลองการควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรเบาบางยังคงเป็นสิ่งจำเป็น

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรคงที่นั้นเป็นการทดสอบวิธีการจัดสัญญาณไฟสี่แบบที่คำนวณจากข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีต การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพการจราจรคงที่นั้นเป็นการอดีตและให้ความสำคัญกับยวดยานบนถนนสายหลัก ข้อมูลการจราจรจากตัววัดปริมาณการจราจรและที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป และวิธีการควบคุมสัญญาณไฟดังกล่าวยังนำไปทดสอบในสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยเพิ่มวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนวณจากข้อมูลปริมาณการจราจรในอดีตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งวิธี

ผลจากการทดลองนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ในการจำลองสภาพโดยใช้โปรแกรมทรานสิตพบว่า โปรแกรมทรานสิตซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้แบบจำลองมหภาคในการจำลองสภาพจราจรสามารถใช้งานได้เฉพาะกรณีที่มีปริมาณจราจรไม่เกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก และกรณีที่มีปริมาณจราจรเกินความสามารถในการให้บริการของทางแยก แต่สามารถขจัดแถวคอยได้ภายใน 2 รอบสัญญาณไฟ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพจราจรสำหรับกรณีที่ปริมาณจราจรอิ่มตัวจึงให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปที่ผิดปกติ คือ อยู่ในรูปที่เป็นค่าติดลบ และในรูปที่มีค่าสูงกว่าปกติอย่างมาก เนื่องมาจากข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพการจราจรเกินกว่าความสามารถในการให้บริการของทางแยกโดยตั้งค่าขีดจำกัดบนไว้ที่ 1000 ทั้งการคำนวณความล่าช้าและจำนวนครั้งที่หยุด การประยุกต์ใช้โปรแกรมทรานสิตในการจำลองสภาพจราจรจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบและสรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้

ส่วนเมื่อนำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ออกแบบไปใช้ในการจำลองสภาพจราจรโดยอาศัยแบบจำลองจุลภาค NETSIM พบว่าสามารถนำแบบจำลองจุลภาคไปใช้ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบด้วยตัววัดประสิทธิภาพที่สะท้อนให้เห็นถึงความคล่องตัว อันได้แก่

ความล่าช้าเฉลี่ย เวลาที่อยู่ในแถวคอย จำนวนรถที่ผ่านทางแยกวิกฤตออกไปได้ทั้งหมด อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยออกมา ซึ่งอาจจะสรุปผลลัพธ์จากการจำลองสภาพจราจรได้ว่า

ในสภาพจราจรเบาบางและไม่มีความผันแปรของสภาพจราจร การควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดเมื่อมองในแง่ของความล่าช้า ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตและให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลัก ส่วนในสภาพการจราจรอิ่มตัวและไม่มีความผันแปรของสภาพจราจร การควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้มีความล่าช้าเกิดขึ้นที่ทางแยกน้อยที่สุด ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นตัวควบคุม และในสภาพการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การควบคุมสัญญาณไฟที่ดีที่สุดในแง่ของความล่าช้าทั้งกรณีที่มีแถวคอยและไม่มีแถวคอยยาวย้อนกลับไปบดบังทางแยกถัดไป ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรในอดีต

สำหรับในสภาพการจราจรที่เป็นจริงจะเห็นว่าลักษณะของการจราจรค่อนข้างจะมีลักษณะที่ไม่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้การควบคุมสัญญาณไฟแบบเดียวจะไม่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงการจราจรได้ดีเพียงพอ จะเห็นได้ว่าแม้การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ยจะเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่ทำให้ความล่าช้าที่เกิดที่ทางแยกในโครงข่ายมีค่าต่ำที่สุด แต่ถ้าหากว่านำวิธีการควบคุมแบบนี้ไปใช้ในการควบคุมสัญญาณไฟตลอดเวลา พบว่าในสภาพการจราจรเบาบางนานมาก ๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้จะทำให้เกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากเวลาที่ไม่มีรถวิ่งออกจากทางแยกในขณะสัญญาณไฟเขียว ซึ่งจะเป็นความล่าช้าของทางแยกเช่นกัน และในสภาพจราจรอิ่มตัวเป็นเวลานานมาก ๆ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบนี้จะทำให้เกิดแถวคอยยาวย้อนกลับไปบังทางแยกถัดไปได้เร็วที่สุด จึงจะทำให้การควบคุมสัญญาณไฟของทางแยกอื่นในโครงข่ายได้รับผลกระทบและได้รับความยากลำบากในการควบคุมสัญญาณไฟอย่างมาก ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ตัวควบคุมการจัดสัญญาณไฟหลาย ๆ แบบที่สอดคล้องกับสภาพการจราจร จึงเป็นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ดีที่สุด

การควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตและให้ความสำคัญกับยวดยานบนถนนสายหลักสำหรับสภาพจราจรเบาบาง แล้วเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นตัวควบคุมเมื่อมีปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้น และเมื่อปริมาณจราจรลดระดับลงการคงไว้ซึ่งการควบคุมสัญญาณไฟอีกแบบหนึ่งที่สามารถขจัดแถวคอยได้จนถึงระยะเวลาหนึ่งที่เหมาะสม จะเป็นการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ดีที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะ

จะเห็นได้ว่าวิธีการควบคุมสัญญาณดังที่ได้ทดสอบมานี้ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรในอดีตซึ่งสามารถขจัดแถวคอยได้เร็วที่สุดเป็นวิธีการควบคุมที่ดีที่สุด เนื่องจากการตั้งความยาวรอบสัญญาณไฟที่ยาวจนกระทั่งแถวคอยสะสมที่เกิดจากช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าหายไป แต่ถ้าหากพิจารณาว่าการควบคุมสัญญาณไฟด้วยระดับการควบคุมสัญญาณไฟที่เกินกว่าระดับปริมาณจราจรที่แท้จริงเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดความสูญเสียอันเนื่องมาจากเวลาที่ไม่มีรถวิ่งออกจากทางแยกในขณะสัญญาณไฟเขียว ดังนั้นการควบคุมสัญญาณไฟด้วยวิธีแบบนี้จะไม่น่าให้ผลดีได้ ถ้าหากว่ามีช่วงที่มีปริมาณจราจรเบาบางนานกว่าความยาวที่มีช่วงปริมาณจราจรเบาบางที่ใช้ทดลอง

ดังนั้นวิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ไม่ได้ใช้ตัวควบคุมการจัดสัญญาณไฟตัวเดียวน่าจะให้ผลลัพธ์ต่อการจราจรโดยรวมได้ดีกว่า การควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ข้อมูลในอดีตและให้ความสำคัญกับยวดยานบนถนนสายหลักสำหรับสภาพจราจรเบาบาง แล้วเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไปเป็นตัวควบคุมเมื่อมีปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้น และเมื่อปริมาณจราจรลดระดับลงการคงไว้ซึ่งการควบคุมสัญญาณไฟอีกแบบหนึ่งที่สามารถขจัดแถวคอยได้จนถึงระยะเวลาหนึ่งที่เหมาะสม จะเป็นการควบคุมสัญญาณไฟแบบที่ดีที่สุด และเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้ในการเปลี่ยนแปลงการควบคุมสัญญาณไฟแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่งจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและค้นหาคำตอบต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สรวิศ นฤปิติ และ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา. 2541. แบบจำลองการกระจายตัวของกลุ่มรถ. สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิตติชัย รุจจนกนกนาฏ ชนินทร์ เรืองทวีคูณ และ ชาญวุฒิ จารุชัยมนตรี. 2541. การประยุกต์ใช้โปรแกรมทรานสิตในสภาพการจราจรหนาแน่น. โครงงานทางวิศวกรรมโยธา 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-Kukk. 1997. Adaptive Signal Control for oversaturated arterials. New York.

FHWA. 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 : 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 : pp.111-118.

Gartner, N. H.. 1983. OPAC: A Demand -Responsive Strategy for Traffic Signal Control. Transportation Research Record 906 : pp.75-81.

Gartner, N. H. and Hou, D. L.. 1992. Comparative Evaluation of Alternative Traffic Control Strategies. Transportation Research Record 1360 : 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 : pp.98-105.

Gordon, R. L.. 1969. A Technique for Control of Traffic at Critical Intersections. Transportation Science Vol.4 : pp.279-288.

Gray, B. M. and Ibbetson, L.. 1991. Operational Traffic Control Strategies for Congestion. Traffic Engineering and Control Vol.32(2) : pp.60-66.

Highway Research Board. 1972. Measures of the Quality of Traffic Service : Special Report 130. Washington D.C. : National Academic of Sciences. National Academy of Engineering,

Longley, D. A.. 1968. Control Strategy for a Congested Computer-Controlled Traffic Network. Transportation Research Vol. 2 : pp.391-408.

McShane, W. R. and Roess, R. P.. 1990. Traffic Engineering. New Jersey : Prentice Hall,

Memon, G. Q. and Bullen, A.G.R.. 1996. Multivariate Optimization Strategies for Real-Time Traffic Control Signals. Transportation Research Record 1554. : pp.36-42.

Montgomery, F. O. and Quinn, D. J.. 1992. Queue Management Strategies Using Fixed Time signal Control. IEE Conference Vol.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 : 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.

Olmo, P. D. and Mirchandani, P. B.. 1995. REALBAND: An Approach for Real-Time Coordination of Traffic Flows on Networks. Transportation Research Record 1494 : pp.106-116.

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. Washington D.C. : National Research Council,

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. New York : John Wiley & Sons Ltd,

Wallace et al.. 1998. TRANSYT-7F User Guide. Vol.4. Methodology for Optimizing Signal Timing. Washington : U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration,

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ปริมาณจราจร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก - 1 ปริมาณจราจรคงที่ (คันต่อชั่วโมงต่อทิศทางที่พิจารณา)

กรณี	สัดส่วน	ทางแยกหลัก (1)			ทางแยกรอง (3, 5, 6, 7)			ทางแยกรอง (2, 4)		
		ระดับ X*	ถนนหลัก	ถนนรอง	ระดับ X*	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ระดับ X*	ถนนรอง	ถนนอื่น
C02	1:1	0.4	600	600	0.3	600	300	0.3	600	300
C03	1:2	0.6	1240	600	0.5	1240	300	0.3	600	300
C05	1:3	0.8	1860	600	0.7	1860	300	0.3	600	300
C07	1:4	1.0	2480	600	0.9	2480	300	0.3	600	300
C11	1:1	0.6	920	920	0.45	920	460	0.45	920	460
C13	3:5	0.8	1560	920	0.75	1560	780	0.45	920	460
C15	3:8	1.0	2180	920	0.9	2180	620	0.45	920	460
C21	1:1	0.8	1240	1240	0.6	1240	620	0.6	1240	620
C23	2:3	1.0	1860	1240	0.9	1860	930	0.6	1240	620
C25	1:2	1.2	2480	1240	0.9	2480	300	0.6	1240	620
C31	1:1	1.0	1560	1560	0.75	1560	780	0.75	1560	780
C33	8:11	1.2	2180	1560	0.9	2180	620	0.75	1560	780
C41	1:1	1.2	1860	1860	0.9	1860	930	0.9	1860	930

* ระดับ X คือ ระดับปริมาณจราจรเทียบกับความสามารถในการให้บริการของทางแยกโดยประมาณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก - 2 ปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลง (คันต่อชั่วโมงต่อทิศทางที่พิจารณา)

กรณี	ทางแยกหลัก (1) ถนนหลัก			ทางแยกหลัก (1) ถนนรอง			ทางแยกรอง (3, 5, 6, 7) ถนนหลัก			ทางแยกรอง (3, 5, 6, 7) ถนนอื่น			ทางแยกรอง (2, 4) ถนนรอง			ทางแยกรอง (2, 4) ถนนอื่น		
	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 3	คาบที่ 1	คาบที่ 2	คาบที่ 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

ภาคผนวก ข.

การจัดสัญญาณไฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข - 1 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1

กรณี	ทางแยกหลัก (1) (วินาที)					ทางแยกหลัก (3,5,6,7) (วินาที)			ทางแยกหลัก (2,4) (วินาที)		
	ระดับ X	ถนนหลัก		ถนนรอง		ระดับ X	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ระดับ X	ถนนรอง	ถนนอื่น
C01CS1	0.4	12	10	12	10	0.30	35	17	0.30	35	17
C03CS1	0.6	26	20	10	8	0.50	42	10	0.30	35	17
C05CS1	0.8	60	46	16	12	0.70	53	9	0.30	35	17
C07CS1	1.0	105	80	22	17	0.90	145	17	0.30	35	17
C11CS1	0.6	18	14	18	14	0.45	35	17	0.45	35	17
C13CS1	0.8	49	37	27	21	0.75	41	21	0.45	35	17
C15CS1	1.0	91	70	36	27	0.90	126	36	0.45	35	17
C21CS1	0.8	38	29	38	29	0.60	35	17	0.60	41	21
C23CS1	1.0	77	59	50	38	0.90	108	54	0.60	41	21
C25CS1	1.2	86	66	41	31	0.90	145	17	0.60	41	21
C31CS1	1.0	63	49	63	49	0.75	41	21	0.75	75	37
C33CS1	1.2	75	57	52	40	0.90	126	36	0.75	75	37
C41CS1	1.2	63	49	63	49	0.90	108	54	0.90	155	77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข - 2 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2

กรณี	ทางแยกหลัก (1) (วินาที)				ทางแยกหลัก (3,5,6,7) (วินาที)		ทางแยกหลัก (2,4) (วินาที)	
	ถนนหลัก		ถนนรอง		ถนนหลัก	ถนนอื่น	ถนนรอง	ถนนอื่น
C01CS2	12	10	12	10	35	17	35	17
C03CS2	26	20	10	18	58	14	48	24
C05CS2	53	40	23	18	122	20	95	47
C07CS2	105	80	22	17	207	25	155	77
C11CS2	18	14	18	14	48	24	48	24
C13CS2	49	37	27	21	95	47	95	47
C15CS2	91	70	51	27	181	51	155	77
C21CS2	38	29	38	29	95	47	95	47
C23CS2	77	59	50	38	155	77	155	77
C25CS2	86	66	41	31	207	25	155	77
C31CS2	63	49	63	49	155	77	155	77
C33CS2	75	57	52	40	181	51	155	77
C41CS2	63	49	63	49	155	77	155	77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข - 3 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
C01CS4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	23	22	12	9	13	10	19	9	17	35	22	9	15	37
	12	18	18	12	10	12	10	18	9	17	35	18	9	17	35
	13	12	21	17	13	8	6	20	9	16	36	21	9	16	36
	14	23	21	12	9	13	10	19	9	17	35	21	9	16	36
	15	18	17	12	9	13	10	18	9	17	35	17	9	18	34
C03CS4	1	76	23	6	5	30	23	61	9	7	45	23	9	15	37
	2	38	22	12	9	24	19	54	9	10	62	22	9	15	37
	3	40	28	14	11	22	17	43	9	9	43	28	9	13	39
	4	73	29	9	6	28	21	65	9	6	46	29	9	12	40
	5	48	17	7	6	29	22	54	9	10	62	17	9	18	34
	6	29	36	20	16	16	12	40	9	10	42	36	9	10	42
	7	61	22	7	6	29	22	69	9	8	64	22	9	15	37
	8	52	21	8	7	28	21	54	9	9	53	21	9	16	36
	9	38	35	17	13	19	15	42	9	9	43	35	9	11	41
	10	72	27	8	6	28	22	64	9	6	46	27	9	13	39
	11	40	18	10	7	27	20	55	9	10	62	18	9	17	35
C05CS4	1	90	54	49	37	27	21	152	9	9	153	54	9	5	47
	2	61	43	45	35	31	23	135	9	12	180	43	9	7	45
	3	46	58	33	25	43	33	135	9	12	180	58	9	9	43
	4	73	43	49	37	27	21	98	9	5	57	43	9	6	46
	5	65	56	41	31	35	27	105	9	5	57	56	9	6	46
	6	54	44	42	32	34	26	63	9	8	54	44	9	7	45
C07CS4	1	66	79	57	44	70	53	233	9	6	156	79	9	16	116
	2	69	77	60	46	67	51	70	9	18	144	77	9	15	117
	3	82	80	64	49	63	48	73	9	18	144	80	9	13	119
C11CS4	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	32	28	20	15	16	13	39	15	17	45	28	15	17	35
	10	28	53	11	9	25	19	31	15	17	35	53	15	18	34
	11	56	41	22	17	14	11	52	15	12	40	41	15	11	41

ตาราง ข - 3 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
C13CS4	1	128	69	51	39	25	19	114	25	20	92	69	15	18	94
	2	119	81	46	35	30	23	119	25	19	93	81	15	19	93
	3	130	66	52	40	24	18	135	25	18	94	66	15	18	94
	4	131	84	47	36	29	22	140	25	17	95	84	15	18	94
	5	125	68	50	39	25	20	123	25	19	93	68	15	19	93
	6	123	82	46	36	29	23	122	25	19	93	82	15	19	93
C15CS4	1	161	111	76	58	51	39	269	20	16	216	111	15	12	130
	2	98	123	56	43	71	54	132	20	21	141	123	15	18	114
	3	122	114	66	50	61	47	47	20	21	51	114	15	14	118
C21CS4	1	116	96	42	32	34	26	108	20	18	94	96	20	16	96
	2	81	110	32	24	44	34	85	20	21	91	110	20	22	90
	3	111	91	42	32	34	26	110	20	17	95	91	20	17	95
	4	76	104	31	24	45	34	85	20	21	91	104	20	23	89
	5	115	97	42	32	34	26	111	20	17	95	97	20	17	95
	6	81	106	32	25	44	33	87	20	21	91	106	20	22	90
C23CS4	1	188	158	69	53	58	44	292	30	22	210	158	20	18	174
	2	116	163	52	40	75	57	222	30	19	143	163	20	16	96
	3	163	162	64	49	63	48	197	30	21	141	162	20	16	126
C25CS4	1	122	163	54	41	73	56	267	10	8	224	163	20	19	113
	2	122	161	54	41	73	56	149	10	10	152	161	20	19	113
	3	149	147	64	49	63	48	112	10	11	121	147	20	16	116
C31CS4	1	205	177	68	53	58	45	0	25	18	154	177	25	19	153
	2	146	199	53	41	73	57	176	25	21	151	199	25	25	147
	3	121	124	63	48	64	49	217	25	24	208	124	25	29	143
C33CS4	1	164	159	64	50	62	48	320	20	14	218	159	25	19	123
	2	128	112	68	52	59	45	138	20	21	141	112	25	26	136
	3	132	106	71	54	56	43	142	20	20	142	106	25	26	136
C41CS4	1	158	174	60	46	67	51	290	30	22	210	174	30	26	136
	2	114	107	66	50	61	47	188	30	32	200	107	30	34	128
	3	132	144	60	47	66	51	163	30	25	137	144	30	30	132

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข - 4 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 5

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)			ทางแยกรอง(2)			ทางแยกรอง(3)			ทางแยกรอง(4)		
		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)	
1131C5	1	70	63 49	63 49	55	63	49	54	35	27	54	63	49
	2	67	63 49	63 49	41	63	49	42	35	27	40	63	49
	3	62	63 49	63 49	34	63	49	34	35	27	24	63	49
	4	62	46 36	46 36	16	34	48	10	34	48	1	25	57
1141C5	1	70	63 49	63 49	48	63	49	53	35	27	55	63	49
	2	64	63 49	63 49	13	63	49	12	35	27	12	63	49
	3	45	63 49	63 49	7	15	97	6	15	97	1	15	97
	4	44	46 36	46 36	13	9	73	9	8	74	10	4	78

กรณี	รอบที่	ทางแยกรอง(5)			ทางแยกรอง(6)			ทางแยกรอง(7)		
		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)	
1131C5	1	53	35	27	64	35	27	64	35	27
	2	38	35	27	70	35	27	64	35	27
	3	17	35	27	70	35	27	63	35	27
	4	0	18	64	49	46	36	49	46	36
1141C5	1	46	35	27	61	35	27	60	35	27
	2	9	35	27	61	35	27	60	35	27
	3	4	11	101	40	63	49	32	63	49
	4	7	6	106	50	93	71	33	93	71

ตาราง ข - 5 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1

กรณี	คาบที่	ทางแยกหลัก(1)				ทางแยกรอง(3,5,6,7)		ทางแยกรอง(2,4)	
		ปริมาณจราจร(คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ถนนรอง	ถนนอื่น
0103C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	600	26 20	10 8	42	10	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0105C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	600	60 46	16 12	53	9	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0107C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	600	105 80	22 17	145	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0111C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	920	920	18 14	18 14	35	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0113C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	920	49 37	27 21	41	21	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0115C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	920	91 70	36 27	126	36	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0121C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	1240	38 29	38 29	35	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0123C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1240	77 59	50 38	108	54	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0125C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	1240	86 66	41 31	145	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0131C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	1560	63 49	63 49	41	21	41	21
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0133C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	1560	75 57	52 40	126	36	41	21
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0141C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1860	63 49	63 49	108	54	108	54
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17

ตาราง ข - 6 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2

กรณี	คาบที่	ทางแยกหลัก(1)				ทางแยกรอง(3,5,6,7)		ทางแยกรอง(2,4)	
		ปริมาณจราจร(คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ถนนรอง	ถนนอื่น
0103C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	600	26 20	10 8	58	14	48	24
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0105C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	600	53 40	23 18	122	20	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0107C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	600	105 80	22 17	207	25	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0111C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	920	920	18 14	18 14	48	24	48	24
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0113C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	920	49 37	27 21	95	47	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0115C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	920	91 70	51 27	181	51	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0121C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	1240	38 29	38 29	95	47	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0123C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1240	77 59	50 38	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0125C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	1240	86 66	41 31	207	25	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0131C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	1560	63 49	63 49	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0133C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	1560	75 57	52 40	181	51	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0141C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1860	63 49	63 49	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17

ตาราง ข - 7 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 3

กรณี	ทางแยกหลัก (1)						ทางแยกหลัก (3,5,6,7)				ทางแยกหลัก (2,4)			
	ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)	
	ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนรอง	ถนนอื่น			ถนนรอง	ถนนอื่น		
0103C3	600	920	16	12	9	7	300	920	39	13	300	600	35	17
0105C3	600	1230	18	14	7	5	300	920	39	13	300	600	35	17
0107C3	600	1540	28	22	8	6	300	920	39	13	300	600	35	17
0111C3	760	760	12	10	12	12	300	920	39	13	300	600	35	17
0113C3	760	1080	15	10	12	10	380	760	35	17	540	1080	35	17
0115C3	760	1390	25	19	11	9	380	760	35	17	460	1390	39	13
0121C3	920	920	12	10	12	10	460	920	35	17	460	920	35	17
0123C3	920	1230	21	16	15	12	460	920	35	17	615	1230	35	17
0125C3	920	1540	31	24	16	13	460	920	35	17	300	1540	44	8
0131C3	1080	1080	18	14	18	14	540	1080	35	17	300	1540	44	8
0133C3	1080	1390	27	21	20	16	540	1080	35	17	460	1390	39	13
0141C3	1080	1230	23	17	19	15	615	1230	35	17	615	1230	35	17
1113C3	920	1240	21	17	15	11	620	1240	35	17	460	920	35	17
1115C3	920	1550	31	24	16	13	540	1550	39	13	460	920	35	17
1121C3	1080	1080	18	14	18	14	540	1080	35	17	540	1080	35	17
1123C3	1080	1390	27	21	20	16	540	1080	35	17	695	1390	35	17
1125C3	1080	1700	40	31	24	19	540	1080	35	17	380	1700	43	9
1131C3	1240	1240	24	18	24	18	620	1240	35	17	460	920	35	17
1133C3	1240	1550	36	28	28	22	620	1240	35	17	540	1550	39	13
1141C3	1390	1390	32	25	32	25	695	1390	35	17	695	1390	35	17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข : 8 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0103C4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	18	18	12	10	12	10	18	9	17	35	18	9	17	35
	13	24	20	11	8	14	11	36	9	10	42	20	9	16	36
	14	35	20	12	9	24	19	38	9	10	42	20	9	16	36
	15	41	20	10	8	26	20	44	9	12	80	20	13	16	36
	16	37	21	12	9	24	19	40	9	13	59	21	13	16	36
	17	38	22	12	9	24	19	76	9	10	82	22	15	15	37
	18	34	19	18	13	30	23	10	9	25	27	19	15	17	35
	19	104	37	18	14	58	44	75	9	12	100	37	9	13	39
	20	6	20	21	17	3	3	21	9	16	36	20	9	16	36
	21	40	18	11	9	31	23	21	9	16	36	18	9	17	35
	22	35	21	15	11	27	21	21	9	16	36	21	9	16	36
	23	8	20	20	15	5	4	6	9	31	21	20	9	16	36
	24	1	19	20	16	4	4	42	9	9	43	19	9	17	35
	25	2	20	38	28	4	4	2	9	43	9	20	9	16	36
0111C4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	19	16	11	8	14	11	24	9	14	38	16	9	19	33
	13	26	28	19	15	17	13	25	9	14	38	28	9	13	39
	14	23	29	21	16	15	12	32	9	11	41	29	9	12	40
	15	35	31	17	13	19	15	27	15	20	32	31	15	17	35
	16	38	36	17	13	19	15	37	15	15	37	36	15	15	37
	17	34	32	17	13	19	15	24	15	20	32	32	15	17	35
	18	20	29	22	17	14	11	33	15	23	49	29	15	25	47
	19	46	36	18	14	24	18	41	15	14	38	36	15	15	37
	20	24	29	14	11	11	8	26	15	19	33	29	15	18	34
	21	16	17	13	10	12	9	22	15	21	31	17	15	24	28
	22	23	20	11	9	14	10	19	15	23	29	20	15	22	30
	23	17	16	12	9	13	10	20	15	22	30	16	15	25	27
	24	29	12	6	4	19	15	23	15	21	31	12	15	29	23
	25	3	27	21	15	4	4	3	15	43	9	27	15	29	53
	26	24	19	11	8	14	11	26	15	19	33	19	15	23	29

ตาราง ข - 8 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0111C4	27	21	19	20	15	22	17	20	15	35	47	19	15	36	46
0141C4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	19	16	11	8	14	11	26	15	19	33	16	15	25	27
	13	25	38	29	23	18	14	55	15	20	72	38	15	23	59
	14	14	74	53	40	6	5	8	15	34	18	74	15	19	93
	15	84	59	24	18	35	27	97	15	15	97	59	15	23	89
	16	104	112	36	28	34	26	102	15	14	98	112	15	13	99
	17	163	175	66	50	61	47	198	35	26	146	175	35	29	143
	18	113	72	35	27	58	44	101	30	64	108	72	30	78	94
	19	60	62	30	23	29	22	29	15	42	40	62	20	27	55
	20	49	13	4	4	20	16	68	15	25	57	13	10	36	16
	21	27	19	10	7	15	12	12	10	24	28	19	10	18	34
0131C4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	19	16	11	8	14	11	26	9	13	39	16	9	19	33
	13	31	38	20	16	16	12	49	25	24	48	38	25	25	37
	14	54	77	32	25	21	16	49	33	29	43	77	33	28	64
	15	74	78	30	23	29	22	88	45	35	67	78	45	34	58
	16	119	110	42	32	45	35	114	50	37	85	110	50	38	84
	17	47	118	48	37	16	13	66	70	52	50	118	70	53	89
	18	116	32	10	8	49	37	89	21	16	66	32	21	21	31
	19	42	29	14	11	22	17	34	20	19	33	29	20	21	31
	20	26	47	25	19	11	9	29	13	16	36	47	13	13	49
	21	16	25	16	12	9	7	26	13	17	35	25	13	18	34
	22	23	19	11	8	14	11	20	10	17	35	19	10	18	34
	23	22	20	14	11	16	13	23	10	16	36	20	10	17	35
0121C4	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36

ตาราง ข - 8 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0121C4	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	16	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	19	15	11	8	14	11	24	9	14	38	15	9	19	33
	13	27	34	18	13	13	10	34	20	19	33	34	20	19	33
	14	19	66	35	27	7	5	34	23	21	31	66	23	21	61
	15	73	49	20	16	33	25	74	30	27	65	49	30	27	45
	16	11	77	37	29	4	4	13	36	38	14	77	36	36	76
	17	82	57	23	18	36	27	122	30	24	98	57	30	25	47
	18	89	75	29	23	35	27	74	40	32	60	75	40	32	60
	19	69	62	23	18	36	27	53	22	32	40	62	22	33	49
	20	44	42	18	13	19	14	49	20	15	37	42	20	17	35
	21	1	24	22	14	4	4	2	13	45	7	24	13	18	34
	22	21	23	13	10	12	9	29	10	13	39	23	10	16	36
	23	10	21	18	14	7	5	10	10	26	26	21	10	17	35
	24	53	18	8	7	33	26	34	10	12	40	18	10	19	33
1121C4	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	56	41	22	17	14	11	52	20	12	40	41	20	11	41
	10	49	49	18	14	18	14	52	20	14	38	49	20	15	37
	11	44	46	21	17	20	16	50	20	23	59	46	20	25	57
	12	6	52	81	63	6	4	21	20	55	57	52	20	64	168
	13	113	86	40	30	53	41	100	44	43	99	86	44	48	94
	14	137	116	42	32	51	39	128	45	37	105	116	45	40	102
	15	128	125	46	35	47	36	128	37	25	87	125	37	26	86
	16	74	88	32	25	27	20	81	45	29	53	88	45	31	61
	17	63	59	28	22	31	23	56	30	29	53	59	30	28	54
1141C4	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	56	41	25	19	17	13	52	45	12	40	41	45	11	41
	10	49	49	21	16	21	16	52	45	28	54	49	45	29	43
	11	10	92	43	33	4	4	51	45	54	28	92	45	37	75
	12	79	84	33	26	31	24	104	45	34	78	84	45	39	73
	13	124	151	54	42	44	34	122	65	46	86	151	65	46	106
	14	197	153	50	38	66	50	225	47	30	142	153	47	36	116
	15	80	93	35	27	29	23	93	55	38	64	93	55	38	64
	16	55	84	33	25	20	16	23	32	30	22	84	32	23	59

ตาราง ช - 8 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
1141C4	17	55	52	20	15	22	17	42	27	20	32	52	27	21	41
	18	24	47	25	20	11	8	70	22	12	40	47	22	17	35
1113C4	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	56	41	25	19	17	13	52	37	34	48	41	22	22	40
	10	58	62	25	19	23	17	56	37	29	43	62	22	16	46
	11	25	62	32	24	10	8	53	37	34	48	62	22	21	61
	12	70	36	15	11	33	25	67	37	33	59	36	22	20	32
	13	70	34	14	11	33	26	67	41	35	57	34	25	22	30
	14	82	65	25	20	33	26	84	41	30	62	65	25	20	52
	15	139	56	18	14	52	40	123	50	32	80	56	30	22	40
	16	43	77	35	27	18	14	12	35	39	13	77	35	29	63
	17	58	60	24	19	23	18	61	27	22	50	60	27	22	50
	18	21	46	30	23	12	9	30	25	28	34	46	25	29	53
	19	30	43	22	17	14	11	68	22	20	62	43	22	21	41
	20	29	33	19	15	17	13	18	20	27	25	33	20	23	39
1131C4	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	56	41	25	19	17	13	52	13	10	42	41	13	13	39
	10	62	43	19	14	29	22	58	27	23	49	43	27	20	32
	11	48	89	36	28	17	13	55	41	31	41	89	41	29	63
	12	66	109	41	32	23	18	88	45	31	61	109	45	30	72
	13	136	95	35	27	52	40	110	54	37	75	95	54	37	65
	14	150	154	53	41	51	39	152	70	45	97	154	70	44	98
	15	76	49	20	15	33	26	67	50	39	53	49	50	41	41
	16	35	35	18	14	18	14	56	27	27	55	35	27	27	35
	17	36	60	27	21	15	11	14	20	31	21	60	20	18	54
	18	52	40	18	13	24	19	55	22	21	51	40	22	18	34

ตารางที่ ข - 9 การจัดรวงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้หัวครบคุมแบบที่ 5

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)			ทางแยกรอง(2)			ทางแยกรอง(3)			ทางแยกรอง(4)			ทางแยกรอง(5)			ทางแยกรอง(6)			ทางแยกรอง(7)		
		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย ที่น้อยที่สุด	สัญญาณไฟ (วินาที)	
0131C5	1	70	63 49	63 49	70	41	21	68	41	21	70	41	21	64	41	21	74	41	21	74	41	21
	2	67	63 49	63 49	68	41	21	63	41	21	70	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	3	65	63 49	63 49	67	41	21	63	41	21	69	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	4	65	63 49	63 49	52	41	21	63	41	21	50	41	21	62	41	21	66	41	21	64	41	21
	5	62	63 49	63 49	32	41	21	41	41	21	42	41	21	40	41	21	65	41	21	64	41	21
	6	61	63 49	63 49	32	41	21	36	41	21	42	41	21	29	41	21	65	41	21	64	41	21
	7	49	63 49	63 49	21	32	80	33	26	76	30	42	70	26	30	82	56	63	49	56	63	49
	8	39	63 49	63 49	21	22	90	33	33	79	30	31	81	26	27	85	56	63	49	56	63	49
	9	39	63 49	63 49	21	22	90	33	33	79	30	31	81	26	27	85	56	63	49	56	63	49
0141C5	1	70	63 49	63 49	70	41	21	68	41	21	70	41	21	64	41	21	74	41	21	74	41	21
	2	67	63 49	63 49	68	41	21	63	41	21	70	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	3	65	63 49	63 49	67	41	21	63	41	21	69	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	4	62	63 49	63 49	17	41	21	34	41	21	17	41	21	62	41	21	60	41	21	73	41	21
	5	61	63 49	63 49	40	18	94	34	34	78	41	18	94	62	61	51	60	41	21	73	41	21
	6	44	63 49	63 49	40	40	72	34	34	78	41	41	71	60	41	21	60	41	21	73	41	21
	7	44	29 23	29 23	39	40	72	34	34	78	41	41	71	66	59	53	60	59	53	73	41	21
	8	63	46 36	46 36	69	78	94	48	68	104	68	82	90	60	41	21	21	41	21	7	41	21
	9	62	46 36	46 36	10	41	21	32	41	21	12	41	21	60	41	21	59	44	128	73	17	155
1131C5	1	73	63 49	63 49	63	41	21	60	41	21	68	41	21	56	41	21	71	41	21	73	41	21
	2	71	63 49	63 49	57	41	21	60	41	21	61	41	21	56	41	21	71	41	21	73	41	21
	3	71	63 49	63 49	57	41	21	60	41	21	61	41	21	56	41	21	71	41	21	72	41	21
	4	70	63 49	63 49	47	41	21	58	41	21	49	41	21	56	41	21	67	41	21	67	41	21
	5	63	63 49	63 49	34	41	21	47	41	21	38	41	21	45	41	21	65	41	21	64	41	21
	6	50	63 49	63 49	25	34	78	32	47	65	22	38	74	25	45	67	49	64	48	52	63	49
	7	46	63 49	63 49	19	26	86	19	32	80	20	23	89	19	26	86	49	49	63	52	51	61
	8	46	63 49	63 49	19	20	92	16	20	92	20	21	91	19	20	92	49	49	63	52	51	61
	9	50	63 49	63 49	19	20	92	16	17	95	20	21	91	19	20	92	49	49	63	52	51	61
1141C5	1	66	63 49	63 49	36	41	21	45	41	21	41	41	21	35	41	21	65	41	21	67	41	21
	2	53	63 49	63 49	32	36	76	36	45	67	39	41	71	30	35	77	65	64	48	67	66	46
	3	53	63 49	63 49	30	32	80	36	36	76	39	39	73	25	31	81	65	64	48	64	66	46
	4	53	63 49	63 49	30	31	81	36	36	76	39	39	73	24	26	86	58	64	48	58	64	48
	5	48	63 49	63 49	30	31	81	36	36	76	22	39	73	24	25	87	48	57	55	58	57	55
	6	48	63 49	63 49	30	31	81	36	36	76	22	23	89	22	25	87	48	48	64	58	57	55
	7	44	29 23	29 23	30	31	81	36	36	76	22	23	89	24	23	89	48	48	64	58	57	55
	8	43	46 36	46 36	30	31	81	35	36	76	22	23	89	24	25	87	48	48	64	58	57	55
	9	43	46 36	46 36	30	31	81	35	35	77	22	23	89	24	25	87	48	48	64	58	57	55

ตาราง ข - 10 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1 (20 นาที)

กรณี	คาบที่	ทางแยกหลัก(1)				ทางแยกรอง(3,5,6,7)		ทางแยกรอง(2,4)	
		ปริมาณจราจร(คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ถนนรอง	ถนนอื่น
0103C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	600	26 20	10 8	42	10	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0105C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	600	60 46	16 12	53	9	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0107C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	600	105 80	22 17	145	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0111C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	920	920	18 14	18 14	35	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0113C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	920	49 37	27 21	41	21	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0115C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	920	91 70	36 27	126	36	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0121C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	1240	38 29	38 29	35	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0123C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1240	77 59	50 38	108	54	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0125C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	1240	86 66	41 31	145	17	35	17
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0131C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	1560	63 49	63 49	41	21	41	21
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0133C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	1560	75 57	52 40	126	36	41	21
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0141C1	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1860	63 49	63 49	108	54	108	54
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17

ตาราง ข - 11 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2 (20 นาที)

กรณี	คาบที่	ทางแยกหลัก(1)				ทางแยกรอง(3,5,6,7)		ทางแยกรอง(2,4)	
		ปริมาณจราจร(คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนรอง	ถนนหลัก	ถนนอื่น	ถนนรอง	ถนนอื่น
0103C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	600	26 20	10 8	58	14	48	24
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0105C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	600	53 40	23 18	122	20	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0107C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	600	105 80	22 17	207	25	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0111C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	920	920	18 14	18 14	48	24	48	24
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0113C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	920	49 37	27 21	95	47	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0115C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	920	91 70	51 27	181	51	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0121C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1240	1240	38 29	38 29	95	47	95	47
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0123C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1240	77 59	50 38	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0125C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2480	1240	86 66	41 31	207	25	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0131C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1560	1560	63 49	63 49	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0133C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	2180	1560	75 57	52 40	181	51	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
0141C2	1	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17
	2	1860	1860	63 49	63 49	155	77	155	77
	3	600	600	12 10	12 10	35	17	35	17

ตาราง ข - 12 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 3 (20 นาที)

กรณี	ทางแยกหลัก (1)						ทางแยกหลัก (3,5,6,7)				ทางแยกหลัก (2,4)			
	ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรเฉลี่ย		สัญญาณไฟ (วินาที)	
	ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนรอง	ถนนอื่น			ถนนรอง	ถนนอื่น		
0103C3	600	920	16	12	9	7	300	920	39	13	300	600	35	17
0105C3	600	1230	18	14	7	5	300	920	39	13	300	600	35	17
0107C3	600	1540	28	22	8	6	300	920	39	13	300	600	35	17
0111C3	760	760	12	10	12	12	300	920	39	13	300	600	35	17
0113C3	760	1080	15	10	12	10	380	760	35	17	540	1080	35	17
0115C3	760	1390	25	19	11	9	380	760	35	17	460	1390	39	13
0121C3	920	920	12	10	12	10	460	920	35	17	460	920	35	17
0123C3	920	1230	21	16	15	12	460	920	35	17	615	1230	35	17
0125C3	920	1540	31	24	16	13	460	920	35	17	300	1540	44	8
0131C3	1080	1080	18	14	18	14	540	1080	35	17	300	1540	44	8
0133C3	1080	1390	27	21	20	16	540	1080	35	17	460	1390	39	13
0141C3	1080	1230	23	17	19	15	615	1230	35	17	615	1230	35	17
1113C3	920	1240	21	17	15	11	620	1240	35	17	460	920	35	17
1115C3	920	1550	31	24	16	13	540	1550	39	13	460	920	35	17
1121C3	1080	1080	18	14	18	14	540	1080	35	17	540	1080	35	17
1123C3	1080	1390	27	21	20	16	540	1080	35	17	695	1390	35	17
1125C3	1080	1700	40	31	24	19	540	1080	35	17	380	1700	43	9
1131C3	1240	1240	24	18	24	18	620	1240	35	17	460	920	35	17
1133C3	1240	1550	36	28	28	22	620	1240	35	17	540	1550	39	13
1141C3	1390	1390	32	25	32	25	695	1390	35	17	695	1390	35	17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข - 13 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4 (20 นาที)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0111	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	15	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	16	19	12	9	13	10	24	9	17	35	19	9	15	37
	12	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	13	25	21	14	10	17	13	26	15	19	33	21	15	22	30
	14	34	20	10	8	20	16	24	15	20	32	20	15	22	30
	15	34	28	16	12	20	16	32	15	17	35	28	15	18	34
	16	36	32	22	17	25	20	29	20	33	49	32	20	32	50
	17	52	33	15	12	27	20	33	25	27	35	33	25	27	35
	18	43	31	14	11	22	17	42	22	21	41	31	22	22	30
	19	36	31	16	13	20	15	42	20	20	42	31	20	20	32
	20	37	46	24	18	18	14	42	20	20	42	46	20	16	36
	21	43	46	22	17	20	15	50	22	22	50	46	22	20	42
	22	40	40	18	14	18	14	42	22	21	41	40	22	22	40
	23	36	53	26	20	16	12	46	20	19	43	53	20	17	45
	24	44	39	17	13	19	15	45	22	20	42	39	22	22	40
	25	45	38	16	13	20	15	39	20	18	34	38	20	18	34
	26	45	28	13	10	23	18	45	13	14	48	28	13	16	36
	27	10	22	19	14	6	5	6	13	36	16	22	13	19	33
	28	10	11	13	11	11	9	13	10	23	29	11	10	25	27
0121	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	15	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	18	21	14	10	11	9	20	10	17	35	21	10	17	35
	12	18	21	14	10	11	9	20	10	17	35	21	10	17	35
	13	33	20	10	8	20	16	36	20	22	40	20	20	26	26
	14	61	28	15	12	38	29	36	23	28	44	28	23	28	34
	15	52	92	39	30	20	15	79	36	29	63	92	36	29	73
	16	82	74	28	21	31	24	81	40	30	62	74	40	32	60

ตาราง ข - 13 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0121	17	90	82	33	26	37	28	83	40	33	69	82	40	33	69
	18	85	88	36	27	35	26	95	46	37	75	88	46	38	74
	19	91	102	37	29	33	25	94	46	37	75	102	46	35	77
	20	101	73	29	22	41	32	75	46	35	57	73	46	36	56
	21	96	73	30	23	40	31	78	46	38	64	73	46	39	63
	22	63	68	28	21	25	20	81	33	30	72	68	33	30	62
	23	35	38	16	12	15	11	41	18	16	36	38	18	17	35
	24	20	24	14	11	11	8	25	11	16	36	24	11	16	36
	25	22	17	10	8	15	11	10	10	26	26	17	10	19	33
	26	21	8	5	4	20	15	13	10	23	29	8	10	29	23
	27	20	5	4	4	21	15	24	10	15	37	5	10	35	17
0131	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36
	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	15	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	18	21	14	10	11	9	20	10	17	35	21	10	17	35
	12	22	19	11	9	14	10	20	25	29	23	19	25	30	22
	13	27	19	12	9	19	14	47	25	32	60	19	25	35	27
	14	72	30	12	9	36	27	37	29	27	35	30	29	26	26
	15	60	38	18	13	30	23	37	41	43	39	38	41	43	39
	16	136	52	17	13	53	41	80	41	31	61	52	41	32	40
	17	98	77	28	21	37	28	80	58	43	59	77	58	44	58
	18	134	123	44	34	49	37	126	56	38	84	123	56	38	84
	19	113	111	40	31	41	32	118	75	51	81	111	75	53	79
	20	162	176	54	42	50	38	173	66	42	110	176	66	41	111
	21	53	204	72	55	15	12	213	83	51	131	204	83	53	129
	22	68	93	38	29	27	20	16	28	33	19	93	28	21	71
	23	61	16	5	4	31	24	22	21	25	27	16	21	30	22
	24	18	19	13	10	12	9	15	13	24	28	19	13	21	31
	25	29	14	7	5	18	14	35	10	12	40	14	10	22	30
	26	16	35	23	17	8	6	12	10	24	28	35	10	12	40
0141	1	15	19	14	11	11	8	20	9	16	36	19	9	17	35
	2	20	20	12	10	12	10	16	9	19	33	20	9	16	36
	3	13	22	17	13	8	6	21	9	16	36	22	9	15	37
	4	20	19	12	9	13	10	18	9	17	35	19	9	17	35
	5	19	17	12	9	13	10	23	9	15	37	17	9	18	34
	6	24	20	11	8	14	11	15	9	20	32	20	9	16	36
	7	18	21	14	11	11	8	20	9	16	36	21	9	16	36

ตาราง ข - 13 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
0141	8	17	17	12	10	12	10	19	9	17	35	17	9	18	34
	9	19	20	13	10	12	9	19	9	17	35	20	9	15	36
	10	15	20	15	11	10	8	22	9	15	37	20	9	16	36
	11	19	15	11	8	14	11	24	9	14	38	15	9	19	33
	12	20	19	12	9	13	10	19	10	18	34	19	10	18	34
	13	44	17	7	5	24	18	57	30	18	34	17	30	33	19
	14	39	55	29	22	19	14	57	23	24	58	55	23	24	58
	15	90	33	12	9	41	32	33	50	43	29	33	50	43	29
	16	105	79	29	23	41	31	96	55	41	71	79	55	42	60
	17	95	93	35	27	35	27	123	70	51	91	93	70	52	70
	18	179	139	47	37	62	48	137	70	45	87	139	70	44	88
	19	137	192	65	50	45	34	198	70	45	127	192	70	46	126
	20	140	195	65	50	45	34	236	105	62	140	195	105	64	118
	21	36	80	38	30	15	11	93	105	91	81	80	105	98	74
	22	10	65	32	24	4	4	38	18	17	35	65	18	18	64
	23	34	10	4	4	20	16	45	13	12	40	10	13	29	23
	24	96	9	4	4	43	33	4	10	37	15	9	10	27	25
	25	19	31	20	15	11	8	30	10	13	39	31	10	13	39
	26	56	17	6	5	30	23	44	11	10	42	17	11	20	32
1121	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	44	46	21	17	20	16	50	20	23	59	46	20	25	57
	10	39	40	18	14	18	14	38	20	18	34	40	20	17	35
	11	60	31	13	10	29	22	43	20	17	35	31	20	20	32
	12	49	70	29	22	19	14	74	26	19	53	70	26	19	53
	13	86	21	7	5	41	31	25	33	30	22	21	33	32	20
	14	48	41	19	14	23	18	63	33	28	54	41	33	32	40
	15	58	47	21	16	27	20	43	26	23	39	47	26	22	40
	16	70	50	19	15	28	22	43	33	27	35	50	33	25	37
	17	79	35	13	10	35	26	66	33	27	55	35	33	30	32
	18	41	69	31	24	16	13	68	33	27	55	69	33	27	55
	19	93	85	31	23	34	26	88	33	22	60	85	33	23	59
	20	82	99	36	27	29	22	113	43	28	74	99	43	31	71
	21	82	140	53	40	29	22	104	43	30	72	140	43	31	101
	22	33	76	35	27	12	10	25	40	32	20	76	40	32	60
	23	52	10	4	4	32	24	6	25	42	10	10	25	37	15
	24	35	16	8	6	23	17	40	30	35	47	16	30	34	18
	25	23	5	4	4	20	16	5	25	43	9	5	25	43	9

ตาราง ข - 13 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)						ทางแยกรอง(3, 5, 6, 7)				ทางแยกรอง(2, 4)			
		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)				ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)		ปริมาณจราจรที่ได้จากเครื่องมือวัด (คัน)		สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ถนนหลัก	ถนนรอง					ถนนหลัก	ถนนรอง			ถนนหลัก	ถนนรอง		
1121	26	39	24	13	10	23	18	23	15	21	31	24	15	20	32
1131	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	59	39	16	12	26	20	38	15	15	37	39	15	14	38
	10	72	70	29	22	30	23	94	37	29	73	70	37	28	54
	11	101	47	17	13	42	32	39	50	40	32	47	50	37	35
	12	93	178	62	48	31	23	168	50	33	109	178	50	31	111
	13	164	144	48	37	56	43	145	75	48	94	144	75	49	93
	14	131	106	36	28	45	35	161	83	55	107	106	83	54	68
	15	121	118	43	33	44	34	128	66	45	87	118	66	47	85
	16	133	43	14	10	51	39	67	66	46	46	43	66	50	32
	17	76	88	35	27	29	23	72	54	39	103	88	54	39	63
	18	51	40	18	14	24	18	53	32	23	39	40	32	23	29
	19	60	47	20	16	27	21	63	20	17	55	47	20	19	43
	20	50	72	32	25	21	16	47	25	22	40	72	25	21	61
	21	48	72	33	25	20	16	53	27	24	48	72	27	22	60
1141	1	27	48	12	9	24	19	32	15	17	35	48	15	19	33
	2	54	33	23	18	13	10	50	15	12	40	33	15	11	41
	3	35	39	17	13	19	15	39	15	14	38	39	15	16	36
	4	29	43	14	11	22	17	29	15	18	34	43	15	18	34
	5	58	46	21	16	15	12	49	15	17	55	46	15	15	57
	6	33	27	20	16	16	12	39	15	17	45	27	15	16	36
	7	30	51	12	9	24	19	33	15	16	36	51	15	17	35
	8	55	37	22	17	14	11	46	15	13	39	37	15	11	41
	9	62	39	18	13	30	23	40	15	14	38	39	15	14	38
	10	88	86	32	24	33	25	120	50	36	86	86	50	37	65
	11	134	48	16	13	54	41	50	65	46	36	48	65	47	35
	12	106	182	63	49	35	27	219	70	44	138	182	70	45	117
	13	196	116	38	29	66	51	155	95	58	94	116	95	59	73
	14	153	175	59	45	51	39	174	100	63	109	175	100	63	109
	15	153	148	51	39	53	41	238	105	68	154	148	105	67	95
	16	86	66	25	19	34	26	144	80	58	104	66	80	61	51
	17	23	61	33	25	9	7	41	30	30	42	61	30	30	62
	18	67	61	25	19	28	22	83	22	17	65	61	22	19	53
	19	100	49	18	14	41	31	31	27	24	28	49	27	22	40
	20	97	22	6	5	41	32	55	30	25	47	22	30	30	22

ตาราง ข - 14 การจัดช่วงสัญญาณไฟสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 5 (20 นาที)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)			ทางแยกรอง(2)			ทางแยกรอง(3)			ทางแยกรอง(4)			ทางแยกรอง(5)			ทางแยกรอง(6)			ทางแยกรอง(7)		
		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด		
0131CA	1	70	63 49	63 49	70	41	21	68	41	21	70	41	21	64	41	21	74	41	21	74	41	21
	2	67	63 49	63 49	68	41	21	63	41	21	70	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	3	65	63 49	63 49	67	41	21	63	41	21	69	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	4	65	63 49	63 49	52	41	21	63	41	21	50	41	21	62	41	21	66	41	21	64	41	21
	5	62	63 49	63 49	32	41	21	41	41	21	42	41	21	40	41	21	65	41	21	64	41	21
	6	61	63 49	63 49	19	41	21	35	41	21	27	41	21	27	41	21	65	41	21	63	41	21
	7	51	63 49	63 49	16	20	92	35	35	77	26	28	84	22	28	84	50	64	48	52	62	50
	8	52	63 49	63 49	16	18	94	26	35	77	26	27	85	12	24	88	50	50	62	52	51	61
	9	33	63 49	63 49	16	17	95	21	27	85	26	27	85	12	14	98	50	50	62	52	51	61
	10	20	63 49	63 49	16	17	95	20	22	90	26	27	85	12	14	98	50	50	62	52	51	61
	11	8	44 33	44 33	16	34	78	20	42	70	26	53	59	8	27	85	50	75	37	52	75	37
0141CA	1	70	63 49	63 49	70	41	21	68	41	21	70	41	21	64	41	21	74	41	21	74	41	21
	2	67	63 49	63 49	68	41	21	63	41	21	70	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	3	65	63 49	63 49	67	41	21	63	41	21	69	41	21	64	41	21	73	41	21	74	41	21
	4	65	63 49	63 49	47	41	21	63	41	21	66	41	21	62	41	21	46	41	21	60	41	21
	5	57	63 49	63 49	34	47	65	42	62	50	63	65	47	33	61	51	43	46	66	60	59	53
	6	51	63 49	63 49	27	34	78	42	42	70	45	62	50	18	34	78	43	43	69	57	59	53
	7	51	63 49	63 49	26	28	84	37	42	70	42	45	67	15	19	93	4	43	69	57	56	56
	8	42	63 49	63 49	26	27	85	30	37	75	33	42	70	15	16	96	4	6	106	57	56	56
	9	15	63 49	63 49	26	27	85	30	31	81	1	33	79	1	16	96	1	6	106	57	56	56
	10	13	32 25	32 25	25	53	69	30	61	61	1	6	116	1	6	116	10	6	116	58	81	41
	11	1	32 25	32 25	25	51	71	30	61	61	1	6	116	1	6	116	5	23	99	58	81	41
1131CA	1	65	63 49	63 49	41	41	21	42	41	21	65	41	21	46	41	21	47	41	21	65	41	21
	2	59	63 49	63 49	41	41	71	40	42	70	65	64	48	40	46	66	47	47	65	62	64	48
	3	59	63 49	63 49	41	41	71	40	40	72	65	64	48	40	40	72	47	47	65	62	62	50
	4	59	63 49	63 49	41	41	71	40	40	72	58	64	48	40	40	72	47	47	65	57	62	50
	5	52	63 49	63 49	40	41	71	40	40	72	58	57	55	38	40	72	32	47	65	46	56	56
	6	52	63 49	63 49	40	40	72	40	40	72	54	57	55	31	38	74	27	32	80	46	46	66
	7	52	63 49	63 49	39	40	72	40	40	72	46	53	59	27	31	81	20	28	84	46	46	66
	8	38	63 49	63 49	39	39	73	40	40	72	28	46	66	20	28	84	9	21	91	46	46	66
	9	16	63 49	63 49	35	39	73	40	40	72	1	29	83	20	21	91	9	13	99	46	46	66
	10	3	29 23	29 23	35	70	42	40	75	37	1	6	106	20	42	70	9	21	91	46	75	37
	11	2	29 23	29 23	14	70	42	40	75	37	1	6	106	20	42	70	9	21	91	46	75	37

ตาราง ข - 14 (ต่อ)

กรณี	รอบที่	ทางแยกหลัก(1)			ทางแยกรอง(2)			ทางแยกรอง(3)			ทางแยกรอง(4)			ทางแยกรอง(5)			ทางแยกรอง(6)			ทางแยกรอง(7)		
		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)		ที่ว่างหลังแถวคอย	สัญญาณไฟ (วินาที)	
		ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด			ที่น้อยที่สุด		
1141CA	1	66	63 49	63 49	30	41	21	45	41	21	65	41	21	24	41	21	41	41	21	67	41	21
	2	54	63 49	63 49	30	31	81	34	45	67	65	64	48	24	25	87	39	41	71	67	66	46
	3	54	63 49	63 49	30	31	81	34	34	78	65	64	48	24	25	87	39	39	73	67	66	46
	4	54	63 49	63 49	30	31	81	34	34	78	59	64	48	24	25	87	39	39	73	65	66	46
	5	54	63 49	63 49	28	31	81	34	34	78	59	58	54	24	25	87	33	39	73	65	64	48
	6	53	63 49	63 49	28	29	83	34	34	78	59	58	54	24	25	87	19	34	78	65	64	48
	7	53	63 49	63 49	28	29	83	34	34	78	53	58	54	24	25	87	22	20	92	58	64	48
	8	52	63 49	63 49	28	29	83	34	34	78	42	52	60	18	25	87	8	23	89	58	57	55
	9	41	63 49	63 49	28	29	83	34	34	78	13	42	70	3	19	93	8	10	102	58	57	55
	10	23	63 49	63 49	28	29	83	34	34	78	1	15	97	3	6	106	8	10	102	58	57	55
	11	20	47 35	47 35	28	29	53	34	34	48	1	4	78	1	5	77	1	10	72	58	55	27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ผลลัพธ์จากการประมวลผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1

	C01CS1	C03CS1	C05CS1	C07CS1	C11CS1	C13CS1	C15CS1	C21CS1	C23CS1	C25CS1	C31CS1	c33cs1	c41cs1
Total Time (sec/veh)	2.06	2.65	6.01	9.17	2.17	2.88	8.33	2.52	5.35	8.70	4.62	9.02	6.89
Delay Time (sec/veh)	0.62	0.96	4.18	7.37	0.71	1.41	6.70	1.07	3.83	6.88	3.15	7.34	5.45
Queue Time (sec/veh)	0.36	0.53	3.25	5.64	0.39	0.93	4.14	0.61	2.61	3.88	2.17	4.02	3.30
Stop Time (sec/veh)	0.34	0.51	2.86	5.15	0.37	0.82	3.76	0.57	2.36	3.37	1.92	3.62	2.94
Percent Stop (%)	141.5	139.5	164.5	187.4	131.6	146.7	173.1	144.8	154.2	192.1	159.9	190.7	164.1
Queue Time (veh-min)	607.5	1135.5	8992.3	16747.4	1020.7	3524.9	17297.7	2178.0	12773.2	15441.3	10257.9	20335.8	19477.4
Stop Time (veh-min)	581.1	1075.0	7919.1	15288.1	970.2	3130.8	15716.2	2058.2	11526.5	13399.5	9077.0	18312.8	17378.4
Average Occupancy (veh)	216.9	329.6	913.8	1404.7	337.1	640.9	1591.7	523.5	1379.3	1506.2	1188.6	1912.9	1935.7
Percent Storage (%)	3.4	5.2	14.4	22.1	5.3	10.1	25.0	8.2	21.7	23.7	18.7	30.0	30.4
Phase Failure	0	19	81	52	1	15	48	3	33	54	72	104	51
Fuel Consumption (MPG)	25.27	24.00	12.93	8.49	24.92	20.53	10.52	22.66	14.08	10.39	15.25	10.48	11.31
Emission (grm/mile) HC	0.36	0.39	0.58	0.73	0.38	0.45	0.68	0.42	0.56	0.74	0.54	0.70	0.67
Emission (grm/mile) CO	22.46	24.50	39.48	51.90	23.45	29.18	47.11	26.92	37.77	51.73	36.69	49.43	47.00
Emission (grm/mile) NO	1.51	1.56	2.40	3.20	1.51	1.77	2.70	1.64	2.19	3.00	2.14	2.79	2.67
Volume count 5-7	146	303	416	280	224	380	324	297	421	320	367	363	337
7-1	137	294	259	194	220	376	254	294	285	236	281	245	236
3-6	141	300	272	156	224	373	264	289	458	307	361	333	426
6-1	137	293	127	66	222	380	206	286	282	228	303	250	263
4-1	149	145	148	149	224	225	220	302	302	272	283	244	270
2-1	145	145	150	146	222	225	217	304	295	288	274	231	254
total	568	877	684	555	888	1206	897	1186	1164	1024	1141	970	1023

ตาราง ค - 2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2

	C01CS2	C03CS2	C05CS2	C07CS2	C11CS2	C13CS2	C15CS2	C21CS2	C23CS2	C25CS2	C31CS2	C33CS2	C41CS2
Total Time (sec/veh)	1.94	2.60	5.39	11.28	2.14	3.85	7.41	2.98	7.66	12.49	6.76	8.61	8.08
Delay Time (sec/veh)	0.49	0.91	3.41	9.38	0.68	2.37	5.71	1.54	6.09	10.51	5.14	6.72	6.35
Queue Time (sec/veh)	0.29	0.53	2.44	6.18	0.39	1.60	3.68	1.02	4.33	4.41	4.05	4.55	4.51
Stop Time (sec/veh)	0.28	0.51	2.07	5.66	0.37	1.39	3.33	0.98	3.98	3.80	3.74	4.11	4.16
Percent Stop (%)	103.0	119.1	141.1	175.3	114.2	122.4	160.7	118.1	145.7	197.8	144.4	174.8	162.1
Queue Time (veh-min)	490.9	1129.6	6362.6	20087.9	1009.7	6418.9	17829.3	3699.7	23286.5	25749.1	20470.7	22767.9	26161.7
Stop Time (veh-min)	475.9	1080.4	5394.9	18511.7	962.9	5560.6	16377.9	3565.9	21403.1	23145.4	18894.6	20610.4	24135.4
Average Occupancy (veh)	203.7	322.0	753.0	1534.7	332.4	849.7	1413.0	618.9	2065.8	1717.0	1856.6	2038.9	2299.4
Percent Storage (%)	3.2	5.1	11.8	26.3	5.2	13.3	24.2	9.7	32.4	36.0	29.2	32.0	36.1
Phase Failure	0	15	22	28	2	22	19	18	33	27	35	35	38
Fuel Consumption (MPG)	27.24	24.85	15.50	7.39	25.75	17.77	10.78	21.95	10.16	7.58	11.28	10.15	10.01
Emission (grm/mile) HC	0.33	0.36	0.52	0.79	0.36	0.48	0.63	0.40	0.66	0.88	0.60	0.67	0.67
Emission (grm/mile) CO	20.18	22.98	34.43	56.78	22.20	31.10	43.97	25.75	46.92	63.81	42.09	48.02	47.64
Emission (grm/mile) NO	1.38	1.48	2.13	3.31	1.44	1.89	2.51	1.56	2.63	3.60	2.37	2.69	2.64
Volume count 5-7	143	301	446	214	224	371	322	293	339	234	355	363	399
7-1	143	293	312	203	215	346	221	296	222	216	222	245	229
3-6	145	294	453	99	215	376	318	299	344	217	357	333	411
6-1	140	301	292	69	221	354	186	295	246	215	293	250	309
4-1	147	154	145	145	226	223	225	298	282	248	266	244	240
2-1	144	149	143	145	221	218	216	300	269	218	264	231	196
total	574	897	892	562	883	1141	848	1189	1019	897	1045	970	974

ตาราง ค - 3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4

	C01CS4	C03CS4	C05CS4	C07CS4	C11CS4	C13CS4	C15CS4	C21CS4	C23CS4	C25CS4	C31CS4	C33CS4	C41CS4
Total Time (sec/veh)	2.04	3.16	6.77	9.38	2.50	3.54	5.55	2.80	4.89	6.94	4.43	5.63	5.79
Delay Time (sec/veh)	0.59	1.43	4.95	7.57	1.03	2.10	3.99	1.33	3.25	5.22	2.87	3.91	4.27
Queue Time (sec/veh)	0.34	0.89	3.00	4.96	0.64	1.48	2.72	0.83	2.56	3.14	2.04	2.83	2.94
Stop Time (sec/veh)	0.33	0.86	2.60	4.48	0.62	1.33	2.43	0.79	2.40	2.72	1.85	2.59	2.72
Percent Stop (%)	137.4	151.3	185.7	169.4	130.0	124.5	159.8	126.6	152.7	171.8	155.0	152.7	148.7
Queue Time (veh-min)	593.1	1784.7	8306.8	15067.6	1772.8	5780.3	10758.6	2989.4	12158.1	12280.3	9334.0	13358.1	16401.3
Stop Time (veh-min)	567.2	1727.5	7185.8	13628.3	1711.0	5220.7	9600.1	2874.3	11417.0	10662.2	8445.1	12188.6	15148.2
Average Occupancy (veh)	214.6	362.4	886.8	1333.5	373.8	779.3	1159.0	571.5	1283.1	1299.6	1108.5	1407.8	1646.9
Percent Storage (%)	3.4	5.7	13.9	20.9	5.9	12.2	18.2	9.0	20.1	20.4	17.4	22.1	25.9
Phase Failure	0	15	37	44	1	16	22	5	41	27	25	46	44
Fuel Consumption (MPG)	25.36	22.47	13.2	9.54	23.68	18.5	13.8	22.25	15.13	12.19	16.15	14.09	13.41
Emission (grm/mile) HC	0.36	0.41	0.59	0.71	0.38	0.46	0.57	0.41	0.49	0.66	0.52	0.54	0.54
Emission (grm/mile) CO	22.66	25.62	40.2	49.39	24	29.42	38.84	26.21	33.58	46.02	34.39	36.92	37.26
Emission (grm/mile) NO	1.52	1.62	2.42	2.95	1.53	1.82	2.27	1.6	1.93	2.64	2.01	2.12	2.14
Volume count 5-7	142	276	385	276	234	300	398	299	441	373	384	435	404
7-1	140	269	239	174	215	253	271	298	303	256	305	299	260
3-6	145	286	331	272	244	304	390	300	421	390	378	451	449
6-1	143	255	213	170	227	270	249	296	331	287	342	320	306
4-1	143	147	148	148	235	187	216	304	300	303	327	360	306
2-1	147	145	147	151	234	190	205	302	307	301	325	327	267
total	573	816	747	643	911	900	941	1200	1241	1147	1299	1306	1139

ตาราง ค - 4 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรคงที่และใช้ตัวควบคุมแบบที่ 5

	c31	c41
Total Time (min/veh)	3.71	3.91
Delay Time (min/veh)	2.26	2.52
Queue Time (min/veh)	1.58	1.97
Stop Time (min/veh)	1.46	1.82
Percent Stop (%)	154.1	144.5
Queue Time (veh-min)	7413.5	10680.6
Stop Time (veh-min)	6818.0	9850.2
Average Occupancy (veh)	993.4	1248.4
Percent Storage (%)	15.6	19.6
Phase Failure	37	47
	total	total
Fuel Consumption (MPG)	17.54	16
Emission (grm/mile) HC	0.5	0.52
Emission (grm/mile) CO	32.79	34.99
Emission (grm/mile) NO	1.89	1.97
Volume count 5-7	345	305
7-1	309	316
3-6	368	321
6-1	343	357
4-1	336	258
2-1	351	306
total	1339	1237

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 5 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1

	0103C1	0111C1	0113C1	0121C1	0123C1	0125C1	0131C1	0133C1	0141C1	1113C1	1121C1	1123C1	1125C1	1131C1	1133C1	1141C1
Total Time (min/veh)	2.23	2.06	2.52	2.37	3.31	4.15	2.92	3.66	3.85	2.51	2.37	3.35	3.76	3.07	3.51	3.63
Delay Time (min/veh)	0.70	0.62	1.08	0.93	1.87	2.49	1.48	2.12	2.40	1.06	0.91	1.89	2.12	1.61	1.97	2.16
Queue Time (min/veh)	0.43	0.38	0.72	0.61	1.42	1.73	1.04	1.51	1.82	0.70	0.58	1.42	1.46	1.15	1.50	1.64
Stop Time (min/veh)	0.41	0.36	0.67	0.58	1.29	1.46	0.97	1.34	1.62	0.65	0.55	1.28	1.26	1.02	1.34	1.45
Percent Stop (%)	134.8	128.0	145.2	136.8	136.4	187.2	144.6	171.1	142.9	138.3	137.4	131.0	171.9	138.7	161.2	140.7
Queue Time (veh-min)	1498.9	1464.8	3345.6	2730.4	7520.1	8046.6	5395.2	7916.9	10612.8	3891.6	3167.3	8607.4	7964.0	6888.5	8928.7	10627.0
Stop Time (veh-min)	1429.0	1395.2	3125.9	2599.1	6846.3	6775.6	5038.7	7053.3	9431.4	3632.1	3014.0	7790.4	6867.2	6134.8	8020.1	9377.6
Average Occupancy (veh)	256.6	260.0	378.3	344.2	566.5	611.1	485.5	612.8	713.5	445.8	413.1	650.7	641.9	585.0	682.2	754.6
Percent Storage (%)	4.0	4.1	5.9	5.4	8.9	9.6	7.6	9.6	11.2	7.0	6.5	10.2	10.1	9.2	10.7	11.9
Phase Failure	21	0	39	25	66	184	78	191	116	21	11	59	137	59	147	73
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	24.78	25.38	22.37	23.61	19.14	16.96	20.67	17.93	17.16	22.82	23.66	19.09	18.23	20.13	18.41	17.85
Emission (grm/mile) HC	0.37	0.36	0.41	0.39	0.46	0.54	0.45	0.51	0.50	0.41	0.39	0.46	0.50	0.45	0.48	0.49
Emission (grm/mile) CO	23.35	22.57	26.23	24.79	29.62	35.74	28.61	33.47	32.93	25.86	25.10	29.89	32.86	29.02	31.70	32.02
Emission (grm/mile) NO	1.54	1.50	1.67	1.58	1.82	2.16	1.76	2.02	2.00	1.63	1.58	1.84	1.99	1.80	1.94	1.95
Volume count 5-7	402	348	458	404	502	624	461	570	512	533	487	591	692	541	648	587
7-1	406	332	462	402	512	606	459	567	505	540	489	581	653	541	625	588
3-6	396	346	458	394	502	614	455	558	495	533	498	594	691	536	645	589
6-1	395	342	468	404	523	636	464	572	517	539	475	584	675	537	629	588
4-1	292	348	349	407	411	399	471	454	496	447	495	497	485	544	527	574
2-1	295	346	347	406	412	409	475	459	511	441	494	493	489	532	534	564
total	1388	1368	1626	1619	1858	2050	1869	2052	2029	1967	1953	2155	2302	2154	2315	2314

ตาราง ค - 6 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2

	0103C2	0111C2	0113C2	0121C2	0123C2	0125C2	0131C2	0133C2	0141C2	1113C2	1121C2	1123C2	1125C2	1131C2	1133C2	1141C2
Total Time (min/veh)	2.24	2.02	2.77	2.64	2.91	3.75	2.84	3.42	3.13	2.84	2.69	3.12	3.75	3.01	3.52	3.25
Delay Time (min/veh)	0.71	0.58	1.32	1.19	1.46	2.09	1.39	1.88	1.68	1.38	1.24	1.67	2.12	1.55	1.99	1.8
Queue Time (min/veh)	0.46	0.37	0.98	0.87	1.34	1.91	1.34	1.78	1.7	1	0.88	1.62	2.19	1.65	2.01	1.88
Stop Time (min/veh)	0.44	0.36	0.93	0.84	1.26	1.76	1.29	1.65	1.6	0.93	0.85	1.54	2.07	1.59	1.89	1.79
Percent Stop (%)	110.7	103.1	116	116.1	138.2	167.6	140.2	155.7	141.8	118.4	116.7	138.5	160.8	136.6	147.2	140.5
Queue Time (veh-min)	1558.1	1365.1	4250.7	3697.3	6522.5	8075.9	6397	8471.7	8960.7	5545.6	4794.5	9807.7	11842.9	9839.5	11931.9	12186.8
Stop Time (veh-min)	1502	1315.7	4026.4	3571.7	6131.9	7434.5	6142.6	7861.9	8430.5	5156.8	4604.4	9291.9	11189.3	9478.6	11272.3	11547.3
Average Occupancy (veh)	251.7	249.6	394.6	366.5	498	551.4	485.2	580.6	606.2	502.4	467.6	664	728.1	651.9	746.1	767.1
Percent Storage (%)	4	3.9	6.2	5.8	7.8	8.7	7.6	9.1	9.5	7.9	7.3	10.4	11.4	10.2	11.7	12
Phase Failure	20	1	30	25	155	178	166	194	182	29	28	152	172	149	175	166
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	25.68	26.55	22.45	23.05	20.15	17.73	20.52	18.12	18.64	21.89	22.87	19.28	17.35	19.56	18.04	18.31
Emission (grm/mile) HC	0.35	0.35	0.39	0.38	0.43	0.47	0.42	0.47	0.46	0.4	0.39	0.43	0.46	0.42	0.44	0.44
Emission (grm/mile) CO	21.96	20.94	24.99	24.34	27.81	31.07	27.08	30.82	29.83	25.59	24.87	28	30.38	27.37	29.36	28.96
Emission (grm/mile) NO	1.45	1.4	1.58	1.55	1.71	1.89	1.66	1.86	1.79	1.61	1.56	1.69	1.81	1.64	1.75	1.73
Volume count 5-7	390	343	447	387	490	548	446	526	493	534	490	588	577	552	596	568
7-1	386	336	436	387	363	388	336	360	365	542	491	423	424	386	428	416
3-6	394	348	446	394	489	575	437	533	489	547	490	570	668	523	628	575
6-1	381	328	436	379	475	565	430	525	482	549	487	653	586	523	572	572
4-1	293	343	345	386	378	381	431	429	476	444	499	486	484	537	546	539
2-1	294	339	341	388	390	388	441	431	485	444	494	495	495	525	531	540
total	1354	1346	1558	1540	1606	1722	1638	1745	1808	1979	1971	2057	1989	1971	2077	2067

ตาราง ค - 7 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 3

	0103C3	0111C3	0113C3	0121C3	0123C3	0125C3	0131C3	0133C3	0141C3	1113C3	1121C3	1123C3	1125C3	1131C3	1133C3	1141C3
Total Time (min/veh)	2.21	2.07	2.20	2.15	2.38	3.50	2.39	3.10	2.80	2.24	2.20	2.48	3.36	2.49	3.04	3.18
Delay Time (min/veh)	0.67	0.63	0.76	0.71	0.94	1.84	0.95	1.57	1.36	0.79	0.75	1.03	1.74	1.04	1.51	1.73
Queue Time (min/veh)	0.39	0.38	0.45	0.42	0.58	1.27	0.60	1.03	0.91	0.48	0.45	0.65	1.25	0.67	1.08	1.21
Stop Time (min/veh)	0.37	0.36	0.42	0.39	0.54	1.06	0.57	0.91	0.84	0.45	0.43	0.59	1.05	0.63	0.95	1.09
Percent Stop (%)	146.4	143.0	153.6	148.4	139.6	153.8	139.8	147.4	145.1	135.3	134.3	139.6	144.7	142.4	141.9	150.4
Queue Time (veh-min)	1338.9	1461.5	2090.4	1872.4	3058.4	5914.1	3135.6	5387.5	5316.5	2665.0	2471.8	3907.9	6753.4	4006.3	6441.6	8393.7
Stop Time (veh-min)	1265.6	1381.1	1955.8	1758.5	2849.2	4925.4	2962.1	4764.7	4874.8	2517.4	2342.6	3590.4	5684.8	3771.0	5680.8	7553.1
Average Occupancy (veh)	250.9	261.1	332.4	313.6	406.2	521.1	400.5	515.7	522.0	401.6	386.8	484.2	584.7	480.5	587.2	695.2
Percent Storage (%)	3.9	4.1	5.2	4.9	6.4	8.2	6.3	8.1	8.2	6.3	6.1	7.6	9.2	7.5	9.2	10.9
Phase Failure	18	1	34	24	50	76	55	60	74	34	11	26	61	38	39	65
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	24.90	24.21	23.61	24.22	22.95	19.22	22.94	20.25	20.82	24.15	24.50	22.64	19.65	22.80	20.43	19.42
Emission (grm/mile) HC	0.38	0.38	0.41	0.40	0.42	0.48	0.41	0.46	0.45	0.39	0.39	0.42	0.46	0.42	0.45	0.47
Emission (grm/mile) CO	23.54	23.27	25.70	24.74	26.43	31.08	26.41	29.71	28.99	24.66	24.34	26.73	29.85	26.52	28.81	31.04
Emission (grm/mile) NO	1.56	1.55	1.65	1.59	1.64	1.93	1.65	1.83	1.77	1.57	1.55	1.66	1.85	1.64	1.78	1.87
Volume count 5-7	404	347	459	406	504	624	460	564	510	543	492	589	687	543	649	599
7-1	405	337	462	400	530	606	459	586	528	533	490	587	655	538	636	604
3-6	408	345	466	396	509	614	466	566	508	548	498	591	690	549	638	611
6-1	407	341	461	401	508	636	462	591	511	530	482	587	648	533	618	611
4-1	295	348	346	408	405	399	453	457	516	453	496	490	493	549	539	622
2-1	293	349	349	404	409	409	468	466	512	444	495	497	491	538	537	604
total	1400	1375	1618	1613	1852	2050	1842	2100	2067	1960	1963	2161	2287	2158	2330	2441

ตาราง ค - 8 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4

	0103C4	0111C4	0121C4	0131C4	0141C4	1113C4	1121C4	1131C4	1141C4
Total Time (min/veh)	2.59	2.32	2.70	2.70	3.72	2.62	2.94	2.87	3.38
Delay Time (min/veh)	1.06	0.86	1.23	1.25	2.24	1.17	1.47	1.42	1.91
Queue Time (min/veh)	0.77	0.63	0.90	0.95	1.93	0.82	1.07	1.07	1.54
Stop Time (min/veh)	0.74	0.61	0.86	0.91	1.78	0.78	1.02	1.01	1.42
Percent Stop (%)	133.0	128.2	132.5	131.1	143.2	129.2	131.4	129.4	138.4
Queue Time (veh-min)	2497.7	2216.6	3529.3	4127.4	9865.4	4302.5	5589.0	5860.8	9330.0
Stop Time (veh-min)	2402.0	2146.0	3388.1	3961.1	9092.4	4081.2	5353.1	5495.2	8556.9
Average Occupancy (veh)	275.5	269.5	343.8	393.3	614.5	443.1	486.8	517.8	665.5
Percent Storage (%)	4.3	4.2	5.4	6.2	9.6	7.0	7.6	8.1	10.5
Phase Failure	25	29	35	42	81	37	30	55	50
	Total	Total	Total		Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	23.49	24.64	22.92	22.58	17.98	22.81	21.92	21.62	19.13
Emission (grm/mile) HC	0.38	0.36	0.39	0.39	0.46	0.40	0.40	0.41	0.45
Emission (grm/mile) CO	24.08	22.50	24.60	24.98	30.29	25.45	25.48	26.23	29.24
Emission (grm/mile) NO	1.55	1.49	1.56	1.57	1.84	1.59	1.59	1.63	1.77
Volume count 5-7	362	333	367	409	468	512	478	500	572
7-1	328	323	348	393	444	509	472	485	488
3-6	357	332	373	410	466	505	477	492	519
6-1	328	313	348	395	446	507	464	489	503
4-1	293	328	370	411	449	450	491	498	562
2-1	296	334	373	417	479	439	483	498	559
total	1245	1298	1439	1616	1818	1905	1910	1970	2112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค - 9 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 5

	0131c5	0141c5	1113c5	1141c5
Total Time (min/veh)	3.27	3.14	3.4	4.12
Delay Time (min/veh)	1.8	1.73	1.93	2.73
Queue Time (min/veh)	1.3	1.43	1.45	2.13
Stop Time (min/veh)	1.25	1.33	1.38	2.02
Percent Stop (%)	148.7	130.1	147	145.3
Queue Time (veh-min)	6283.7	7259	8650.6	14991.9
Stop Time (veh-min)	6027	6730.3	8222.4	14252.1
Average Occupancy (veh)	503.1	537.3	639.7	908.3
Percent Storage (%)	7.9	8.4	10	14.3
Phase Failure	21	22	33	58
	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	20.53	19.69	19.69	16.52
Emission (grm/mile) HC	0.42	0.44	0.44	0.5
Emission (grm/mile) CO	27.46	28.48	28.6	33.62
Emission (grm/mile) NO	1.68	1.73	1.72	1.95
Volume count 5-7	438	296	525	433
7-1	404	281	507	439
3-6	431	477	530	528
6-1	428	480	504	534
4-1	438	469	523	517
2-1	438	474	519	554
total	1708	1704	2053	2044

ตาราง ค - 10 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 1 (20 นาที)

	0111C6	0121C6	0131C6	0141C6	1121C6	1131C6	1141C6
Total Time (min/veh)	2.11	2.33	2.63	4.98	2.37	3.91	5
Delay Time (min/veh)	0.66	0.89	1.19	3.52	0.92	2.44	3.55
Queue Time (min/veh)	0.43	0.59	0.79	2.7	0.59	1.88	2.7
Stop Time (min/veh)	0.41	0.56	0.73	2.39	0.57	1.69	2.4
Percent Stop (%)	133.5	134.2	141.8	149.8	137.5	151.8	146.9
Queue Time (veh-min)	2243.4	3722.4	6155.3	22666.5	4455.2	16081.6	25828.6
Stop Time (veh-min)	2139.4	3557.4	5718.1	20021.7	4235.9	14451.5	22950.1
Average Occupancy (veh)	278.9	368.7	503.6	999	436.3	810.7	1126.5
Percent Storage (%)	4.4	5.8	7.9	15.7	6.9	12.7	17.7
Phase Failure	1	16	106	133	14	140	144
Fuel Consumption (MPG)	25.14	23.7	21.77	14.73	23.67	17.49	14.56
Emission (grm/mile) HC	0.37	0.4	0.43	0.56	0.39	0.49	0.56
Emission (grm/mile) CO	22.97	24.96	27.93	37.99	24.95	32.41	38.3
Emission (grm/mile) NO	1.51	1.59	1.72	2.23	1.58	1.94	2.24
Volume count 5-7	488	587	713	789	689	782	898
7-1	486	574	700	717	670	770	779
3-6	487	583	715	787	690	792	882
6-1	473	581	709	742	672	783	833
4-1	488	587	706	715	698	754	725
2-1	489	590	712	690	683	699	685
total	1936	2332	2827	2864	2723	3006	3022

ตาราง ค - 11 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 2 (20 นาที)

	0111c7	0121c7	0131c7	0141c7	1121c7	1131c7	1141c7
Total Time (min/veh)	2.06	2.72	3.51	4.16	2.78	3.92	4.49
Delay Time (min/veh)	0.62	1.33	2.06	2.73	1.33	2.46	3.06
Queue Time (min/veh)	0.4	0.79	2.02	2.71	0.97	2.4	2.9
Stop Time (min/veh)	0.38	0.76	1.85	2.43	0.93	2.21	2.62
Percent Stop (%)	107.4	102.8	146.8	150.1	116..1	147.3	147.5
Queue Time (veh-min)	2089.1	5975.5	14918.1	22736.8	5984.76	20552.3	27771
Stop Time (veh-min)	2008.4	5772.6	13657.8	20376.5	7121	18942.7	25112.9
Average Occupancy (veh)	272.6	426.5	709	961.8	172.11	894.7	1139.2
Percent Storage (%)	4.3	6.7	11.1	15.1	157.88	14	17.9
Phase Failure	3	25	286	352	330	234	264
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	25.72	22.85	17.5	14.82	22.6	16.38	14.38
Emission (grm/mile) HC	0.36	0.39	0.48	0.55	0.39	0.48	0.55
Emission (grm/mile) CO	22.24	19.7	31.69	36.72	25.07	32.03	37.02
Emission (grm/mile) NO	1.47	1.54	1.92	2.17	1.55	1.93	2.18
Volume count 5-7	487	590	694	721	691	735	749
7-1	482	584	550	524	689	561	561
3-6	494	599	687	793	691	781	860
6-1	472	575	670	670	678	743	778
4-1	489	585	656	654	701	677	707
2-1	490	593	662	642	684	691	711
total	1933	2337	2538	2490	2752	2672	2757

ตาราง ค - 12 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 3 (20 นาที)

	0111c8	0121c8	0131c8	0141c8	1121c8	1131c8	1141c8
Total Time (min/veh)	2.11	2.18	2.63	3.5	2.21	2.75	3.84
Delay Time (min/veh)	0.67	0.74	1.19	2.05	0.77	1.3	2.38
Queue Time (min/veh)	0.43	0.46	0.79	1.51	0.47	0.89	1.8
Stop Time (min/veh)	0.41	0.43	0.73	1.3	0.45	0.82	1.57
Percent Stop (%)	144.5	147.5	141.8	153.3	135.7	144.4	153.5
Queue Time (veh-min)	2241.2	2885.8	6155.3	13466.7	3543.1	7587.3	17257.4
Stop Time (veh-min)	2125	2719.7	5718.1	11592.5	3350.6	7021.2	15021.9
Average Occupancy (veh)	279.7	345.4	503.6	766.4	409.3	579	895.8
Percent Storage (%)	4.4	5.4	7.9	12	6.4	9.1	14.1
Phase Failure	10	47	106	168	15	79	177
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	24.87	24.06	21.77	17.92	24.32	21.4	17.11
Emission (grm/mile) HC	0.38	0.4	0.43	0.51	0.39	0.43	0.52
Emission (grm/mile) CO	23.47	25.08	27.93	33.22	24.53	28.19	34.35
Emission (grm/mile) NO	1.54	1.6	1.72	2	1.56	1.72	2.04
Volume count 5-7	489	588	713	796	688	796	891
7-1	481	570	700	796	664	773	807
3-6	493	587	715	809	693	795	888
6-1	474	579	709	814	678	767	863
4-1	489	593	706	761	695	790	825
2-1	489	591	712	782	688	786	841
total	1933	2333	2827	3153	2725	3116	3336

ตาราง ค - 13 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 4 (20 นาที)

	0111c9	0121c9	0131c9	0141c9	1121c9	1131c9	1141c9
Total Time (min/veh)	2.38	2.52	3.84	4.86	2.91	3.60	4.64
Delay Time (min/veh)	0.93	1.06	2.37	3.4	1.48	2.14	3.19
Queue Time (min/veh)	0.67	0.76	1.84	2.81	1.14	1.65	2.58
Stop Time (min/veh)	0.64	0.73	1.71	2.63	1.1	1.51	2.36
Percent Stop (%)	132.7	129.5	145.4	154.7	131.3	132.5	146.4
Queue Time (veh-min)	3255.7	4448.3	12484.4	21261	8056.8	13443.9	23256
Stop Time (veh-min)	3138.8	4280.9	11635.2	19860.1	7773.8	12253.7	21323.5
Average Occupancy (veh)	292.7	368	641.6	895.6	505.7	711.1	1018.1
Percent Storage (%)	4.6	5.8	10.1	14.1	7.9	11.2	16
Phase Failure	21	25	70	90	82	74	134
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	24.22	23.6	18.19	15.49	21.43	18.68	15.58
Emission (grm/mile) HC	0.38	0.38	0.47	0.51	0.41	0.46	0.52
Emission (grm/mile) CO	23.36	24.16	31.14	34.25	26.37	30.31	35.03
Emission (grm/mile) NO	1.52	1.54	1.86	2	1.63	1.83	2.05
Volume count 5-7	465	556	640	726	596	756	820
7-1	447	538	634	602	578	687	679
3-6	459	553	632	710	591	753	814
6-1	445	529	621	657	578	723	707
4-1	454	562	630	686	672	763	815
2-1	457	563	636	675	654	747	797
total	1803	2192	2521	2620	2482	2920	2998

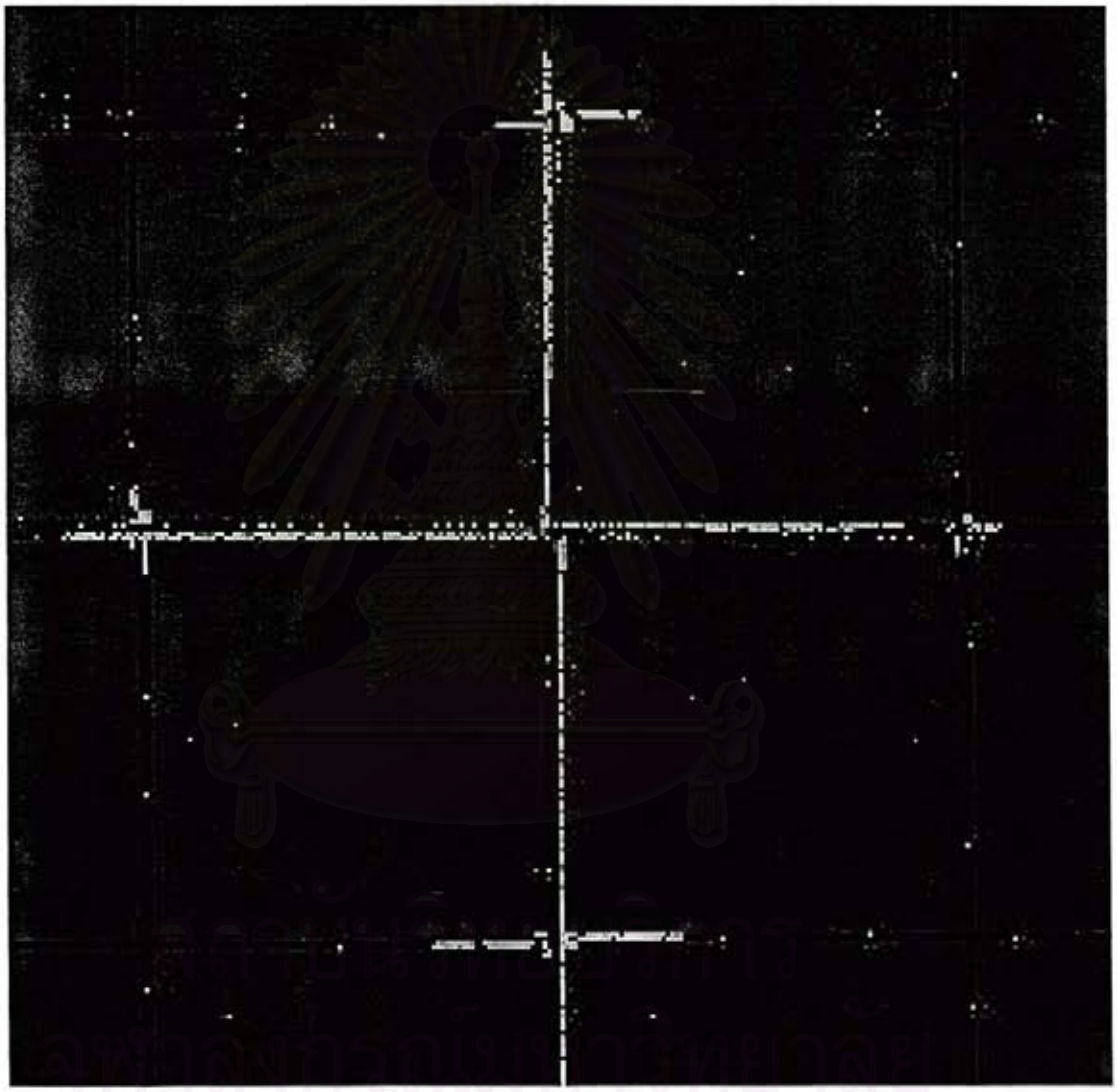
ตาราง ค - 14 ผลลัพธ์จากการประมวลผลสำหรับกรณีปริมาณจราจรเปลี่ยนแปลงและใช้ตัวควบคุมแบบที่ 5 (20 นาที)

	0131ca	0141ca	1131ca	1141ca
Total Time (min/veh)	3.94	4.24	4.05	4.49
Delay Time (min/veh)	2.47	2.84	2.64	3.17
Queue Time (min/veh)	2.01	2.72	2.15	3.13
Stop Time (min/veh)	1.93	2.58	2.04	2.92
Percent Stop (%)	150.5	136.3	147.5	132.5
Queue Time (veh-min)	14938.4	22098.7	18695.9	31117.9
Stop Time (veh-min)	14316.3	20967.1	17703.6	29088.1
Average Occupancy (veh)	719.2	956.9	897	1207.5
Percent Storage (%)	11.3	15.0	14.1	19.0
Phase Failure	69	105	91	118
	Total	Total	Total	Total
Fuel Consumption (MPG)	17.93	15.5	16.72	13.63
Emission (grm/mile) HC	0.46	0.5	0.5	0.55
Emission (grm/mile) CO	30.53	33.75	33.05	37.83
Emission (grm/mile) NO	1.8	1.94	1.91	2.21
Volume count 5-7	630	548	666	487
7-1	598	536	656	520
3-6	679	634	678	642
6-1	671	478	553	524
4-1	655	677	658	739
2-1	578	649	750	681
total	2502	2340	2617	2464

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างลักษณะการจราจรในแบบกราฟฟิก ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรม CORSIM

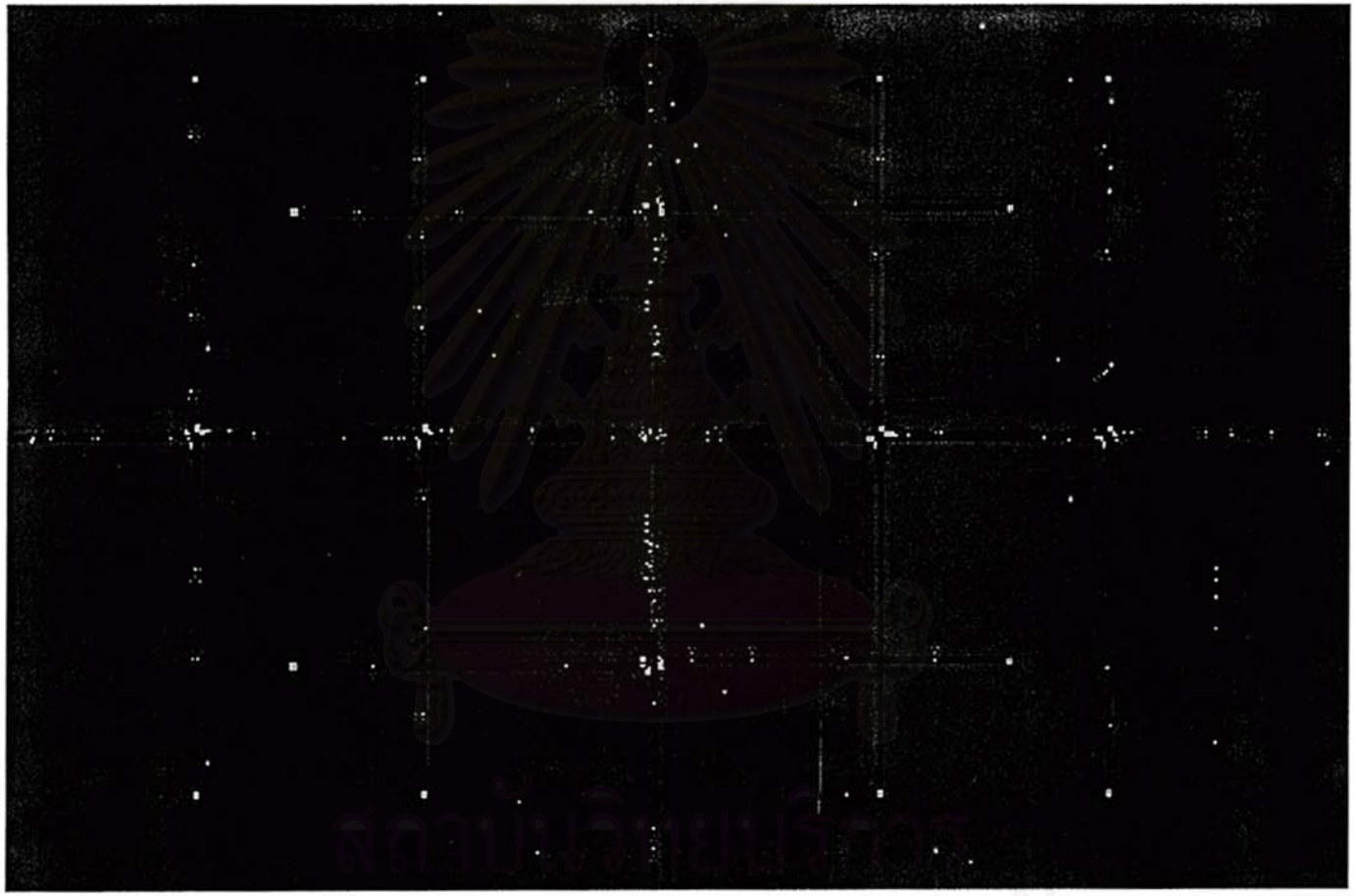
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-1 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ย (วิธีที่ 3)
ขณะที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ

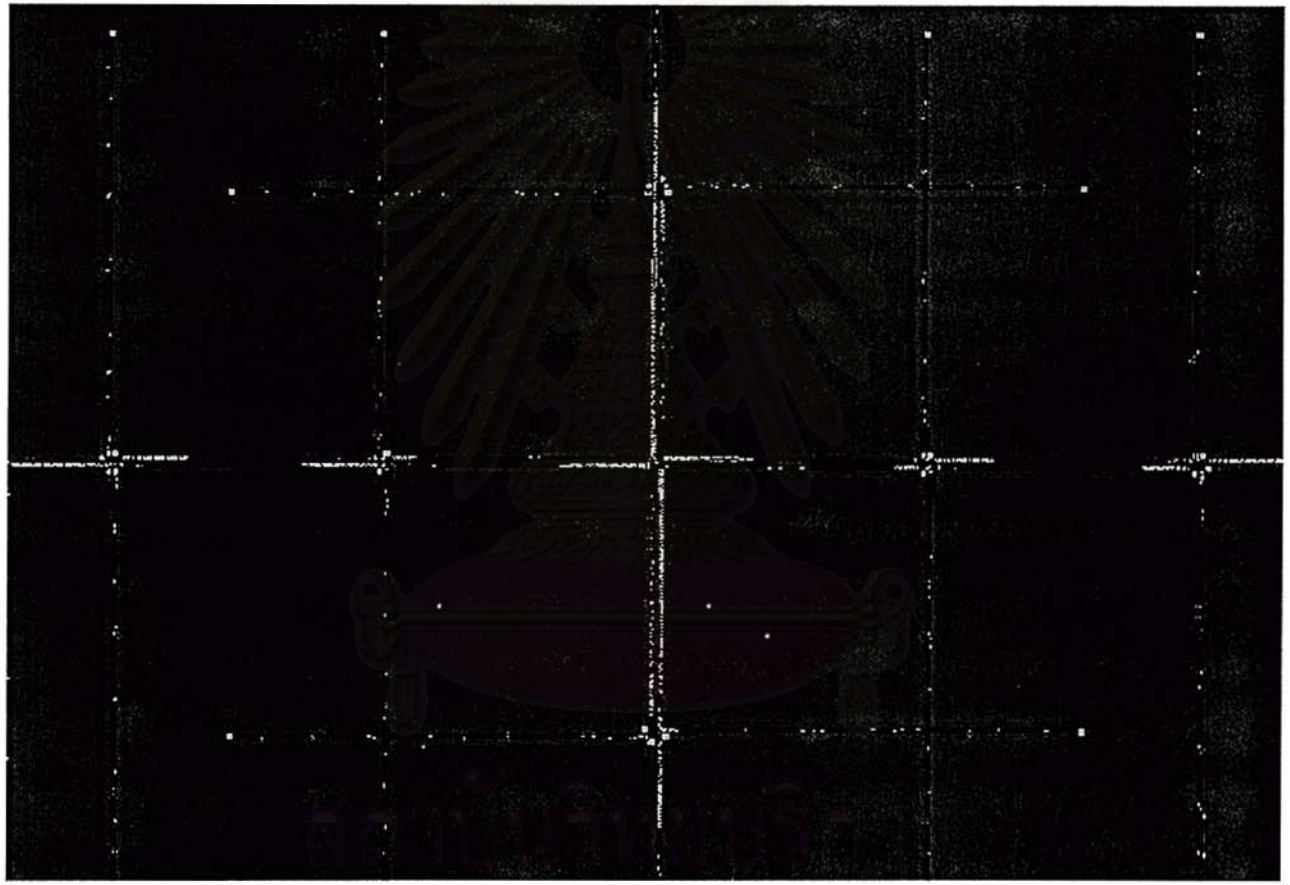
รูปที่ ง-2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ปริมาณจราจรในอดีตเฉลี่ย (วิธีที่ 3)
ขณะสิ้นสุดการจำลองสภาพจราจร

รูปที่ ง-3 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ที่ว่างหลังแถวคอยของทางแยกถัดไป (วิธีที่ 5) ขณะที่มีปริมาณจราจรสูงกว่าปกติ



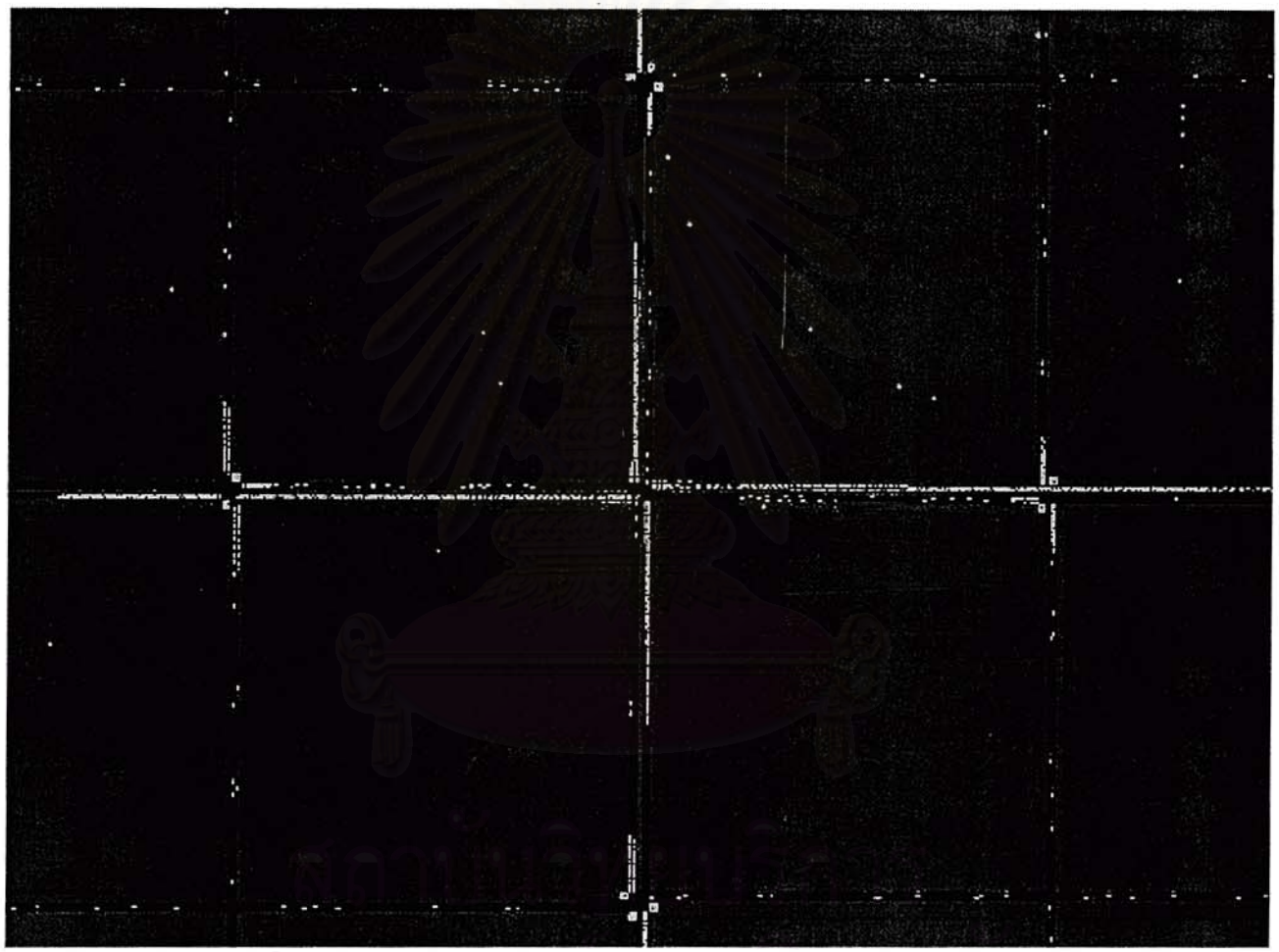
รูปที่ ง-4 สภาพการจราจรในช่วงเวลาปกติ ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรในอดีต (วิธีที่ 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



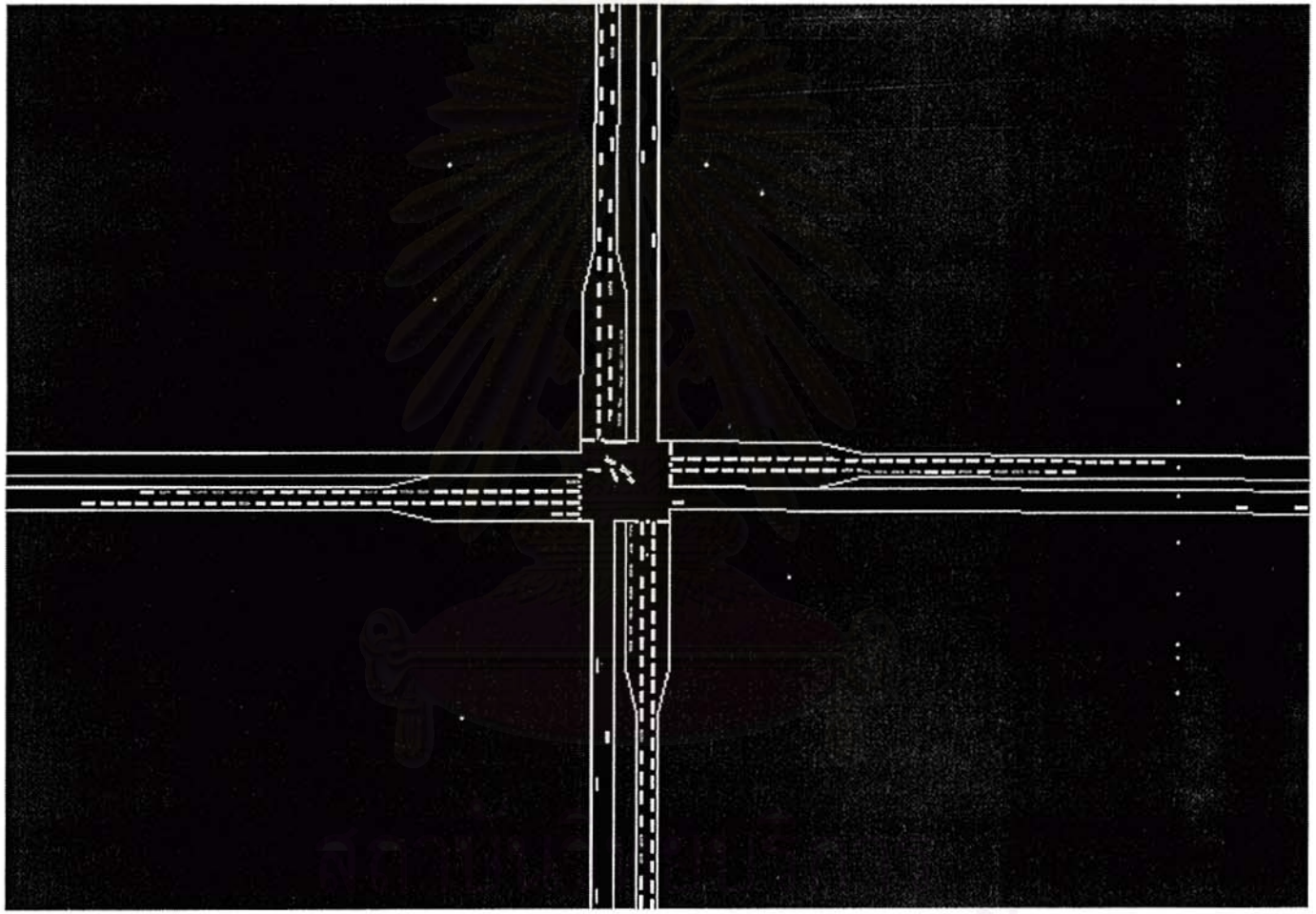
รูปที่ ง-5 สภาพการจราจรในช่วงเวลาปกติ ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ให้ความสำคัญกับกลุ่มยวดยานบนถนนสายหลัก (วิธีที่ 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-6 สภาพการจราจรขณะปริมาณจราจรอิ่มตัว ของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรจากตัววัด (วิธีที่ 4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-7 ภาพขยายการเคลื่อนที่ของยวดยานที่ทางแยก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

138

ประวัติผู้เขียน

นายปนัสย์ พุกโพธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2516 ที่อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย