การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9

A STUDY OF TRAFFIC SIGNAL COORDINATION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE ROYAL INITIATE PROJECT ROAD OF HIS MAJESTY KING RAMA IX

ลดาวัลย์ สวนจันทร์
LADAWAN SUANCHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562
KMITL-2019-EN-M-093-080

การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9

A STUDY OF TRAFFIC SIGNAL COORDINATION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE ROYAL INITIATE PROJECT ROAD OF HIS MAJESTY KING RAMA IX

ลดาวัลย์ สวนจันทร์

LADAWAN SUANCHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-093-080

A STUDY OF TRAFFIC SIGNAL COORDINATION SYSTEM: A CASE STUDY OF THE ROYAL INITIATE PROJECT ROAD OF HIS MAJESTY KING RAMA IX

LADAWAN SUANCHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-093-080

COPYRIGHT 2019
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9

Thesis Title A Study of Traffic Signal Coordination System : A Case Study of the Royal Initiage Project Road of His Majesty King Rama IX

นักศึกษา นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์

รหัสประจำตัว 57601362

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-093-080

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.ลัดดา	ตันวาณิชกุล	
รศ.ดร.สกุล	ห่อวโนทยาน	
ดร.ปรีดา	จาตุรพงศ์	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.จำรัส	พิทักษ์ศฤงคาร	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 เวลา 08.30-10.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 5 ชั้น 3 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9
นักศึกษา นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์
รหัสประจำตัว 57601362
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
พ.ศ. 2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร

บทคัดย่อ

การพัฒนาเมืองหรือพื้นที่เศรษฐกิจบริเวณกว้างย่อมก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้า - ออกพื้นที่ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเมืองและแหล่งเศรษฐกิจ รวมไปถึงการสัญจรบนท้องถนนที่มากขึ้นก่อให้เกิดปัญหาจราจรติดขัด การจัดการระบบสัญญาณไฟจราจรเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาที่ได้รับความนิยมมากที่จะช่วยลดความล่าช้าเฉลี่ยของยวดยานและความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาระบบการประสานงานสัญญาณไฟจราจรเพื่อปรับปรุงสภาพการจราจรและลดจำนวนจุดตัดบนถนนสายหลัก บริเวณพื้นที่ที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจ (ห้างสรรพสินค้า) บนถนนพระราชดำริช่วงระหว่างแยกถนนพระราชดำริ – ถนนเพชรอุทัย – ทางด่วนศรีรัช ไปจนถึงแยกโรงพยาบาลปิยะเวท โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับมหภาค Synchro ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ในการจำลองการประสานสัญญาณไฟ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในปัจจุบันมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคและตัวแปรต่าง ๆ ในการประเมิน ผลจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประสานสัญญาณไฟนั้นเป็นแนวทางในการลดความล่าช้าและเพิ่มประสิทธิภาพการเข้าถึงพื้นที่เศรษฐกิจ ช่วยปรับปรุงสภาพการจราจรและลดจุดตัดบนทางเดินรถสายหลัก

Thesis	A Study of Traffic Signal Coordination System: A Case Study of The Royal Initiate Project Road of His Majesty King Rama IX
Student	Miss Ladawan Suanchan
Student ID.	57601362
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Jumrus Pitaksringkarn

ABSTRACT

Developing a city or a wide area in the economic will result in an increase in the number of vehicles - especially the enter in and exit out at the city. This is one of the most important problems that will affect road traffic, causing traffic congestion. The main approach is to increase promote the usage of the mass transit system. However, reducing traffic congestion on major roadway coordinate is also very important as well. Improving the intersection operation to accommodate increased usage and increasing the coordination system of the system is an accepted solution. In this research work, a traffic signal coordination study is conducted to improve a traffic flow condition and to reduce the number of stops on the main roadway. A case study of The Royal Initiate Project Road of His Majesty King Rama IX (Pra Ratchadumri Road) between Pra Ratchadumri Road – Phet Uthai Road – Si Rat Expressway Intersection and Piyavate Hospital Intersection. Synchro – a traffic signal coordination simulation software is used to experiment and test for this technique. A result of this study shows that applying the traffic signal coordination technique does help improve traffic flow conditions and reduce vehicle stops on this main corridor.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุราให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการตรวจทานเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอนมาโดยตลอดเพื่อให้ข้อมูลด้านวิชาการของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ ตลอดความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดช่วงการศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้ และขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง อบรมสั่งสอน เตือนสติ และให้กำลังใจทั้งในการศึกษาและการทำงาน เป็นแรงพลักดันให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบริษัท S2R Consulting Co., Ltd. ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการเก็บข้อมูล รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการวิทยานิพนธ์ และขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่ได้คอยชี้แนะและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมา และผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ได้นำไปศึกษาและวิจัยสืบเนื่องต่อไปเกี่ยวกับการศึกษาการประสานสัญญาณไฟจรจรไม่มากก็น้อย

ลดาวัลย์ สวนจันทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป XII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตและสมมุติฐานของงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 4

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals) 9

2.2.1 ความสำคัญของสัญญาณไฟจราจร 10

2.2.2 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร 10

2.2.3 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยก (Traffic Signal Control System) 11

2.2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจร 22

2.2.5 การวิเคราะห์ความจุและความล่าช้าในการเดินทางบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ 24

2.3 ทางแยกแบบมีสัญญาณไฟจราจร 27

2.3.1 ปัญหาของการควบคุมทางแยกสัญญาณไฟ 28

2.3.2 รูปแบบการจัดสัญญาณไฟ 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การพิจารณาการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 31
2.4.1 WARRANT 1 ปริมาณจราจร 8 ชั่วโมง (Eight-Hour Vehicular Volume) 31
2.4.2 WARRANT 2 ปริมาณจราจร 4 ชั่วโมง (Four – Hour Vehicle Volume) 33
2.4.3 WARRANT 3 ปริมาณจราจรสูงสุด 1 ชั่วโมง (Peak Hours) 34
2.4.4 WARRANT 4 คนเดินข้ามถนน (Pedestrian) 35
2.4.5 WARRANT 5 บริเวณทางข้ามหน้าโรงเรียน (SCHOOL CROSSING) 35
2.4.6 WARRANT 6 การประสานสัญญาณไฟ (Coordinated Signal System) 36
2.4.7 WARRANT 7 สถิติการเกิดอุบัติเหตุ (Crash Experience) 36
2.4.8 WARRANT 8 โครงข่ายถนน (Road Network) 36
2.5 หลักการออกแบบระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร 37
2.5.1 ลักษณะการประสานของสัญญาณไฟจราจรชนิดตั้งเวลาไว้ก่อน (Pre-Timed Signal Coordinate Schemes) 37
2.5.2 ประเภทของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน (Types of Co-ordinated Signal System) 38
2.5.3 ประเภทของโครงข่ายสัญญาณไฟจราจร (Signal Network) 39
2.5.4 รอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน 41
2.6 ดัชนีชี้วัดทางด้านจราจร 42
2.6.1 ความล่าช้า (Delay) 42
2.6.2 ความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel Time) 43
2.6.3 ทฤษฎีแถวคอย 45
2.6.4 ระดับการให้บริการ (Level of Service) 45
2.7 การจำลองสภาพการจราจร 49
2.8 โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร 50
2.8.1 โปรแกรม AIMSUN 50
2.8.2 โปรแกรม CORSIM (Netsim) 51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.3 โปรแกรม Synchro/Sim Traffic 52

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน 55

3.1 ขั้นตอนของการศึกษา 56

3.2 พื้นที่ศึกษาและสภาพในปัจจุบัน 57

3.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล 58

3.3.1 การเก็บข้อมูลกายภาพและลักษณะทางเรขาคณิต 58

3.3.2 การสำรวจข้อมูลสภาพจราจร 59

3.3.3 ระยะเวลาการเก็บข้อมูล 61

3.3.4 ความเร็วของยานพาหนะ 61

3.3.5 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 62

3.4 แนวทางและรูปแบบของการวิเคราะห์ระบบสัญญาณไฟจราจร 62

3.5 การสร้างแบบจำลองและการปรับเทียบแบบจำลอง 65

3.6 การสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค โปรแกรม Synchro 67

3.6.1 การเริ่มต้นเปิดใช้งานโปรแกรม เครื่องมือการตั้งค่า และเครื่องมือในโปรแกรม Synchro 6 67

3.6.2 การตั้งค่า Map – Settings และการนำเข้าแผนที่ (Importing Map Background) 69

3.6.3 การตั้งค่าโครงข่ายถนน (Network Setting Window) 71

3.6.4 การตั้งค่าช่องจราจร (Lane Window) 73

3.6.5 การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window) 74

3.6.6 การตั้งค่าเวลา (Timing Window) 75

3.6.7 การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณ (Sign Control) 77

3.6.8 การตั้งค่าเวลาและลำดับสัญญาณไฟจราจร (Timing Setting) 77

3.6.9 การแสดงผลการวิเคราะห์ (Report Window) 78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการศึกษา 80

4.1 ข้อมูลลักษณะเรขาคณิตและสภาพจราจรของทางแยกที่ศึกษา 80

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของทางแยก 80

4.1.2 ข้อมูลสัญญาณไฟจราจร 86

4.1.3 ข้อมูลปริมาณจราจร 86

4.1.4 ข้อมูลความยาวแถวคอย 86

4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง 96

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความล่าช้า (Delay) 96

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความเร็ว (Speed) 102

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความยาวแถวคอย (Queue Length) 107

4.3 สรุปผลที่ได้จากแบบจำลอง 116

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 117

5.1 สรุปผลการศึกษา 117

5.2 ข้อเสนอแนะ 118

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 119

บรรณานุกรม 120

ภาคผนวก ก ตัวอย่างแบบจำลองและการประมวลผลสภาพจราจร โดยโปรแกรม Synchro 123

ภาคผนวก ข อุปกรณ์และแบบฟอร์มในการสำรวจข้อมูลด้านจราจร 133

ภาคผนวก ค หนังสือตอบรับการตีพิมพ์วารสารทางวิชาการ วิศวกรรสารฉบับวิจัยและพัฒนา 139

ประวัติผู้เขียน 143

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ระยะห่างระหว่างแยกตามอุดมคติเมื่อพิจารณาจากรอบสัญญาณไฟและความเร็วของยานพาหนะ 30

2.2 WARRANT 1A และ 1B (ที่มา : MUTCD, 2000) 32

2.3 ระดับการให้บริการบริเวณช่วงถนนสำหรับถนนที่อยู่ในเมือง 46

2.4 แสดงการวิเคราะห์ระดับให้บริการของทางแยกมีสัญญาณไฟ และทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟ.... 46

2.5 แสดงการวิเคราะห์ระดับการให้บริการของถนน 46

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 62

3.2 รูปแบบการจำลองสภาพการจราจรในสถานการณ์ที่จะทำการวิเคราะห์ 64

3.3 ค่าปัจจัยเทียบเท่ารถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน (Passenger Car Equivalence Factor, PCE Factor) 66

3.4 เครื่องมือการตั้งค่า Synchro 6 68

3.5 เครื่องมือในโปรแกรม Synchro 6 68

3.6 ค่าปรับเทียบ Peak Hour Factor 72

4.1 ลักษณะทางกายภาพของแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา 83

4.2 รอบสัญญาณไฟจราจรของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ 87

4.3 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ 95

4.4 ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 97

4.5 ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา 98

4.6 ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด 99

4.7 ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 100

4.8 ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา 101

4.9 ค่าความเร็วของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 102

4.10 ค่าความเร็วของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา 103

4.11 ค่าความเร็วของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด 104

4.12 ค่าความเร็วของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 105

4.13 ค่าความเร็วของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา 106

4.14 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.15 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา..... 110

4.16 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด 111

4.17 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด..... 113

4.18 ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา..... 114

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ช่วงเวลาไฟเขียวที่รถยนต์สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกได้สูงสุด 12
2.2 วัฏจักรการไหลของกระแสจราจรโดย TRANSYT 13
2.3 แสดงให้เห็นปัญหาช่วงสัญญาณไฟเขียวไม่เพียงพอ 14
2.4 หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจร 16
2.5 การปรับช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ 17
2.6 การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น 18
2.7 แนวคิดของระบบ SCOOT 21
2.8 ระดับของการประมาณค่าความอิ่มตัว 22
2.9 ความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม 23
2.10 เวลาสูญเสียทั้งหมด (total lost time) 24
2.11 การตัดกันของกระแสจราจรบนทางแยก 27
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร รอบสัญญาณไฟ และความล่าช้า 29
2.13 กรณีระยะห่างระหว่างแยก 29
2.14 ระยะห่างระหว่างแยกและรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมในช่วงระยะเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน 31
2.15 WARRANT 2 (100%) 33
2.16 WARRANT 2 (70%) 33
2.17 WARRANT 3 (100%) 34
2.18 WARRANT 3 (70%) 35
2.19 โครงข่ายทางแยกแบบเปิด (Open Network) 40
2.20 โครงข่ายทางแยกแบบปิด (Closed Network) 42
2.21 แผนภาพจำแนกระดับการให้บริการ 47
2.22 ตัวอย่างภาพแสดงระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS) 48
3.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษา 56
3.2 แสดงภาพถ่ายบริเวณพื้นที่การศึกษา 57
3.3 แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 58

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยก RCA 59

3.5 แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท 59

3.6 การเก็บปริมาณจราจรโดยใช้วิธการตั้งกล้อง 60

3.7 การใช้อุปกรณ์ Radar Speed Gun ตรวจวัดความเร็วยานพาหนะ 62

3.8 แบบจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค โปรแกรม Synchro 67

3.9 การเริ่มต้นเปิดใช้งานโปรแกรม Synchro 69

3.10 การตั้งค่า Map – Settings 69

3.11 การนำเข้าแผนที่ (Importing Map Background) 70

3.12 การตั้งค่าโครงข่ายถนน (Network Setting Window) 71

3.13 การตั้งค่าเลนและปริมาณจราจรในโปรแกรม Synchro 71

3.14 การตั้งค่าเวลาและเฟสสัญญาณไฟจราจรในโปรแกรม Synchro 73

3.15 การตั้งค่าช่องจราจร (Lane Window) ในโปรแกรม Synchro 74

3.16 การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window) ในโปรแกรม Synchro 75

3.17 การตั้งค่าเวลา (Timing Window) ในโปรแกรม Synchro 76

3.18 การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณ (Sign Control) ในโปรแกรม Synchro 77

3.19 การตั้งค่าเวลาและลำดับสัญญาณไฟจราจร (Timing Setting) 78

3.20 การแสดงผลการวิเคราะห์ (Report Window) 79

4.1 ลักษณะทางกายภาพของถนนโดยรอบพื้นที่ศึกษา 81

4.2 ลักษณะทางกายภาพของทางแยกโดยรอบพื้นที่ศึกษา 82

4.3 ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 90

4.4 ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา 91

4.5 ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด 92

4.6 ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 93

4.7 ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา กรณีนอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา 94

4.8 กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 97

4.9 กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา 98

4.10 กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด 99

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 100

4.12 กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา..... 101

4.13 กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา 103

4.14 กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา..... 104

4.15 กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด..... 105

4.17 กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 106

4.17 กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา..... 107

ก1 แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา..... 123

ก2 แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา..... 123

ก3 แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด..... 124

ก4 แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด 124

ก5 แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา..... 125

ก6 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรในรูปแบบสองมิติด้วยโปรแกรม Synchro 125

ก7 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 1 127

ก8 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 1 127

ก9 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 1 128

ก10 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2 128

ก11 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2 129

ก12 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2 129

ก13 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 3 130

ก14 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 3 130

ก15 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 3 131

ก16 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 4 131

ก17 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 4 132

ก18 การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 4 132

ข1 “กล้องวีดีโอ” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณจราจร 134

ข2 “เรดาร์ กัน” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลความเร็ว 132

ข3 “ล้อวัดระยะและตัววัดระยะแบบเรเซอร์” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลเชิงระยะทาง .. 135

ข4 แบบฟอร์มในการสำรวจปริมาณจราจร 136

ข5 แบบฟอร์มในการสำรวจรอบสัญญาณไฟจราจร 137

ข6 แบบฟอร์มในการสำรวจความยาวแถวคอย 138

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันหลายประเทศให้ความสำคัญกับการพัฒนาด้านเศรษฐกิจซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่จะก่อให้เกิดความมั่นคงของประเทศ เช่นเดียวกันกับประเทศไทยที่มีการพัฒนาเมืองและพื้นที่เศรษฐกิจขยายตัวอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่มีการประกาศใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ เมื่อ พ.ศ. 2504 ส่งผลให้กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางความเจริญทุกด้านของประเทศ ทั้งด้านการค้า การลงทุน การจ้างงาน การศึกษา การท่องเที่ยว ตลอดจนการเมืองการปกครอง และยังเป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยด้วย การที่มีกิจกรรมทุกรูปแบบกระจุกตัวอยู่อย่างหนาแน่นส่งผลให้ในปัจจุบันกรุงเทพมหานครกำลังประสบกับปัญหาการจราจรติดขัดและมีแนวโน้มว่าปัญหาจะรุนแรงมากยิ่งขึ้น อันเป็นผลเนื่องมาจากความต้องการในการเดินทางของประชาชนที่เพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้า - ออกพื้นที่ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาเมืองและแหล่งเศรษฐกิจ อีกทั้งยังกระทบไปจนถึงการสัญจรบนท้องถนนที่มากขึ้นทำให้เกิดปัญหาจราจรติดขัด และเนื่องจากปัญหาจราจรเป็นปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งเกิดจากปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น ความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี หรือพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ดังนั้นแนวทางการแก้ไขจึงจำเป็นต้องอาศัยหลาย ๆ แนวทางมาใช้ร่วมกัน ได้แก่ การเพิ่มช่องทางจราจร การติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร การส่งเสริมระบบขนส่งมวลชนและบริการที่ครอบคลุมทั่วถึง การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่เพื่อพัฒนาระบบขนส่ง เป็นต้น แต่แนวทางแก้ไขซึ่งได้รับความนิยมมาก คือ การจัดการและการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร ซึ่งเป็นตัวช่วยในการลดความล่าช้าเฉลี่ยของยวดยานทั้งหมดและความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง เนื่องจากไปลดจุดที่ก่อให้เกิดการขัดแย้งในกระแสจราจร สัญญาณไฟจราจรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการควบคุมการสัญจรของรถและคนข้ามถนนเพื่อจัดการจราจรในแต่ละทิศทางให้เหมาะสม ดังนั้นการออกแบบและการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรในทางแยกต่าง ๆ จะต้องมีการศึกษาและการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์จึงจะก่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการจราจร

แต่ในปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของสัญญาณไฟจราจรกลับยิ่งก่อให้เกิดปัญหาการติดขัดของการจราจร เนื่องจากยานพาหนะที่ต้องเคลื่อนตัวผ่านทางแยกนั้นจะต้องหยุดรถบ่อยขึ้นเพื่อรอสัญญาณไฟจราจรซึ่งเป็นผลมาจากการทำงานของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของทางแยกที่อยู่ใกล้เคียงกันยังทำงานไม่สัมพันธ์กัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรที่หนาแน่นในชั่วโมงเร่งด่วนบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรอาจก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด การควบคุมที่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อยมักส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง ในกรณีที่ปริมาณความต้องการการเดินทางใกล้เคียงหรือมากเกินความสามารถของสัญญาณไฟ วิธีการควบคุมจะเปลี่ยนจากการมุ่งเน้นการลด

ความล่าช้าและความต่อเนื่องของสัญญาณไฟไปเป็นการบริหารจัดการความยาวแถวคอยและลดผลกระทบสู่ทางแยกข้างเคียง

งานวิจัยนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจรที่มีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรใกล้เคียงกันบนพื้นที่ที่มีการพัฒนาเศรษฐกิจ ที่ประกอบไปด้วยห้างสรรพสินค้าและอาคารพาณิชย์ ที่พักอาศัย รวมไปถึงยังเป็นจุดเชื่อมต่อการเดินทางไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยการศึกษานี้จะใช้วิธีการจำลองสภาพจราจรในระดับมหภาค ด้วยโปรแกรม Synchro ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการปรับรอบสัญญาณไฟจราจรของโครงข่ายถนนทั้งบริเวณโครงข่ายทางแยกและทางแยกเดี่ยวให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บสำรวจในปัจจุบันรวมถึงข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นในอดีตมาใช้ในการจำลองสภาพจราจรในกรณีที่มีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ต่างกันออกไปเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจรา โดยมีแนวทางในลดความล่าช้าและความยาวของแถวคอยในการหยุดรอสัญญาณไฟจราจร อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความเร็วในการเดินทาง และส่งผลกระทบกับปริมาณจราจรบนถนนสายหลักน้อยที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะศึกษาแนวทางและประสิทธิภาพในการออกแบบการประสานสัญญาณไฟจราจรบริเวณถนนโครงการพระราชดำริ ณ ปัจจุบัน โดยเป็นบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรโดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกันตั้งแต่แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) ไปจนถึงแยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท โดยมุ่งเน้นในการลดผลกระทบด้านจราจรบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.3 ขอบเขตและสมมุติฐานของงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาและออกแบบการประสานสัญญาณไฟจราจรร่วมบริเวณถนนพระราชดำริ ช่วงระหว่าง แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) ถึง แยกโรงพยาบาลปิยะเวช ซึ่งเป็นบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรโดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกัน 3 แยกสัญญาณไฟจราจร และอีก 1 จุดตัดซึ่งเป็นทางเข้า-ออกของห้างสรรพสินค้า ประกอบด้วย แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) , แยกอาร์ ซี เอ , แยกโรงพยาบาลปิยะเวชและซอยวัดอุทัยธาราม (บริเวณห้างสรรพสินค้า Show DC) โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับมหภาค Synchro โดยผลการวิเคราะห์จะใช้ความล่าช้า (Delay) ความเร็ว (Speed) และการสะสมของแถวคอย (Queuing) ในการประเมินผล

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา รวมไปถึงกำหนดขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบการศึกษาโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับจุลภาค Synchro

1.4.2 กำหนดขอบเขตพื้นที่ในการศึกษาเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนามโดยจะทำการเก็บข้อมูลปริมาณจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (7.00 น. – 9.00 น.) และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (17.00 น. – 19.00 น.) ของทั้งวันทำงานปกติ (Weekday) และวันหยุด (Weekend)

1.4.3 สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรในระดับจุลภาค Synchro โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงการประสานสัญญาณไฟจราจรร่วม

1.4.4 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาจากการสร้างแบบจำลองเพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบริเวณพื้นที่ศึกษาและสามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่ในลักษณะใกล้เคียงกันได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการใช้งานของระบบสัญญาณไฟจราจรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา

1.5.2 สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการประเมินผลกระทบด้านจราจรบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษาโดยใช้ความล่าช้า (Delay) ความเร็ว (Speed) และการสะสมของแถวคอย (Queuing) เป็นตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบก่อนและหลังการออกแบบการประสานสัญญาณไฟจราจรร่วม

1.5.3 สามารถนำวิธีการศึกษาและการสร้างแบบจำลองระดับมหภาค Synchro ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายกันในการออกแบบการประสานสัญญาณไฟจราจรร่วม

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้เป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ จากวารสาร บทความวิชาการ วิทยานิพนธ์ และหนังสือต่าง ๆ รวมทั้งทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาให้สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการใช้ออกแบบและพัฒนาแบบจำลองให้เกิดความเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาและลดผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนถนนสายหลักได้ โดยการทบทวนงานวิจัยดังกล่าวมีลำดับของการนำเสนอหัวข้อดังนี้

2.1 บทความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

Maria de Lourdes Simoes (2007) นำเสนอทฤษฎีแถวคอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าความล่าช้าของสามแยกไฟแดงแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Actuated Intersection) ในโปรตุเกส โดยใช้หลักการ M/G/1 พบว่า ทฤษฎีแถวคอยโดยใช้หลักการนี้สามารถประมาณค่าความล่าช้าของสามแยกไฟแดงแบบกึ่งอัตโนมัติได้ดี โดยมีค่าใกล้เคียงกับความล่าช้าที่ได้จากแบบจำลอง Numerical Simulation of an Intersection (Simoes et al., 2002) ในช่วงที่มีความหนาแน่นของการจราจรมากกว่า 0.7 แต่ในช่วงความหนาแน่นของการจราจรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.7 ค่าความล่าช้าที่ได้จากทฤษฎีแถวคอยจะประมาณค่าความล่าช้าได้ต่ำกว่าแบบจำลอง

Han, L.D., and Li, J.M. *(2007)* ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาที่รอบสัญญาณไฟจราจรที่มากกว่า 150 วินาที และที่น้อยกว่า 60 วินาที ด้วยวิธีการใช้สูตรทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองมอนติคาร์โล จากการสมมุติสถานการณ์เปอร์เซ็นต์ความต้องการ ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร เพื่อต้องการหาความคาดหวังที่เกี่ยวข้องของความล่าช้าเฉลี่ย พบว่า เมื่อมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร 75 วินาที ความล่าช้าเฉลี่ยจะเท่ากับ 37.5 และมีเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็น 52% ที่ระดับการให้บริการเท่ากับหรือมากกว่า LOS C ความน่าจะเป็น 39% จะอยู่ใน LOS D จากการคำนวณความล่าช้าเฉลี่ยจะพบการมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยเกินไปและมากเกินไปส่งผลให้เกิดความล่าช้าสูง และสรุปผลการศึกษา ได้แก่ (a) โดยทั่วไปเมื่อระดับความต้องการมีความผันผวนจะส่งผลให้ความล่าช้าเฉลี่ยเพิ่ม (b) ความยาวรอบสัญญาณไฟไม่ใช่ตัวชี้วัดดีที่สุดสำหรับความล่าช้า และ (c) การมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรสั้นมากจะทำให้เกิดความล่าช้าสูงเสมอ

กมล ปุ่นศิริ (2542) ประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Sidra วิเคราะห์สัญญาณไฟจราจร ณ ทางแยกเดี่ยวภายในเมืองหาดใหญ่และเมืองอุบลราชธานี รวมจำนวน 4 ทางแยกได้แก่ สี่แยกหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สี่แยกโนรา สี่แยกสนามบิน และสี่แยกเขื่อนธานี โดยใช้วิธีการ

คำนวณหาค่าสัญญาณไฟของโปรแกรม Sidra 5.0 หรือ การค้นหาการเคลื่อนที่ ๆ วิกฤต (the critical identification method) บริเวณทางแยกที่ศึกษา เพื่อเปรียบเทียบผลสำรวจข้อมูล ภาคสนามของความล่าช้าเฉลี่ย (average delay) และความยาวแถวคอยสูงสุด (maximum queue length) ผลการศึกษา พบว่า ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยของความล่าช้าเฉลี่ยและความยาวคิวสูงสุด แต่ละทางแยกในเมืองหาดใหญ่และอุบลราชธานี มีค่าเฉลี่ยประมาณ 20-27%, ค่าตัวชี้วัด ประสิทธิภาพการทำงานของทางแยก (ความล่าช้า, ความยาวแถวคอย, อัตราการหยุด) สำหรับการปรับเทียบ (calibration) และทดสอบความถูกต้อง (validation) ของข้อมูลความล่าช้าและความยาวแถวคอยสูงสุด จากสำรวจสภาพจริงและแบบจำลองของโปรแกรม Sidra สรุปได้ว่า ผลการวิเคราะห์ความล่าช้าและความยาวแถวคอยมีความสอดคล่องกับค่าที่วัดได้จากสนามจริงเมื่อไม่นำปริมาณรถจักรยานยนต์มาคิดรวม นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Sidra มาวิเคราะห์สภาพการจราจรของทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเป็นทางแยกเดี่ยว และไม่ใกล้กับทางแยกใกล้เคียงจนเกินไป ส่วนข้อจำกัดของโปรแกรม Sidra 5.0 ก็คือ การจำลองลักษณะของทางเรขาคณิตของทางแยกไม่สามารถทำได้ถูกต้องตามมาตราส่วน คงทำได้เพียงแสดงรูปร่างลักษณะของทางแยกเท่านั้น

ปฏิภาณ แก้ววิเชียร (2549) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟจราจรซึ่งแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Traffic Signal) เพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว ซึ่งมีลักษณะของทางแยกเป็นทางเอกตัดกับทางโท อุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรถูกติดตั้งไว้ที่ผิวจราจรห่างจากเส้นหยุด 5 เมตร โดยการประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้ง จะใช้ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดด้านวิศวกรรมจราจร ตามวิธีการเก็บข้อมูลความล่าช้าจากการหยุดของ AUSTROADS (1988) เปรียบเทียบผลการศึกษาใช้วิธีทางสถิติทดสอบความแตกต่างกันของความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยแบบคู่ (Paired Observations) ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 ได้ผลการศึกษาจากการพิจารณารวมทุกช่วงเวลา พบว่า ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยรวมทุกขาที่ทางแยกมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร เมื่อพิจารณาแต่ละขาทางแยกพบว่าความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยที่ขาทางแยกในด้านทางเอกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยที่ขาแยกในด้านทางโทมีค่าลดลงภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิมอาจพิจารณารอบสัญญาณไฟจราจรแต่ละช่วงเวลาในแต่ละรอบให้มากขึ้น กำหนดขอบเขตระยะเวลาไฟเขียวต่ำสุดและระยะเวลาไฟเขียวสูงสุดให้เหมาะสมกับสภาพจราจรที่ทางแยกในแต่ละช่วงเวลา และกำหนดระยะการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการจราจรในแต่ละขาทางแยกให้เหมาะสมกับความเร็วที่เข้าสู่ทางแยก

Prabnasak J., Yue W.L. (2549) ได้ทำศึกษาผลประโยชนจากการเชื่อมต่อสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (fixed time) จำนวน 4 แห่งบนถนนศรีจันทร์ ในเขตเทศบาลนครขอนแกน โดยใช้โปรแกรม aaSidra และ Paramics การศึกษาครั้งนี้สนใจความเป็นไปได้ในการลดความล่าช้าและจำนวนการหยุดรถโดยไม่จำเป็น และการเพิ่มความเร็วในการขับขี่ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองใช้ตัวแปร 3 ตัว คือ ความเร็วเฉลี่ย, ความยาวแถวคอย และเวลาการเดินทางระหว่างจุด

สองจุดภายในโครงข่ายจราจร ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในการศึกษา คือ เวลาการเดินทาง การปรับปรุงสภาพการจราจรซึ่งทำการเปรียบเทียบด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ มองดูสภาพจราจรบนหน้าจอแสดงผล (on-screen visualization) และตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (measure of effectiveness) ผลการศึกษาพบว่า การจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาคของโปรแกรม Paramic เมื่อเชื่อมต่อระบบสัญญาณไฟของทางแยกเข้าด้วยกันส่งผลให้สภาพการจราจรมีค่าเฉลี่ยความล่าช้าลดลง 9%, ความเร็วเพิ่มขึ้น 10% รวมทั้งเวลาการหยุดของยานพาหนะทั้งหมดลดลง 80%

พลเทพ เลิศวรวนิช (2553) เสนอวิธีการออกแบบสัญญาณไฟจราจรที่สามารถทำงานได้ดีทั้งในกรณีที่สภาพจราจรต่ำกว่าและสูงกว่าระดับสภาพจราจรอิ่มตัว โดยหลักการใหม่ที่ใช้จะพยายามป้องกันไม่ให้รถจอดติดสัญญาณไฟแดงจนกระทั่งเกิดแถวคอยที่ยาวจนล้นไปถึงแยกที่อยู่ติดกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเปลี่ยนวิธีการจำลองแถวคอยจากเดิมใช้วิธีจำลองแถวคอยในแนวดิ่งเป็นวิธีการจำลองแถวคอยในแนวนอนแทน ซึ่งทำให้สามารถจำลองปรากฏการณ์การล้นข้ามทางแยกได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาเน้นการออกแบบระบบสัญญาณไฟสำหรับโครงข่ายถนนทำให้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟซึ่งปกติแล้วในกรณีทางแยกเดี่ยวจะใช้ตัวชี้วัดในแง่ของความล่าช้าในการเดินทางเท่านั้น ผู้วิจัยจึงเพิ่มตัวชี้วัดในด้านอื่นที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบโครงข่ายมากขึ้นเข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ การล้นข้ามทางแยก ความเท่าเทียมของความล่าช้า และการระบายรถยนต์ออกจากโครงข่ายจราจร ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหลักการใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าในแง่ของการลดความเสี่ยงของการล้นข้ามทางแยก ซึ่งทำให้หลักการใหม่มีความเหมาะสมมากสำหรับการประยุกต์ใช้ในกรณีสภาพจราจรที่สูงกว่าระดับอิ่มตัว

วีรชัย และคณะ (2554) ทำการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบอัจฉริยะบริเวณช่วงหนึ่งของถนนมิตรภาพโดยเริ่มตั้งแต่บริเวณแยกขอนแก่นไปจนกระทั่งถึงทางแยกหน้าห้างเทสโก้โลตัส รวมทั้งหมดจำนวน 3 ทางแยก ซึ่งพิจารณาเฉพาะกรณีนอกช่วงเวลาเร่งด่วนที่ไม่มีตำรวจจราจรมาควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยใช้หลักการเหลื่อม (offset) ของการให้สัญญาณไฟเขียวระหว่างแยกที่ติดกันโดยขึ้นกับความเร็วที่ตั้งไว้และระยะทางระหว่างทางแยก ซึ่งได้กำหนดความเร็วไว้ที่ 50 กม./ชม. ผลการศึกษาพบว่ามากกว่า 90% ของผู้ขับขี่ที่ขับด้วยความเร็วประมาณ 50 กม./ชม. จะได้สัญญาณไฟเขียวที่ทางแยกหน้าพอดี

ทวี วิชัยเมธาวี (2545) ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอิ่มตัว โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค Paramics ที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ (API) ในการวิเคราะห์ถูกนำมาใช้พัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟทำการศึกษาทางแยก 2 โครงข่าย โดยกำหนดตัววัดประสิทธิภาพของการควบคุม ได้แก่ จำนวนยวดยานที่ตกค้างในโครงข่าย จำนวนยวดยานที่ออกจากโครงข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่ยวดยานวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน - กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ยวดยานใช้ในโครงข่ายรวม (คัน - ชั่วโมง) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง จากผลการศึกษาพบว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนอง

ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ระดับความอิ่มตัวสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวและกำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบเพราะในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น วิธีควบคุมสามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกได้ดี ส่วนการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟให้สั้นลง หรือการกรองปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตด้วยวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยในช่วงเวลาที่ทางแยกมีความอิ่มตัว จะให้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ด้อยกว่า ดังนั้นการปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเมื่อสภาพจราจรเริ่มอิ่มตัวตั้งแต่เริ่มต้น จึงเป็นหลักการสำคัญที่ใช้บรรเทาปัญหาสภาพจราจรติดขัดได้เป็นอย่างดีแต่หากการปรับสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่มีความอ่อนไหวนี้ไม่เหมาะสมจะทำให้สภาพจราจรติดขัดแผ่ขยายเป็นวงกว้างและใช้เวลานานกว่าสภาพจราจรจะกลับสู่สภาพปกติ

นายศิวกิจ เสรีรัตนสกุล (2550) ทำการวิจัยการพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม โดยศึกษาโครงข่ายจราจรในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา จากการนำอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟนำมาใช้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยการปรับปรุงความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร ซึ่งใช้ข้อมูลการสำรวจ ในปี 2546 โดยดำเนินการศึกษาการปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรทางแยก 34 แห่ง เปรียบเทียบความล่าช้า, การเผาผลาญเชื้อเพลิงและปริมาณมลพิษ ที่เกิดขึ้นทั้งโครงข่าย การทดสอบการปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาเร่งด่วนตอนเช้าและเย็น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสองตัว ได้แก่โปรแกรม aaSidra และ Synchro จากการทดลองปรับปรุงรอบสัญญาณไฟด้วยโปรแกรม aaSidra พบการปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจะส่งผลให้การเผาผลาญเชื้อเพลิง, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ความล่าช้าลดลงประมาณ 11.0%, 5.8%,25.0% ตามลำดับ ส่วนความเร็วจราจรจะเพิ่มขึ้น 1.3% สำหรับการปรับปรุงสัญญาณไฟด้วยโปรแกรม Synchro พบว่า มีการเผาผลาญเชื้อเพลิง, ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ความล่าช้า, จำนวนการหยุดทั้งหมด, ระยะเวลาการเดินทาง ลดลงอย่างละ13.6%, 13.6%, 30.4%, 6.1%, 20.8% ตามลำดับ และความเร็วเพิ่มขึ้น 22.3%

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรหนาแน่น โดยคณะผู้วิจัยคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ, ศาสตราจารย์ ดร.ยอดพล ธนาบริบรูณ์ และนายปนัสย์ พุกโพธิ์ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้สภาพจราจรต่าง ๆ กัน โดยเน้นศึกษาสภาพการจราจรหนาแน่น การทดสอบกระทำบนโครงข่ายถนน 3 ประเภท คือ ทางแยกเดี่ยว ทางสายหลัก สายเดี่ยว และโครงข่ายถนน (ตาข่าย) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นำมาทดสอบมีหลายวิธี ตั้งแต่วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ จนถึงวิธีควบคุมปรับเปลี่ยนได้โดยใช้ข้อมูลแบบทันกาล ปริมาณการจราจรที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปริมาณการจราจรคงที่ และปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา เปรียบเทียบตัวชี้วัดคือ ความล่าช้า แถวคอย อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และอื่น ๆ วิธีการดำเนินงานจะทำการรวบรวมวิธีควบคุมสัญญาณไฟอดีต และนำมาคัดเลือกหาวิธีการที่เหมาะสมสถานการณ์จราจรที่ทดสอบจะมีระดับของปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระดับเบาบางจนถึง

ระดับหนาแน่น โดยมีรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณจราจรคงที่ตลอดช่วงเวลาและเปลี่ยนแปลงมีระดับสูง (Peek) ในช่วงหนึ่ง โดยในช่วงเวลาที่มีระดับปริมาณสูงนี้อาจมีระดับปริมาณการจราจรสูงเกินความสามารถของการบริการของถนนและทำให้เกิดการติดขัด (Oversaturation) บนถนน หลังจากออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้วจะนำวิธีการควบคุมดังกล่าวมาทดลองบนโปรแกรมจำลองสภาพจราจร คือ โปรแกรม TRANSYT และโปรแกรม CORSIM ซึ่งผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า โปรแกรม TRANSYT (Version 8.1) ไม่สามารถจำลองสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก ดังนั้น ผลการศึกษาจะมาจากผลของโปรแกรม CORSIM เป็นส่วนใหญ่ ผลการวิจัยพบว่า บนทางแยกเดี่ยว วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น จะทำให้เกิดความล่าช้าเวลาในแถวคอยน้อยที่สุด เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรต่ำวิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟยาว จะทำให้เกิดอัตราเผาผลาญเชื้อเพลิงต่ำ เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรสูง แต่ทั้งนี้จะทำให้ปริมาณรถที่ผ่านทางแยกน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ บนถนนสายหลักสายเดี่ยว วิธี Negative offset ให้ผลการควบคุมดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ส่วนวิธีการตั้งความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นจะทำให้เกิดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบทันกาลแล้ว วิธี Input Volume จะให้ผลการควบคุมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ในขณะที่วิธี Available Storage ให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด บนโครงข่ายถนน วิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีต ผลการควบคุมดีที่สุด วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มยวดยาน และวิธี Available Storage จะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณจราจร จึงไม่สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้อย่างชัดเจน

สรุปการศึกษาผลงานวิจัยในอดีต พบว่า ในการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาออกแบบระบบสัญญาณไฟจราจรทั้งในทางแยกเดี่ยวและระบบโครงข่ายของการประสานสัญญาณไฟจราจร โดยในการศึกษาทั้ง 2 รูปแบบ จะใช้หลักการและเทคนิคในการศึกษาที่แตกต่างกันออกไป มีทั้งหลักการการจำลองแถวคอย การปรับรอบสัญญาณไฟจราจร และการจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรมต่าง ๆ แต่ผลการศึกษาที่ได้จะใช้ดัชนีชี้วัดด้านจราจรที่คล้ายคลึงกันคือ ความล่าช้า ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของยานพาหะ รวมถึงความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่เลือกรูปแบบการแก้ปัญหาบรรเทาการจราจรติดขัด จากการควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจรเป็นหลักในการควบคุมจราจรบริเวณทางแยก เพราะค่าใช้จ่ายงบประมาณต่ำ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์โครงการน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการจัดการแนวทางอื่น การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกจะมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมกระแสจราจรที่ตัดกันให้มีความปลอดภัยและสะดวกในการเดินทางผ่านทางแยก หากใช้จังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลต่อความล่าช้าในการเดินทางหรือต้องใช้เวลานานในการเดินทางผ่านทางแยก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพการจราจรสูงกว่าระดับอิ่มตัวในชั่วโมงเร่งด่วน

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals)

บันทึกทางประวัติศาสตร์ได้บันทึกเอาไว้ว่า ต้นกำเนิดไฟสัญญาณจราจรแห่งแรกบนโลกอยู่ที่ประเทศอังกฤษ เมื่อปี 1868 เกิดขึ้นก่อนที่คนเราจะรู้จักกับรถที่ใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนโดยมี เจ.พี. ไนต์ วิศวกรชาวอังกฤษเป็นเจ้าของผลงาน โดยวัตถุประสงค์แรกเริ่มที่ไนต์สร้างไฟสัญญาณจราจรขึ้นมาก็เพื่อใช้ควบคุมการสัญจรของรถม้าและคนเดินเท้าที่เดินผ่านไปผ่านมาบริเวณสี่แยกที่เริ่มจะพลุกพล่านมากขึ้นเรื่อย ๆ ในยุคนั้น โดยสถานที่ที่ได้รับเกียรติให้ทำการติดตั้งผลงานชิ้นแรกของไนต์ก็คือ สี่แยกใจกลางมหานครลอนดอนบริเวณหน้ารัฐสภาอังกฤษ รูปลักษณ์ของไฟสัญญาณจราจรฝีมือไนต์นั้นจะมี 2 แขน เมื่อใดที่แขนทั้ง 2 ข้างของมันเคลื่อนตัวขนานกับพื้นดินหมายความว่าพาหนะที่กาลังสัญจรอยู่บริเวณสี่แยกจะต้องหยุดทันที ทว่าหากแขนทั้ง 2 ข้างของสัญญาณจราจรเคลื่อนตัวทามุม 45 องศา จะหมายความว่า ให้ผู้ใช้พาหนะทุกชนิดใช้ถนนอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ โดยในตอนกลางคืนจะมีไฟสีแดงและสีเขียวซึ่งได้จากพลังงานแก๊สบนแขนทั้ง 2 ข้างเป็นตัวให้สัญญาณเพื่อให้มองเห็นเด่นชัด โดยแสงสีแดงหมายถึง 'หยุด' ส่วนแสงสีเขียวหมายถึง ให้ระวัง' ต่อมาวิวัฒนาการของไฟสัญญาณจราจรก็ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับไฟเขียว-ไฟแดง ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเริ่มมีใช้เป็นครั้งแรกในเมือง ซอลต์เลกซิตี รัฐยูทาห์ ประเทศสหรัฐฯ ช่วงปี 1912 โดยเลสเตอร์ ไวร์ พนักงานตำรวจชาวอเมริกันเป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้นเอง ในช่วงแรกไฟสัญญาณจราจรที่ใช้กันอยู่จะมีแค่ไฟเขียวและไฟแดงเท่านั้น จนกระทั่งในปี 1920 วิลเลียม พอตต์ ตำรวจจราจรแห่งดีทรอยต์ รัฐมิชิแกน ได้ออกแบบไฟสัญญาณจราจรรูปแบบใหม่ขึ้นพร้อมกับเพิ่มไฟสีอาพัน (สีเหลือง) เข้าไปอีกหนึ่งสี เพื่อเป็นสัญญาณเตือนผู้ใช้พาหนะให้ระวัง และชะลอตัวก่อนที่จะหยุดหรือออกตัว จากนั้นอีกไม่กี่ปีต่อมาไฟสัญญาณจราจรแบบอัตโนมัติก็ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยเป็นฝีมือของ การ์แรตต์ มอร์แกน ซึ่งนามาใช้ครั้งแรกในเมืองเคลฟแลนด์ รัฐโอไฮโอ ก่อนที่จะแพร่หลายไปทั่วโลก โดยในปัจจุบันใช้ควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกหรือทางคนข้ามกำหนดใช้สีจากดวงไฟเป็นเครื่องหมายบังคับการจราจรโดยทั่วไปแล้วจะใช้ 3 สีคือ

สีแดง	หมายถึง บังคับให้ยวดยานทุกคันหยุด
สีเหลือง	หมายถึง เตือนให้ลดความเร็วหรือเตรียมที่จะเคลื่อนไปข้างหน้าได้
สีเขียว	หมายถึง ให้ยวดยานแล่นผ่านไปได้

การเลี้ยวขวาสำหรับสัญญาณไฟ มี 3 แบบ คือ

Permitted right turn คือ อนุญาตให้ทำการเลี้ยวในช่วงที่มีการจราจรฝั่งตรงข้ามสวนทางมาได้ แต่รถที่เลี้ยวต้องหาช่องว่างเอาเอง

Protected right turn คือ มีการจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับให้รถเลี้ยวโดยเฉพาะในช่วงดังกล่าวจะไม่มีการสวนกันกับการจราจรฝั่งตรงข้ามที่วิ่งตรง

Compound right turn คือ มีการจัดสัญญาณไฟแบบ Protected ให้ช่วงหนึ่ง ร่วมกับแบบPermitted ในอีกช่วงหนึ่งของรอบสัญญาณไฟ

2.2.1 ความสำคัญของสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจรนับว่าเป็นอุปกรณ์ชิ้นสำคัญในการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรเพื่อการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกมีทั้งข้อดีและข้อเสียต่อการจราจรหลายประการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า การออกแบบ ติดตั้ง และการใช้งาน มีความเหมาะสมและถูกต้องมากน้อยเพียงใด กล่าวคือ หากมีการออกแบบติดตั้งและจัดการควบคุมทำได้เหมาะสมแล้ว สัญญาณไฟจราจรจะส่งผลดีหลายประการคือ

- ช่วยจัดระเบียบการจราจรบริเวณทางแยก
- ช่วยให้คนเดินข้ามถนนบริเวณสี่แยกได้ปลอดภัยยิ่งขึ้น
- ช่วยให้รถในถนนสายรองตัดผ่านถนนสายหลักได้
- เพิ่มความจุในการรองรับปริมาณการจราจรของทางแยก
- ลดอุบัติเหตุบางชนิดลงได้ เช่น การชนประสานงา หรือการชนด้านข้าง
- ประหยัดกำลังเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจร

แต่ในทางกลับกันหากมีการติดตั้ง ออกแบบ และการจัดการควบคุม ทำได้ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาและเป็นผลเสียต่อการจราจรบริเวณทางแยก เช่น

- เพิ่มความความล่าช้าแก่ยวดยานโดยไม่จำเป็นโดยเฉพาะในถนนสายหลัก
- อาจทำให้เพิ่มอุบัติเหตุบางชนิด เช่น รถชนท้าย กรณีมีจังหวะสัญญาณไม่เหมาะสม
- หากมีการจราจรติดขัดบริเวณทางแยกอาจทำให้มีการเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่น และเพิ่มปัญหาในเส้นทางเหล่านั้น

2.2.2 คำศัพท์ที่เกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร

รอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle Length) หมายถึง ระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจร (ไฟเขียว ไฟแดง ไฟเหลือง) ใน 1 รอบ คือ เวลาที่เริ่มนับจากสัญญาณไฟแดง ไฟเขียว ไฟเหลือง และกลับมาที่ไฟแดงอีกครั้งหนึ่งใช้เวลาใน 1 รอบ รวมเป็นกี่วินาที

จังหวะสัญญาณไฟ (Signal Phasing) หมายถึง ช่วงเวลาที่จัดไว้เป็นจังหวะ ๆ ในหนึ่งรอบเวลาสัญญาณไฟ เพื่อให้การจราจรทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือหลายทิศทางได้รับสิทธิเคลื่อนที่ผ่านทางแยกในระหว่างหนึ่งหรือหลายช่วงเวลาการจัดระบบสัญญาณไฟจราจร โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดตามความเหมาะสมของสภาพการจราจรบริเวณแยกนั้น ๆ เช่น บริเวณสี่แยกที่มีรถเลี้ยวขวาน้อยอาจจะจัดเป็น 2 เฟส แต่ถ้าบริเวณสี่แยกมีปริมาณรถเลี้ยวขวามากอาจจะออกแบบเป็น 3 เฟส หรือ 4 เฟส ก็ได้

Critical Lane Volume (CLV) หมายถึง ปริมาณรถยนต์สูงสุดต่อ 1 ช่องทางวิ่ง Critical Lane Volume ขึ้นอยู่กับการจัด Phases ในแต่ละ Phase Critical Lane Volume สามารถคำนวณ

ได้โดยเอาปริมาณ (Volume) ในแต่ละทิศทางหารด้วยจำนวนช่องทางวิ่งในทิศทางนั้น ปริมาณในทิศทางใดที่มีค่ามากกว่าจะนำมาใช้เป็น Critical Lane Volume

Lost time หมายถึง เวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากการออกรถหรือการหยุดรถระยะเวลาระหว่างยวดยาน (Headway) หมายถึง ระยะเวลาระหว่างยวดยานสองคันที่วิ่งตามหลังกันมา ขณะผ่านจุดสำรวจ มีหน่วยเป็นวินาที โดยจะต้องทำการวัด ณ จุดอ้างอิงเดียวกันบนรถยนต์ทั้งสอง

2.2.3 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยก (Traffic Signal Control System)

การควบคุมการจราจรที่ทางแยกที่มีประสิทธิภาพจะประกอบไปด้วย ป้ายจราจร (Traffic Signs) เครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง (Pavement Markings) การใช้กฎพื้นฐานของการขับขี่ (ไม่มีการควบคุม) เช่น ถ้ามีรถอื่นอยู่ก่อนแล้วให้รถที่อยู่ก่อนได้ไปก่อน แต่ถ้ามาถึงพร้อมกันและไม่มีรถอยู่ในทางแยกให้รถที่อยู่ด้านซ้ายไปก่อน (พรบ. จราจรทางบก 2522) การกำหนดสิทธิผ่าน (Right of way) เช่น ป้ายให้ทาง ป้ายหยุด เป็นต้น ตลอดจนการใช้สัญญาณไฟจราจร

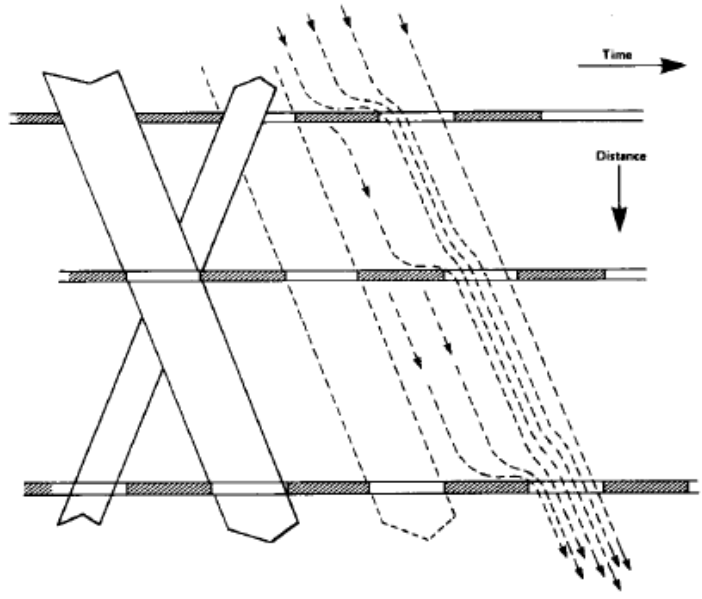
การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีขึ้นพร้อมกับการประดิษฐ์สัญญาณไฟจราจรตั้งแต่ต้องคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ เวบสเตอร์ (Webster) ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ค้นคว้าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพที่การจราจร แปรเปลี่ยนได้และมีการพัฒนาด้านการประมวลข้อมูลในช่วงทศวรรษที่ 70 ทำให้งานวิจัยในด้านนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วโดยมีใช้อุปกรณ์ตรวจจับการจราจรร่วมกับการประมวลผลผ่านการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์หรือร่วมกับแบบจำลองสภาพการจราจร (Simulation) ซึ่งการควบคุมสัญญาณไฟสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของวิธีการกำหนดสัญญาณไฟในแต่ละจังหวะดังนี้

2.2.3.1 การควบคุมสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed- or Pre-time Control)

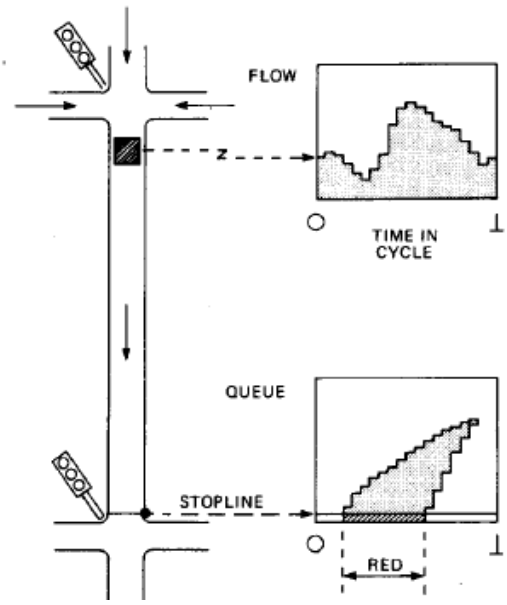
การควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time) เป็นจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ถูกเลือกจากรูปแบบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาก่อนในอดีต ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร การควบคุมแบบคงที่จะไม่สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร จึงควรจัดให้มีชุดการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่มากกว่า 1 ชุดหรือสัญญาณไฟจราจรหลายแผน (Multiple-time plan) เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเฉลี่ยในแต่ละช่วงของวัน เช่น แบ่งเป็นชุดการควบคุมในช่วงเวลาเช้ากลางวัน เย็นและหลังเที่ยงคืน วิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือวิธีการคำนวณด้วย สมการของเวบสเตอร์ (Webster,1969) เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวหรือทางแยกที่อยู่ห่างกันมาก คำนวณจะตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกค่อนข้างคงที่และกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม (Stochastic) วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมคือทำให้ความล่าช้าที่ทางแยกให้ต่ำที่สุด (ปกาสิต จิรศักดิ์,2549)

ในการประสานทางแยกสัญญาณไฟจราจรในโครงข่ายมีข้อกำหนดที่สำคัญคือทุกทางแยกที่จะทำการประสานจังหวะสัญญาณไฟจราจรต้องมีค่ารอบเวลาเท่ากัน (Common Cycle Length) ซึ่งนั่นแสดงว่าทางแยกที่ต้องใช้ค่ารอบของเวลาสูงที่สุด จะเป็นตัวกำหนดค่ารอบของเวลาของทางแยกอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมดในโครงข่ายด้วย เมื่อทราบค่ารอบของเวลาแล้ว จังหวะและสัดส่วนของสัญญาณไฟจราจรแต่ละเฟสก็จะถูกคำนวณให้แต่ละทางแยก หลังจากนั้นค่าเหลื่อมของเวลา(offset)ก็จะถูกคำนวณเพื่อสามารถประสานการทำงานระหว่างทางแยกได้ วิธีการคำนวณสัญญาณไฟจราจรแบบประสานนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

- Progression – based Method: มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ Bandwidth หรือช่วงเวลาไฟเขียวที่รถยนต์สามารถเคลื่อนผ่านทุกทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถเลย มีขนาดใหญ่ที่สุดซึ่งโปรแกรมที่ใช้หลักการนี้ในการคำนวณได้แก่ MAXBAND, PASSER และ MULTIBAND
- Disutility – based Method: มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ disutility ในการเดินทางเช่นความล่าช้าและจำนวนการหยุดรถมีค่าน้อยที่สุด โปรแกรมที่ใช้หลักการนี้ในการคำนวณได้แก่ TRANSYT และ SYNCHRO



รูปที่ 2.1 : ช่วงเวลาไฟเขียวที่รถยนต์สามารถเคลื่อนผ่านทางแยกได้สูงสุด

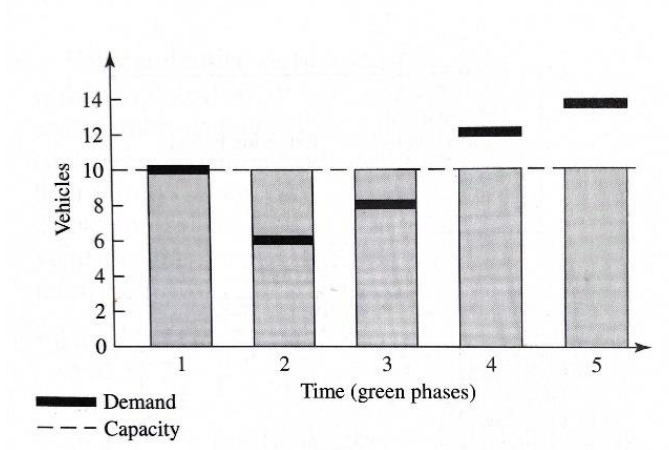


รูปที่ 2.2 : วัฏจักรการไหลของกระแสจราจรโดย TRANSYT

2.2.3.2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจร (Actuated Control)

การควบคุมสัญญาณไฟกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร (Traffic Actuated Signal) ช่วงระยะเวลาของไฟเขียวไฟแดงในแต่ละขาของทางแยกจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการจราจรอัตโนมัติถ้าทิศทางใดมียวดยานมากก็จะเปิดไฟสัญญาณไฟเขียวนานกว่าทิศทางที่มียวดยานน้อยกว่าทำให้ระบบจราจรในทางแยกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลงการควบคุมแบบนี้ใช้การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร (Detectors) และจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยปกติแล้วเฟสของจังหวะไฟจะเริ่มต้นจากค่าไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อมีรถยนต์เคลื่อนมาทับเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเฟสจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรว่ามีมากหรือน้อย

เมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่จัดให้จังหวะสัญญาณไฟที่ 2 และ 3 คงที่ ส่งผลให้ความสามารถให้บริการใช้ได้ไม่เต็มที่ และในจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ที่ 4 และ 5 ส่งผลให้ยวดยานตกค้างอยู่ในแถวคอยทั้งหมด 6 คันทั้งที่จำนวนยวดยานทั้งหมดที่เข้าสู่ทางแยกเท่ากับความสามารถให้บริการ คือ 50 คัน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัญหาของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่



รูปที่ 2.3 : แสดงให้เห็นปัญหาช่วงสัญญาณไฟเขียวไม่เพียงพอ (Roess. Prassas และ MCShane, 2004)

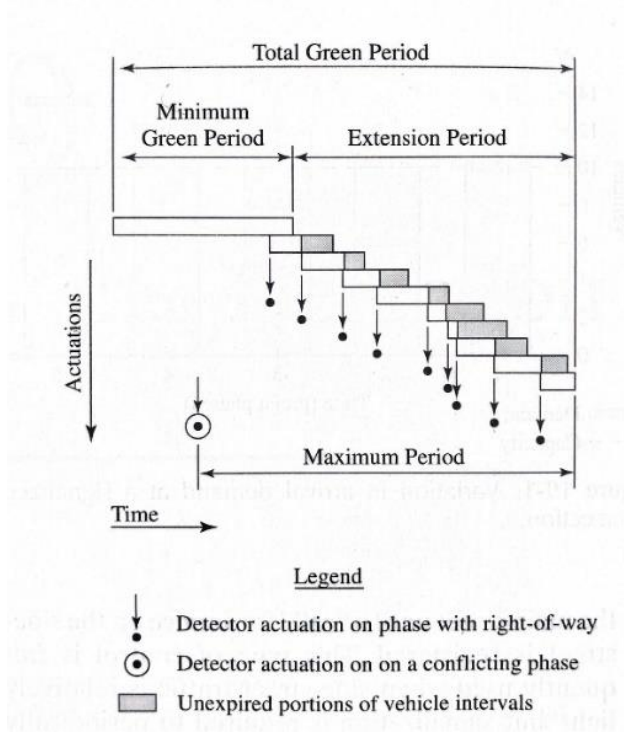
ปัญหาดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาวิธีควบคุมตามปริมาณจราจรที่สามารถปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ การควบคุมที่ปรับปรุงใหม่จะให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวสอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลง หลักการที่ใช้ควบคุม คือ การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรหรือคนเดินเท้าที่ตรวจนับได้จากอุปกรณ์ตรวจนับ โดยที่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะอยู่ภายในขอบเขตสูงสุดหรือต่ำสุดตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า การควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวไม่ควรใช้กับทางแยกที่มีการเชื่อมต่อกัน เพราะการควบคุมนี้ไม่สามารถควบคุมจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว (offset) ระหว่างทางแยก

1) การควบคุมสัญญาณไฟกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal)

การควบคุมแบบนี้จะคล้ายกับการควบคุมแบบสัญญาณไฟกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาจราจร ตรงที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับปริมาการจราจร จากนั้นก็คำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับบนถนนสายรองเท่านั้นและให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรมากเป็นหลักโดยจะเปลี่ยนไปให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายรองเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับที่ติดตั้งไว้ตรวจพบปริมาณจราจรหรือเมื่อสัญญาณไฟเขียวบนถนนสายหลักสิ้นสุด การควบคุมนี้มีข้อเสียคือในบางเหตุการณ์ที่ปริมาณจราจรบนถนนสายรองมากจะทำให้ความล่าช้าบนถนนสายหลักสูงมาก การควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้ดีเฉพาะกรณีที่ถนนสายรองมีปริมาณจราจรเบาบางหรือเมื่อต้องการให้กลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงในบางช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง เช่นถนนสายหลักที่เชื่อมต่อกับทางเข้า-ออกที่พักอาศัยสำนักงานโรงเรียนเป็นต้น

2) การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Control)

ภายใต้การควบคุมนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรทุกทิศทางและจะทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกการควบคุมแบบนี้ควรใช้ควบคุมทางแยกเดี่ยวจะช่วยให้ความล่าช้าที่ทางแยกต่ำกว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณจราจรเข้าใกล้ความสามารถให้บริการจะทำให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมากกว่าความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ ในขั้นตอนแรกของการควบคุมจะกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (minimum green) โดยการคำนวณจากรอบสัญญาณไฟเพื่อหา ระยะเวลาไฟเขียวต่ำสุด ถ้าในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดไม่มีการตรวจพบยวดยานและมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นจะเป็นการสิ้นสุดจังหวะสัญญาณไฟปัจจุบัน แต่ถ้ามีการตรวจพบยวดยานจะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (passage time หรือ unit-extension) ต่อจากเวลาที่ตรวจพบยวดยานนั้นและถ้าในระหว่างเวลาของส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมีการตรวจพบยวดยานก็จะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอีกครั้งต่อจาก เวลาที่ตรวจพบยวดยานขณะนั้นทำเช่นนี้ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งไม่มีการตรวจพบยวดยานหรือเมื่อช่วงเวลาไฟเขียวถึงช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด (maximum green) และมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นสัญญาณไฟเขียวปัจจุบันจะสิ้นสุดดังรูปที่ 2.4 ดังนั้นช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด แต่บางครั้งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอาจยาวนานกว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด เมื่อไม่มีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้คือเวลาที่ยวดยานใช้เดินทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด

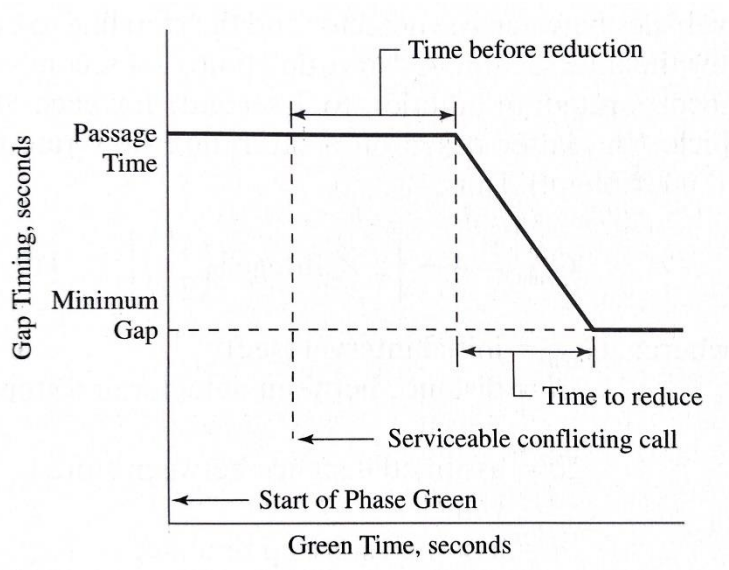


รูปที่ 2.4 : หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจร (Roess. Prassas และ MCShane, 2004)

3) การควบคุมโดยใช้ปริมาณจราจรและความหนาแน่นจราจร (Volume density Control)

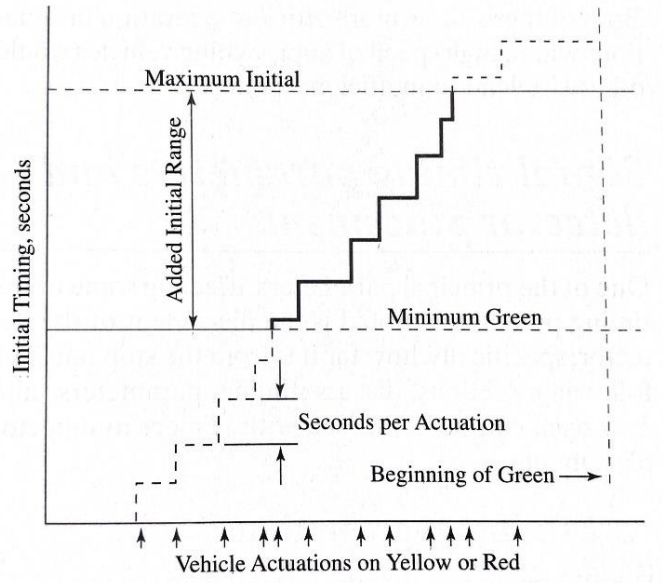
การควบคุมแบบนี้คล้ายกับการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ แต่เพิ่มความสามารถในการควบคุมโดยให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในช่วงเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงได้ (variable initial timing) และสามารถปรับลดช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณา เพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (gap time) ทำให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น การควบคุมนี้มักใช้กับอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่หรือแบบจุดที่ติดตั้งห่างจากทางแยกค่อนข้างมากและใช้กับถนนที่ยวดยานวิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 35 ไมล์ต่อชั่วโมง (มากกว่า 56 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

การปรับช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟให้ลดลง มีแนวความคิดมาจากอุปกรณ์ตรวจนับที่ใช้มักติดตั้งไกลจากเส้นหยุดมาก ทำให้มีโอกาสมากที่จะขยายต่อส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว ส่งผลให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพ จึงให้ลดส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ด้วยการกำหนดช่วงเวลาก่อนการลด (time before reduction) และช่วงเวลาที่ใช้ลด (time to reduce) การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 : การปรับช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (Roess. Prassas และ MCShane, 2004)

ขั้นตอนแรกของการควบคุมคือการกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวเริ่มต้นน้อยที่สุด(ต่างจากการควบคุมตามปริมาณจราจร) ให้เท่ากับ 5-8 วินาทีและจะเพิ่มส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เมื่อมีการตรวจพบยวดยานในระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองหรือช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงก่อนหน้าแต่ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะไม่เกินช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นมากที่สุดที่กำหนดไว้ซึ่งอาจกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดของการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ การให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นสามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อแก้ไขแนวความคิดการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบที่มีข้อสมมติฐานว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดเป็นเวลาที่ยวดยานที่มีได้ทั้งหมดระหว่างเส้นหยุดและอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก แต่ในความเป็นจริงความยาวแถวคอยอาจไม่ถึงอุปกรณ์ตรวจนับทำให้สูญเสียเวลาสัญญาณไฟเขียวโดยเปล่าประโยชน์การปรับช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟให้ลดลงมีแนวความคิดมาจากอุปกรณ์ตรวจนับที่ใช้มักติดตั้งไกลจากเส้นหยุดมากทำให้มีโอกาสมากที่จะขยายต่อส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวส่งผลให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพจึงให้ลดส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ด้วยการกำหนดช่วงเวลาก่อนการลด (time before reduction) และช่วงเวลาที่ใช้ลดการทำงาน (time to reduce)



รูปที่ 2.6 : การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น (Roess. Prassas และ MCShane, 2004)

การควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรที่ใช้อุปกรณ์ตรวจนับที่ผิวจราจรซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดา (conventional impulse detector) อุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุง(improved impulse detector) และอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้าง (wide-area detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีข้อสังเกต คือ การใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดาจะทำให้ช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้อาจน้อยกว่าค่าที่แท้จริง เพราะยวดยานคันหน้าและคันที่ขับตามมาอาจไม่ได้อยู่ในช่องจราจรเดียวกัน ทำให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้มากเกินจริง การปรับปรุงทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุงหรือแบบแยกช่องจราจร แต่จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น อย่างไรก็ตามช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้ยังคงมีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง เพราะอุปกรณ์ตรวจนับจะสิ้นสุดการวัดช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ เมื่อส่วนท้ายของยวดยานคันหลังผ่านอุปกรณ์ตรวจนับดังนั้นค่าช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะ

2.2.3.3 การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Adaptive Control)

การควบคุมแบบนี้จะคล้ายกับการควบคุมแบบตอบสนอง ตรงที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะแปลเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร แต่

สิ่งที่แตกต่างคือ การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติจะมีการคาดการในอนาคตว่าปริมาณการจราจรเป็นอย่างไรต่อไป จากนั้นก็คำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุด

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติสามารถจำแนกตามยุคได้ดังนี้ ยุคที่หนึ่ง การควบคุมสัญญาณไฟจราจรใช้ข้อมูลที่ได้เก็บไว้ในอดีตในการกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรซึ่งได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งจะเก็บไว้ในรูปแบบของแผนจังหวะสัญญาณไฟจราจรโดยอาจจะมีอยู่หลายแผนตามช่วงเวลาและวันของสัปดาห์ จะเห็นได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่ของระบบในยุคที่หนึ่งนี้ มีข้อจำกัดในแง่ความเหมาะสมของแผนเมื่อเทียบกับปริมาณการจราจรจริงเนื่องจากไม่ได้คำนวณจังหวะสัญญาณไฟจากข้อมูลจริงในขณะนั้น อีกทั้งไม่มีการตรวจนับปริมาณจราจรจากเครื่องตรวจนับ สำหรับยุคที่สองของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่นั้นจะคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบออนไลน์ (On-Line) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจนับ โดยจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรในขณะนั้นทุก ๆ 5 นาที อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันไม่เกิดความแปรปวนของจราจร (Disturbance) จังหวะสัญญาณไฟจราจรใหม่ที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้ทุก ๆ 10 นาที สำหรับยุดที่สามของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่นั้นจะคล้ายคลึงกับยุคที่สองแต่ข้อแตกต่างคือยุคที่สามจะมีการปรับเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ถี่กว่าและยอมให้ค่ารอบของเวลาของความแตกต่างสำหรับแต่ละทางแยกในโครงข่าย ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่มาพิจารณาดังนี้

1) MODERATO: ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่นโดยจะคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Real-time ใช้การคำนวณของสัดส่วนของจังหวะ (Split) แทนที่จะใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอิ่มตัว MODERATO ใช้อัตราส่วนที่เรียกว่า Loading Ratio โดยคำนวณถึงทั้งปริมาณจราจรและความยาวของแถวคอยของกลุ่มช่องจราจรไปพร้อมกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\rho_i = \frac{V_i + E_i}{S_i} \tag{2.1}$$

โดยที่ ρ_i คือ *loading ratio* ของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

V_i คือ ปริมาณการจราจรของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

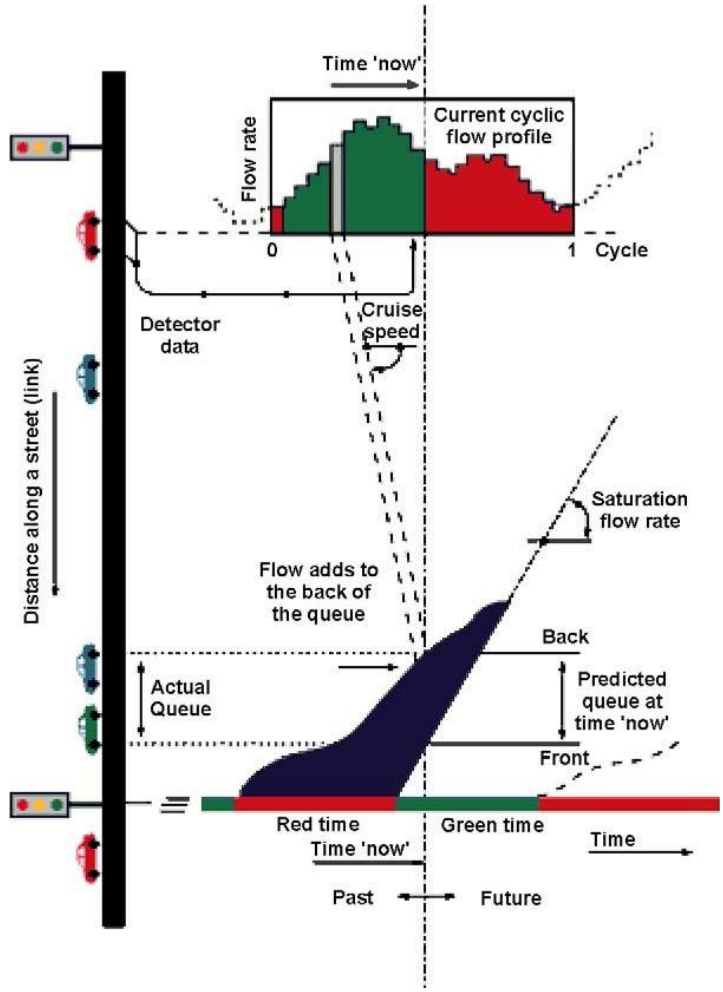
E_i คือ จำนวนรถที่อยู่ในแถวคอยของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

S_i คือ อัตราไหลอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

เมื่อนำเอาความยาวแถวคอยเข้ามารวมด้วยดังนั้นสามารถคำนวณได้ทั้งสภาพการจราจรแบบต่ำกว่าอิ่มตัว (Under saturated) และสูงกว่าอิ่มตัว (Oversaturated)

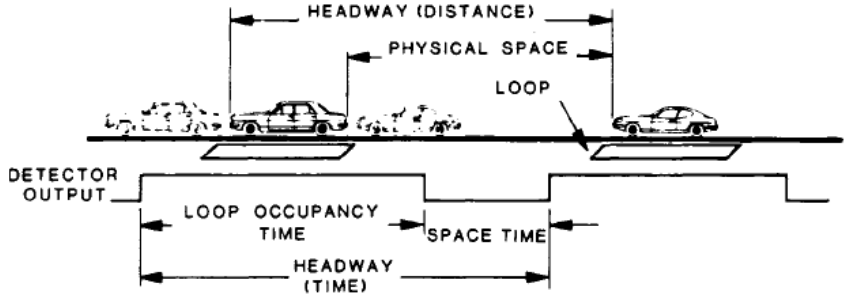
โดยใช้วิธีการเดิมในการคำนวณสัดส่วนของเฟส สำหรับค่ารอบเวลาจะคำนวณได้จากสูตรของ Webster และค่าเหลื่อมของเวลาจะคำนวณจากแบบจำลอง TRANSYT

2) SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique) ถูกพัฒนาขึ้นโดยประเทศอังกฤษ โดยเป็นระบบศูนย์รวมเพื่อคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบออนไลน์ (On-Line) ซึ่งจะค่อยๆเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันการคำนวณจะทำการหาค่าสัดส่วนของเฟส ค่าเหลื่อมเวลาและค่ารอบของเวลา ระบบจะพยากรณ์ลักษณะการเข้ามาของจราจรโดยพิจารณาข้อมูลที่เก็บจากเครื่องตรวจนับปริมาณจราจรที่ติดตั้งไว้ก่อนเข้าทางแยก ลักษณะการเข้ามาของจราจรจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการออกซึ่งผลต่างก็คือความล่าช้าในการเดินทางและความยาวแถวคอยรูปแบบดังกล่าวนี้จะคำนวณทุกรอบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรสำหรับการคำนวณค่าสัดส่วนของเฟสนั้น SCOOT จะทดลองเปรียบค่าขึ้นหรือลงเพียงเล็กน้อยของทุกกลุ่มช่องจราจรแล้วหาว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงทำให้ความล่าช้าในการเดินทางของทั้งระบบดีขึ้น ในการคำนวณหาค่าเหลื่อมเวลาใช้ cycle profile และ hill – climbing technique เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้เกิด progression ของการไหลของจราจรบนถนนสายหลักที่ต้องการประสานเชื่อมโยงทางแยก สำหรับค่ารอบของเวลาระบบจะปรับขึ้นถ้าทางแยกมีปริมาณจราจรมากกว่าความจุและปรับลดลงถ้ามีปริมาณจราจรต่ำกว่าความจุ



รูปที่ 2.7 : แนวคิดของระบบ SCOOT

3) SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศออสเตรเลีย โดยมีการทำงานเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง (Central Computer) 2) คอมพิวเตอร์ส่วนพื้นที่ (Regional Computer)และ 3) คอมพิวเตอร์ส่วนท้องถิ่น (Local Computer) ในการควบคุมโครงข่ายจราจร ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบนี้ใช้หลักการของระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation)ในการคำนวณหาค่ารอบเวลาของเวลาและสัดส่วนของเฟสโดยจะทำการวัดระดับความอิ่มตัวของแต่ละกลุ่มช่องจราจร จากนั้นจะพยายามทำให้ระดับความอิ่มตัวของแต่ละกลุ่มช่องจราจรมีค่าเท่ากัน สำหรับค่าเหลื่อมเวลาจะพิจารณาจากข้อมูลในอดีตที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ และทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทุกรอบของจังหวะสัญญาณไฟจราจร



รูปที่ 2.8 : ระดับของการประมาณค่าความอิ่มตัว

2.2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การวิเคราะห์ออกแบบสัญญาณไฟจราจรมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งได้แก่ ความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (optimum cycle length) เวลาสูญเสียทั้งหมด (total lost time) ความล่าช้า (delay) อัตราการไหลอิ่มตัว (saturation flow rate) ซึ่งหลักการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

2.2.4.1 ความยาวรอบเวลาความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (optimum cycle length)

การหาความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมนั้นเป็นการทดลองวิเคราะห์หาชุดรอบสัญญาณไฟที่ก่อให้เกิดความล่าช้าของยานพาหนะในระบบรวมกันน้อยที่สุด ซึ่งพัฒนาโดยเว็บสเตอร์ (Webster) วิธีนี้ต้องใช้กับทางแยกที่ไม่ได้สัมพันธ์กับทางแยกใกล้เคียงและเป็นระบบสัญญาณไฟแบบคงที่ (*fixed time)* สามารถหาได้จาก

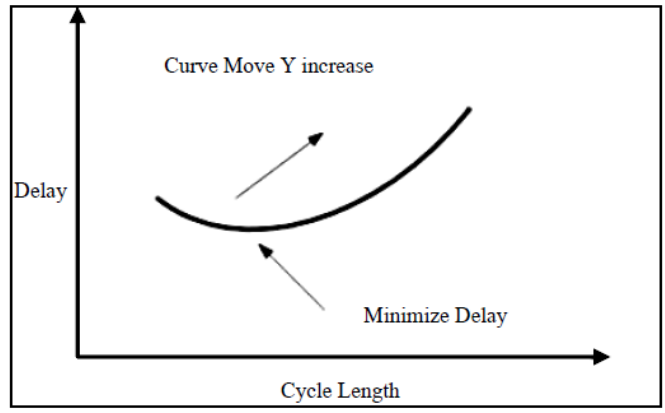
$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1.0 - \sum x_i} \qquad (2.2)$$

โดยที่ C_o คือ ความยาวสัญญาณไฟที่เหมาะสม (วินาที)

L คือ เวลาที่สูญเสียทั้งหมดในรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

$\sum x_i$ คือ ความจุอิ่มตัวของเฟส *i*

เว็บสเตอร์ (*webster)* กำหนดให้ค่าความยาวสัญญาณไฟอยู่ในช่วงระหว่าง $0.75C_o$ ถึง $1.5C_o$



หมายเหตุ จาก Principle of Highway Engineering and Traffic Analysis
โดย Mannering F.L., Kilareskl W.P., and Washburn S.S.,
2005, United States of American: Wiley.

รูปที่ 2.9 : ความยาวรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสม (optimum cycle length)

2.2.4.2 เวลาสูญเสียทั้งหมด (total lost time)

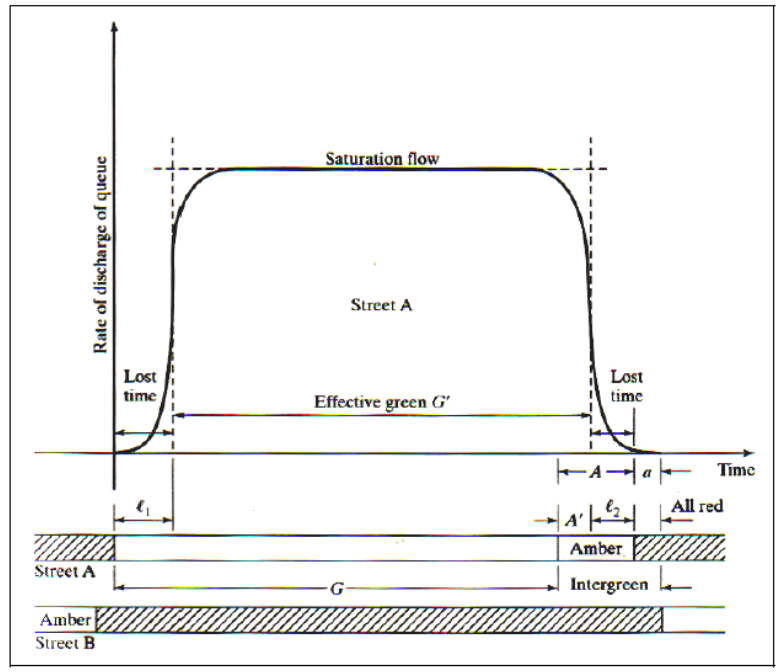
เป็นเวลาที่สูญเสียสำหรับการเคลื่อนที่ทั้งหมดสามารถหาได้ดังนี้

$$t_L = t_{sl} + t_{cl} \qquad (2.3)$$

โดยที่ t_L คือ เวลาที่สูญเสียสำหรับการเคลื่อนที่ทั้งหมด (วินาที)

t_{sl} คือ เวลาที่สูญเสียอันเนื่องมาจากการออกตัวของรถยนต์ (วินาที)

t_{cl} คือ เวลาที่สูญเสียอันเนื่องมาจากการเกี่ยวกันของไฟเหลือง (วินาที)



หมายเหตุ จาก Transportation Engineering an Introduction, โดย Khisty, C.B., Lall, B.K., 2003, New Jersey: Pearson Prentice Hell.

รูปที่ 2.10 : เวลาสูญเสียทั้งหมด (total lost time)

2.2.5 การวิเคราะห์ความจุและความล่าช้าในการเดินทางบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

วัตถุประสงค์หลักในการวิเคราะห์ความจุ คือ ต้องการทราบว่าจำนวนรถยนต์ที่มากที่สุดที่สามารถผ่านทางแยกสัญญาณไฟจราจรต่อหน่วยเวลาเป็นเท่าไร ในกรณีที่เป็นโครงข่ายจราจรเช่นเดียวกันสิ่งที่เราต้องการทราบ คือ ปริมาณการจราจรมากที่สุดที่โครงข่ายสามารถรองรับได้เป็นเท่าไรในส่วนนี้จะอธิบายถึงหลักเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาความจุของทางแยกสัญญาณไฟจราจร

ในการวิเคราะห์ความจุของทางแยกสัญญาณไฟจราจรจะต้องพิจารณา 1) ปริมาณจราจรแยกตามทิศทางและชนิดของยานพาหนะ 2) สภาพทางเลขาคณิตของทางแยกและ 3) สภาพหรือลักษณะของสัญญาณไฟจราจร ซึ่งมีคำนิยามเบื้องต้นดังนี้คือ

- ค่ารอบเวลา (Cycle Length) : ช่วงเวลาทั้งหมดสำหรับแสดงจังหวะสัญญาณไฟจราจรจนครบทุกเฟส
- เฟส (Phase) : ส่วนของค่ารอบของเวลาที่แบ่งให้จราจรในแต่ละส่วนที่ได้รับสิทธิในการใช้ทาง (Right-of-way) พร้อมกับเคลื่อนที่ไป
- สัดส่วนของเฟส (Split) : สัดส่วนของไฟเขียวของแต่ละเฟสต่อค่ารอบของเวลา
- ค่าเวลาสูญเสีย (Lost Time) : ช่วงเวลาที่ทางแยกไม่ได้ถูกใช้ประโยชน์โดยจราจรซึ่งปกติคือช่วงที่เปลี่ยนเฟสและช่วงเริ่มต้นของเฟส ซึ่งรถยนต์บางส่วนต้องเสียเวลาในการเร่งและออกตัวจากสภาพหยุดนิ่งโดยส่วนนี้เรียกว่า (Start-up Lost Times)

- ค่าเหลื่อมของเวลา (Offset) : ระยะเวลาที่แตกต่างของจังหวะเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียวของทางแยกที่อยู่ติดกัน
- อัตราไหลอิ่มตัว (Saturation Flow) : อัตราการไหลของจราจรที่สามารถเดินทางผ่านทางแยกได้ในลักษณะที่มีแถวคอยยาวต่อเนื่อง

2.2.5.1 การวิเคราะห์ความจุของทางแยก

ในการวิเคราะห์หาความจุของทางแยกจะพิจารณาจากกลุ่มของช่องจราจรที่เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวแล้วสามารถเคลื่อนที่ไปได้พร้อมกันซึ่งเรียกว่า Lane Group โดยความจุของแต่ละกลุ่มช่องจราจรสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_i = S_i\left(\frac{g_i}{C}\right) \tag{2.4}$$

โดยที่ C_i คือ ความจุของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

S_i คือ อัตราการไหลอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

g_i คือ ระยะเวลาไฟเขียวที่ใช้ประโยชน์ได้ของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

C คือ ค่ารอบของเวลา

อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่อความจุจะใช้ในการบ่งบอกถึงระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) ของแต่ละกลุ่มช่องจราจร ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$X_i = \frac{V_i}{C_i} = \frac{V_i C}{S_i G_i} \tag{2.5}$$

โดยที่ X_i คือ ระดับความอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

V_i คือ ปริมาณจราจรของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

กลุ่มช่องจราจรจะถูกจำแนกเป็น 1) อยู่ต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Under saturated) ถ้า X_i ต่ำกว่า 1.0 และ 2) สูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturated) ถ้า X_i ต่ำกว่า 1.0 ระดับความอิ่มตัวของทั้งทางแยกจะพิจารณาจากระดับความอิ่มตัววิกฤต X_i ซึ่งจะพิจารณาจากกลุ่มช่องจราจรที่มีค่าอัตราส่วนปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอิ่มตัวสูงที่สุดในแต่ละเฟส ในกรณีของทางแยกที่ 2 จังหวะสัญญาณไฟเช่น ทิศเหนือและทิศใต้เคลื่อนที่พร้อมกันก็ให้พิจารณาอัตราส่วนดังกล่าวของกลุ่มช่อง

จราจรที่สูงกว่าดังนั้นในแต่ละเฟสหรือจังหวะสัญญาณไฟก็จะมีกลุ่มช่องจราจรที่มีระดับความอิ่มตัววิกฤตสำหรับระดับความอิ่มตัววิกฤตของทั้งทางแยก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Xc = \sum \frac{Vi}{Si}\left[\frac{C}{C-L}\right] \tag{2.6}$$

โดยที่ X_c คือ อัตราส่วนระดับความอิ่มตัววิกฤตของทางแยก

$\frac{Vi}{Si}$ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรและอัตราการไหลอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร “ $_i$ ”

L คือ ค่าเวลาสูญเสีย

C คือ ค่ารอบของเวลา

ถ้าระดับความอิ่มตัววิกฤตของทางแยกน้อยกว่า 1.0 นั้นแสดงว่าทางแยกสามารถรองรับปริมาณการจราจรที่ต้องการผ่านทางแยกได้ตามค่ารอบของเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าระดับความอิ่มตัววิกฤตของทางแยกสูงกว่า 1.0 นั้นหมายความว่าทางแยกอยู่ในสภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturated)

2.2.5.2 การคำนวณสัญญาณไฟจราจรของ Webster

Webster ได้เสนอวิธีในการคำนวณหาความล่าช้าในการเดินทางผ่านทางแยกโดยใช้โปรแกรมแบบจำลองทางจราจร โดยมีสมมุติฐานว่าระดับความอิ่มตัวของทางแยกน้อยกว่า 1.0 และลักษณะการมาของจราจรเป็นแบบสุ่ม ซึ่งมีสูตรคำนวณความล่าช้าในการเดินทางดังนี้

$$d = \frac{k(1-g/c)^2}{2\left[1-(g/c)x\right]} + \frac{x^2}{2v\left(1-v^2\right)} - 0.65\left(\frac{c}{v^2}\right)^{\frac{1}{3}} x^{2+5\left(g/c\right)} \tag{2.7}$$

โดยที่ d คือ ความล่าช้าในการเดินทางโดยเฉลี่ยของกลุ่มช่องจราจร

g คือ ระยะเวลาไฟเขียวที่ใช้ประโยชน์ได้ของกลุ่มช่องจราจร

x คือ ระดับความอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร

c คือ ค่ารอบของเวลา

k คือ ค่าคงที่

สองเทอมแรกแสดงความล่าช้าเมื่อสภาพการมาเป็นลักษณะแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) เทอมที่สามแสดงความล่าช้าที่เกิดจากความไม่แน่นอนมาการมาของจราจรและแสดงอัตราไหลออกแบบคงที่สำหรับการคำนวณหาค่ารอบของเวลาที่เหมาะสมนั้น Webster ได้ให้สูตรไว้ดังนี้

$$Copt = \frac{1.5L + 5}{1 - X_c} \tag{2.8}$$

โดยที่ X_c คือ ระดับความอิ่มตัวของทางแยก

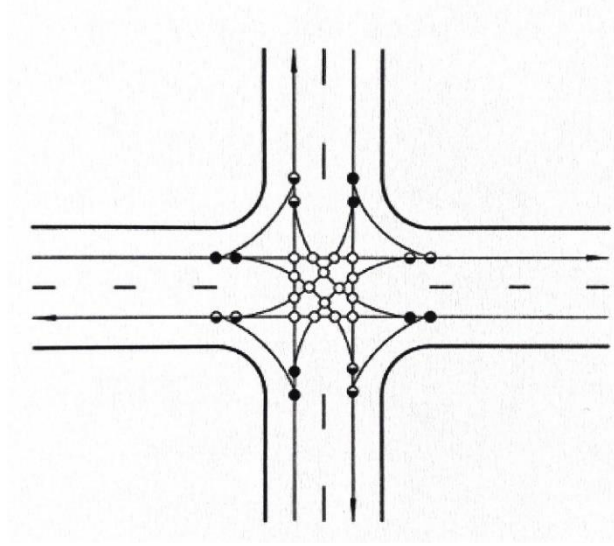
$Copt$ คือ ค่ารอบของเวลาที่เหมาะสม

L คือ ค่าเวลาสูญเสีย

ในแต่ละเฟส ค่าสัดส่วนของเฟสจะคำนวณจากการแบ่งตามสัดส่วนของอัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรและอัตราการไหลอิ่มตัวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ซึ่งตามหลักการนี้จะทำให้ระดับความอิ่มตัวของทุกกลุ่มจราจรวิกฤตมีค่าเท่ากัน (Equalizing Degree of Saturation) สูตรดังกล่าวของ Webster นี้ใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับวิธีการในการคำนวณอื่น ๆ

2.3 ทางแยกแบบมีสัญญาณไฟจราจร

ความจำเป็นของการมีสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกเนื่องจากช่วยลดอุบัติเหตุจากการลดจำนวนการตัดของกระแสจราจร เพิ่มความจุของทางแยกจากการเพิ่มอัตราการไหลของกระแสจราจร พบว่าการสร้างสี่แยกโดยไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม จะทำให้เกิดการตัดกันของกระแสจราจร (Conflict) บนทางแยกจำนวน 32 จุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 : การตัดกันของกระแสจราจรบนทางแยก

จุดตัด ณ สี่แยกจำนวนทั้งหมด 32 จุด สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทจุดตัดกระแสจราจร ดังนี้

- Diverting การชนที่เกิดจากการแยกกันของกระแสจราจร จำนวน 8 จุด
- Merging การชนที่เกิดจากการรวมกันของกระแสจราจร จำนวน 8 จุด
- Crossing เป็นจากการชนกัน 90 องศา เกิดจากการที่กระแสจราจรไหลมาจากทิศทางที่ต่างกันจำนวน 16 จุด

ที่มา : *https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/*04091/10.*cfm#fig*72

2.3.1 ปัญหาของการควบคุมทางแยกสัญญาณไฟ

- รอบสัญญาณไฟจราจรไม่เหมาะสม เช่น สั้นหรือยาวเกินไป
- ความยาวจังหวะสัญญาณไฟไม่เหมาะสม อันเกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณจราจรในแต่ละรอบสัญญาณ
- การขาดการประสานระหว่างทางแยกในบริเวณใกล้เคียง ทำให้เกิดการสะสมของรถในบางทิศทางมากเกินไป

2.3.2 รูปแบบการจัดสัญญาณไฟ

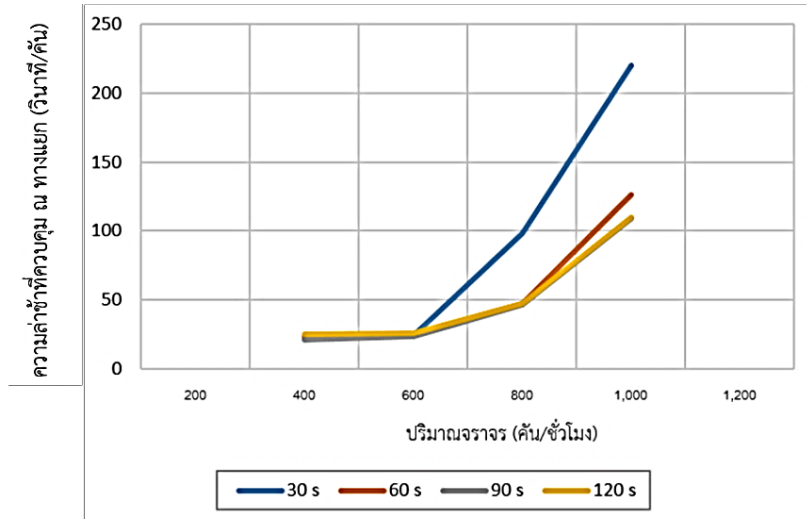
รูปแบบการจัดสัญญาณไฟจะคำนึงถึงตัวแปรสำคัญ 4 ประการ คือ

- ความเร็ว (Speed)
- ความยาวรอบสัญญาณไฟ (Cycle length)
- ระยะห่างระหว่างการติดตั้งสัญญาณไฟ (Signal spacing)
- ประสิทธิภาพของรอบสัญญาณ (Efficiency of progression)

โดยแบ่งลักษณะทางแยกเพื่อใช้พิจารณาออกแบบสัญญาณไฟ ดังนี้

1) ทางแยกเดี่ยว (Isolated signal)

การออกแบบสัญญาณไฟบริเวณทางแยกเดี่ยวจะต้องพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ คือ รอบสัญญาณไฟ (Cycle time) จังหวะสัญญาณ (Signal phasing) ระยะเวลาไฟเขียว (Spilt) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12

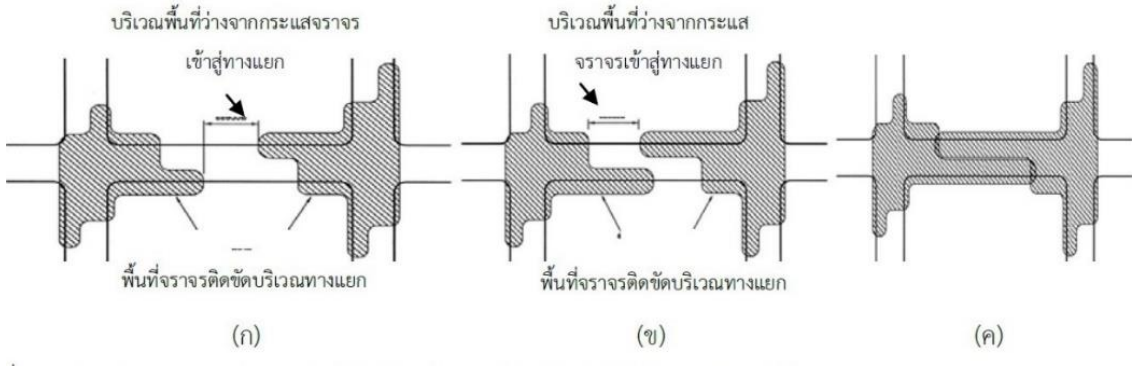


ที่มา : *Roger P. Roess, Elena S. Passas, William R Mcshane. Traffic Engineering. Pearson Education International,* 2004

รูปที่ 2.12 : ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณจราจร รอบสัญญาณไฟและความล่าช้าในการเดินทาง

2) กลุ่มทางแยก (Signal group)

ทางแยกในเมืองมักจะมีลักษณะกระจุกตัว ทำให้จำเป็นต้องจัดการร่วมกันเป็นกลุ่มสัญญาณ (Signal group) เพื่อให้เกิดการไฟของกระแสจราจรอย่างต่อเนื่อง (Progression) หรือลดโอกาสที่จะเกิดการติดขัดของทางแยก (Gridlock) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



ที่มา : https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/04091/08.cfm#chp815

หมายเหตุ : (ก) กรณีระยะห่างระหว่างแยกมีพื้นที่มากพอ ไม่เกิดผลกระทบกับแยกอื่น ๆ

(ข) กรณีระยะห่างระหว่างแยกมีพื้นที่ปานกลาง เฝ้าระวังผลกระทบกับแยกอื่น ๆ

(ค) กรณีระยะห่างระหว่างแยกมีพื้นที่น้อย เกิดผลกระทบกับแยกอื่น ๆ

รูปที่ 2.13 : กรณีระยะห่างระหว่างแยก

ตารางที่ 2.1*:* แสดงระยะห่างระหว่างแยกที่เหมาะสมสำหรับรอบสัญญาณไฟจราจรและความเร็วของกระแสจราจรจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีทางแยกชิดกันจำเป็นต้องมีรอบสัญญาณไฟที่สั้นกว่าพื้นที่ที่มีทางแยกอยู่ห่างกันดังนั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาแบ่งรอบสัญญาณไฟอย่างเหมาะสมตามลักษณะของพื้นที่ เช่น ทางแยกในเมืองควรมีรอบสัญญาณไฟจราจรที่สั้นกว่าทางแยกนอกเมือง เนื่องจากในเขตเมืองจะมีโอกาสพบทางแยกที่ชิดกันมากกว่านอกเมือง เป็นต้น

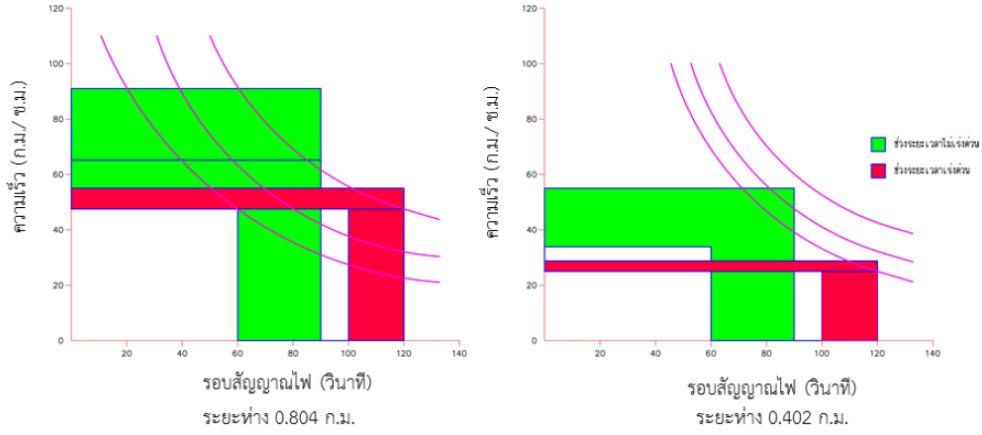
ตารางที่ 2.1 : ระยะห่างระหว่างแยกตามอุดมคติเมื่อพิจารณาจากรอบสัญญาณไฟและความเร็วของยานพาหนะ

รอบสัญญาณไฟ (วินาที)	ความเร็ว (กม./ชม.)						
	40	48	56	64	72	80	88
	ระยะห่างระหว่างแยก (เมตร)						
60	330	400	400	400	400	400	400
70	390	470	470	470	470	470	470
80	440	530	530	530	530	530	530
90	500	600	600	600	600	600	600
100	560	670	670	670	670	670	670
110	610	730	730	730	730	730	730
120	670	800	800	800	800	800	800

ที่มา: V. G. Stover, P. B. Demosthenes and E. M. Weesner, *"Signalized Intersection Spacing: An Element of Access Management"*. Institute of Transportation Engineers, 1991

ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของกระแสจราจร (Progression speed) และรอบสัญญาณไฟ เช่นทางแยกในเขตเมืองที่มีทางแยกสัญญาณไฟระยะห่าง 400 เมตรและ 800 เมตร ดังรูปที่ 2.14 พบว่าโดยทั่วไปรอบสัญญาณไฟที่เป็นช่วงเหมาะสมที่สุดสำหรับทางแยกในเขตเมืองในช่วงเวลาเร่งด่วน 90-120 วินาที (พื้นที่สีแดง) เนื่องจากรอบสัญญาณไฟที่ยาวกว่าจะสามารถรองรับปริมาณจราจรได้สูงกว่า แต่จะทำให้ความเร็วของการไหลลดลง

เมื่อเปรียบเทียบรอบสัญญาณไฟที่ 90 วินาทีเท่ากันในกรณีช่วงเวลาไม่เร่งด่วน (พื้นที่สีเขียว) จะพบว่าระยะห่างสัญญาณไฟที่ 800 เมตร (รูปด้านซ้าย) จะเกิดการไหลของปริมาณจราจรที่ความเร็ว 56-64 กม./ชม. ในขณะที่ระยะห่างสัญญาณไฟ 400 เมตร (รูปด้านขวา) จะมีความเร็วเพียง 32 กม./ชม. เท่านั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าระยะห่างของทางแยกที่มากกว่าจะทำให้การไหลของจราจรดีกว่าและสามารถรองรับปริมาณจราจรได้มากกว่าด้วย



ที่มา: *Vergil G. Stover, Frank J. Koepke."Transportation and land development". Institute of Transportation Engineers,* 1993

รูปที่ 2.14 : ระยะห่างระหว่างแยกและรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมในช่วงระยะเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน

ดังนั้น การประสานสัญญาณไฟของกลุ่มทางแยก จึงจำเป็นต้องยึดรอบสัญญาณไฟของทุกทางแยกในกลุ่มต้องมีค่าเท่ากัน (Common cycle length) และยึดจังหวะเหลื่อมของสัญญาณไฟ (Offset) เพื่อเพิ่มโอกาสในการไหลของปริมาณจราจรอย่างต่อเนื่องของกระแสจราจรจากแยกสู่แยก (Band width)

2.4 การพิจารณาการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

ทางแยกโดยทั่วไปสามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะตามการควบคุมจราจร คือ ทางแยกแบบมีสัญญาณไฟจราจรและทางแยกแบบไม่มีสัญญาณไฟจราจร ซึ่งทางแยกแบบไม่มีสัญญาณไฟจราจรนี้อาจถูกพิจารณาปรับให้เป็นแยกแบบควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรได้ โดยสามารถอ้างอิงแนวทางของ Manual on Uniform Traffic Control Devices for Street and Highway (MUTCD) ของ FHWA เรียกว่า Signal Warrant เป็นการพิจารณาความเหมาะสมว่าควรติดตั้งสัญญาณไฟบนทางแยกนั้นหรือไม่ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งได้แบ่งตัวแปรการพิจารณาไว้ ดังนี้

2.4.1 WARRANT 1 ปริมาณจราจร 8 ชั่วโมง (Eight-Hour Vehicular Volume)

แสดงถึงความต้องการสัญญาณไฟจราจรสำหรับสภาพการจราจรสำหรับ 8 ชั่วโมงของวัน โดยมี 2 เงื่อน (Conditions) ได้แก่

Condition 1A ปริมาณจราจรมาก ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่บนถนนสายรองอาจไม่สามารถเลือก Gap เพื่อที่จะผ่านไปได้

Condition 1B ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักมีปริมาณมากจนผู้ขับขี่บนถนนสายรองไม่สามารถผ่านไปได้เลย โดยที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร

Warrant 1 จะผ่านได้เมื่อ มีปริมาณจราจร 8 ชั่วโมง โดยไม่จำเป็นต้องเป็นชั่วโมงติดต่อกัน เช่น อาจเป็น 4 ชั่วโมงช่วงเร่งด่วนเช้า และ 4 ชั่วโมงช่วงเร่งด่วนเย็น เกินเกณฑ์ที่กำหนด โดย

1) ผ่าน Condition 1A หรือ 1B
2) ผ่านที่ระดับ 80 เปอร์เซ็นต์ของทั้ง Condition 1A และ 1B (ผ่านที่ระดับ 56 เปอร์เซ็นต์ หาก เข้าเงื่อนไข ได้ลดเกณฑ์ปริมาณจราจรลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์)

ตารางที่ 2.2 : WARRANT 1A และ 1B (ที่มา : MUTCD, 2000)

Condition A — Minimum Vehicular Volume									
Number of lanes for moving traffic on each approach		**Vehicles per hour on major street (total of both approaches)**				**Vehicles per hour on higher-volume minor-street approach (one direction only)**			
Major Street	**Minor Street**	**100% [a]**	**80% [b]**	**70% [c]**	**56% [d]**	**100% [a]**	**80% [b]**	**70% [c]**	**56% [d]**
1	1	500	400	350	280	150	120	105	84
2 or more	1	600	480	420	336	150	120	105	84
2 or more	2 or more	600	480	420	336	200	160	140	112
1	2 or more	500	400	350	280	200	160	140	112
Condition B — Interruption of Continuous Traffic									
Number of lanes for moving traffic on each approach		**Vehicles per hour on major street (total of both approaches)**				**Vehicles per hour on higher-volume minor-street approach (one direction only)**			
Major Street	**Minor Street**	**100% [a]**	**80% [b]**	**70% [c]**	**56% [d]**	**100% [a]**	**80% [b]**	**70% [c]**	**56% [d]**
1	1	750	600	525	420	75	60	53	42
2 or more	1	900	720	630	504	75	60	53	42
2 or more	2 or more	900	720	630	504	100	80	70	56
1	2 or more	750	600	525	420	100	80	70	56
[a] Basic minimum hourly volume									
[b] Used for combination of Conditions A and B after adequate trial of other remedial measures									
[c] May be used when the major-street speed exceeds 40 mph or in an isolated community with a population of less than 10,000									
[d] May be used for combination of Conditions A and B after adequate trial of other remedial measures when the major-street speed exceeds 40 mph or in an isolated community with a population of less than 10,000									

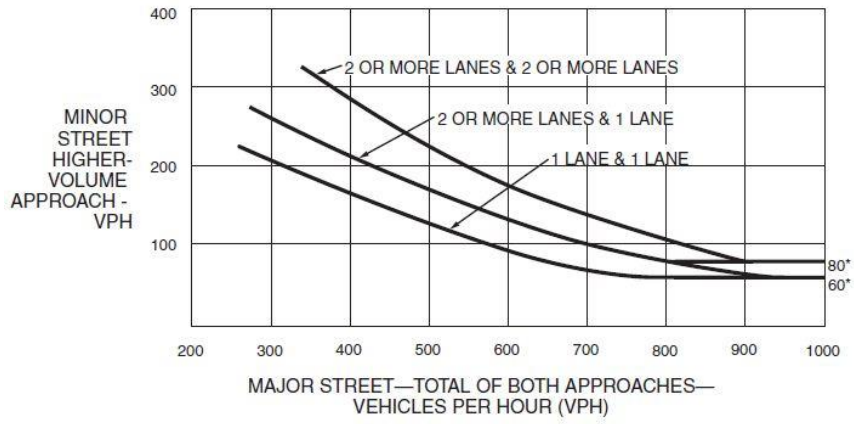
2.4.2 WARRANT 2 ปริมาณจราจร 4 ชั่วโมง (Four – Hour Vehicle Volume)

Warrant นี้สำหรับทางแยกที่ปริมาณการจราจรอาจจะต้องการสัญญาณไฟสำหรับช่วงเวลาที่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง รูปที่ 2.15 และรูที่ 2.16 แสดง Warrant 2 โดยเสดงในรูปเส้นกราฟต่อเนื่อง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรบนทางสายหลักและทางสายรอง โดยในรูป a แสดง warrant สำหรับ Normal ส่วนรูป b แสดง warrant สำหรับ 70 เปอร์เซ็นต์ Reduction (ปริมาณจราจรลดลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ ของรูป a) สำหรับ ชุมชนอยู่เดี่ยว ๆ ที่มีประชากรน้อยกว่า 10,000 คน หรือ จำกัดความเร็วถนนสายหลักมากกว่า 40 ไมล์ต่อชั่วโมงเส้นกราฟต่อเส้นสำหรับจำนวนถนนสายหลักและสายรองที่แตกต่างกัน

การที่จะผ่าน warrant นี้ตรวจสอบได้โดยการ plot ปริมาณจราจร โดยต้องมี 4 ชั่วโมงอยู่เหนือเส้นกราฟในรูปที่ 2.15 โดยไม่จำเป็นต้องเป็น 4 ชั่วโมงต่อเนื่อง

Note: 115 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with two or more lanes and 80 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with one lane.

รูปที่ 2.15 : WARRANT 2 (100%) (ที่มา : MUTCD, 2000)



Note: 80 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with two or more lanes and 60 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with one lane.

รูปที่ 2.16 : WARRANT 2 (70%) (ที่มา : MUTCD, 2000)

2.4.3 WARRANT 3 ปริมาณจราจรสูงสุด 1 ชั่วโมง (Peak Hours)

ประกอบด้วย 2 สถานการณ์ ได้แก่ a ปริมาณจราจรสูงสุด 1 ชั่วโมง ในรูปแบบคล้ายกับ Warrant 2 a และ b ความล่าช้า (Delay) ถ้าหากผ่าน Warrant 3a หรือ 3b เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งก็ถือว่าผ่าน

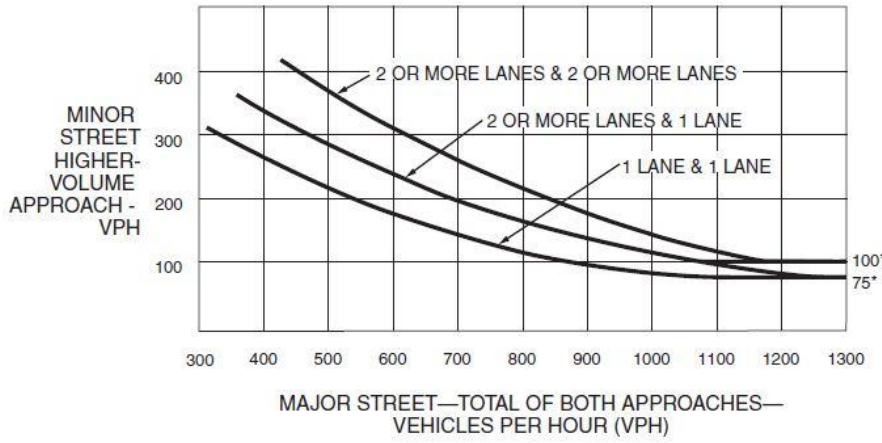
Warrant 3a จะผ่านเมื่อมีปริมาณจราจร 1 ชั่วโมงอยู่เหนือเส้นกราฟ

Warrant 3b ใช้ในกรณีมีการใช้ STOP control บนทางสายรองอยู่แล้ว Warrant 3b จะผ่านได้ ถ้าเงื่อนไขทั้ง 3 อย่างผ่านใน 1 ชั่วโมงเดียวกัน

1) Total stop time delay บนถนนสายรองทิศทางเดียว ที่ถูกควบคุมโดย STOP Sign เท่ากับหรือมากกว่า 4 veh - hours สำหรับ 1 lane approach หรือ 5 veh – hours สำหรับ 2 lane approach
2) ปริมาณบนถนนสายรองทิศทางเดียวกันนั้น เท่ากับหรือมากกว่า 100 คันต่อชั่วโมง สำหรับ 1 เลน หรือ 150 คันต่อชั่วโมงสำหรับ 2 เลน
3) ปริมาณรถที่เข้าสู่ทางแยกรวมทั้งหมดทุกทิศทาง เทากับหรือเกิน 650 คันต่อชั่วโมง สำหรับ 3 แยก หรือ 800 คันต่อชั่วโมงสำหรับ 4 แยกหรือมากกว่า 4 แยก

Note: 150 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with two or more lanes and 100 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with one lane

รูปที่ 2.17 : WARRANT 3 (100%) (ที่มา : MUTCD, 2000)



Note: 100 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with two or more lanes and 75 vph applies as the lower threshold volume for a minor street approach with one lane.

รูปที่ 2.18 : WARRANT 3 (70%) (ที่มา : MUTCD, 2000)

2.4.4 WARRANT 4 คนเดินข้ามถนน (Pedestrian)

สามารถติดตั้งสัญญาณไฟตาม Warrant 4 (Pedestrian Warrant) ได้ถ้าผ่านเงื่อนไข ก) ข้อ 1 และ ข้อ 3 หรือ ข) ข้อ 2 และ ข้อ 3 โดยเงื่อนไขมีดังนี้

1) คนเดินข้ามถนนสายหลักบริเวณทางแยก หรือช่วงถนน (Mid-block) เท่ากับหรือมากกว่า 100 คน ต่อชั่วโมง ใน 4 ชั่วโมงใด ๆ และจำนวน Acceptable Gap บนถนนสายหลักน้อยกว่า 60 Gap ต่อ ชั่วโมง
2) คนเดินข้ามถนนสายหลักบริเวณทางแยก หรือช่วงถนน (Mid-block) เท่ากับหรือมากกว่า 190 คนใน 1 ชั่วโมงใด ๆ และ จำนวน Acceptable Gap บนถนนสายหลักน้อยกว่า 60 Gap ต่อชั่วโมง
3) สัญญาณไฟที่ใกล้ที่สุดบนถนนสายหลักเดียวกันนี้ อยู่ห่างไปเกินกว่า 90 เมตร หรืออาจจะใกล้กว่า 90 เมตร แต่สัญญาณไฟที่ติดตั้งนี้ต้องไม่ไปจำกัด การเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง (Progressive Movement) ของกระแสจราจร

หมายเหตุ

- หากถนนมีเกาะกลางและมีความกว้างเพียงพอสำหรับยืนรอ ให้คิดแยกในแต่ละทิศทางของกระแสจราจร
- ค่า Criterion ต่าง ๆ อาจลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหาก ความเร็วเฉลี่ยของคนเดินข้ามน้อยกว่า 4 ฟุตต่อวินาที

2.4.5 WARRANT 5 บริเวณทางข้ามหน้าโรงเรียน (SCHOOL CROSSING)

Warrant นี้คล้ายกับ Warrant 4 แต่สำหรับบริเวณโรงเรียนโดยเฉพาะ ทั้งบริเวณทางแยก (Intersection) และระหว่างแยก (Mid-Block) โดย Warrant นี้จะขึ้นอยู่กับ จำนวนนักเรียนที่จะข้าม

ถนนสายหลัก (Major Street) ในช่วง Gap หนึ่งๆ ดังนั้น สามารถติดตั้งสัญญาณไฟตาม Warrant 5 ได้ หากทั้งสาม เงื่อนไขนี้ผ่าน

1) นักเรียนข้ามถนนสายหลัก มีอย่างน้อย 20 คนในช่วงชั่วโมงที่มีการข้ามถนนสูงสุด
2) จำนวน Acceptable Gap บนถนนสายหลักที่นักเรียนข้ามถนน น้อยกว่าจำนวนนาทีในช่วงเวลาเดียวกัน โดย Acceptable Gap จะรวมถึงระยะเวลาในการข้ามถนน ระยะเวลา Buffer และระยะเวลาเริ่มต้นก่อนที่จะเริ่มข้ามถนน
3) สัญญาณไฟที่ใกล้ที่สุดบนถนนสายหลักเดียวกันนี้ อยู่ห่างไปเกินกว่า 90 เมตร หรืออาจจะใกล้กว่า 90 เมตร แต่สัญญาณไฟที่จะติดตั้งนี้ต้องไม่ไปจำกัด การเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่อง (Progressive Movement) ของกระแสจราจร

2.4.6 WARRANT 6 การประสานสัญญาณไฟ (Coordinated Signal System)

Warrant นี้สามารถติดตั้งได้หากผ่านเงื่อนไขข้อ 1 หรือ ข้อ 2 ต่อไปนี้

1) สำหรับถนนที่เดินรถทางเดียว (One way street) และสัญญาณไฟที่อยู่ติดกันนั้นอยู่ห่างมาก จนทำให้การไหลของกระแสจราจร ไม่เป็นกลุ่ม (Platoon)
2) สำหรับถนนที่เดินรถสองทาง (Two way street) สัญญาณไฟที่อยู่ใกล้เคียงกันนั้นไม่ได้ก่อให้เกิดการไหลของกระแสจราจรเป็นกลุ่ม (Platoon) ในระดับที่น่าพอใจ และเมื่อติดตั้งสัญญาณไฟใหม่นี้ร่วมกับสัญญาณไฟเดิมที่อยู่ติดกันนี้จะก่อให้เกิดการไหลของกระแสจราจรเป็นกลุ่ม (Platoon)

สัญญาณไฟตาม Warrant นี้ไม่ควรติดตั้งหากเมื่อติดตั้งแล้วทำให้ระยะห่าง (Spacing) ระหว่างสัญญาณไฟน้อยกว่า 300 เมตร

2.4.7 WARRANT 7 สถิติการเกิดอุบัติเหตุ (Crash Experience)

สามารถติดตั้งสัญญาณไฟตาม Warrant นี้ถ้าหากผ่านทั้ง 3 ข้อ

1) ผ่าน Warrant 1A ที่เกณฑ์ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือ ผ่าน Warrant 1B ที่เกณฑ์ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือ Warrant 4 ที่เกณฑ์ 80 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณคนข้ามถนน 80 คน/ชั่วโมง เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือ 152 คนต่อชั่วโมงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2) ได้มีการทดลองลดสถิติการเกิดอุบัติเหตุโดยวิธีอื่น ๆ แล้ว แต่การเกิดอุบัติเหตุไม่ลดลง
3) ในระยะเวลา 1 ปีมีจำนวนอุบัติเหตุ มากกว่าหรือเท่ากับ 5

2.4.8 WARRANT 8 โครงข่ายถนน (Road Network)

สำหรับ Warrant นี้สามารถติดตั้งได้ถ้าผ่านเงื่อนไขอย่างน้อย 1 ข้อ (จาก 2 ข้อ) และ Major route สำหรับโครงข่ายถนนนี้ มีลักษณะเข้าข่ายอย่างน้อย 1 ข้อ เงื่อนไขสำหรับการติดตั้งสัญญาณไฟตาม Warrant นี้

1) ปริมาณจราจรรวมทั้งหมด อย่างน้อย 1,000 คันต่อชั่วโมง ในชั่วโมงสูงสุดระหว่างวันจันทร์ถึงวันศุกร์และปริมาณจราจรคาดการณ์ใน 5 ปีข้างหน้า และผ่าน Warrant 1 หรือ 2 หรือ 3 อย่างน้องหนึ่ง Warrant
2) ปริมาณจราจรรวมทั้งหมด อย่างน้อย 1,000 คันต่อชั่วโมง สำหรับ 5 ชั่วโมงใด ๆ ในช่วงวันเสาร์และอาทิตย์

ลักษณะของเส้นทางหลัก (Major route) ของโครงข่ายถนนนี้ เข้าข่ายอย่างน้อยหนึ่งข้อต่อไปนี้

1) เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายถนนหลักสำหรับการไหลของกระแสจราจร (Through traffic flow)
2) เป็นส่วนหนึ่งของทางหลวงชนบทหรือนอกเมืองที่อยู่ข้างนอก เข้าสู่ หรือผ่าน เมือง
3) เป็นเส้นทางหลัก (Major route) ในแผน (Official plan) อย่างเป็นทางการ

2.5 หลักการออกแบบระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน คือการควบคุมสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกในบริเวณเดียวกัน ตั้งแต่สองทางแยกขึ้นไปให้ทำงานสอดคล้องประสานสัมพันธ์กัน โดยเป็นระบบสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาไว้ก่อน หรือแบบตั้งเวลาไว้แน่นอน (Pre-Time or Fixed Time Signal) ซึ่งทุกสัญญาณไฟจราจรบนทางแยกในระบบจะต้องใช้รอบสัญญาณไฟ (Cycle Time) เท่ากัน แต่ถ้าปริมาณจราจรไม่สูงมากก็อาจจะเปลี่ยนแปลงกำหนดรอบเวลาเป็นสองเท่า หรือเป็นครึ่งหนึ่งของรอบเวลาสัญญาณไฟของระบบได้ ถ้าเป็นกรณีที่มีทางแยกในระบบโครงข่ายควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Control) ก็สามารถปรับใช้เป็นรอบสัญญาณไฟร่วมกันได้ ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมด้วย อย่างไรก็ตามในเบื้องต้นระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานควรจะมีช่วงเวลาไฟเขียวบวกกับช่วงเวลาไฟเหลืองอย่างน้อยเท่ากับร้อยละ 50 ของรอบสัญญาณไฟ

2.5.1 ลักษณะการประสานของสัญญาณไฟจราจรชนิดตั้งเวลาไว้ก่อน (Pre-Timed Signal Coordinate Schemes)

ระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานสัมพันธ์กันมีความจำเป็นบนถนนสายหลักเพื่อต้องการลดความล่าช้าของยานพาหนะ โดยที่กระแสจราจรสามารถวิ่งผ่านาทางแยกในโครงข่ายไปได้โดยไม่ต้องจอดติดสัญญาณไฟแดงในแต่ละทางแยก สัญญาณไฟจราจรทำให้ประสานสัมพันธ์กันได้หลายวิธี แต่วิธีการที่ใช้กันมากโดยอาศัยหลักการ 3 วิธีดังนี้

2.5.1.1 ระบบเวลาเดียวกัน (Simultaneous System)

ตามหลักการวิธีนี้คือ ทางแยกทั้งหมดในโครงข่ายแสดงสัญญาณไฟจราจรเหมือนกันให้แก่กระแสจราจรเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน ผลกระทบจากระบบนี้จะเป็นการลดความจุทางแยก (ระดับการบริการลดลง) แต่จะส่งผลดีแก่กระแสจราจรที่ต้องการเลี้ยวและมีความเร็วสามารถผ่านไปได้ แต่จะเหมาะสมมากที่สุดในกรณีที่ระยะทางระหว่างทางแยกในโครงข่ายไม่ยาวเกินไป ในกรณีที่กระแสการจราจรเลี้ยวมีน้อยก็จะเป็นผลดีต่อคนข้ามถนนสามารถข้ามถนนได้สะดวกมากขึ้น แต่ผลเสียคือจะมีส่วนช่วยสนับสนุนให้ผู้ขับขี่พยายามเร่งเครื่องยนต์เพื่อหลีกเลี่ยงการติดสัญญาณไฟในจังหวะสัญญาณไฟเหลืองหรือสัญญาณไฟแดงทุกด้าน ทำให้เกิดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรได้ง่าย

2.5.1.2 ระบบการสลับเวลา (Alternative System)

หรือเป็นการจัดกลุ่มสัญญาณ ซึ่งวิธีการจะแสดงผลแตกต่างจากวิธีแรก และเหมาะสมกับโครงข่ายทางแยกมีระยะทางอยู่ในช่วง 300 เมตรหลักการคือเมื่อกระแสจราจรเคลื่อนที่ระหว่างทางแยกอยู่ในช่วงเวลาครึ่งหนึ่งของรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรก็จะสามารถวิ่งผ่านทางแยกไปได้โดยไม่ต้องหยุด รอบเวลาจะต้องเท่ากันในทุกสัญญาณไฟจราจร (ทุกทางแยก) ดังนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่จะต้องคงที่

2.5.1.3 ระบบความต่อเนื่อง (Progressive System) สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีได้ดังนี้

1) ระบบความเร็วต่อเนื่องอย่างง่าย (Simple Progressive System) หลักการคือ การปล่อยสัญญาณไฟเขียวตามแผนที่ได้วางไว้เพื่อให้กระแสจราจรสามารถผ่านไปได้อย่างต่อเนื่องตามความเร็วที่กำหนด และกำหนดให้ใช้ค่าเวลาออฟเซตเท่ากับหนึ่งในสี่ของรอบเวลาสัญญาณไฟ
2) ระบบความต่อเนื่องยืดหยุ่น (Flexible Progressive System) หลักการคือ ในแต่ละสัญญาณช่วงเวลาของสัญญาณอาจปรับเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจรและการแสดงไฟเขียวแยกกันแต่ละสัญญาณไฟซึ่งอาจจะเริ่มปล่อยไฟเขียวที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่ระบบควบคุมอาจจะเป็นแบบตั้งเวลาไว้คงที่ (Fixed Time) หรือปรับตามยานพาหนะ (Vehicle Actuated)

2.5.2 ประเภทของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน (Types of Co-ordinated Signal System) โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของระบบ ดังนี้

2.5.2.1 การกำหนดแบบหนึ่งระบบ (Single – Dial Interconnect)

ในระบบนี้จะกำหนดการควบคุมการจราจรแต่ละทางแยกเพียงหนึ่งระบบ และยอมให้มีเพียงหนึ่งรอบเวลาสัญญาณไฟ (Cycle) และการจัดจังหวะสัญญาณไฟ แต่สำหรับเวลาออฟเซต (Offset) จะกำหนดได้ถึง 3 แผนเวลา เพื่อสามารถวางแผนการจัดระบบการจราจรได้ตามความเหมาะสม

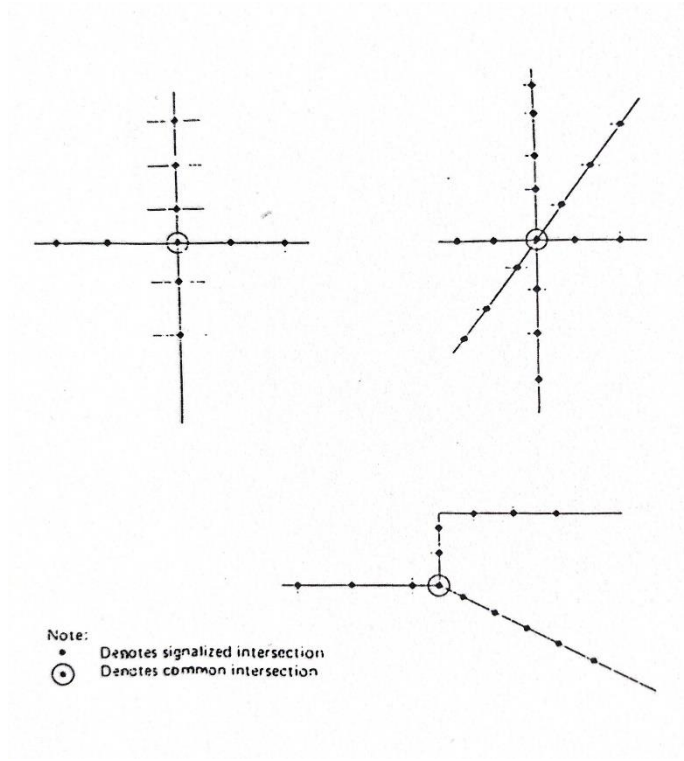
2.5.2.2 การกำหนดแบบสามระบบ (Three – Dial Interconnect)

ในระบบนี้จะกำหนดการควบคุมการจราจรแต่ละทางแยกเป็น 3 ระบบเวลา โดยจัดคู่ระหว่างรอบเวลาสัญญาณไฟกับการจัดจังหวะสัญญาณได้ถึง 3 คู่แยกเป็นอิสระต่อกัน และในแต่ละคู่จะกำหนดระยะเวลาออฟเซต (Offset) ได้ถึง 3 แผนเวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละคู่ ในแต่ละช่วงเวลาของวัน ระบบนี้เป็นประโยชน์มากเพราะสามารถตั้งค่าเวลาออฟเซต และรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร ตลอดถึงการจัดจังหวะสัญญาณไฟได้เหมาะสมกับสภาพการจราจรในแต่ละช่วง เช่น ในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Period), หรือนอกเวลาเร่งด่วน (Out Peak)

2.5.3 ประเภทของโครงข่ายสัญญาณไฟจราจร (Signal Network)

ความสัมพันธ์ระหว่างไดอะแกรมเวลากับระยะทางได้พัฒนามานานซึ่งเป็นรายละเอียดของการจราจรบนถนนเส้นเดียว แต่เมื่อมีถนนหลายเส้นมาเชื่อมกันโดยกลายเป็นทางแยกร่วมกัน (Common Intersection) ผลที่ได้จะกลายเป็นโครงข่ายสัญญาณ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

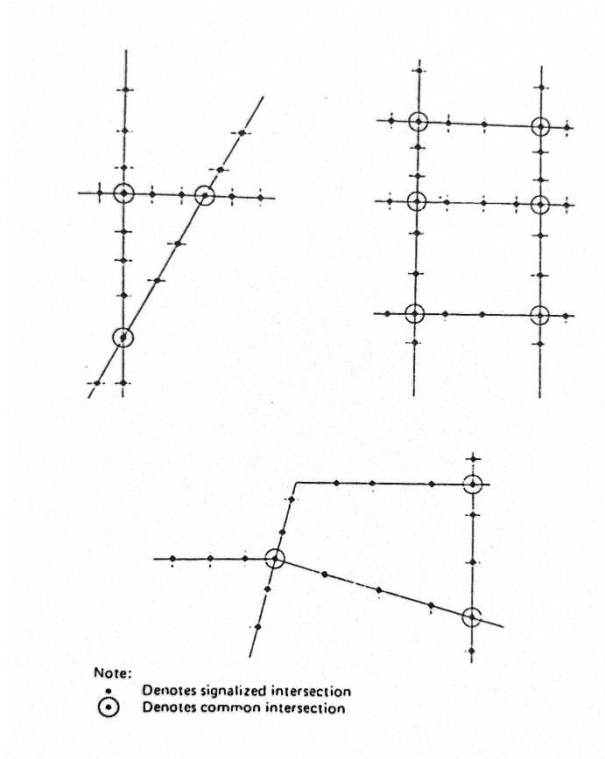
- โครงข่ายแบบเปิด (Open Network) ภายในโครงข่ายจะมีทางแยกร่วมเพียงหนึ่งทางแยกตลอดความยาวถนน โดยทั่วไปแล้วรอบเวลาสัญญาณไฟจราจร และจังหวะสัญญาณไฟจะถูกกำหนดไว้คงที่ตามความเหมาะสมของทางแยกร่วม (Common Intersection) แต่รอบสัญญาณไฟของแต่ละถนนจะออกแบบได้อย่างอิสระต่อกัน ดังภาพประกอบ 2.19



ที่มา : Institute of Transportation Engineer, 1965, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 3rd edition, Practice-Hall, Inc.

รูปที่ 2.19 : โครงข่ายทางแยกแบบเปิด (Open Network)

- โครงข่ายแบบปิด (Closed Network) ภายในโครงข่ายจะมีทางแยกร่วมมากกว่าหนึ่งทางแยกดังภาพประกอบ 3.2 ระบบสัญญาณไฟจราจรทุกทางแยกที่รวมกันเป็นโครงข่ายจะต้องมีรอบเวลาสัญญาณไฟจราจรเท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางแยกวิกฤติ (ทางแยกที่ต้องการรอบสัญญาณไฟจราจรมากที่สุด) และผลรวมของเวลาออฟเซต (Offset) เวลาไฟเขียว และเวลาไฟเหลือง ที่อยู่ในระบบโครงข่ายจะต้องเท่ากับรอบเวลาสัญญาณไฟของโครงข่ายหรือเป็นอัตราส่วนกัน



ที่มา : Institute of Transportation Engineer, 1965, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 3rd edition, Practice-Hall, Inc.

รูปที่ 2.20 : โครงข่ายทางแยกแบบปิด (Closed Network)

2.5.4 รอบเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน

สัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมการจราจรบนทางแยกเดี่ยว ๆ จะแตกต่างจากสัญญาณไฟจราจรที่ควบคุมบนทางแยกเป็นโครงข่าย เนื่องจากต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของกระแสจราจรที่สามารถวิ่งผ่านทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดความถี่ของการหยุด ทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น และช่วยป้องกันการล้นของคิวรถบนทางแยกปลายทางโดยเฉพาะหากว่าระยะทางระหว่างทางแยกรองรับการสะสมของคิวได้จำกัด

หลักการออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานคือให้ออกแบบรอบเวลาตามปกติของแต่ละทางแยกในโครงข่ายจากนั้นให้กำหนดการเหลื่อมกันของเวลาไฟเขียวแต่ละทางแยกทั้งนี้ต้องมีความสัมพันธ์กันกับความเร็วของกระแสจราจร (Platoon) เมื่อที่ได้รับไฟเขียวตลอดโครงข่าย ประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟจราจรพิจารณาได้จากว่ากระแสจราจรใดที่ได้รับผลจากกำหนดจังหวะสัญญาณไฟให้ประสานกันโดยมีผลกระทบจากกระแสจราจรที่เลี้ยวมากีดขวางกระแสจราจรหลักบนถนนหลักน้อยที่สุด

การกำหนดให้สัญญาณไฟประสานกันนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างทางแยก สัดส่วนของกระแสจราจรที่ไปตรงหรือเลี้ยว และการสอดแทรกของกระแสจราจรอื่น ๆ ที่รบกวนการระแสจราจรหลัก ถ้าในกรณีที่โครงข่ายทางแยกมีขนาดใหญ่เกินที่จะควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานกันให้มีประสิทธิภาพได้นั้น ควรแบ่งออกเป็นโครงการแยกย่อย และออกแบบรอบเวลาสัญญาณไฟแยกในแต่ละโครงข่าย หลักจากนั้นค่อยมากำหนดสัญญาณให้ประสานกัน ดังนั้นพื้นฐานของระบบสัญญาณไฟจราจรแบบประสานกัน หรือเรียกอีกอย่างคือการออกแบบสัญญาณไฟจราจร

แบบคงที่ โดยแยกการออกรอบสัญญาณไฟ และเวลาไฟเขียวให้เหมาะกับปริมาณจราจรในช่วงเวลาที่กำหนด และวางแผนไว้ เช่นในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า เย็น หรือ นอกช่วงเวลาเร่งด่วน

การคำนวณสัญญาณไฟจราจรแบบประสาน รวมถึงคำนวณรอบเวลาสัญญาณไฟ เวลาไฟเขียว ของแต่ละทางแยกในโครงข่าย และคำนวณเวลาออฟเซต (Offset Time) คือการคำนวณเวลาเริ่มของสัญญาณไฟเขียว อาศัยของมูลดังนี้

1) โครงข่ายทางแยก
2) ระยะทางระหว่างทางแยก,lc (m) วัดจากเส้นหยุดจนถึงเส้นหยุดของอีกทางแยก
3) ความเร็วเฉลี่ยของกลุ่มรถ,Vc (km/h) โดยไม่มีการสอดแทรก จะได้เวลาเดินทาง, tc=3.6lc/Vc (s)
4) ปริมาณกระแสจราจรของแยกต้นทาง
5) ลักษณะการไหลของกลุ่มรถโดยพิจารณาถึงความเร็วของยานพาหนะที่แตกต่างกัน

การคำนวณสัญญาณไฟจราจรแบบประสานเพื่อให้ได้ความต่อเนื่องของกระแสจราจรนับว่ามีความยุ่งยากมากโดยเฉพาะโครงข่ายที่ต้องการความต่อเนื่องของกระแสจราจรสองทิศทาง ด้วยเหตุผลนี้จึงมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากมายที่ถูกพัฒนา เช่น TRANSYT, SCOOT หรือ SCAT เป็นต้นสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในโครงข่ายทางแยกขนาดใหญ่

2.6 ดัชนีชี้วัดทางด้านจราจร

2.6.1 ความล่าช้า (Delay)

คือเวลาที่สูญเสียไปในขณะเดินทาง ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาสภาพการจราจรติดขัดและระบบที่ใช้ควบคุมการจราจร หรือสาเหตุอื่น ๆ ซึ่งในบางครั้งผู้ขับขี่ไม่สามารถจัดการได้ โดยความล่าช้าที่เกิดขึ้นจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

2.6.1.1 ความล่าช้าคงที่ (Fixed Delay)

เป็นความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากระบบควบคุมการจราจรซึ่งต้องเกิดขึ้นเสมอ ไม่ว่าสภาพจราจรจะมีน้อย หรือมากกว่า เช่น ความล่าช้าที่เกิดขึ้นบริเวณทางแยก โดยอาจจะเป็นทางแยกควบคุมสัญญาณไฟโดยจราจร ไฟกระพริบ ป้ายหยุด ป้ายระวัง หรือจุดตัดกับทางรถไฟ เป็นต้น

2.6.1.2 ความล่าช้าจากปัญหาจราจร (Operational Delay)

เป็นความล่าช้า ที่มีสาเหตุมาจากความขัดแย้งในส่วนของกระแสจราจร ซึ่งอาจเป็นผลจากการจราจรในส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น รถจอด รถเลี้ยว คนข้ามถนน รถเสีย รถจอดซ้อนคัน หรือรถวิ่งตัดกัน นอกจากนั้นยังเป็นผลมาจากสภาพการจราจรในตัวมันเอง เช่น การติดขัดเนื่องจากปริมาณรถมาก ความจุของถนนไม่เพียงพอ และลักษณะที่มีการแทรกเข้าหา หรือออกตัวไปจากกระแสจราจร

2.6.1.3 ความล่าช้าในการเดินทาง (Travel Delay)

คือผลต่างระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางจริง ๆ บนช่วงเส้นทางที่ศึกษา กับเวลาที่ควรจะใช้ถ้าวิ่งด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยปกติ และการจราจรมีสภาพคล่องตัวไม่ติดขัด หรือก็คือความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชะลอ (deceleration) เพื่อที่จะหยุด หรือการเร่ง (acceleration) เพื่อจะเคลื่อนที่ตอนออกตัวของรถจากสภาพหยุดหรือช้าให้เร็วขึ้น

2.6.1.4 ความล่าช้าจากการหยุด (Stopped-Time Delay)

เป็นช่วงเวลาที่รถไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในระหว่างการเดินทางบนช่วงเส้นทางที่ศึกษา ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น

2.6.2 ความเร็วและเวลาในการเดินทาง (Speed and Travel Time)

โดยนิยามแล้ว ความเร็ว คือ อัตราการเคลื่อนที่ในหน่วยระยะทางต่อเวลา หรือคือส่วนกลับของเวลาที่ยวดยานใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะทางที่กำหนด คูณด้วยระยะทางนั้น โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s = \frac{d}{t} \tag{2.9}$$

โดยที่ s คือ ความเร็ว หน่วย ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h)

d คือ ระยะทางที่เดินทางได้ หน่วย กิโลเมตร (km)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทาง หน่วย ชั่วโมง (h) หรือ วินาที (s)

ในกระแสจราจร ยวดยานแต่ละคันจะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การอธิบายคุณสมบัติความเร็วของกระแสจราจรจึงใช้ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วของยวดยานในกระแสจราจรในการอธิบายคุณสมบัติดังกล่าว และจำเป็นต้องใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแทนความเร็วของยวดยานทั้งหมดในกระแสจราจร สำหรับอธิบายลักษณะของกระแสจราจรนั้น

2.6.2.1 Time mean speed และ Space mean speed

ความเร็วเฉลี่ยสามารถคำนวณหาได้ 2 วิธี และให้ค่าที่แตกต่างกัน ได้แก่

1) ความเร็วเฉลี่ยที่อิงเวลา (Time Mean Speed) (TMS) เป็นค่ากลางทางคณิตศาสตร์ของความเร็ว ของยวดยานที่ขับผ่านจุดใดจุดหนึ่งบนถนน

สูตรที่ใช้ในการหาความเร็วเฉลี่ยที่อิงเวลา คือ

$$\bar{u}_t = \frac{1}{n}\sum_{n_i=1}^{n} u_i \qquad (2.10)$$

โดยที่ $\overline{u_t}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยที่อิงเวลา

n คือ จำนวนยวดยานที่ทำการสำรวจ

$\overline{u_i}$ คือ ความเร็วของยวดยานคันที่ i

2) ความเร็วเฉลี่ยที่อิงระยะทาง (Space Mean Speed) (SMS) เป็นค่ากลางของความเร็วยวดยานที่ผ่านช่วงของถนนที่กำหนด

สูตรที่ใช้ในการหาความเร็วเฉลี่ยที่อิงระยะทาง คือ

$$\overline{u_s} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\overline{u_i}}} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \qquad (2.11)$$

โดยที่ $\overline{u_s}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยที่อิงระยะทาง

n คือ จำนวนยวดยานที่ทำการสำรวจ

L คือ ช่วงถนนที่กำหนดไว้ (ค่าคงที่)

t_i คือ เวลารถคันที่ i ใช้ขับผ่านช่วงถนนที่กำหนดไว้

u_i คือ ความเร็วของยวดยานคันที่ i

จากหลักคณิตศาสตร์ TMS เป็นการหาค่าเฉลี่ยในลักษณะของค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) และ SMS เป็นการหาค่าเฉลี่ยในลักษณะค่าเฉลี่ยฮาโมนิค (Harmonic mean) ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจรส่วนมากจะใช้ค่า SMS เป็นหลัก

2.6.2.2 ความเร็วเดินทางเฉลี่ยและความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย (Average travel speed and Average running speed)

ความเร็วเดินทางเฉลี่ยและความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย เป็นค่าเฉลี่ยของความเร็วในรูปของ Space mean speed ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมจราจร ค่าเฉลี่ยทั้งสองแบบ มีวิธีการคำนวณเหมือนกัน โดยการนำระยะทางมาหารด้วยค่าเฉลี่ยของเวลาที่ยวดยานทั้งหมดเคลื่อนที่ในช่วงถนนที่กำหนด แต่จะแตกต่างกันที่องค์ประกอบของเวลาที่นำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งได้แก่ เวลาในการเดินทาง และเวลารถวิ่ง

เวลาในการเดินทาง (Travel time) คือ เวลาทั้งหมดที่ยวดยานใช้ในการเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ขณะที่ เวลารถวิ่ง (Running time) คือ เวลาทั้งหมดเฉพาะช่วงที่รถวิ่งที่ใช้ใน

การเดินทางในช่วงถนนหรือระยะทางที่กำหนด ความแตกต่างกันระหว่างเวลาทั้งสองประเภทนี้คือ กรณีเวลารถวิ่ง จะไม่นำความล่าช้าที่เกิดจากการหยุดรถ (Stopped delays) มาพิจารณาเป็นเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ขณะที่เวลาในการเดินทาง จะนำความล่าช้าดังกล่าวมาพิจารณาร่วมด้วย ดังนั้น ความเร็วเดินทางเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลาในการเดินทางเฉลี่ย และความเร็วรถวิ่งเฉลี่ย จะอ้างอิงกับเวลารถวิ่งเฉลี่ย

2.6.3 ทฤษฎีแถวคอย

แถวคอยหรือ (Queue) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้มารับบริการ (Arrival) เข้ามารับบริการในหน่วยบริการ (Service Units) และยังไม่สามารถรับบริการได้ทันที ดังนั้นผู้มารับบริการจึงต้องใช้เวลาในการรอเพื่อรับบริการ เมื่อมองในมุมของโครงข่ายจราจร จะสามารถกล่าวถึงความหมายของแถวคอยได้ว่า เมื่อมียานพาหนะเคลื่อนที่มาถึงทางแยกหนึ่ง ๆ แต่ไม่สามารถผ่านทางแยกไปได้ในทันที ก็จะส่งผลให้เกิดเป็นแถวคอยเพื่อรอสัญญาณไฟจราจร ดังนั้น หากมีการออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพแล้วจะทำให้แถวคอยที่เกิดขึ้นจากการรอสัญญาณไฟเขียวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณพื้นที่ที่เป็นโครงข่ายที่มีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรอยู่ใกล้กัน หากมีการออกแบบให้รอบสัญญาณไฟจราจรมีการทำงานที่ประสานสัมพันธ์กันจะช่วยลดความยาวของแถวคอยที่จะเกิดขึ้นจากการรอสัญญาณไฟเขียวได้

2.6.4 ระดับการให้บริการ (Level of Service)

เป็นการวัดเชิงคุณภาพที่บอกถึงสภาพการจราจร และประเมินระดับความติดขัดหรือคล่องตัวบนถนนซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความเร็วและเวลาในการเดินทาง อิสระในการขับขี่ การเลือกใช้ความเร็วและความปลอดภัย สำหรับรูปแบบการประเมินระดับการให้บริการ ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของถนน นั่นคือ ตัวแปรที่ใช้อธิบายคุณภาพของถนนที่เป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพ เกณฑ์ที่ใช้กำหนดระดับการให้บริการอ้างอิงตาม Highway Capacity Manual (2000) ดังตารางที่ 2.3 ถึงตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.3 : ระดับการให้บริการบริเวณช่วงถนนสำหรับถนนที่อยู่ในเมือง จะนิยามโดยใช้ตัวชี้วัดด้านงานจราจร คือ ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ของการเดินทางบนถนนช่วงนั้น โดยแบ่งระดับการให้บริการ ดังนี้

ค่าระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS)	**ความเร็วเฉลี่ย** (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
LOS A	> 41
LOS B	> 32 – 41
LOS C	> 23 – 32
LOS D	> 18 – 23
LOS E	> 14 – 18
LOS F	≤ 14

ที่มา: Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000)

ตารางที่ 2.4 : แสดงการวิเคราะห์ระดับให้บริการของทางแยกมีสัญญาณไฟ และทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟ (From HCM 2000)

Level of Service	Signalized Intersection	Unsignalized Intersection
A	≤ 10 sec	≤ 10 sec
B	10 – 20 sec	10 – 15 sec
C	20 – 35 sec	15 – 25 sec
D	35 – 55 sec	25 – 35 sec
E	55 – 80 sec	35 – 50 sec
F	≥ 80 sec	≥ 50 sec

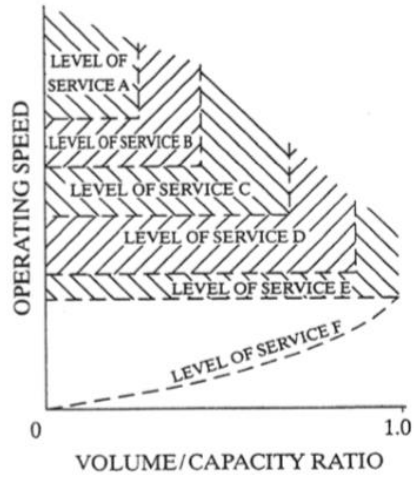
ที่มา: Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000)

ตารางที่ 2.5 : แสดงการวิเคราะห์ระดับการให้บริการของถนน

Level of Service	Density Range for Basic Freeway Section (pc/mi/ln)	Density Range for Multilane Highways (pc/mi/ln)
A	>= 0 <=11	>= 0 <=11
B	>= 11 <=18	>= 11 <=18
C	>= 18 <=26	>= 18 <=26
D	>= 26 <=35	>= 26 <=35
E	>= 35 <=45	>= 35 <=(45 – 45) (Depending on FFS)
F	>45	>(45-45) (Depending on FFS)

ที่มา: Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000)

ในปี ค.ศ. 1965 Highway Capacity Manual (HCM) ได้เสนอแนวคิดในการประเมินสภาพการจราจรและประสิทธิภาพของถนนด้วย ระดับการให้บริการ (Level of Service, LOS) ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 : แผนภาพจำแนกระดับการให้บริการ

<u>คำอธิบายค่าระดับการให้บริการแต่ละระดับ</u>

- **ระดับการให้บริการ A (LOS A)** เป็นระดับการให้บริการที่ยวดยานแต่ละตันจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นการไหลแบบอิสระ การสัญจรของยวดยานแต่ละคันจะไม่รบกวนกันในกระแสการจราจรมีอิสระในการขับรถและสามารถเลือกใช้ความเร็วได้ตามต้องการ เป็นระดับที่มีความสะดวกสบายต่อคนขับมากที่สุด
- **ระดับการให้บริการ B (LOS B)** เป็นระดับการให้บริการที่มีค่าของความเร็วในการขับขี่ใกล้เคียงกับความเร็วการไหลอิสระ (Free-flow speed) แต่จะมีรถเพิ่มขึ้นในกระแสจราจรจนสังเกตได้ อิสระในการเคลื่อนที่ การแซงจะเริ่มลดลง ระดับความสะดวกสบายจะลดลงจาก LOS A
- **ระดับการให้บริการ C (LOS C)** เป็นระดับการให้บริการที่ความเร็วในการขับขี่จะถูกกระทบกับรถคันอื่น และการแซงจะต้องมีความระมัดระวังค่อนข้างมาก ระดับความสะดวกสบายเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด ถ้าเกิดอุบัติเหตุบนถนนจะทำให้เกิดแถวคอย (queue) และความล่าช้าขึ้น แต่ในกรณี LOS A และ LOS B จะมีผลต่อการไหลน้อย
- **ระดับการให้บริการ D (LOS D)** เป็นระดับการให้บริการที่ความเร็วในการขับขี่เริ่มจะลดลง มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น ความอิสระในการใช้ความเร็วและในการแซงจะถูกจำกัดลงอย่างมาก ระดับความสะดวกสบายค่อนข้างจะแย่ เมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นบนถนนจะทำให้เกิดแถวคอยยาว

- **ระดับการให้บริการ E (LOS E)** เป็นระดับการให้บริการที่มีปริมาณจราจรเข้าใกล้ระดับความจุของถนน ความอิสระในการแซงมีน้อยมาก ระดับความสะดวกสบายค่อนข้างจะแย่ ถ้ามีการเปลี่ยนช่องการจราจร ส่งผลให้เกิดความล่าช้ากับกระแสจราจรเป็นอย่างมาก
- **ระดับการให้บริการ F (LOS F)** เป็นระดับการให้บริการที่มีสภาพการจราจรติดขัด มีแถวคอยเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณการจราจรเกินระดับความจุของถนนจะส่งผลให้ยวดยานมีการชะลอและหยุดกันบ่อยขึ้น เป็นระดับการให้บริการที่มีสภาพการไหลไม่คงตัว

ตัวอย่างภาพแสดงระดับการให้บริการ (Level of Service : LOS) ในแต่ละระดับ แสดงดังรูปที่ 2.22

รูปที่ 2.22 : ตัวอย่างภาพแสดงระดับการให้บริการ (Level of Service: LOS)

2.7 การจำลองสภาพการจราจร

ในทางวิศวกรรมขนส่งการจำลองส่วนใหญ่จะหมายถึงการจำลองสภาพการจราจร (Traffic Simulation) คือการสร้างแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของลักษณะสภาพการจราจรที่เกิดขึ้น จริงบนท้องถนนทางแยกหรือโครงข่ายถนนหนึ่งๆได้เพื่อนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้มาใช้วิเคราะห์สภาพการจราจรที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบผลที่ได้กับสภาพจราจรที่เกิดขึ้นจริงเป็นการนำเสนอสภาพการจราจร โดยการแสดงในรูปของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสุ่มตัวอย่างโดยการสังเกตและเก็บข้อมูลทางสถิติผ่านทางแบบจำลองสภาพการจราจร (Traffic Modeling)

แบบจำลองสภาพการจราจร (Traffic Modeling) คือ รูปแบบการนำเสนอหรือชิ้นงานที่ได้จากการจำลองสภาพการจราจรเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การเดินทางโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกทั้งยังเป็นการแสดงพฤติกรรมของยวดยานและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนโครงข่ายถนนอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น

- ปริมาณยวดยานที่วิ่งบนถนน
- ทางรถไฟ
- ช่องทางเดินรถประจำทาง
- ทางกลับรถ
- การจัดจังหวะสัญญาณไฟจราจร
- อุบัติเหตุ
- ช่องทางรถบรรทุก
- ช่องทางใช้ความเร็วสูง
- แถวคอย

ที่กล่าวมาข้างต้นจะเรียกเป็นรูปแบบการจำลองระดับมหภาค (Macroscopic Simulation) ซึ่งนอกจากนี้ยังมีการจำลองระดับจุลภาค (Microscopic Simulation) ที่มีความละเอียด และซับซ้อนยิ่งขึ้นการจำลองระดับจุลภาคเป็นการคำนึงถึงพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคันการขับขี่ของยวดยานการเพิ่มความเร็วลดความเร็วและหยุดของคันหน้าจะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับตามมาแต่มักจะไม่มีการคำนึงถึงพฤติกรรมการขับขี่ที่ได้รับผลกระทบมาจากพฤติกรรมการขับขี่ของยวดยานข้างเคียง นอกจากนี้ยังใช้ได้กับพฤติกรรมดังต่อไปนี้

- การควบคุมการปล่อยรถ
- การออกแบบด่านเก็บค่าผ่านทาง
- การควบคุมการจราจรในเมือง
- การจัดการจราจรในพื้นที่กว้าง
- ปฏิกิริยาของคนเดินเท้าและผู้ขับขี่ยวดยาน
- ความผิดปกติของแผนผังและทางแยกที่ซับซ้อน

- การจัดการเหตุการณ์ต่าง ๆ
- การบริการฉุกเฉิน

2.8 โปรแกรมจำลองสภาพการจราจร

ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้สำหรับการจำลองสภาพการจราจรเป็นจำนวนหลายโปรแกรม ซึ่งแต่ละโปรแกรมจะมีคุณสมบัติ ความสามารถและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันไปการเลือกใช้งานจึงมีความจำเป็น โดยจะต้องทำการประเมินถึงความเหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองให้มีความน่าเชื่อถือและให้มีความแม่นยำมากที่สุด ตัวอย่างโปรแกรมสำหรับการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคได้แก่

2.8.1 โปรแกรม AIMSUN

โปรแกรม AIMSUN ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย J. Barcelo และ J.L. Ferrer ณ The Polytechnic University of Catalunya เมือง Barcelona ประเทศสเปน และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการดูแลในเชิงการค้าโดย Transport Simulation Systems หรือ TSS โปรแกรม Aimsun เป็นชุดเครื่องมือที่ใช้ในการวางแผนการขนส่ง การจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาคและการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านการจราจร AIMSUN's Micro Simulation User's Manual Version 5.1, 2006

โปรแกรม AIMSUN เป็นโปรแกรมที่ได้รับอนุญาตให้มีการเพิ่มเติมส่วนประกอบลงไปในตัวโปรแกรมได้อย่างไม่จำกัดจำนวน ทั้งส่วนที่ได้ทำการผลิตโดย Transport Simulation Systems หรือ TSS และส่วนที่ถูกพัฒนาโดยผู้ใช้งาน ซึ่งผู้ใช้งานจะสามารถทำการเข้าถึงตัวแกนหลักของโปรแกรม AIMSUN ได้และทำการปรับแต่งความสามารถของตัวโปรแกรมได้เหมือนกับที่กระทำโดย TSS โปรแกรม AIMSUN สามารถแบ่งองค์ประกอบตามลักษณะการใช้งานได้ 4 ส่วน ดังนี้

- Aimsun Simulation เป็นส่วนของโปรแกรมที่สามารถจำลองสภาพการจราจรในโครงข่ายถนนได้หลายรูปแบบ เช่น ถนนในเมือง ทางด่วน (Freeway) ทางหลวง (Highway) ถนนวงแหวนรวมถึงโครงข่ายของถนนในหลายๆ รูปแบบ และยังมีความสามารถในการแบ่งแยกชนิดของยานพาหนะและผู้ขับขี่ได้ โดยพฤติกรรมของยานพาหนะทุกคันในโครงข่ายถนนนั้นจะถูกจำลองอย่างต่อเนื่องตลอด โดยจะอ้างอิงกับแบบจำลองพฤติกรรมของผู้ขับขี่ (แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกัน แบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร แบบจำลองการยอมรับช่องว่าง) ในส่วนของ Aimsun Simulation ยังทีความสามารถในการจำลองการเกิดอุบัติเหตุ การจำลองการควบคุมการจราจรต่าง ๆ โดยให้ความสำคัญกับระบบขนส่งสาธารณะ การใช้เครื่องมือทางด้านการจราจร เช่น สัญญาณไฟจราจร เป็นต้น การประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากการ

ปล่อยมลภาวะ การใช้พลังงาน การให้รายละเอียดของผลลัพธ์ในเชิงสถิติ เช่น อัตราการไหล ความเร็วของยานพาหนะ ระยะเวลาในการเดินทาง เป็นต้น

- Aimsun Modeller โปรแกรม Aimsun เป็นโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้นำไปใช้ได้กับสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถนำเข้าและจัดการกับข้อมูลทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS/Geographic Information System) โดยโปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูล CAD และ Bitmap จากแหล่งข้อมูล ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถแก้ไขและนำเสนอโครงการแปลข้อมูลจากโปรแกรมอื่น ๆ ได้ เช่น จากโปรแกรม EMME/2, โปรแกรม SATURN เป็นต้น
- Aimsun Planner เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการจราจร โดยมีจุดประสงค์หลัก 2 ข้อคือเพื่อสนับสนุนกระบวนการทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับการคำนวณเมตริกการเดินทางระหว่างต้นทางถึงปลายทาง (Origin Destination Matrix) ซึ่งมีความจำเป็นในการวิเคราะห์ความต้องการทางด้านการจราจร สำหรับการวางแผนการขนส่ง และเพื่อทำให้มีแพล็ตฟอร์มการคำนวณสำหรับการจัดการของเมตริกการเดินทางระหว่างต้นทางถึงปลายทาง เพื่อสร้างข้อมูลสำหรับเข้าสู่การจำลองสภาพการจราจรในระดับจุลภาค
- Aimsun Sever เป็นส่วนที่ไม่มีการต่อประสานทางด้านกราฟฟิกกับผู้ใช้งานและสามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเครือข่าย สำหรับเมื่อทีความต้องการในการประมวลผลที่เร็วกว่าเวลาจริง เช่น เมื่ออยู่ในศูนย์ความคุมกลางเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแผนการดำเนินการจัดการจราจรก่อนที่จะมีการนำไปใช้จริง

2.8.2 โปรแกรม CORSIM (Netsim)

Corridor Simulation หรือ CORSIM เป็นส่วนหนึ่งของ Traffic Software Integrate (TSIS) ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration (2003) ประเทศสหรัฐเมริกา โดยจะปรกอบไปด้วยโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรจำนวน 2 โปรแกรม NETSIM หรือ TRAFNETSIM ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคบนโครงข่ายถนน และทางแยกระดับเดียวกัน และโปรแกรม FRESIM ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำลองสภาพการจราจรบนระบบทางด่วนที่มีลักษณะไปในทางเรขาคณิตที่มีความซับซ้อน เช่น Lane Add/Drops, Auxiliary Lane, การเปลี่ยนแปลงความลาดชัน และการยกโค้ง เป็นต้น โดยโปรแกรม FRESIM จะสามารถจำลองสภาพการจราจรบนทางด่วนได้หลายรูปแบบ เช่น Lane Changing, On ramp Metering และสิ่งอำนวยความสะดวกบนทางด่วนรูปแบบอื่น ๆ ผลจากการรวมโปรแกรมทั้ง 2 โปรแกรมนี้เข้าด้วยกันทำให้ CORSIM สามารถจำลองได้ทั้งระบบโครงข่ายถนนทั่วไปในระดับเดียวกัน และในระบบทางด่วน รวมถึงระบบโครงข่ายถนนที่ผสมผสานกันระหว่างโครงข่ายถนนทั่วไป (ระดับเดียวกัน) กับระบบโครงข่ายแบบทางด่วน (ยกระดับ) โดยข้อมูลที่ถูกรายงานออกมาจากผลการจำลองของโปรแกรม CORSIM นั้นจะประกอบด้วย Total Delay, Stop Delay, Total Stops, Stops/Vehicle,

Maximum Queue Length, Fuel Consumption, ระยะทางม ระยะเวลาในการเดินทาง รวมถึงระดับมลภาวะที่เกิดขึ้น Kaseko (2002)

2.8.3 โปรแกรม Synchro/Sim Traffic

โปรแกรม Synchro/Sim Traffic เป็นชุดของโปรแกรมคู่ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Trafficware เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ระบบสัญญาณไฟจราจร และการจำลองสภาพการจรราจรที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window โดยได้รับความนิยมและมีการนไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะหน่วยงานและบริษัทที่ปรึกษาทางด้านวิศวกรรมจราจรและวิศวกรรมขนส่งในประเทศสหรัฐเมริกา Kaseko (2002) โยโปรแกรม Synchro และโปรแกรม Sim Traffic มีการทำงานที่แยกกัน ดังนี้

- โปรแกรม Synchro เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการปรับรอบสัญญาณไฟจราจรของโครงข่ายถนนทั้งบริเวณทางแยกและทางแยกเดี่ยวให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยอาศัยหลักการในการลดความล่าช้าของการเดินทางและจำนวนครั้งของการหยุดรถบริเวณทางแยกลงให้เหลือเป็นจำนวนที่น้อยที่สุดโดยความสามารถหลักของโปรแกรม คือ เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ความจุของบริเวณทางแยกที่ถูกควบคุมด้วยระบบสัญญาณไฟจราจร สามารถออกแบบรอบสัญญาณไฟจราจรให้ทำงานประสานกันแบบต่อเนื่องหลายทางแยก ทั้งแบบที่มีเครื่องควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรแบบเดี่ยวหรือแบบที่มีเครื่องควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรหลายเครื่อง และสามารถออกแบบระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรบริเวณทางแยกได้ โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม Synchro ที่ได้จะแระกอบด้วยค่า Total Delay, Stop Delay, Total Stop, Stop/Vehicle, LOS, Maximum Queue Length, Queue Penalty, Dilemma Vehicles, Fuel Consumption, ระยะทางม ระยะเวลาในการเดินทาง และระดับมลภาวะที่เกิดขึ้น นอกจากนี้โปรแกรม Synchro ยังมักจะถูกใช้งานสำหรับเตรียมข้อมูลเพื่อนำข้อมูลเข้าโปรแกรม Sim Traffic, โปรแกรม CORSIM, โปรแกรม HCS, โปรแกรม TEANSYT – 7F, โปรแกรม Passer และ โปรแกรม Vissim อีกด้วย Kaseko (2002)
- โปรแกรม Sim Traffic เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้สำหรับการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค โดยมีความสามารถหลักคือ สามารถจำลองสภาพการจราจรและนำเสนอผลการจำลองในลักษณะเป็นภาพเคลื่อนไหวของยานพาหนะและคนเดินเท้า ทั้งในบริเวณที่ถูกควบคุมและไม่ถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรบนถนนภาคพื้นดิน และในระบบทางด่วนได้ โดยข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรชองโปรแกรม Sim Traffic จะถูกวิเคราะห์โดยโปรแกรม Synchro ก่อนได้แก่ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนน ข้อมูลปริมาณจราจร และข้อมูลรอบสัญญาณไฟจราจรเป็นต้น

สำหรับข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่โปรแกรม Sim Traffic โดยตรงได้แก่ ข้อมูลลักษณะของยานพาหนะและพฤติกรรมในการขับขี่ยานาพาหนะ

- โปรแกรม Parallel Microscopic Simulation (Quad stone Paramics)

  โปรแกรม Paramics ถูกพัฒนาขึ้นที่ Edinburgh Parallel Computing Center โดยบริษัท Quadstone Ltd. ในสหราชอาณาจักร เพื่อใช้สำหรับการจำลองพฤติกรรมและลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเดี่ยวและระบบขนส่งมวลชน ทั้งระบบโครงข่ายถนนท้องถิ่น และระบบโครงข่ายทางด่วนระดับประเทศ โปรแกรม Paramics มีลักษณะที่แตกต่างจากโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรอื่น ๆ คือเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ UNIX แต่สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Window ได้โดยอาศัยโปนแกรม Hummingbird เป็นตัวจำลองสภาพแวดล้อมของระบบปฏิบัติการ UNIX บนระบบปฏิบัติการ Window เพื่อโปรแกรมสามารถทำงานได้ Choa, et. Al. (2003) การทำงานของโปรแกรม Paramics จะอาศัยการทำงานประสานกันของ 3 โปรแกรมย่อยที่อยู่ภายใน ได้แก่ โปรแกรม Modeler ซึ่งมีคุณสมบัติในการจำลองโครงข่ายถนน, โปรแกรม Analyzer ใช้สำหรับการวิเคราะห์ แสดงผลการจำลองสภาพการจราจร และโปรแกรม Processor ซึ่งใช้ในการจำลองสภาพการจราจร ทวี วิชัยเมธาวี (2546) โปรแกรม Paramics เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจำลองโครงข่ายถนนที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ซึ่งขนาดของโครงข่ายถนนที่โปรแกรมรองรับได้นั้น จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการ Run โปรแกรม นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการแสดงภาพการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแต่ละคันได้ทั้งแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ ซึ่งยังสามารถใช้สีที่แตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลอง ช่วยเพิ่มความเข้าใจและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการ การวางแผนการจัดการจราจร รวมทั้งการวิเคราะห์และการประเมินนโยบายทางด้านการขนส่งทั้งในระดับพื้นที่ย่อย และในระดับยุทธศาสตร์

- โปรแกรม VISSIM

  โปรแกรม *VISSIM* เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกที่ University of Karlsruhe ประเทศเยอรมนี ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1970 และถูกพัฒนาต่อโดยบริษัท Planning Transport Verkehr หรือ PTV ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่ใช้สำหรับการวางแผนสำหรับการคมนาคมขนส่งและงานด้านวิศวกรรมจราจร โปรแกรม VISSIM เป็นโปรแกรมที่ถูกใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทั้งในระบบโครงข่ายถนนในเขตเมืองและในระบบทางด่วนแบบอเนกประสงค์ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถหลากหลายทั้งการจำลองและการวิเคราะห์สภาพการจราจรในรูปแบบและเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น รูปแบบวงเวียน ทางแยกทั้งที่ถูกควบคุมและถูกควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร ทางต่างระดับ ด่านเก็บเงินค่าผ่านทาง และ Ramp

Meter เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการรายงานผลของการจำลองประกอบด้วย ตัวชี้วัดประสิทธิภาพต่าง ๆ ด้านการจราจร เช่น เวลาในการเดินทางความล่าช้าในการเดินทาง ความยาวแถวคอย ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ย จำนวนครั้งของการหยุดรถ เป็นต้น ระดับมลภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการจราจร ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกอีกด้วย Kaseko (2002) โปรแกรม VISSIM จะประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่แตกต่างกันจำนวน 2 โปรแกรม PTV (2005) ได้แก่

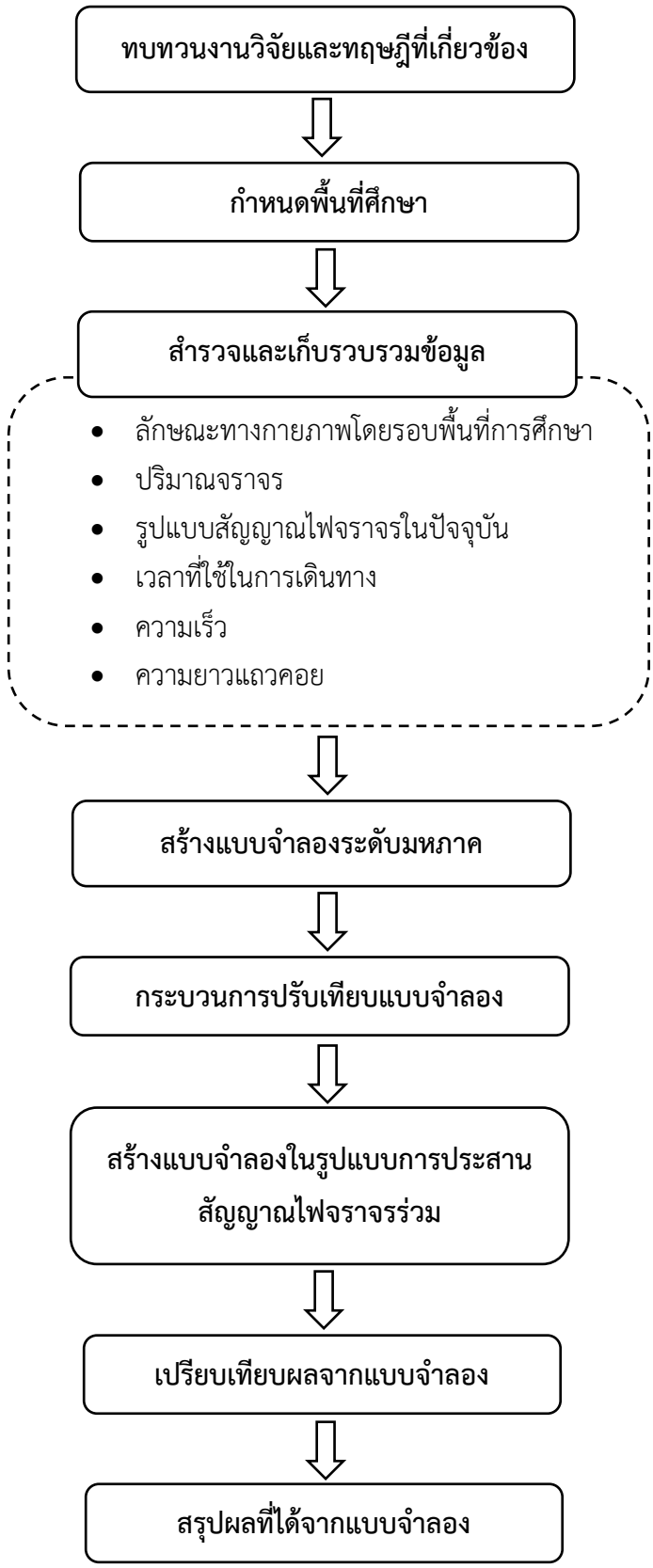
- โปรแกรมสร้างสภาวะการควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจร (Signal State Generator) เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณสภาวะการควบคุมของระบบสัญญาณไฟจราจรใน Time Step ถัดไป โดยจะรับข้อมูลสภาพการจราจรของ Time Step ปัจจุบันที่มีความจำเป็นสำหรับใช้ในการคำนวณ Traffic Simulation จากนั้นจะทำการคำนวณ พร้อมทั้งส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับไปยัง Traffic Simulator อีกครั้ง เพื่อใช้สำหรับเป็นเงื่อนไขในการปรับปรุงสถานการณ์สำหรับการจำลองสภาพการจราจรใน Time Step ต่อ ๆ ไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ ขั้นตอนการสำรวจและเก็บข้อมูลไปจนถึงขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการประสานสัญญาณไฟจราจร ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนของการดำเนินงานดังองค์ประกอบของวิธีการและขั้นตอนในการศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยสามารถอธิบายระเบียบการวิจัยได้ดังนี้

- กำหนดพื้นที่ศึกษา การวิจัยจะดำเนินการศึกษาแยกสัญญาณไฟจราจรในพื้นที่ที่ศึกษา โดยการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของถนน ปริมาณจราจร และระบบการใช้งานของสัญญาณไฟจราจรในปัจจุบัน
- การจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro พร้อมกับศึกษาตัวชี้วัดสภาพการจราจร ได้แก่ ความล่าช้าในการเดินทาง ความเร็วในการเดินทาง ความยาวของแถวคอย และระดับการให้บริการ เป็นต้น
- ทดลองปรับปรุงรูปแบบการใช้งานของระบบสัญญาณไฟจราจรเพื่อวิเคราะห์หารอบสัญญาณไฟที่ดีที่สุด ที่จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าที่น้อยลง แต่จะทำให้ความเร็วในการเดินทางนั้นเพิ่มขึ้น
- ศึกษาเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของโครงข่ายทั้งก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร
- สรุปผลและเสนอแนะการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.1 ขั้นตอนของการศึกษา



รูปที่ 3.1 : แสดงแผนผังขั้นตอนการศึกษา

3.2 พื้นที่ศึกษาและสภาพในปัจจุบัน

“ถนนพระราชดำริ” เป็นถนนที่พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร ทรงเห็นถึงความสำคัญของปัญหาจราจรที่นับวันมีแต่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเล็งเห็นถึงการจราจรที่ติดขัดบริเวณแยก อ.ส.ม.ท. จึงมีพระราชดำริให้ดำเนินการโครงการก่อสร้างถนนคู่ขนานถนนพระราม 9 โดยถนนพระราชดำรินี้เป็นโครงการก่อสร้างถนนคู่ขนานถนนพระราม 9 จากแยกเข้าวัดอุทัยธารามก่อนถึงทางด่วนขั้นที่ 2 ซึ่งมีการก่อสร้างในปี พ.ศ.2536 โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ทำการศึกษาคือ ถนนพระราชดำริบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรโดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกันตั้งแต่แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) ผ่านไปยังแยกอาร์ ซี เอ (RCA) และไปสิ้นสุดที่บริเวณแยกสัญญาณไฟด้านหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท โดยมีระยะห่างระหว่างทางแยกอยู่ที่ 500 – 600 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งบริเวณที่ทำการศึกษานี้ปัจจุบันมีปริมาณจราจรที่ค่อนข้างมาก เนื่องจากบริเวณพื้นที่สองข้างทางประกอบด้วยอาคารที่พักอาศัย และอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ที่มีการเข้า – ออกของปริมาณจราจรบริเวณแยกวัดอุทัยธารามจำนวนมาก รวมถึงยังเป็นจุดเชื่อมต่อไปยังทางพิเศษศรีรัชด้วย โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนจะมีการสัญจรของรถอย่างหนาแน่นจนทำให้เกิดแถวคอยขึ้น ซึ่งจากการสำรวจพบว่าแถวคอยของแต่ละทางแยกนั้นมีแถวคอยที่ยาวแต่ไม่สัมพันธ์กันเนื่องจากลักษณะรอบสัญญาณไฟที่ใช้อยู่นั้นไม่สอดคล้องกัน ยกตัวอย่างเช่น ในแยกอาร์ ซี เอ มีแถวคอยในทิศมุ่งตะวันตกยาว 390 เมตร ซึ่งเกินครึ่งของระยะห่างระหว่างทางแยกทำให้รถที่มาจากแยกโรงพยาบาลปิยะเวทจะมาสะสมที่แยกอาร์ ซี เอ ทำให้เกิดความล่าช้าในการรอสัญญาณไฟเขียวเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 3.2 : แสดงภาพถ่ายบริเวณพื้นที่การศึกษา

3.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

ในการรวบรวมข้อมูลสภาพจราจรและลักษณะเรขาคณิตของทางแยกที่ศึกษา จะทำโดยการเก็บข้อมูลปริมาณจราจรที่ทางแยกตามทิศทางในหลายๆ ช่วงเวลาเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรในแต่ละช่วงเวลา โดยอย่างน้อยจะต้องทราบปริมาณจราจรในช่วงเร่งด่วนเช้า เร่งด่วนเย็น และนอกเวลาเร่งด่วนตอนกลางวัน นอกจากนั้นควรต้องเก็บข้อมูลจราจรทั้งในวันทำงาน (Weekday) และวันหยุด (Weekend) ด้วย การสำรวจปริมาณจราจรด้านวิศวกรรมจราจร หมายถึง การนับจำนวนรถซึ่งแล่นผ่านบริเวณที่กำหนด เพื่อหาค่าความจุของถนน เพื่อการประเมินสภาพการจราจรและระดับการให้บริการ เพื่อวางแผนระบบควบคุมการจราจร เพื่อออกแบบระบบจราจร และเพื่อคาดการณ์ปริมาณจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นข้อมูลจราจรจะเป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าถนนนั้นมีความสามารถที่จะรองรับปริมาณจราจรหรือไม่ มีอัตราการไหลเป็นอย่างไร เพื่อจะนำไปสู่การปรับปรุงที่ดีขึ้น

3.3.1 การเก็บข้อมูลกายภาพและลักษณะทางเรขาคณิต

ข้อมูลลักษณะทางแยกที่ศึกษา จะได้จากการสำรวจพื้นที่บริเวณที่ทำการศึกษาตั้งแต่แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 แยก RCA ไปจนถึงแยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท โดยในการเก็บข้อมูลทางกายภาพนั้น ประกอบไปด้วย ความกว้างของถนนต่อช่องจราจร จำนวนช่องจราจร ทิศทางการเลี้ยวบริเวณทางแยกแต่ละจุด รวมถึงระยะห่างจากแยกหนึ่งไปยังอีกแยกหนึ่ง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ใช้ถนนทั้งสิ้น

1) แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2

รูปที่ 3.3 : แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2

2) แยกอาร์ ซี เอ (RCA)

รูปที่ 3.4 : แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยก RCA

3) แยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท

รูปที่ 3.5 : แสดงลักษณะทางกายภาพบริเวณแยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท

3.3.2 การสำรวจข้อมูลสภาพจราจร

ผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิด้านการจราจรบริเวณทางแยก (Intersection) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการติดขัดของจราจร รวมถึงใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร ซึ่งการรวบรวมข้อมูลจราจรของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) แยก RCA และแยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท รวมถึงจะดำเนินการสำรวจความเร็วในการเดินทาง เพื่อสำรวจความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงการ สำหรับประเภทของยวดยานที่จะทำการรวบรวมจะสอดคล้องตามประเภทของยวดยานที่วิ่งอยู่บนถนนในปัจจุบัน ดังนี้

- รถจักรยานยนต์ 2 และ 3 ล้อ
- รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน
- รถโดยสารจนาดกลาง / รถโดยสารขนาดใหญ่
- รถบรรทุกขนาด 3 เพลา (10 ล้อ)

3.3.2.1 การนับปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Counts; MB)

การสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนนโดยแยกประเภทยานพาหนะและทิศทางการเดินทาง โดยวัตถุประสงค์ของการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน คือ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับแก้แบบจำลองจราจรและขนส่งให้เป็นปัจจุบัน โดยการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน โดยผู้วิจัยจะนับปริมาณจราจรโดยแยกทิศทางของรถที่วิ่งผ่านในแต่ละทิศทางของช่วงถนน และจะแยกประเภทของยานพาหนะออกเป็นประเภทต่าง ๆ ให้สอดคล้องตามประเภทของยวดยานที่วิ่งอยู่บนถนนในปัจจุบันและดำเนินการให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ด้านวิศวกรรมจราจร

3.3.2.2 การสำรวจปริมาณจราจรที่ทางแยก (Traffic Moment Counts; TMC)

การสำรวจปริมาณจราจรบนทางแยกทำให้ทราบสัดส่วนการเดินทางในทิศทางต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ณ ทางแยกนั้น ๆ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการจัดการจราจรบริเวณทางแยก เช่น การจัดระบบสัญญาณไฟจราจร และการคำนวณความล่าช้าจากการหยุดบริเวณทางแยก สำหรับการสำรวจนี้ โดยผู้วิจัยจะทำการนับปริมาณจราจรโดยแยกทิศทางของรถที่วิ่งผ่านในแต่ละทิศทาง (Approach) ของทางแยกโดยจะทำการสำรวจในวันเดียวกันกับการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid-Block Classified Counts)

รูปที่ 3.6 : การเก็บปริมาณจราจรโดยใช้วิธการตั้งกล้อง

3.3.3 ระยะเวลาการเก็บข้อมูล

ระยะเวลาการเก็บข้อมูลจะเก็บในหลายๆ ช่วงเวลาเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรในแต่ละช่วงเวลาดังนี้

- ช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Hour Count) จะเก็บข้อมูลประมาณ 4 ชั่วโมงต่อวัน โดยในวันทำงาน (Weekday) จะเก็บในช่วง 7.00 น. – 9.00 น. และ 16.00 น. – 18.00 น. ส่วนในวันหยุด (Weekend) จะเก็บในช่วง 8.00 น. – 10.00 น. และ 16.00 น. – 18.00 น. ทั้งนี้อาจขยายเวลาไปตามความเหมาะสมกับสภาพจราจรและพื้นที่
- ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak Hour Count) จะเก็บข้อมูลประมาณ 1-2 ชั่วโมง ในช่วงประมาณ 12.00 น. – 13.00 น. ของทั้งวันทำงาน (Weekday) และวันหยุด (Weekend)

3.3.4 ความเร็วของยานพาหนะ

การเก็บความเร็วจะทำการเก็บโดยใช้ Speed Gun เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วเฉพาะจุดที่สะดวกในการใช้งานโดย Speed Gun นี้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความเร็ววัตถุชนิดพกพาแสดงดังรูปที่ 3.7 ในที่นี้จะขอนำเสนอในการเก็บความเร็วพาหนะ สามารถใช้มือควบคุมการทำงาน ติดตั้งในรถยนต์ รวมถึงติดตั้งบนขาตั้งกล้องการทำงานของอุปกรณ์ Speed Gun จะส่งคลื่นความถี่คงที่ช่วงความยาวคลื่น 2.4 GHzเมื่อคลื่นที่ถูกปล่อยออกไปกระทบพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาเครื่องตรวจวัด คลื่นจะสะท้อนกลับมาโดยมีความยาวคลื่นขยับไปทางคลื่นสั้น (Blue Shift)ในทางตรงข้ามหากพาหนะมีการเคลื่อนที่ออกห่างเครื่องตรวจวัด คลื่นจะสะท้อนกลับมาโดยมีความยาวคลื่นขยับไปทางคลื่นยาว (Red Shift) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์อปเปลอร์ (Doppler Effect) ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถคำนวณและแสดงผลความเร็วบนอุปกรณ์ตรวจวัดทันที ความถี่สะท้อนกลับเปลี่ยนแปลงจากความถี่ที่ปล่อย(Frequency different) เป็นดังสมการ

$$\Delta f = \frac{2v}{c} f \qquad (3.1)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วของพาหนะที่เคลื่อนที่

c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 2.89×10^8 m/s

f คือ ความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกจาก Speed Gun ~2.4 GHz

รูปที่ 3.7 : การใช้อุปกรณ์ Radar Speed Gun ตรวจวัดความเร็วยานพาหนะ

3.3.5 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลหลัก ๆ 2 แหล่งด้วยกัน คือ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามโดยผู้วิจัยเอง และข้อมูลจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [A] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 : ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยกอาร์ ซี เอ (RCA)	แยกโรงพยาบาลปิยะเวท	ทางเข้า – ออกห้างสรรพสินค้า
ปริมาณจราจร	[A] + สำรวจ	[A] + สำรวจ	[A] + สำรวจ	สำรวจ
รอบเวลาของสัญญาณไฟจราจร **ช่วงเวลาเร่งด่วน**	สำรวจ	สำรวจ	สำรวจ	สำรวจ
รอบเวลาของสัญญาณไฟจราจร **นอกช่วงเวลาเร่งด่วน**	สำรวจ	สำรวจ	สำรวจ	สำรวจ
ความกว้างช่องจราจร	[A]	[A]	[A]	สำรวจ
จำนวนช่องจราจรและการจัดช่องจราจร	[A] + สำรวจ	[A] + สำรวจ	[A] + สำรวจ	สำรวจ

หมายเหตุ : [A] คือ ข้อมูลจากสำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร

3.4 แนวทางและรูปแบบของการวิเคราะห์ระบบสัญญาณไฟจราจร

การวิเคราะห์แนวทางและรูปแบบของระบบสัญญาณไฟอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์แนวทางและรูปแบบของระบบสัญญาณไฟโดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การควบคุมสัญญาณไฟ

แบบตั้งเวลาคงที่หลายแผน (Multiple time plan) การควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งกระตุ้น (Semi-actuated control) และ การควบคุมสัญญาณไฟแบบกระตุ้นเต็มที่ (Full actuated control) ดังแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การควบคุมสัญญาณไฟแบบตั้งเวลาล่วงหน้าหรือตั้งเวลาแน่นอน (Fixed Timed Signals) สัญญาณนี้จะมีเครื่องควบคุมเวลา ซึ่งได้มีการตั้งไว้ก่อนใช้งานโดยที่ลำดับของไฟเขียวในแต่ละทิศทางมีการกำหนดไว้ในตัวเครื่อง และความยาวของไฟเขียวมีการคำนวณเป็นค่าคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาใช้งาน ข้อเสียของสัญญาณไฟชนิดนี้อยู่ที่ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของยานพาหนะในกระแสจราจรเพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของเครื่องจึงต่ำ แต่ตัวเครื่องมีราคาถูกและรักษาซ่อมแซมได้ง่ายในปัจจุบันเมื่อสัญญาณไฟแบบนี้ถูกนำมาใช้ในทางแยกหลายแห่งบนถนนสายเดียวจนจะมีเครื่องปรับเวลาเริ่มของสัญญาณไฟเขียวติดไว้ในเครื่อง การปรับนี้อาจกระทำได้ด้วยคลื่นวิทยุหรือผ่านสายโทรศัพท์จากเครื่องคอมพิวเตอร์ของศูนย์ควบคุม ประโยชน์ที่ได้จากการปรับ คือการประสานของสัญญาณไฟเขียวที่แยกต่าง ๆ เพื่อลดการจอดรอไฟเขียวทุกทางแยก

2) การควบคุมสัญญาณไฟกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal) การควบคุมแบบนี้จะคล้ายกับการควบคุมแบบสัญญาณไฟกา หนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจรตรงที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร จากนั้นก็คา นวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยทา การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับบนถนนสายรองเท่านั้นและให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรมากเป็นหลัก โดยจะเปลี่ยนไปให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายรองเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับที่ติดตั้งไว้ตรวจพบปริมาณจราจร หรือเมื่อสัญญาณไฟเขียวบนถนนสายหลักสิ้นสุด การควบคุมนี้มีข้อเสียคือ ในบางเหตุการณ์ที่ปริมาณจราจรบนถนนสายรองมากจะทา ให้ความล่าช้าบนถนนสายหลักสูงมาก การควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้ดีเฉพาะกรณีที่ถนนสายรองมีปริมาณจราจรเบาบาง หรือเมื่อต้องการให้กลุ่มยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงในบางช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง เช่นถนนสายหลักที่เชื่อมต่อกับทางเข้า-ออกที่พักอาศัยสา นักงานโรงเรียน เป็นต้น

3) การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Control) ภายใต้การควบคุมนี้จะทา การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรทุกทิศทาง และจะทา การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยก การควบคุมแบบนี้ควรใช้ควบคุมทางแยกเดี่ยวจะช่วยให้ความล่าช้าที่ทางแยกต่ำกว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณจราจรเข้าใกล้ความสามารถให้บริการจะทา ให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมากกว่าความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ในขั้น ดังแสดงในรูปที่3.6 ตอนแรกของการควบคุมจะกา หนดช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (minimum green) โดยการคา นวณจากเวลาที่ยวดยานทั้งหมดที่มีได้ระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก ถ้าใน

ระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดไม่มีการตรวจพบยวดยาน และมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นจะเป็นการสิ้นสุดจังหวะสัญญาณไฟปัจจุบัน แต่ถ้ามีการตรวจพบยวดยานจะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (passage time หรือ unit-extension) ต่อจากเวลาที่ตรวจพบยวดยานนั้น และถ้าในระหว่างเวลาของส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมีการตรวจพบยวดยานก็จะเพิ่ม ส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอีกครั้งต่อจากเวลาที่ตรวจพบยวดยานขณะนั้น ทา เช่นนี้ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งไม่มีการตรวจพบยวดยาน หรือเมื่อช่วงเวลาไฟเขียวถึงช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด (maximum green) และมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นสัญญาณไฟเขียวปัจจุบันจะสิ้นสุด ดังรูปที่3.6 ดังนั้นช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุด และช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด แต่บางครั้งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอาจยาวนานกว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด เมื่อไม่มีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้คือเวลาที่ยวดยานใช้เดินทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกจำลองสถานการณ์แบ่งเป็นช่วงเวลา ได้แก่ 1. ช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Hour Count) ในวันทำงาน (Weekday) ทั้งในช่วงเร่งด่วนเช้า (7.00 น. – 8.00 น.) และช่วงเร่งด่วนเย็น (17.00 น. – 18.00 น.) 2. ช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Hour Count) ในวันหยุด (Weekend) ทั้งในช่วงเร่งด่วนเช้า (9.00 น. – 10.00 น.) และช่วงเร่งด่วนเย็น (17.00 น. – 18.00 น.) และ 3. ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak Hour Count) ซึ่งจะวิเคราะห์เฉพาะในวันทำงานเท่านั้น (12.00 น. – 13.00 น.) โดยการประสานสัญญาณไฟจราจรนั้นจะพิจารณาทางแยกที่ใกล้กันเป็นหลัก รูปแบบการจำลองสภาพการจราจรในสถานการณ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3.2 : รูปแบบการจำลองสภาพการจราจรในสถานการณ์ที่จะทำการวิเคราะห์

กรณีที่ทำการศึกษา	**แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2**	**แยกอาร์ ซี เอ (RCA)**	**แยกโรงพยาบาลปิยะเวท**
<u>กรณีที่ 1</u> : การใช้งานในปัจจุบัน	ควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time)	ควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time)	ควบคุมโดยเจ้าหน้าที่
<u>กรณีที่ 2</u> : ควบคุมแบบคงทั้งหมด	ควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time)	ควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time)	ควบคุมแบบคงที่ (Fixed-time)
<u>กรณีที่ 3</u> : ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (ไม่มีการประสานสัญญาณไฟ)	ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated)	ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated)	ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated)
<u>กรณีที่ 4</u> : ประสานสัญญาณไฟจราจร	ประสานสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signal Coordination)		

3.5 การสร้างแบบจำลองและการปรับเทียบแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง จะต้องมีขั้นตอนของการวางแผนระบบ ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลอง การปรับเทียบแบบจำลองเพื่อความถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพความจริง หลังจากที่สร้างแบบจำลองแล้วจึงใช้วิธีการในการหาค่าตัวแปร เพื่อมาใช้ในแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนของการสร้างแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการสร้างและพัฒนาแบบจำลองระดับมหภาคด้วยโปรแกรม Synchro โดยการนำตัวแปรด้านจราจร ได้แก่ ความล่าช้าที่เกิดจากการเดินทาง และความเร็วในการเดินทาง มาใช้ในการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์ในกรณีต่าง ๆ ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนั้นจะมีเทคนิคเฉพาะในการสร้างแบบจำลองที่แตกต่างกันออกไป โดยในส่วนนี้จะนำเสนอเฉพาะเทคนิคที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจรในกรณีศึกษานี้เท่านั้น ดังนี้

1) สมมติฐานของปริมาณจราจร ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลปริมาณจราจรในอดีตด้วย เพื่อให้ปริมาณจราจรที่จะใช้ในแบบจำลองนั้นคล้ายคลึงกับสภาพปัจจุบันมากที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งกล้องวีดีโอ บริเวณทางแยกที่ศึกษาและนำปริมาณจราจรที่ได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณจรจรในอดีต เพื่อให้ได้อัตราส่วนและแนวโน้มของปริมาณจราจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับกระแสจราจรในทิศทางต่าง ๆ

2) สัดส่วนรถบรรทุก (Truck Percentage) สำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการกำหนดให้สัดส่วนของรถบรรทุกมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการจำแนกประเภทของยานพาหนะออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์ส่วนบุคคล รถโดยสาร และรถบรรทุก แต่เนื่องจากว่าปริมาณจราจรดังกล่าวมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและน้ำหนักจึงส่งผลให้ลักษณะการใช้พื้นที่บนถนนก็แตกต่างกันด้วย อีกทั้งในโปรแกรม Synchro นั้นไม่สามารถนำเข้าปริมาณจราจรในรูปแบบแยกประเภทได้ ดังนั้นเพื่อให้ยานพาหนะมีค่ามาตรฐานและสามารถเปรียบเทียบได้บนพื้นฐานเดียวกัน ผู้วิจัยจึงได้มีการใช้ค่าเทียบเท่ารถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car Unit : PCU) โดยใช้ค่าปัจจัยเทียบเท่ารถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน (Passenger Car Equivalence Factor, PCE Factor) เป็นตัวแปลงค่า โดยค่า PCE Factor [10] ของยานพาหนะแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งการแปลงปริมาณดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ความล่าช้าและความยาวแถวคอยเนื่องจากการแปลงค่าเทียบเท่านี้ เป็นการแสดงผลของการใช้พื้นที่บนถนนให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ตัวอย่างเช่น การใช้พื้นที่ของรถบรรทุกขนาดขนาดใหญ่ 1 คัน จะเท่ากับ ค่าเทียบเท่าการใช้พื้นที่ของรถยนต์ 2.5 คัน เป็นต้น

ตารางที่ 3.3 : ค่าปัจจัยเทียบเท่ารถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน (Passenger Car Equivalence Factor, PCE Factor)

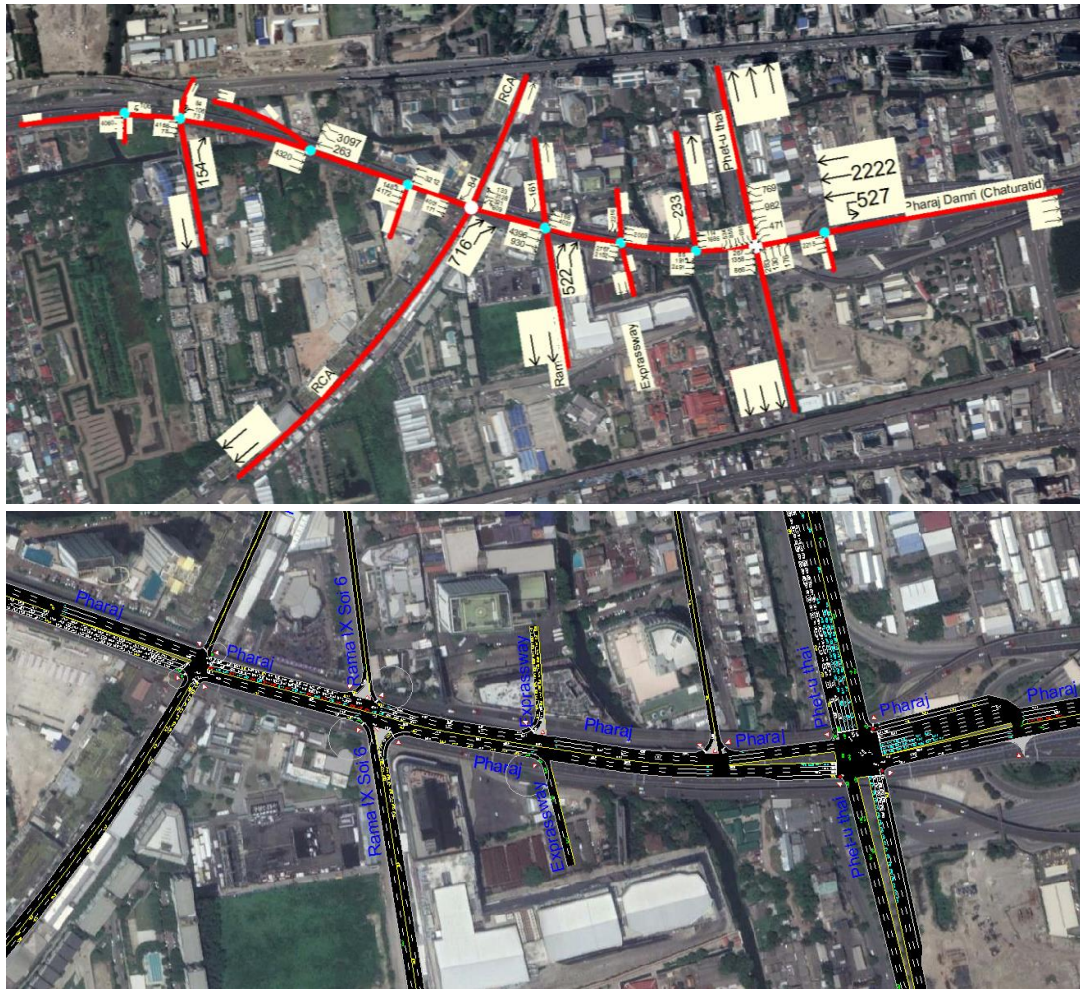
ประเภทยานพาหนะ	ค่า factor (ที่แปลงเป็น Passenger Car Unit : PCU)
รถจักรยานยนต์	0.33
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	1
รถโดยสารขนาดเล็ก / ขนาดกลาง / ขนาดใหญ่	1.5 / 1.5 / 2.1
รถบรรทุกขนาดกลาง / รถบรรทุกขนาดใหญ่	1.5 / 2.5

ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

3) การสลับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถในโปรแกรม Synchro เนื่องจาก โปรแกรม Synchro นั้นถูกออกแบบมาสำหรับการวิเคราะห์การจราจรในประเทศที่รถวิ่งคนละทางกันกับประเทศไทย คือจะวิ่งชิดขวา ดังนั้นเมื่อนำโปรแกรม Synchro มาใช้ในการวิเคราะห์การจราจรของประเทศไทยจึงต้องมีการสลับทิศทางเพื่อความถูกต้องของทิศทาง

4) การเพิ่มซอยย่อยและจุดเชื่อมต่ออื่น ๆ ในระบบ ซึ่งจากพื้นที่ศึกษาพบว่าในบางช่วงเวลาจะมีปริมาณจราจรที่แตกต่างกันมากเกินไป ซึ่งเกิดจากการที่ถนนที่ทำการศึกษามีซอยย่อย ๆ และจุดเชื่อมต่อที่จะทำให้ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากการเข้า - ออกซอยและจุดเชื่อมต่อนั้น ๆ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองจึงต้องมีการเพิ่มซอยและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ เช่น ทางเชื่อมทางด่วนและพื้นที่อาคารขนาดใหญ่ เป็นต้น

5) การปรับถนนให้เลี้ยวซ้ายก่อนถึงทางแยก เนื่องจากถนนในสภาพจริงนั้นมักจะให้มีการเลี้ยวซ้ายก่อนจะถึงทางแยก (เลี้ยวซ้ายผ่านตลอด) ซึ่งจากงานวิจัยนี้ทางแยกที่มีลักษณะในรูปแบบดังกล่าวคือ แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องออกแบบเส้นทางในโปรแกรมให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Synchro จะต้องใช้การเพิ่มช่องทางเสริม (Storage Lane) สำหรับรถเลี้ยวซ้ายให้มีความยาวเท่ากับระยะห่างระหว่างแยกจนถึงจุดที่อนุญาตให้เลี้ยวได้



รูปที่ 3.8 : แบบจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค โปรแกรม Synchro

3.6 การสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับมหภาค โปรแกรม Synchro

การวิเคราะห์สภาพจราจรด้วยแบบจำลองสามารถวิเคราะห์สภาพจราจรบนช่วงถนนและทางแยก โดยจะสามารถจำลองสภาพจราจรที่ทำให้เห็นสภาพจราจร ความเร็ว พฤติกรรมการขับขี่ของสภาพจราจรบนช่วงถนนและทางแยก รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ถึงสภาพจราจรที่ติดขัดบนช่วงถนนและทางแยก ซึ่งผลของการวิเคราะห์ค่าเหล่านี้สามรถนำไปใช้วิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนและทางแยกในเขตเมือง

การออกแบบแบบจำลองที่แสดงผลตามสภาพจริงเป็นต้นแบบในการนำแบบจำลองไปพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบแบบจำลองในการกาค่าความยาวแถวคอย ระยะเวลาในการเดินทาง และความล่าช้าในการเดินทางได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.6.1 การเริ่มต้นเปิดใช้งานโปรแกรม เครื่องมือการตั้งค่า และเครื่องมือในโปรแกรม Synchro 6

ในหัวข้อนี้จะอธิบายรายละเอียดและหน้าตาของเครื่องมือในการตั้งค่าและเครื่องมือในโปรแกรม Synchro เมื่อเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม โดยแสดงดังตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 5

ตารางที่ 3.4 : เครื่องมือการตั้งค่า Synchro 6

	หน้าต่างแสดงแผนที่ (Map Window)		(Time – Space diagram)
	หน้าต่างการตั้งค่าเลน (Lane Window)		(Select – Intersection)
	การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window)		(Database Access)
	การตั้งค่าเวลาไฟจราจร (Time Window)		(SimTraffic Animation)
	การตั้งค่าเฟสสัญญาณไฟจราจร (Phasing Window)		

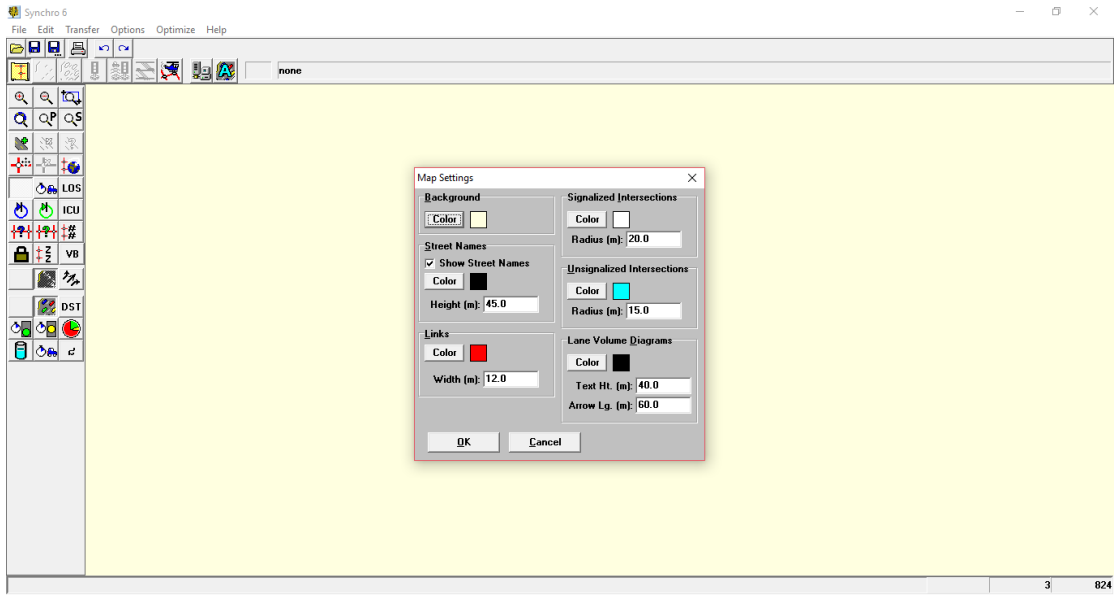
ตารางที่ 3.5 : เครื่องมือในโปรแกรม Synchro 6

	ขยายเข้า (Zoom In)		(Show Cycle Lengths)
	ขยายออก (Zoom Out)		(Show Natural Cycle lengths)
	ขยายเฉพาะส่วน (Zoom Window)		(Show Phase Number)
	ขยายทั้งหมด (Zoom All)		(Show Coordinatabity Factor)
	(Zoom Previous)		(Show Natural Coordinatabity Factor)
	(Zoom Scale)		(Show Node Numbers)
	การสร้างเส้นทาง (Add Link)		(Show Locked Timings)
	ลบเส้นทาง (Delete Link)		(Show Intersection Zones)
	การตั้งค่าเส้นทาง (Link Setting)		(Show Volume Balancing)
	ย้ายโหนด (Move Node)		(Show Lanes on Map)
	ลบโหนด (Delete Node)		(Show Movement Arrow on Map)
	(Transform Map)		(Show Volume on Map)
	แสดงผลความล่าช้าบริเวณทางแยก (Show Intersection Delays)		(Show Link Distance Speed and Travel Time)
	แสดงผลระดับการให้บริการ (Show Levels of Service)		(Show Start of Greens)
	(Show Start of Yellow Time)		(Maximum Green Time)
	(Show Volume to Capacity Ratios)		(Show Movement Delays)
	(Show Intersection Capacity Utilization)		

รูปที่ 3.9 : การเริ่มต้นเปิดใช้งานโปรแกรม Synchro

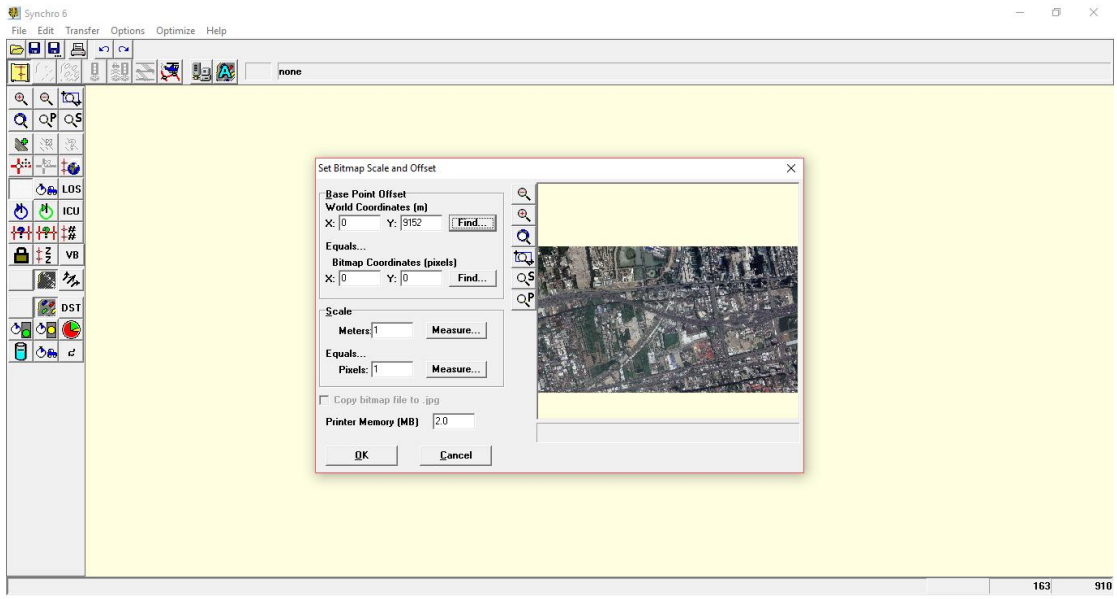
3.6.2 การตั้งค่า Map – Settings และการนำเข้าแผนที่ (Importing Map Background)

การตั้งค่า Map – Settings โดยคลิก 1 ครั้งที่ปุ่ม Option เลือก Map Settings จะปรากฏหน้าต่างการตั้งค่า Map – Settings ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ ซึ่งหน้าต่างการตั้งค่า Map – Settings นี้สามารถตั้งค่า สี ขนาดของเส้น ขนาดของชื่อแยก ตามความเหมาะสมและง่ายต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.10 : การตั้งค่า Map – Settings

การนำเข้าแผนที่ (Importing Map Background) ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมแผนที่ที่จะใช้ในการนำข้าโปรแกรม Synchro 6 โดยต้องทำการบันทึกภาพแผนที่ที่ต้องการนำเข้าจากโปรแกรม Google Earth Pro โดยแผนที่ที่บันทึกจากโปรแกรม Google Earth Pro นั้นต้องไม่แสดงเส้นถนน กรอบและป้ายชื่อสถานที่ต่าง ๆ แต่สิ่งที่จำเป็นต้องปรากฏในภาพแผนที่ คือ เข็มทิศ และมาตรตราส่วน และปรับภาพความละเอียดแผนที่ ก่อนบันทึกเป็นความละเอียดสูงสุด (4800 x 2789) จากนั้นเมื่อได้ภาพแผนที่จากโปรแกรม Google Earth Pro ตามขั้นตอนที่ 2.1 แล้วนำภาพแผนที่กลับด้านในแนวนอน (Flip Horizontal) ขั้นตอนสุดท้ายนำภาพแผนที่เข้าโปรแกรม Synchro 6 โดยคลิก 1 ครั้งที่ปุ่ม File → Graphics → Import - Background แล้วเลือกภาพแผนที่ที่ทำการกลับด้านในแนวนอน (Flip Horizontal) ไว้แล้ว หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Set Bitmap Scale and offset ขึ้นมา



รูปที่ 3.11 : การนำเข้าแผนที่ (Importing Map Background)

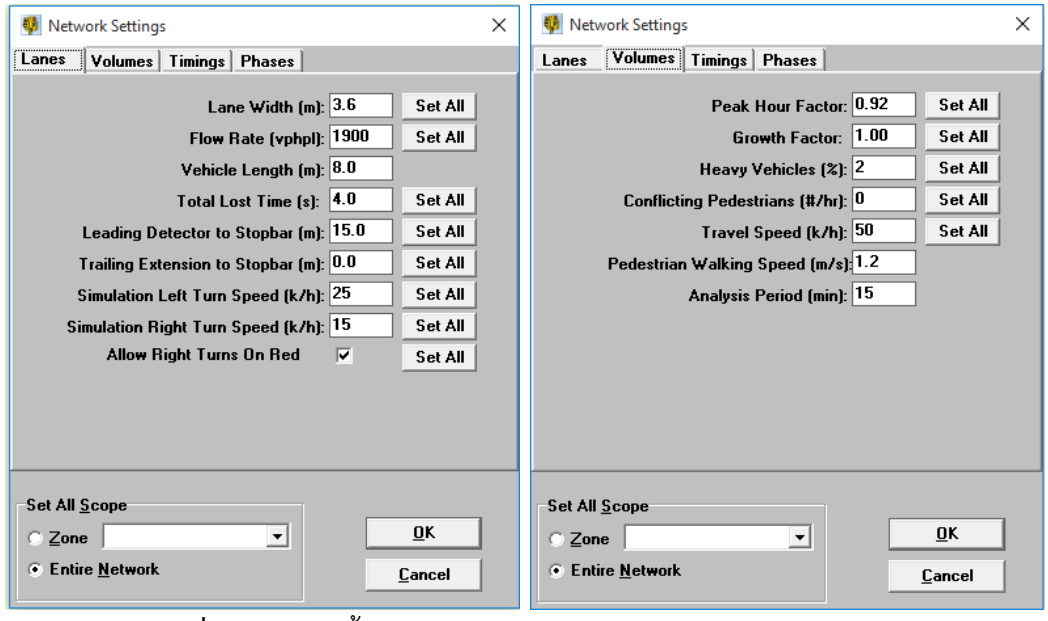
จากนั้นตั้งค่า Scale = 1000 ในช่อง Meters หรือสามารถใช้ค่า 600 – 1000 ในช่องนี้ได้ตามความเหมาะสม และใส่ค่า Equals ในช่อง Pixels โดยกดปุ่ม Measure แล้วขยายเพื่อเลือก Scale bar โดยเลือกจุดแรกที่จุดเริ่มต้นของ Scale bar และเลือกจุดที่สองที่จุดปลายของ Scale bar แล้วใส่ค่าตาม Scale bar ในแผนที่ ในช่อง Pixels แล้วกดปุ่ม **OK**

หมายเหตุ : Scale bar ในภาพแผนที่ต้องมีหน่วยเป็นเมตรหรือกิโลเมตร (Metric) เท่านั้น และสามารถปรับแต่งให้โปรแกรม Synchro 6 เป็นหน่วย Metric ได้โดยคลิก 1 ครั้ง ที่ปุ่ม Option → Convert to Metric

3.6.3 การตั้งค่าโครงข่ายถนน (Network Setting Window)

การตั้งค่าโครงข่ายถนน (Network Setting Window) เป็นการตั้งค่าที่จะนำไปใช้กับโครงข่ายถนนทั้งหมดในคราวเดียวซึ่งสามารถคลิก 1 ครั้ง ที่ปุ่ม Option Network Settings จะปรากฏหน้าต่าง Network Settings ขึ้นมาดังรูป โดยการตั้งค่า Network Setting นั้น จะมีกรแบ่งการตั้งค่าหลักๆ ออกเป็น 4 หมวด ได้แก่ Lanes, Volume, Timings และ Phases

รูปที่ 3.12 : การตั้งค่าโครงข่ายถนน (Network Setting Window)



รูปที่ 3.13 : การตั้งค่าเลนและปริมาณจราจรในโปรแกรม Synchro

การตั้งค่า Peak Hour Factor ใน Volume Setting สามารถปรับเทียบได้จากตารางที่ 6

Peak Hour Factor: = ค่า $PHF = \frac{V}{4xV_{m15}}$; ค่าจะอยู่ระหว่าง 0.25 – 1.00 (3.2)

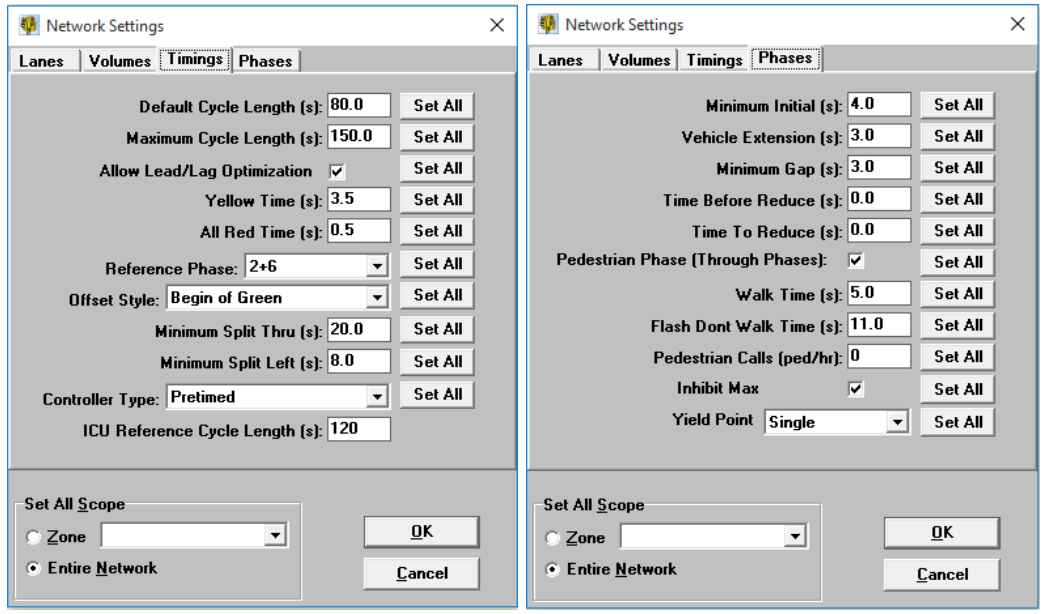
ตารางที่ 3.6 : ค่าปรับเทียบ Peak Hour Factor

จำนวนรถ (vphpl)	PHF
2000	0.95
1000	0.93
500	0.92
200	0.87
100	0.83
50	0.78

- Growth Factor = ค่าการขยายตัวของปริมาณจราจร = $GF = (1+r)^y$ (3.3)
- Heavy Vehicles (%) = % รถบรรทุกขนาดใหญ่
- Conflicting Pedestrians (#/hr) = จำนวนคนเดินเท้าที่ขัดกับกระแสจราจรต่อชั่วโมง
- Travel Speed (Km/h) = ความเร็วในการเดินทางสูงสุด (Speed Limit) (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
- Pedestrian Walking Speed (m/s) = ความเร็วของคนเดินเท้า (เมตร/วินาที)
- Analysis Period (min) = ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ (นาที)

การตั้งค่า Timing Settings เป็นการตั้งค่าเพื่อมีการเก็บระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรบริเวณแยกที่มีสัญญาณไฟ ถ้าไม่มีการเก็บข้อมูลดังกล่าว จะอ้างอิงคำเริ่มต้นจาก HCM 2000 โดยโปรแกรมจะทำการอ้างอิงให้แล้ว

การตั้งค่า Phase Settings เป็นการตั้งค่าเมื่อต้องการปรับแต่งหรือเปลี่ยนแปลงเฟสสัญญาณไฟจราจรบริเวณแยกที่ศึกษา แต่ฟังก์ชั่นนี้ ไม่จำเป็นต้องแก้ไข เมื่อสัญญาณไฟจราจรแยกนั้นเป็นแบบการตั้งเวลาคงที่ (Pre – Timed Signal)



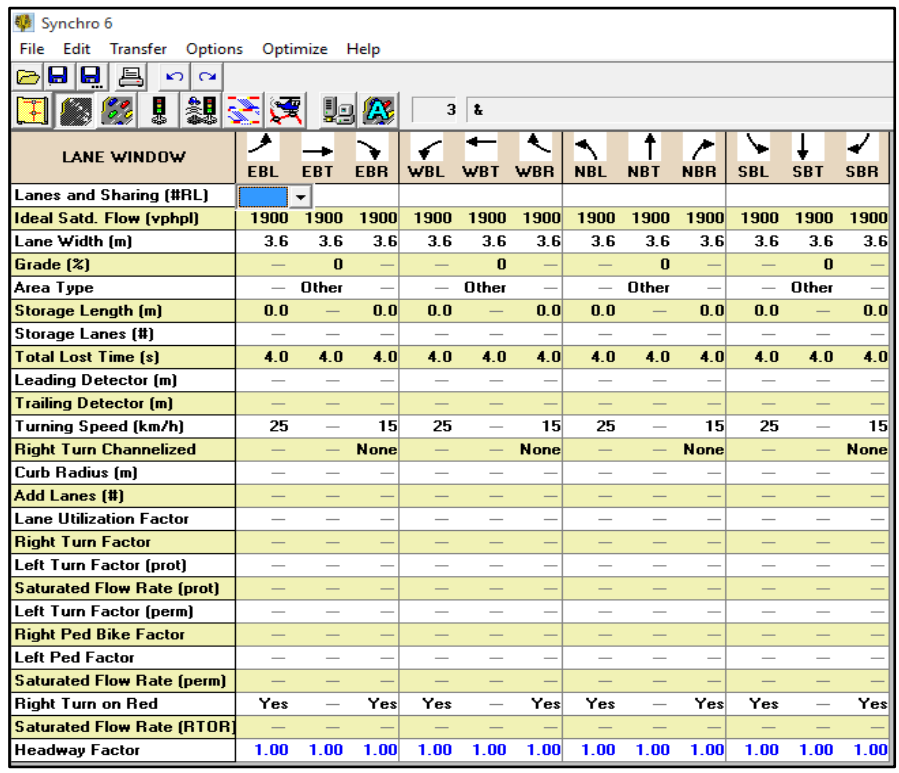
รูปที่ 3.14 : การตั้งค่าเวลาและเฟสสัญญาณไฟจราจรในโปรแกรม Synchro

3.6.4 การตั้งค่าช่องจราจร (Lane Window)

การตั้งค่าช่องจราจร (Lane Window) เป็นการตั้งค่าจำนวนช่องจราจร ตามกายภาพจริงของถนน หรือแยกที่ทำการศึกษา โดยกดปุ่ม Lane Windowหรือ F3 บนแป้นพิมพ์ซึ่งมีการตั้งค่าดังต่อไปนี้

- Lane and Sharing (#RL) = จำนวนช่องจราจร และช่องจราจรที่ใช้ร่วมกัน
- Ideal Satd. Flow (vphpl) = ความจุสูงสุดของแต่ละทิศทางที่สามารถรองรับได้ (คันต่อชั่วโมงต่อเลน)
- Lane Width (m) = ความกว้างของแต่ละช่องจราจร (เมตร)
- Grade (%) = % ความลาดชันของถนนใกล้ทางแยก
- Area Type = ประเภทพื้นที่ศึกษา CBD = Central Business District
- Storage Length (m) = ความยาวของเลนรอเลี้ยว (เมตร)
- Storage Lanes (#) = จำนวนเลนรอเลี้ยว
- Total Lost Time (s) = ผลรวมของเวลาทั้งหมดสำหรับการเปลี่ยนเฟสสัญญาณไฟจราจร
- Leading Detector (m) = ค่าที่อ่านได้จากตัวจับสัญญาณไฟจราจรอยู่ระหว่าง 15 -30 เมตร
- Trailing Detector (m) = ค่าที่ได้จากตัวจับสัญญาณไฟจราจรบริเวณเส้นหยุด

- Turning Speed (mph) = ความเร็วในการเลี้ยว
- Right Turn Channelized = การตั้งค่าช่องทางเลี้ยวขวา ได้แก่
  - None = ไม่มีช่องเลี้ยวขวา
  - Yield = ไม่มีสัญญาณช่องเลี้ยวขวา (เลี้ยวได้เลย)
  - Stop = ไม่มีสัญญาณช่องเลี้ยวขวา (หยุดแล้วค่อยเลี้ยว)
  - Merge = เลี้ยวได้โดยไม่ต้องสนใจขาตรง Free (100% Green Time)
  - Signal = เลี้ยวขวาแบบมีสัญญาณไฟจรจร



LANE WINDOW	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)												
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
Grade (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Area Type	—	Other	—	—	Other	—	—	Other	—	—	Other	—
Storage Length (m)	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total Lost Time (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Leading Detector (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Trailing Detector (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Turning Speed (km/h)	25	—	15	25	—	15	25	—	15	25	—	15
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Curb Radius (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Add Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Utilization Factor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Right Turn Factor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Left Turn Factor (prot)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Saturated Flow Rate (prot)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Left Turn Factor (perm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Right Ped Bike Factor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Left Ped Factor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Saturated Flow Rate (perm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Right Turn on Red	Yes	—	Yes	Yes	—	Yes	Yes	—	Yes	Yes	—	Yes
Saturated Flow Rate (RTOR)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Headway Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

รูปที่ 3.15 : การตั้งค่าช่องจราจร (Lane Window) ในโปรแกรม Synchro

3.6.5 การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window)

การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window) เป็นการตั้งค่าที่เกี่ยวกับปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางที่ได้กำหนดไว้แล้ว โดยกดที่โหนด แล้วกดปุ่ม Volume Window หรือ F4 บนแป้นพิมพ์ ซึ่งแบ่งการตั้งค่าตามทิศทางของการเดินทางได้ดังนี้

- Traffic Volume (vph) = ปริมาณจราจรต่อทิศทาง (คันต่อชั่วโมง)
- Conflicting peds (#/hr) = จำนวนคนเดินเท้าที่ขัดกับกระแสจราจรเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้าย (ต่อชั่วโมง)

- Conflicting Bikes (#/hr) = จำนวนรถจักรยานที่ขัดกับกระแสจราจรเลี้ยวขวา (ต่อชั่วโมง)
- Peak Hour Factor = ค่า PHF จะอยู่ระหว่าง 0.25 - 1.00
- Growth Factor = ค่าการเจริญเติบโต
- Heavy Vehicles (%) = % รถบรรทุกขนาดใหญ่ (รถบรรทุกหรือรถประจำทาง)
- Bus Blockages (#/hr) = จำนวนรถประจำทางที่ขัดขวางการจราจร (ต่อชั่วโมง)
- Adj. parking Lane? = มีรถจอดข้างถนนหรือไม่ คลิก Yes or No
- Parking Maneuvers = จำนวนที่จอดริมถนน ถ้ามี
- Traffic from mid – block (%) = % ปริมาณรถจากช่วงถนน
- Link OD Volumes = Link Origin – Destination Volumes

Synchro 6

File Edit Transfer Options Optimize Help

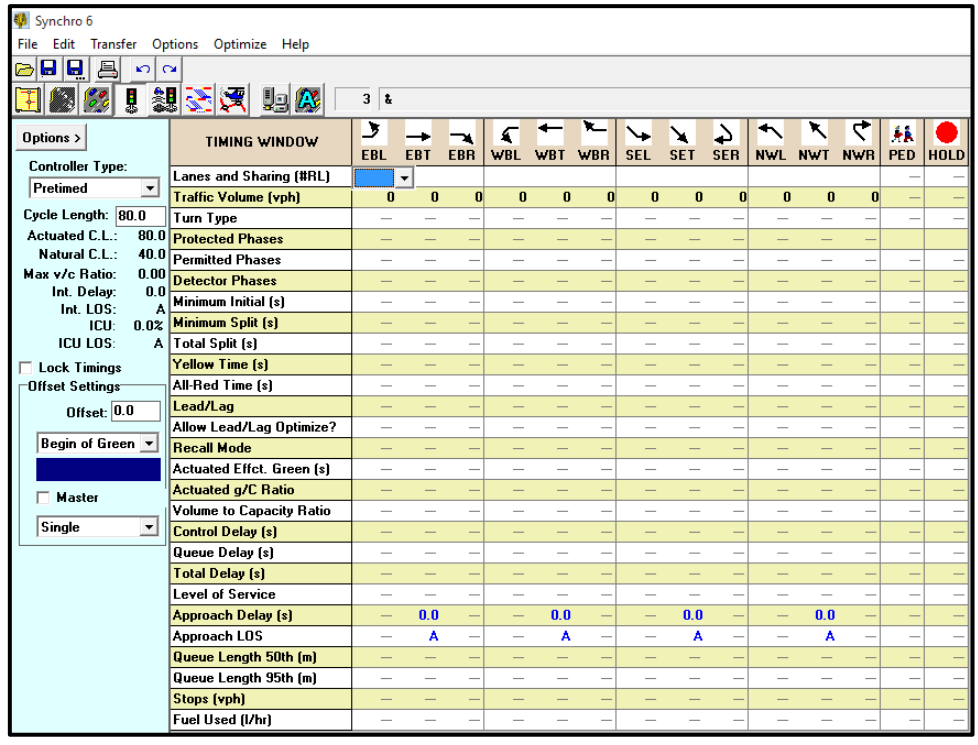
VOLUME WINDOW	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Traffic Volume (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bikes (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lane Group Flow (vph)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.16 : การตั้งค่าปริมาณจราจร (Volume Window) ในโปรแกรม Synchro

3.6.6 การตั้งค่าเวลา (Timing Window)

เลือกการตั้งค่าเวลา (Timing Window) โดยการคลิกที่ปุ่ม Timing Window หรือกด (F5) ซึ่งต้องมีการตั้งค่าดังต่อไปนี้

- Controller Type ได้แก่
- Pretimed = เป็นการเปิดสัญญาณไฟจราจรตามปกติ
- Semi Act - Uncoordinated = สัญญาณไปกึ่งอัตโนมัติ โดยที่ถนนเส้นหลักเปิดสัญญาณไฟปกติ และถนนเส้นรองสามารถแก้ไขได้
- Actuated - Uncoordinated = สัญญาณไฟกึ่งอัตโนมัติ โดยที่สามารถปรับแก้ได้ทั้งเส้นหลักและเส้นรอง
- Actuated - Coordinated =
- Unsignalized = ไม่มีสัญญาณไฟจราจร
- Roundabouts = วงเวียน
- Turn Type = ประเภทการเลี้ยว
- Permitted = ไม่มีสัญญาณเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาต้องสังเกตรถขาตรงข้าม (Yield)
- Protected = เลี้ยวซ้ายมีสัญญาณไฟ และเลี้ยวซ้ายสามารถเลี้ยวได้ตลอดในระหว่างเฟสสัญญาณไฟนั้น
- Permitted + Protected = เลี้ยวซ้ายมีสัญญาณไฟ และสามารถแทรกช่องว่างไปได้ต่อเมื่อมีสัญญาณไฟเขียว
- Split = ปล่อยทีละขา

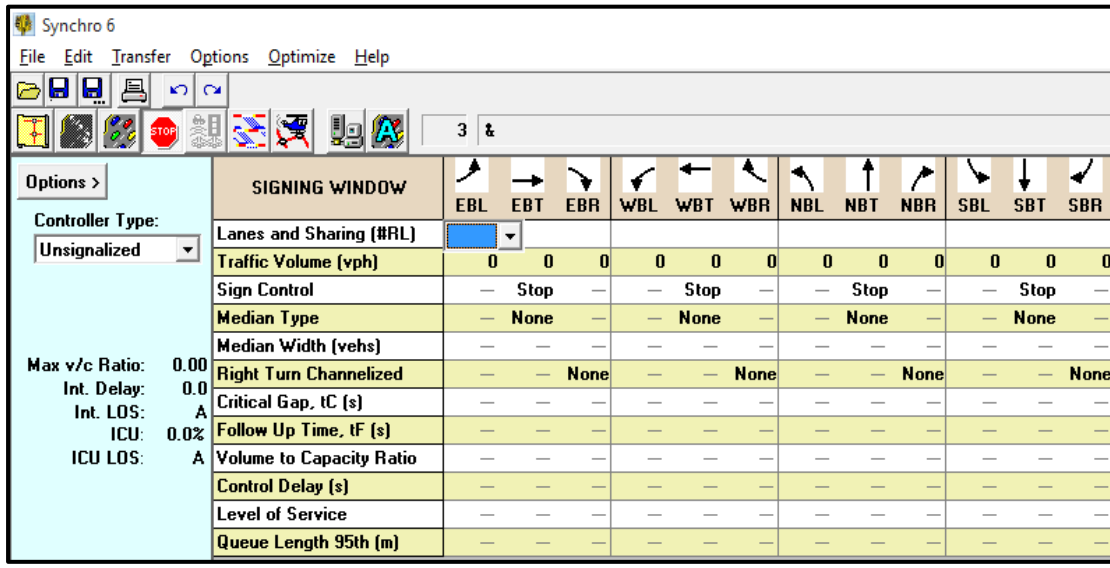


รูปที่ 3.17 : การตั้งค่าเวลา (Timing Window) ในโปรแกรม Synchro

3.6.7 การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณ (Sign Control)

การตั้งค่านี้ใช้ในกรณีที่ตั้งค่า Controller Type เป็นแบบไม่มีสัญญาณไฟจราจร โดยกดปุ่ม **STOP** ซึ่งต้องมีการตั้งค่าดังต่อไปนี้

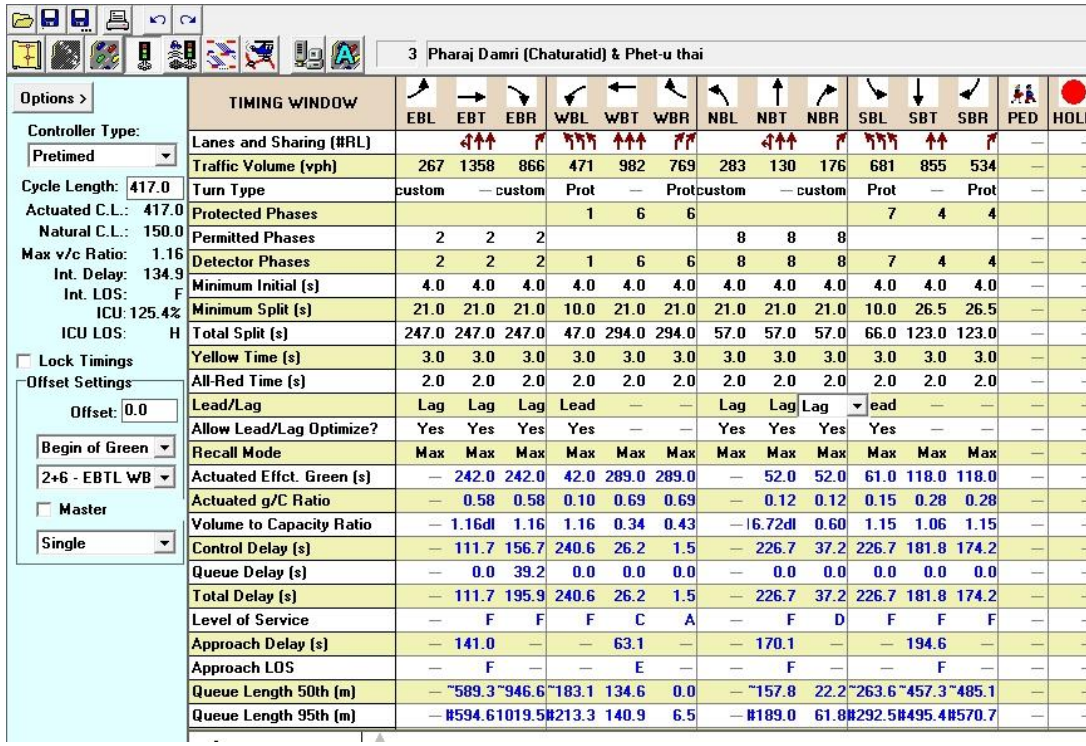
- Sing Control = สัญญาณควบคุม มีดังนี้
  - Free = การจราจรผ่านไปได้เลย โดยไม่ต้องหยุด
  - Yield = การจราจรช้าลง หรือหยุดถ้าจำเป็น
  - Stop = หยุดรอจนกว่าการจราจรขาตรงข้ามจนหมด
- Median Type = ประเภทเกาะกลางถนน ได้แก่
  - None = ไม่มีเกาะกลาง
  - Raised = เกาะกลางแบบยก
  - TWLTL = Two way left turn lane (กลับรถซ้าย 2 เลน)
- Median Width = ความกว้างเกาะกลางถนน



รูปที่ 3.18 : การตั้งค่าการควบคุมสัญญาณ (Sign Control) ในโปรแกรม Synchro

3.6.8 การตั้งค่าเวลาและลำดับสัญญาณไฟจราจร (Timing Setting)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างแบบจำลองสภาพการจราจรของโปรแกรม Synchro จะต้องทำการตั้งค่ารอบเวลาสัญญาณไฟ,ลำดับและเฟสสัญญาณไฟสำหรับรถเลี้ยวได้แก่ เฟสสัญญาณไฟ, การเลี้ยวที่ได้รับการป้องกัน (protected), การเลี้ยวที่มีทิศทางตัดกระแสการจราจรอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.17



3 Pharaj Damri (Chaturatid) & Phet-u thai

Options >

Controller Type: Pretimed

Cycle Length: 417.0
Actuated C.L.: 417.0
Natural C.L.: 150.0
Max v/c Ratio: 1.16
Int. Delay: 134.9
Int. LOS: F
ICU: 125.4%
ICU LOS: H

Lock Timings

Offset Settings
Offset: 0.0
Begin of Green
2+6 - EBTL WB
Master
Single

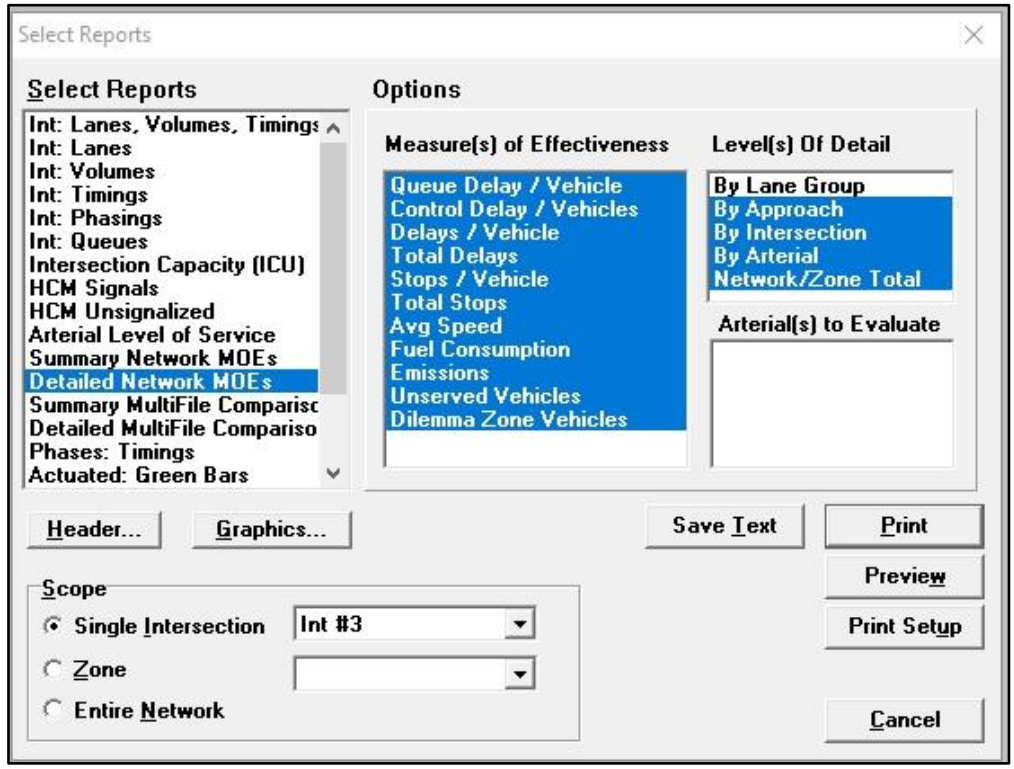
TIMING WINDOW	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD
Lanes and Sharing (#RL)													—	—
Traffic Volume (vph)	267	1358	866	471	982	769	283	130	176	681	855	534	—	—
Turn Type	custom	—	custom	Prot	—	Prot	custom	—	custom	Prot	—	Prot	—	—
Protected Phases				1	6	6				7	4	4		
Permitted Phases	2	2	2				8	8	8				—	—
Detector Phases	2	2	2	1	6	6	8	8	8	7	4	4	—	—
Minimum Initial (s)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	—	—
Minimum Split (s)	21.0	21.0	21.0	10.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	10.0	26.5	26.5	—	—
Total Split (s)	247.0	247.0	247.0	47.0	294.0	294.0	57.0	57.0	57.0	66.0	123.0	123.0	—	—
Yellow Time (s)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—
All-Red Time (s)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	—	—
Lead/Lag	Lag	Lag	Lag	Lead	—	—	Lag	Lag	Lag	ead	—	—	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	—	—
Recall Mode	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	—	—
Actuated Effct. Green (s)	—	242.0	242.0	42.0	289.0	289.0	—	52.0	52.0	61.0	118.0	118.0	—	—
Actuated g/C Ratio	—	0.58	0.58	0.10	0.69	0.69	—	0.12	0.12	0.15	0.28	0.28	—	—
Volume to Capacity Ratio	—	1.16dl	1.16	1.16	0.34	0.43	—	6.72dl	0.60	1.15	1.06	1.15	—	—
Control Delay (s)	—	111.7	156.7	240.6	26.2	1.5	—	226.7	37.2	226.7	181.8	174.2	—	—
Queue Delay (s)	—	0.0	39.2	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	—	—
Total Delay (s)	—	111.7	195.9	240.6	26.2	1.5	—	226.7	37.2	226.7	181.8	174.2	—	—
Level of Service	—	F	F	F	C	A	—	F	D	F	F	F	—	—
Approach Delay (s)	—	141.0	—	—	63.1	—	—	170.1	—	—	194.6	—	—	—
Approach LOS	—	F	—	—	E	—	—	F	—	—	F	—	—	—
Queue Length 50th (m)	—	~589.3	~946.6	~183.1	134.6	0.0	—	~157.8	22.2	~263.6	~457.3	~485.1	—	—
Queue Length 95th (m)	—	#594.6	1019.5#	213.3	140.9	6.5	—	#189.0	61.8#	292.5#	495.4#	570.7	—	—

รูปที่ 3.19 : การตั้งค่าเวลาและลำดับสัญญาณไฟจราจร (Timing Setting)

3.6.9 การแสดงผลการวิเคราะห์ (Report Window)

การแสดงผลค่า Average speed โดยคลิก 1 ครั้ง ที่ไอคอนรูป Printer จากนั้นจะขึ้นหน้าต่าง Select Report ให้เลือก Detailed Network MOEs ช่อง Measure (s) of Effectiveness ให้เลือกทั้งหมดทุกฟังก์ชัน ช่อง Level (s) of Detail ให้เลือกทั้งหมดทุกฟังก์ชัน ยกเว้น By Lane Group กดปุ่ม Preview

การแสดงผลค่า LOS และค่า Delay โดยคลิก 1 ครั้งที่ปุ่ม เครื่องหมายสัญญาณไฟจราจร ค่าจะแสดงทางด้านซ้ายของจอภาพ เช่น Max v/c Ratio ของทางแยก, Int Delay ของทางแยก และ Int LOS ของทางแยก เป็นต้น



Detailed Measures of Effectiveness

11/6/2019

3: Pharaj Damri (Chaturatid) & Phet-u thai

Direction	EB	WB	NB	SB	All
Volume (vph)	2491	2222	589	2070	7372
Control Delay / Veh (s/v)	127	63	170	195	130
Queue Delay / Veh (s/v)	14	0	0	0	5
Total Delay / Veh (s/v)	141	63	170	195	135
Total Delay (hr)	98	39	28	112	276
Stops / Veh	0.90	0.36	0.68	0.84	0.70
Stops (#)	2249	803	400	1740	5192
Average Speed (km/hr	3	7	6	6	5
Total Travel Time (hr)	103	45	32	127	307
Distance Traveled (km)	292	308	195	744	1539

รูปที่ 3.20 : การแสดงผลการวิเคราะห์ (Report Window)

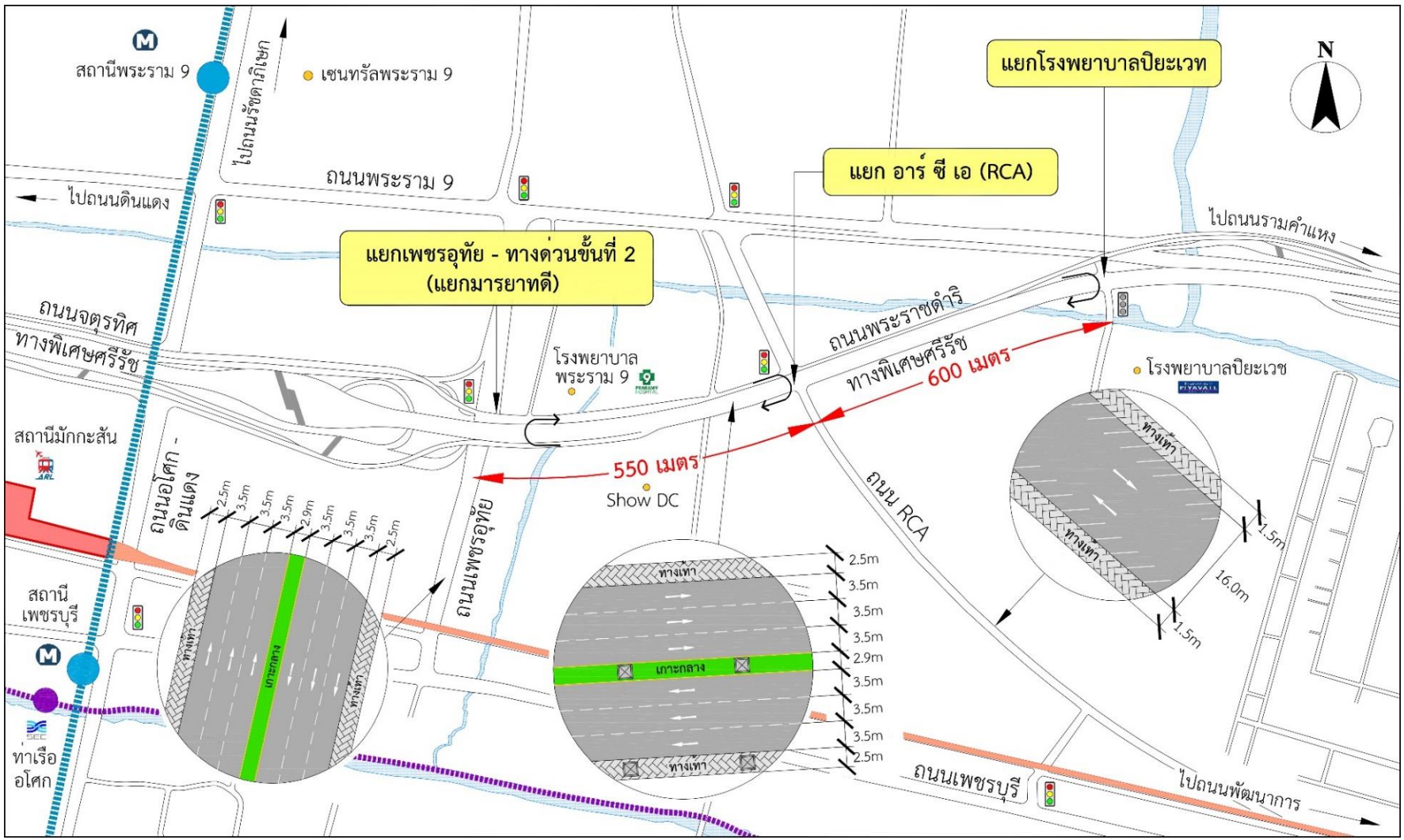
บทที่ 4
ผลการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษาจากแบบจำลองระดับมหภาคด้วยโปรแกรม Synchro และรายละเอียดการวิเคราะห์สภาพจราจรของแต่ละทางแยกในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นทั้งในวันธรรมดาและวันหยุด รวมถึงช่วงนอกเวลาเร่งด่วนของวันธรรมดา โดยงานวิจัยนี้ใช้การปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟที่แบ่งไปตามประเภทของการควบคุมซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ 1) วิเคราะห์รอบสัญญาณไฟจราจรจากรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรปัจจุบัน 2) ปรับเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมของสัญญาณไฟจราจรในทุกทางแยกให้เป็นแบบตั้งเวลาล่วงหน้าหรือตั้งเวลาแน่นอน (Fixed Timed Signals) 3) ปรับเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมของสัญญาณไฟจราจรในทุกทางแยกให้เป็นแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal) และ 4) ปรับเปลี่ยนรูปแบบการควบคุมของสัญญาณไฟจราจรในทุกทางแยกให้เป็นแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Control) หรือ การประสานสัญญาณไฟจราจรของทุกทางแยกให้ทำงานประสานกัน (Coordinate Signal Control) ซึ่งจะทำการสร้างแบบจำลองจราจรเพื่อนำมาวิเคราะห์โดยมีตัวชี้วัดด้านจราจรเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ คือ ความล่าช้าในการเดินทาง (Delay) ความเร็วในการเดินทาง (Speed) แถวคอย (Queue) และระดับการให้บริการ (Level of Service)

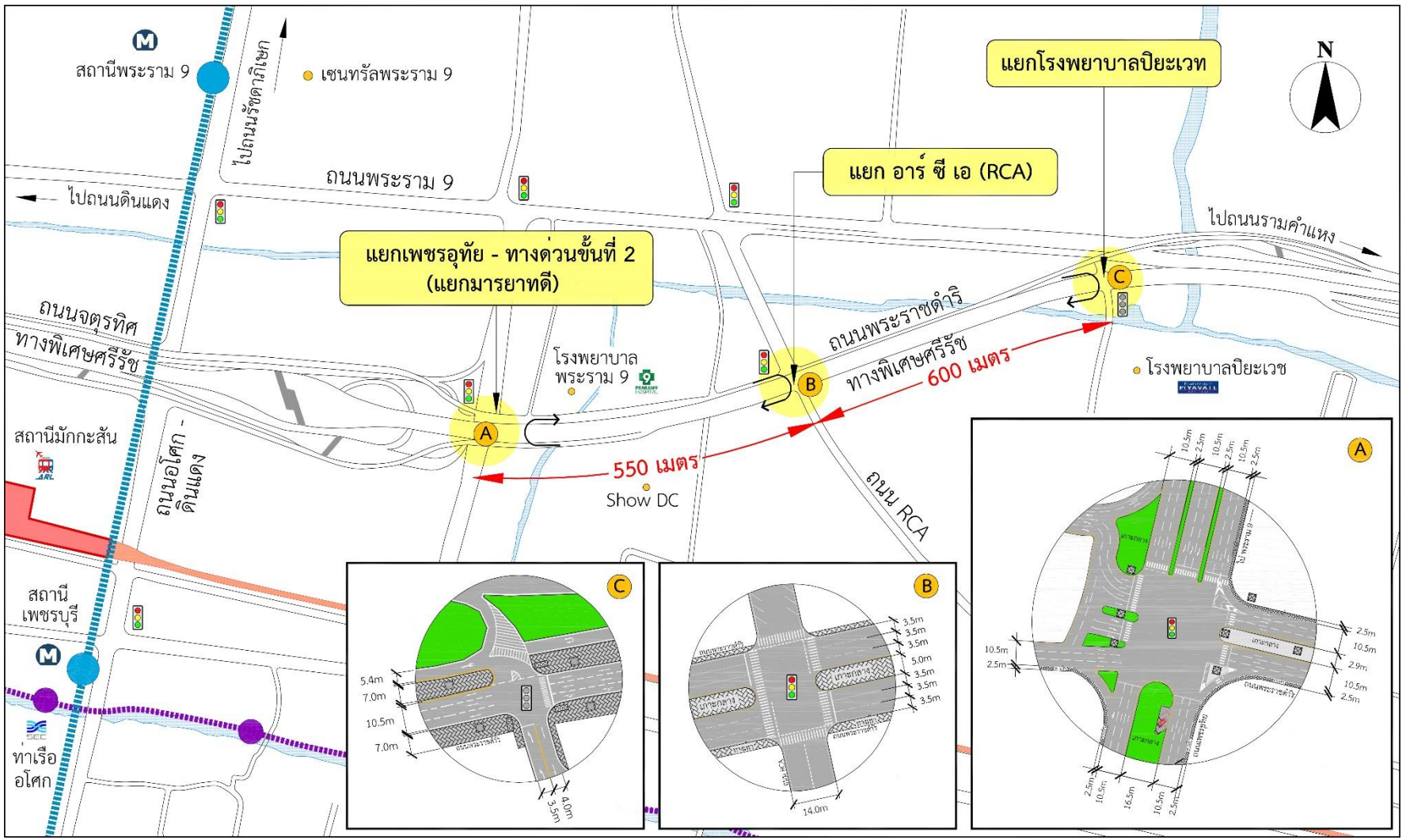
4.1 ข้อมูลลักษณะเรขาคณิตและสภาพจราจรของทางแยกที่ศึกษา

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของทางแยก

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของทางแยกที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจร ความกว้างของทางเดินเท้า การควบคุมสัญญาณไฟจราจรและจังหวะรอบสัญญาณไฟจราจร แสดงดังรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการสำรวจที่จะต้องนำเข้าแบบจำลองสภาพการจราจรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ การสามารถนำเข้าข้อมูลที่ถูกต้องและตรงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดแล้วนั้น ผลที่ได้ก็จะมีความคาดเคลื่อนน้อยลงด้วย



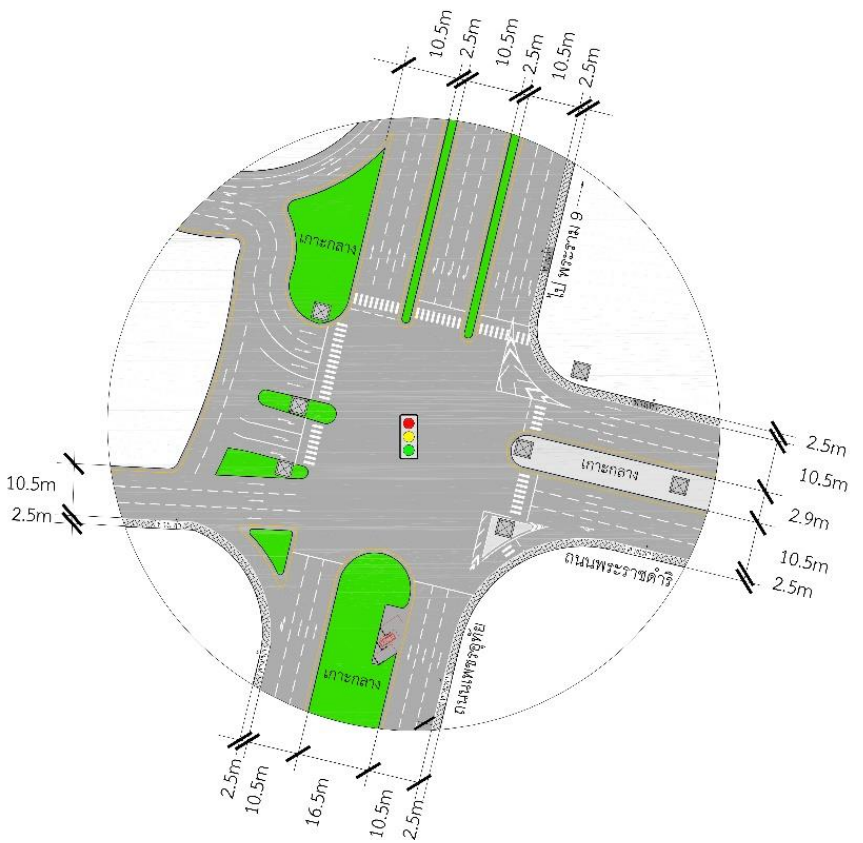
รูปที่ 4.1 : ลักษณะทางกายภาพของถนนโดยรอบพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.2 : ลักษณะทางกายภาพของทางแยกโดยรอบพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4.1 : ลักษณะทางกายภาพของแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา

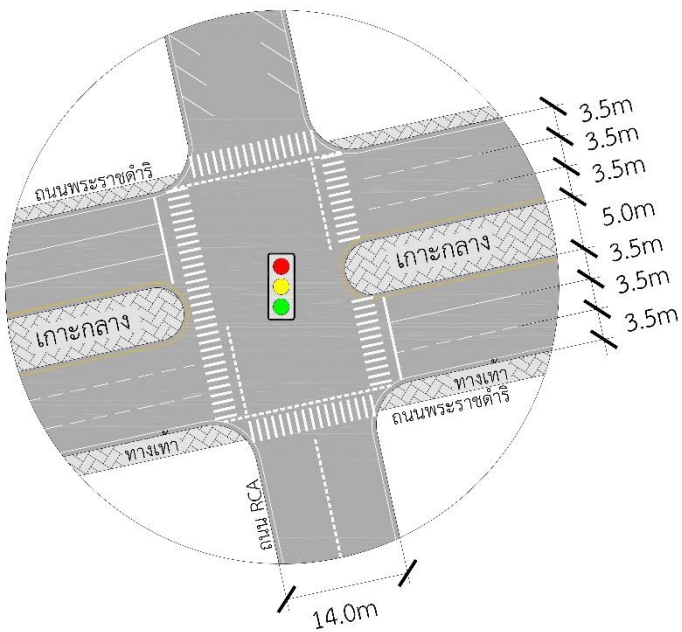
แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2



	ช่องจราจร		ความกว้างไหล่ทาง (เมตร)	
	จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
1	6	3.5	-	-
2	6	3.5	-	-
2*	9	3.5	-	
	ระยะช่องรอเลี้ยว		ความกว้างทางเท้า (เมตร)	
	จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
1	1	4	2.5	2.5
2	1	4.2	2.5	2.5
2*	-	-	-	2.5

หมายเหตุ : 1) ถนนพระราชดำริ 2) ถนนเพชรอุทัยฝั่งถนนเพชรบุรี 2*) ถนนเพชรอุทัยฝั่งถนนพระราม 9

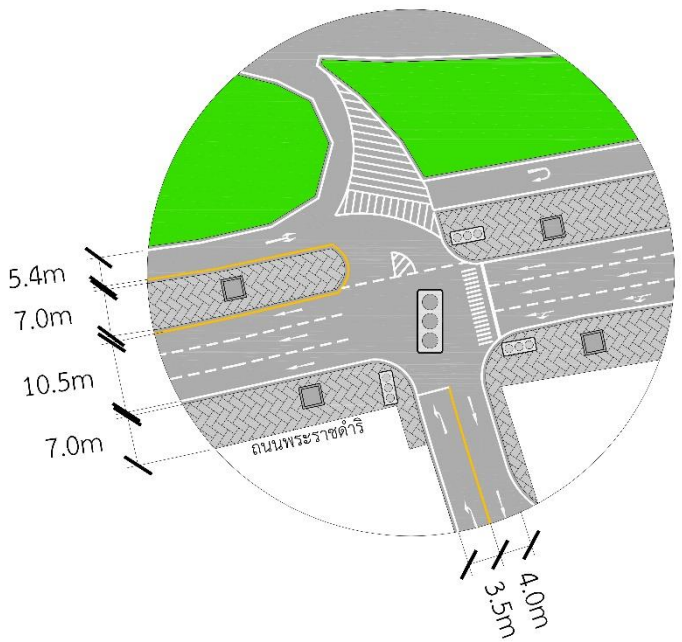
ตารางที่ 4.1 : ลักษณะทางกายภาพของแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

แยกอาร์ ซี เอ (RCA)					
		ช่องจราจร		ความกว้างไหล่ทาง (เมตร)	
		จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
	1	6	3.5	-	-
	2	4	3.5	-	-
		ระยะช่องรอเลี้ยว		ความกว้างทางเท้า (เมตร)	
		จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
	1	-	-	2.5	3
	2	-	-	-	-

หมายเหตุ : 1) ถนนพระราชดำริ 2) ถนนอาร์ ซีเอ (RCA)

ตารางที่ 4.1 : ลักษณะทางกายภาพของแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

แยกหน้าโรงพยาบาลปิยะเวท



	ช่องจราจร		ความกว้างไหล่ทาง (เมตร)	
	จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
1	4	3.5 / 5.4	-	-
2	2	3.0 / 4.0	-	-
	ระยะช่องรอเลี้ยว		ความกว้างทางเท้า (เมตร)	
	จำนวนช่องจราจร	ความกว้าง (เมตร)	เหนือ / ตะวันออกของถนน	ใต้ / ตะวันตกของถนน
1	-	-	-	7.0
2	-	-	-	-

หมายเหตุ : 1) ถนนพระราชดำริ 2) ถนนโรงพยาบาลปิยะเวท

4.1.2 ข้อมูลสัญญาณไฟจราจร

การจัดสัญญาณไฟจราจร สามารถกำหนดให้เป็นแบบ 2 จังหวะ (Two-phase) สามจังหวะ (Three-phase) หรือสี่จังหวะ (Four-phase) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของถนนที่มาตัดกัน และปริมาณจราจรที่วิ่งจากแต่ละขาเข้าสู่ทางแยก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจการควบคุมและการจัดการสัญญาณไฟจราจรบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการนำเข้าโปรแกรมจำลองสภาพการจราจร แสดงดัง**ตารางที่ 4.2**

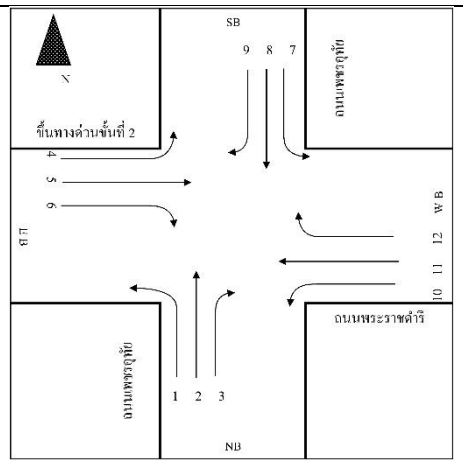
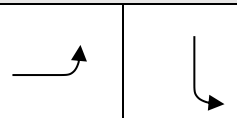
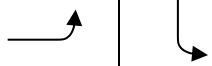
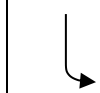
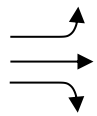
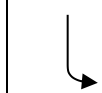
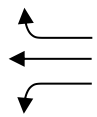
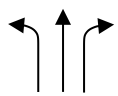
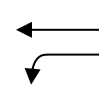
4.1.3 ข้อมูลปริมาณจราจร

เป็นข้อมูลปริมาณจราจรแต่ละทิศทางที่ออกจากทางแยก โดยแยกประเภทของยานพาหนะเวลาในการสำรวจปริมาณการจราจรออกเป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ 1) รถยนต์ส่วนบุคคล 2) รถจักรยานยนต์ 3) รถโดยสารสาธารณะ และ 4) รถบรรทุก ซึ่งช่วงเวลาที่ได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณจราจรนี้คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นของวันธรรมดา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นของวันหยุด และช่วงนอกเวลาเร่งด่วนของวันธรรมดา ดังแสดงใน**รูปที่ 4.3** ถึง**รูปที่ 4.7**

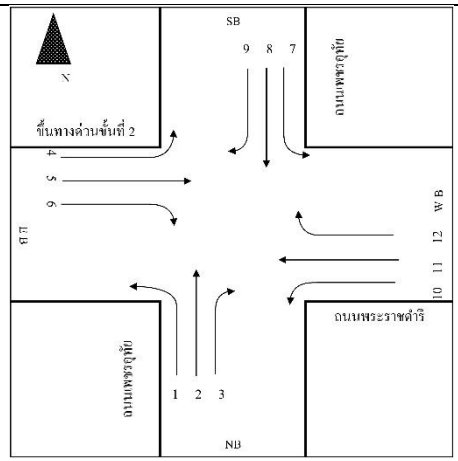
4.1.4 ข้อมูลความยาวแถวคอย

ความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละทิศทางที่จอดรอสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งความยาวของแถวคอยในทิศทางของการจราจรบนถนนสายหลัก แสดงดัง**ตารางที่ 4.3**

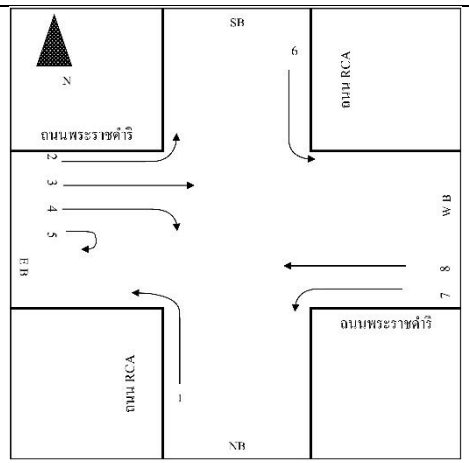
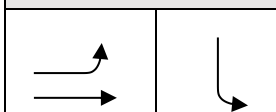
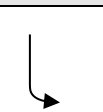
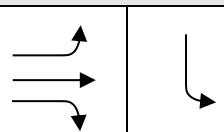
ตารางที่ 4.2 : รอบสัญญาณไฟจราจรของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ

	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2							
	Phase I		Phase II		Phase III			
								
								
เวลาไฟเขียว (วินาที)	50		37		42		173	
เวลาไฟเหลือง (วินาที)	3		3		3		3	
ไฟแดงทุกขา (วินาที)	2		2		2		2	
รอบสัญญาณเฟส (วินาที)	55		42		47		178	
รอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)	417							

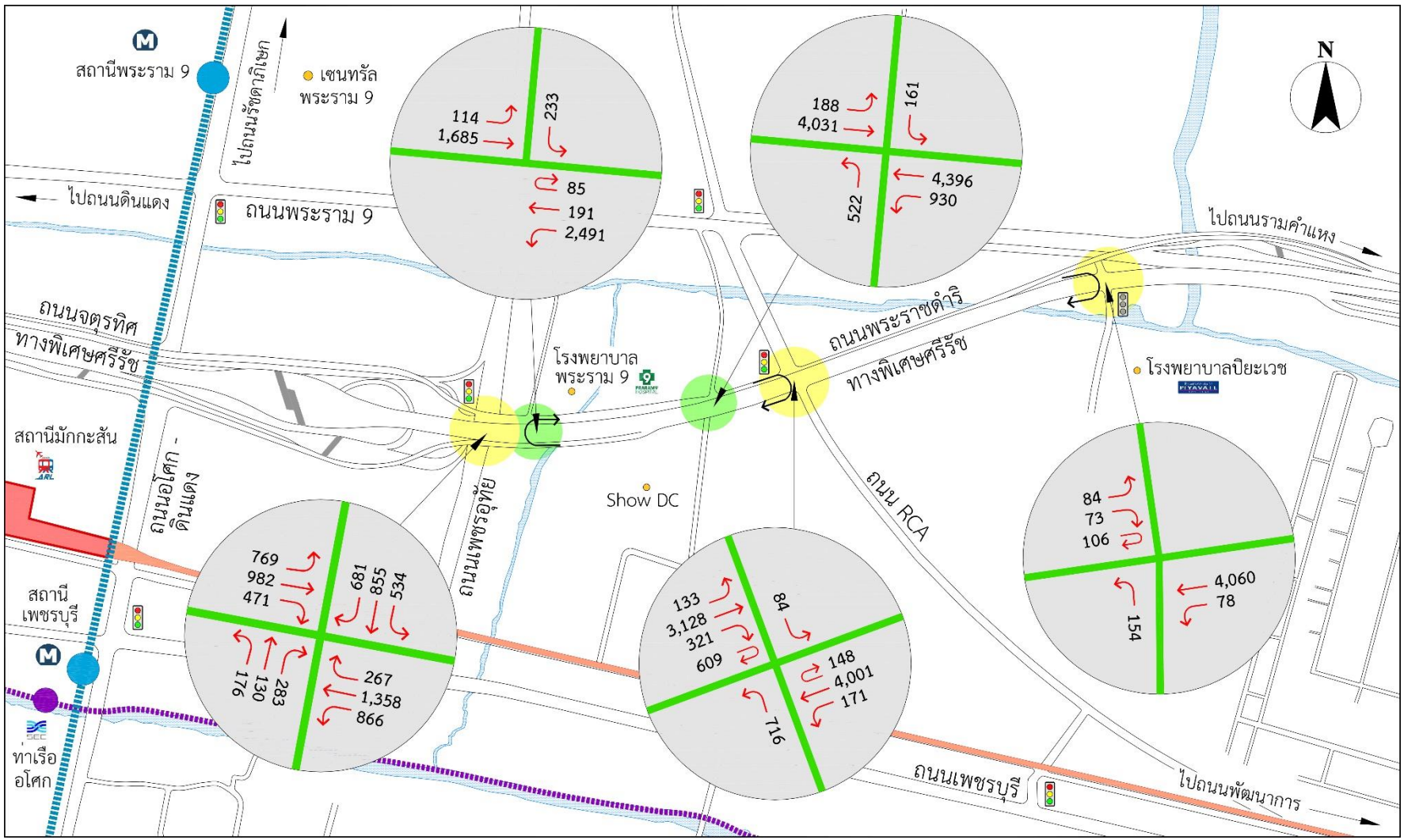
ตารางที่ 4.2 : รอบสัญญาณไฟจราจรของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ (ต่อ)

	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (ต่อ)							
	Phase IV							
เวลาไฟเขียว (วินาที)	55		30					
เวลาไฟเหลือง (วินาที)	3		3					
ไฟแดงทุกขา (วินาที)	2		2					
รอบสัญญาณเฟส (วินาที)	60		35					
รอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)	417							

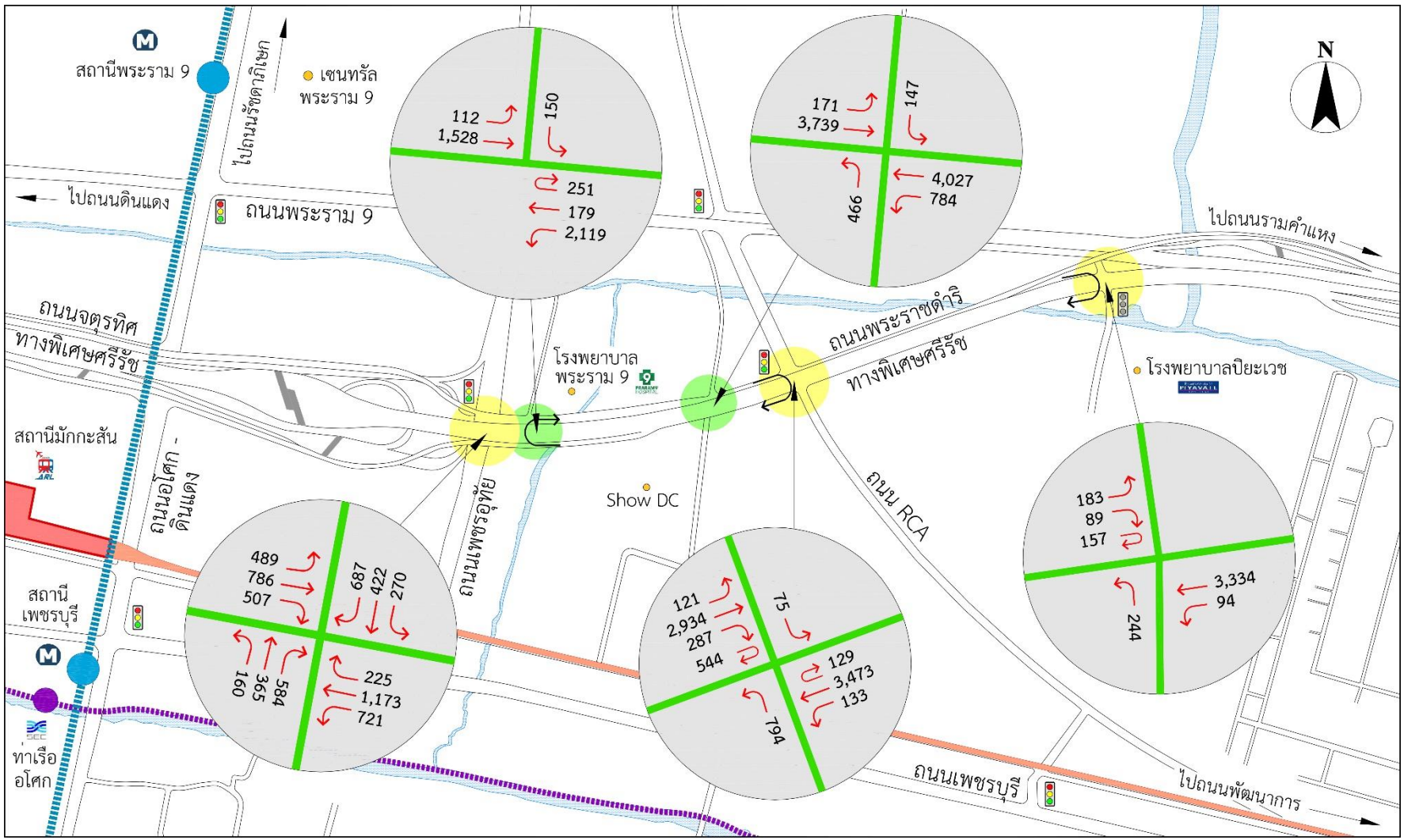
ตารางที่ 4.2 : รอบสัญญาณไฟจราจรของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ (ต่อ)

	แยกอาร์ ซี เอ (RCA)							
	Phase I		Phase II					
								
เวลาไฟเขียว (วินาที)	132		37					
เวลาไฟเหลือง (วินาที)	3		3					
ไฟแดงทุกขา (วินาที)	2		2					
รอบสัญญาณเฟส (วินาที)	137		42					
รอบสัญญาณไฟจราจร (วินาที)	179							

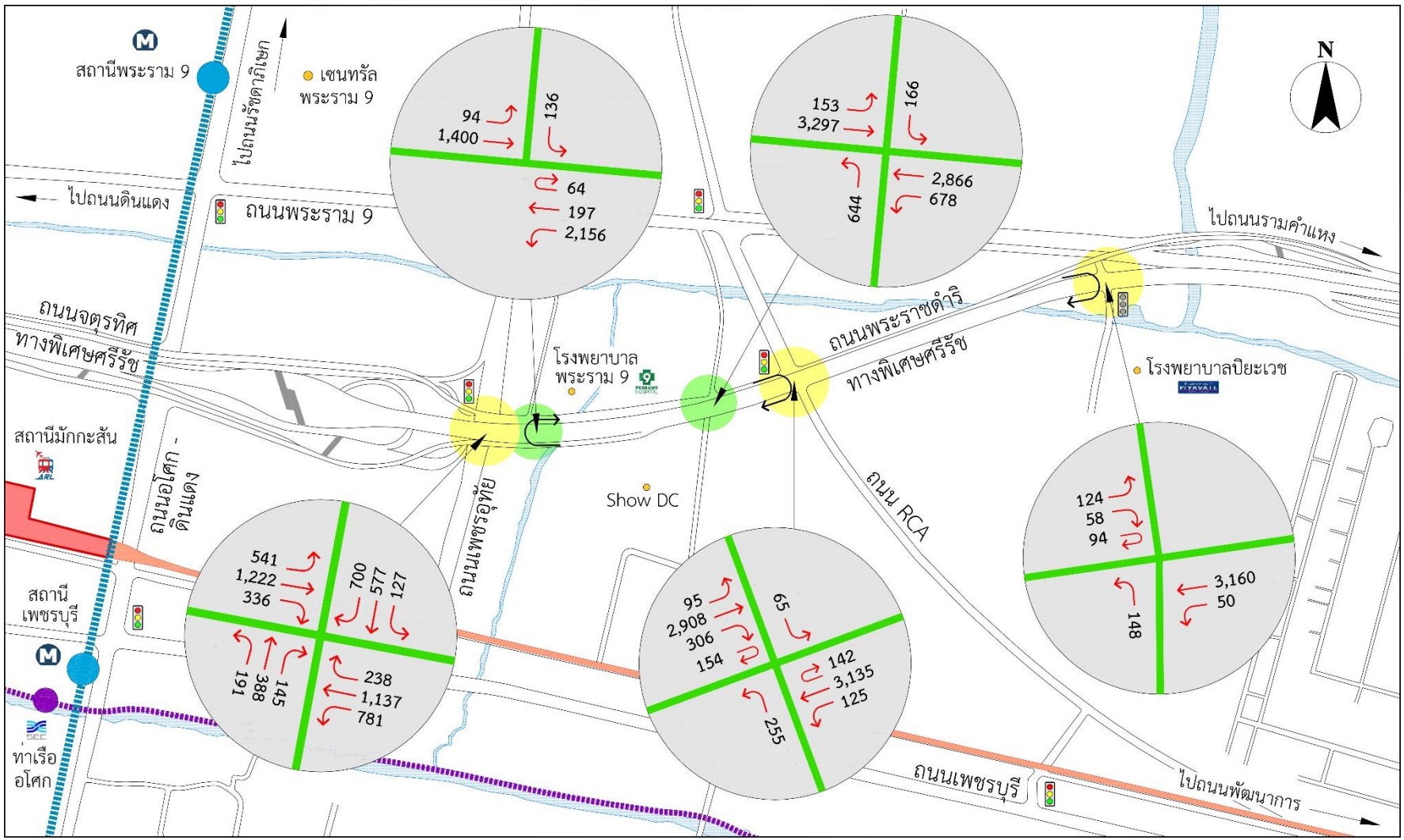
และในส่วนของแยกโรงพยาบาลปิยะเวทนั้น ปัจจุบันใช้การควบคุมทางแยกโดย รปภ. ของโรงพยาบาล เนื่องจากสัญญาณไฟจราจรด้านหน้าไม่เปิดใช้ง าน ดังนั้น การเก็บข้อมูลรอบสัญญาณไฟในแยกนี้จึงไม่สามารถทำได้



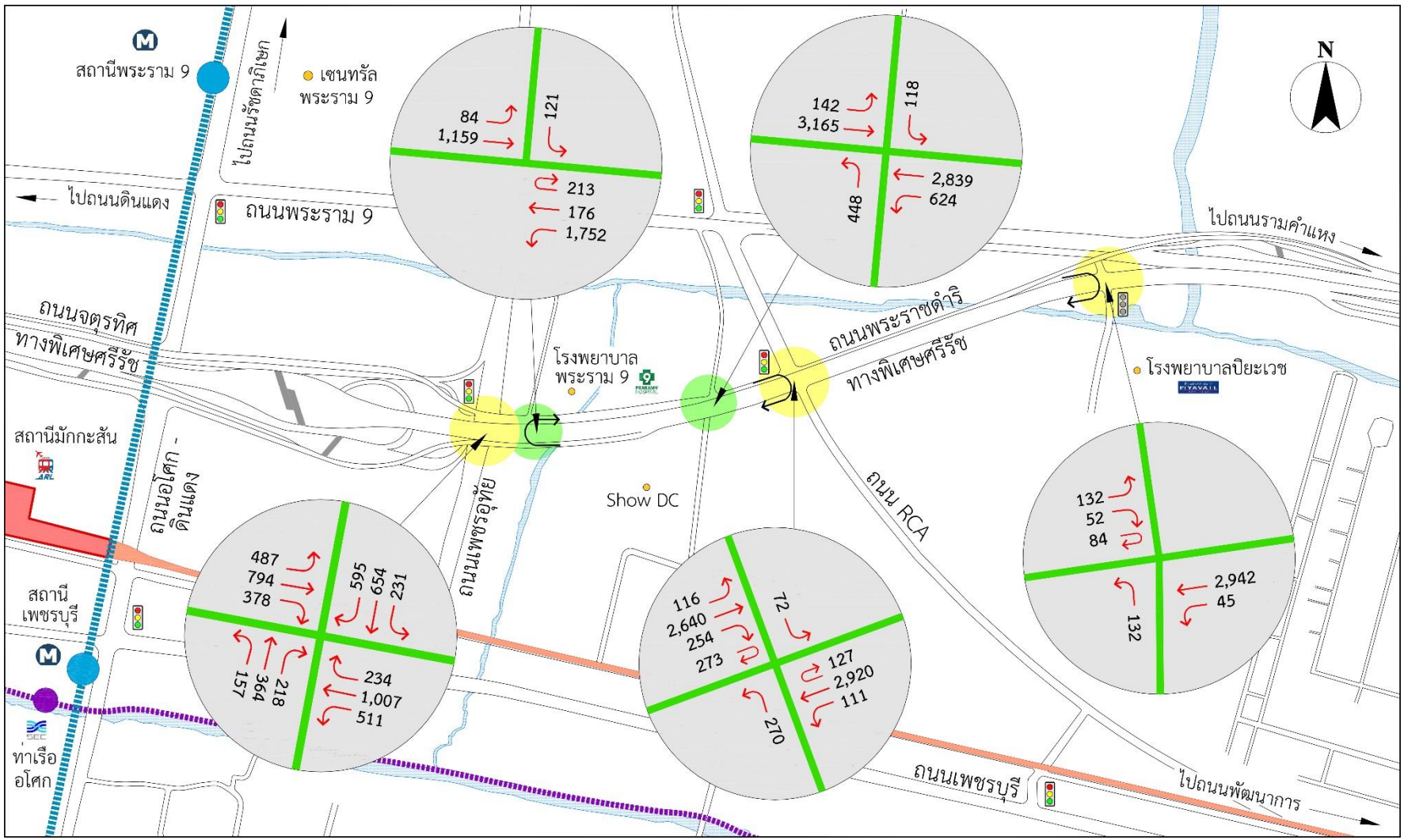
รูปที่ 4.3 : ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา



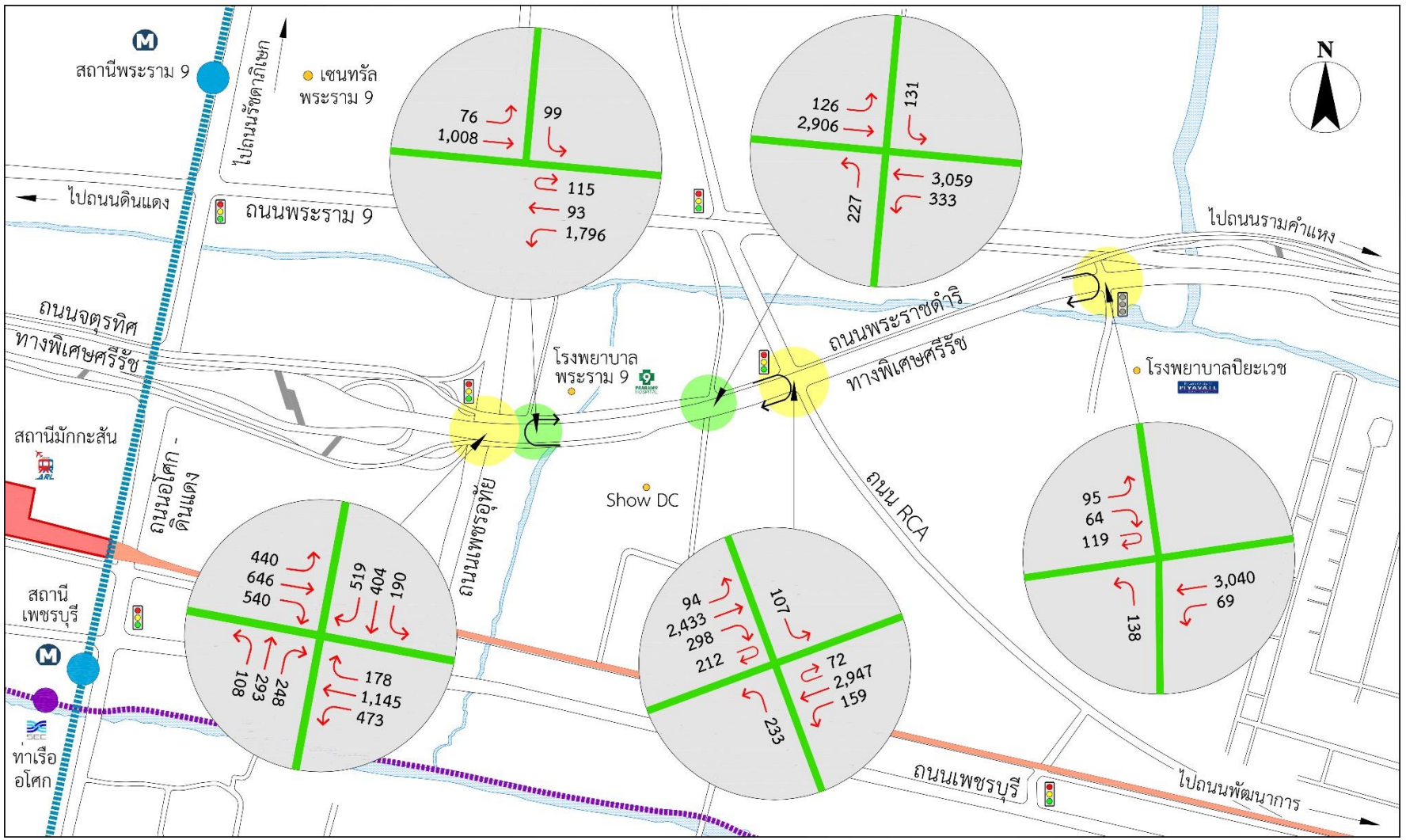
รูปที่ 4.4 : ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา



รูปที่ 4.5 : ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด



รูปที่ 4.6 : ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด



รูปที่ 4.7 : ปริมาณจราจรบนทางแยกบริเวณพื้นที่ศึกษา กรณีนอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา

ตารางที่ 4.3 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการสำรวจ

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
เร่งด่วนเช้า วันธรรมดา	590	140	190	300
เร่งด่วนเย็น วันธรรมดา	570	170	400	160
เร่งด่วนเช้า วันหยุด	470	220	230	260
เร่งด่วนเย็น วันหยุด	435	140	230	150
นอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา	450	110	205	170
แยกอาร์ ซี เอ (RCA)	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
เร่งด่วนเช้า วันธรรมดา	250	50	800	800
เร่งด่วนเย็น วันธรรมดา	290	40	730	650
เร่งด่วนเช้า วันหยุด	100	40	430	280
เร่งด่วนเย็น วันหยุด	110	45	480	210
นอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา	90	70	470	225
แยกโรงพยาบาลปิยะเวท	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
เร่งด่วนเช้า วันธรรมดา	20	-	55	250
เร่งด่วนเย็น วันธรรมดา	30	-	100	200
เร่งด่วนเช้า วันหยุด	20	-	50	200
เร่งด่วนเย็น วันหยุด	15	-	45	180
นอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา	15	-	60	190

4.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง

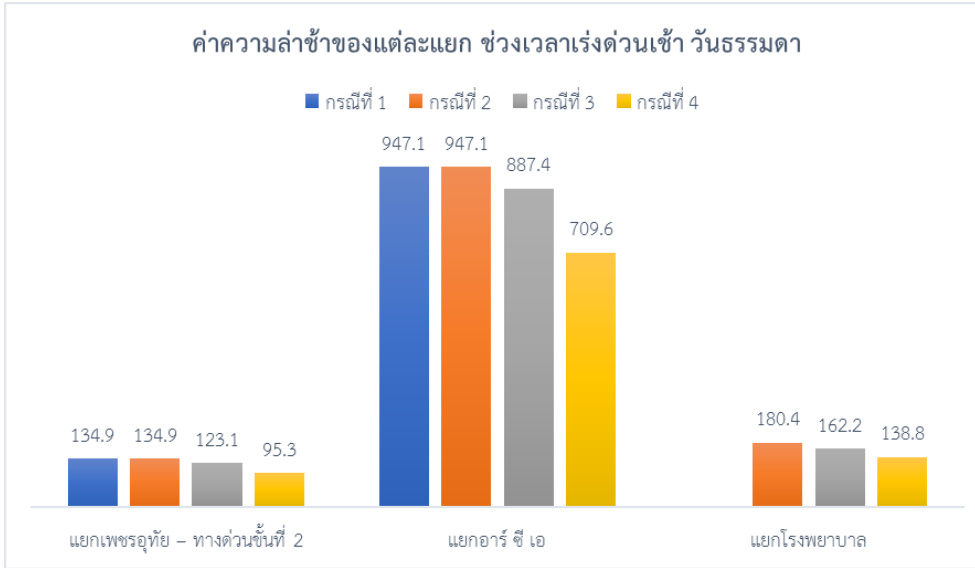
ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองของการศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษา โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและการรวบรวมสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างและพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร ซึ่งในกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีการปรับเทียบและทวนแบบจำลองให้มีสภาพคล้ายกับความเป็นจริงมากที่สุด นำไปสู่การจำลองสภาพจราจรทั้ง 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบของการใช้งานในปัจจุบัน กรณีที่ 2 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาล่วงหน้าหรือตั้งเวลาแน่นอน (Fixed Timed Signals) ในทุกทางแยกที่ทำการศึกษา กรณีที่ 3 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal) ในทุกทางแยกที่ทำการศึกษา และกรณีที่ 4 ให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่อยู่ใกล้เคียงกันให้มีการทำงานร่วมกัน โดยจะแสดงผลการวิเคราะห์แต่ละทางแยกเป็นช่วงเวลา 5 ช่วงเวลาได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นวันธรรมดา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นวันหยุด รวมถึง นอกช่วงเวลาเร่งด่วนในวันธรรมดาด้วย โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบในรูปแบบของตารางตามค่าดัชนีชี้วัด ได้แก่ ค่าความล่าช้า (วินาที/คัน) ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ระดับการให้บริการ (Level of Service) และ ความยาวแถวคอย (Queue length) ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความล่าช้า (Delay)

ค่าความล่าช้า Delay (วินาที/คัน) ของแต่ละแยกเมื่อใช้การจำลองในกรณีต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 : ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

กรณี	ความล่าช้า (Delay) วินาที/คัน			
	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยก RCA	แยก รพ. ปิยะเวท	ความล่าช้าเฉลี่ยลดลง (%)
1. การใช้งานในปัจจุบัน	134.9 (F)	947.1 (F)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	134.9 (F)	947.1 (F)	180.4 (F)	22%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	123.1 (F)	887.4 (F)	162.2 (F)	28%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	95.3 (F)	709.6 (F)	138.8 (F)	42%



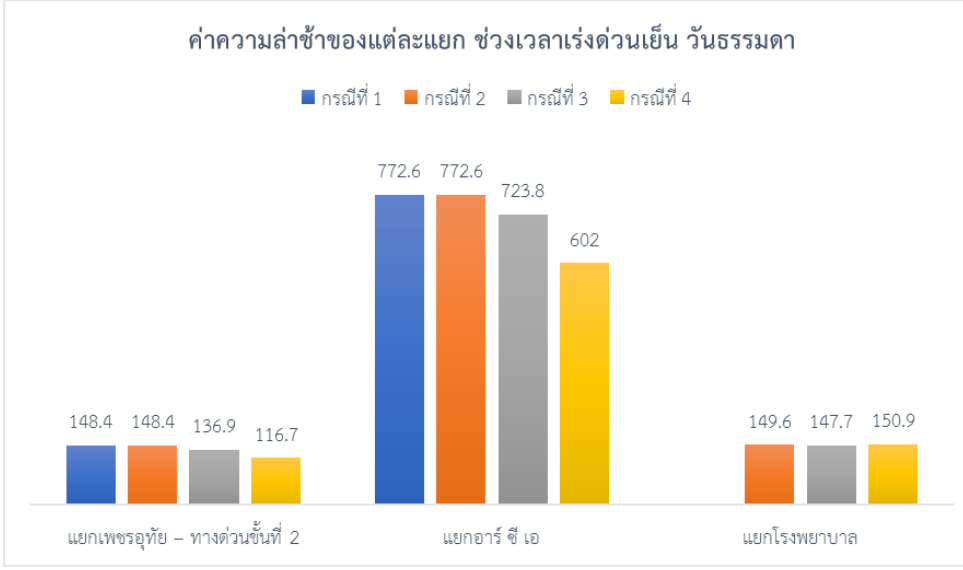
รูปที่ 4.8 : กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา เป็นการจราจรที่ผู้คนเริ่มออกไปทำงานหรือออกไปยังสถานศึกษา และเนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นถนนที่เชื่อมต่อไปยังทางพิเศษศรีรัชได้ จึงพบว่าปริมาณจราจรที่มุ่งไปทางทิศตะวันตกค่อนข้างหนาแน่น ค่าความล่าช้าโดยรวมมีค่ามากโดยเฉพาะแยกอาร์ ซี เอ เนื่องจากถนนอาร์ ซี เอ เป็นทางลัดที่เชื่อมจากถนนกำแพงเพชรทำให้รถที่เลี้ยวซ้ายเพื่อมุ่งสู่ถนนพระราชดำริค่อนข้างมาก และเมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 4.8 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความล่าช้าของแต่ละทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟ

จราจรในกรณีที่ 3 ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และมีค่าความล่าช้าลดลงมากที่สุดในกรณีของการประสานสัญญาณไฟจราจรซึ่งสามารถทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงได้ 42 %

ตารางที่ 4.5 : ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา

กรณี	ความล่าช้า (Delay) วินาที/คัน			
	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยก RCA	แยก รพ. ปิยะเวท	ความล่าช้าเฉลี่ยลดลง (%)
1. การใช้งานในปัจจุบัน	148.4 (F)	772.6 (F)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	148.4 (F)	772.6 (F)	149.6 (F)	23%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	136.9 (F)	723.8 (F)	147.7 (F)	27%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	116.7 (F)	602.0 (F)	150.9 (F)	37%



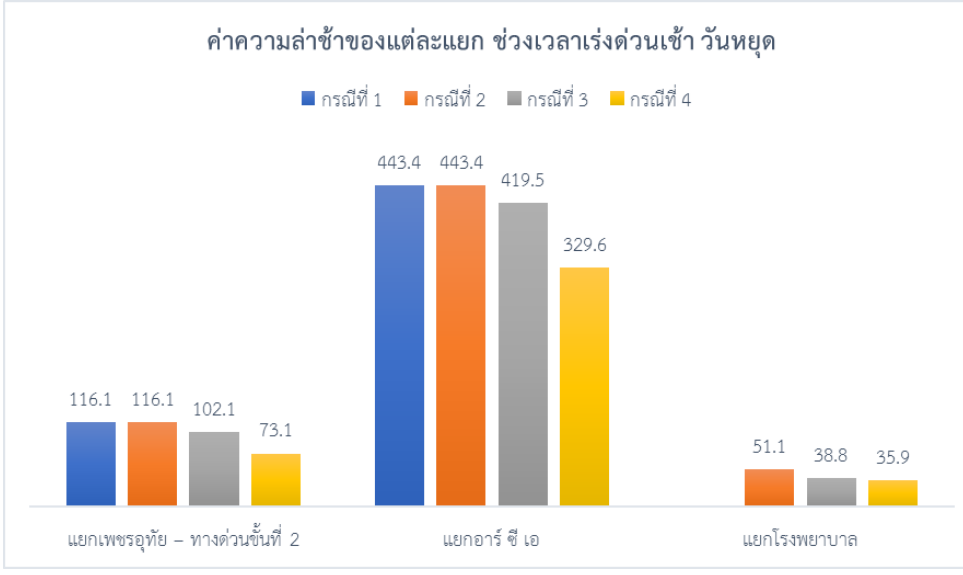
รูปที่ 4.9 : กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา มีปริมาณจราจรที่น้อยลงจากช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า อาจเนื่องด้วยมีการกระจายการเดินทางออกตามช่วงเวลาต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม

ปริมาณจราจรที่มุ่งหน้าไปทางทิศตะวันตกยังคงมากกว่า และเมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 4.9 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความล่าช้าของแต่ละทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในกรณีที่ 3 ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และมีค่าความล่าช้าลดลงมากที่สุดในกรณีของการประสานสัญญาณไฟจราจรซึ่งสามารถทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงได้ 37 %

ตารางที่ 4.6 : ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด

กรณี	ความล่าช้า (Delay) วินาที/คัน			
	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยก RCA	แยก รพ. ปิยะเวท	ความล่าช้าเฉลี่ยลดลง (%)
1. การใช้งานในปัจจุบัน	116.1 (F)	443.4 (F)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	116.1 (F)	443.4 (F)	51.1 (D)	27%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	102.1 (F)	419.5 (F)	38.8 (D)	33%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	73.1 (E)	329.6 (F)	35.9 (D)	48%

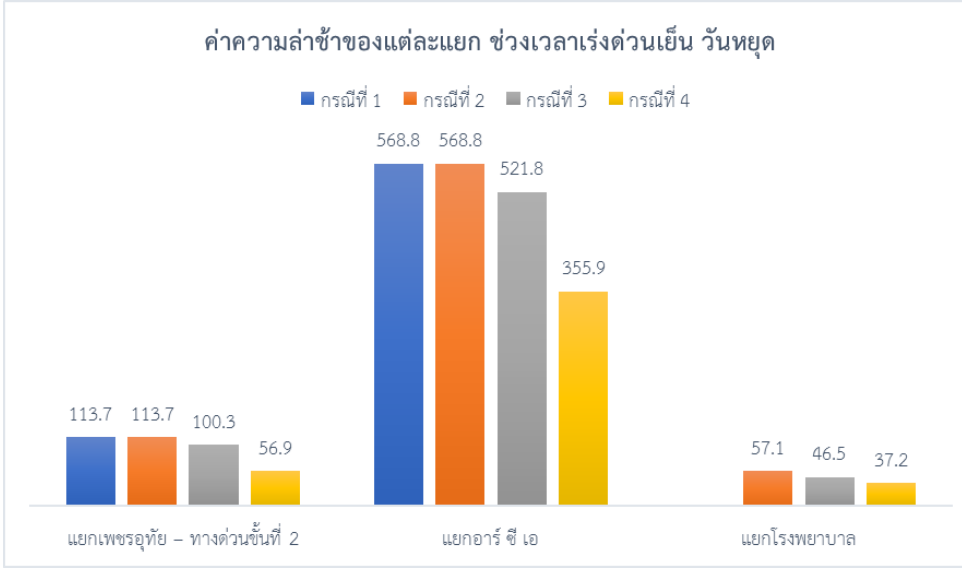


รูปที่ 4.10 : กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด การจราจรเบาบางลงอย่างเห็นได้ชัดจะสังเกตได้จากค่าวามล่าช้าที่ลดลงจากในวันธรรมดาค่อนข้างมาก เมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าความล่าช้าของแต่ละทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามกรณีที่ 3 ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และมีค่าความล่าช้าลดลงมากที่สุดในกรณีของการประสานสัญญาณไฟจราจรซึ่งสามารถทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงได้ 48 %

ตารางที่ 4.7 : ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด

กรณี	ความล่าช้า (Delay) วินาที/คัน			
	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยก RCA	แยก รพ. ปิยะเวท	ความล่าช้าเฉลี่ยลดลง (%)
1. การใช้งานในปัจจุบัน	113.7 (F)	568.8 (F)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	113.7 (F)	568.8 (F)	57.1 (E)	28%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	100.3 (F)	521.8 (F)	46.5 (D)	35%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	56.9 (E)	355.9 (F)	37.2 (D)	56%

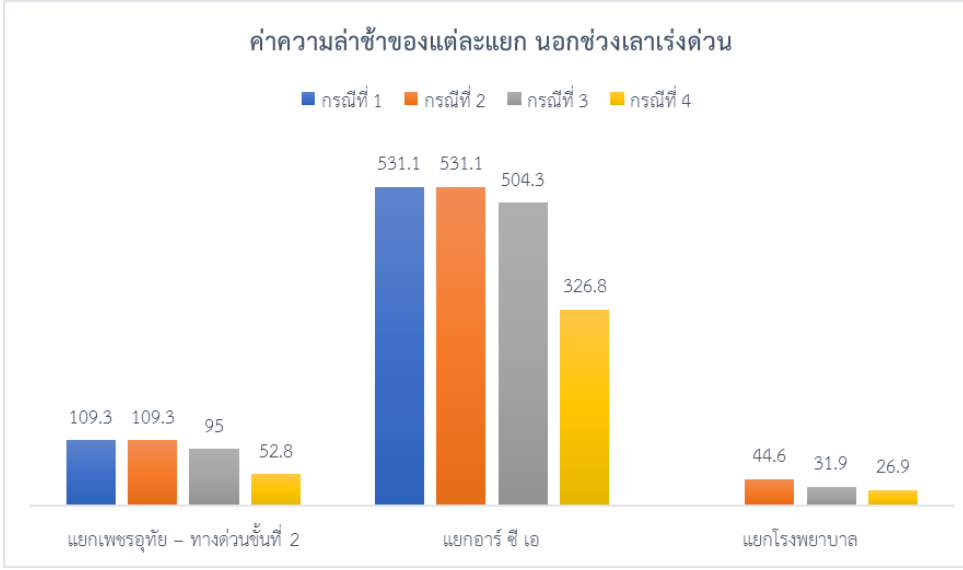


รูปที่ 4.11 : กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด ปริมาณจราจรโดยรวมลดลงจากช่วงเวลาอื่น ๆ แต่อาจจะมีปริมาณจราจรที่ยังคงสูงอยู่บ้างในบางทิศทาง โดยเมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าความล่าช้าของแต่ละทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในกรณีที่ 3 ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และมีค่าความล่าช้าลดลงมากที่สุดในกรณีของการประสานสัญญาณไฟจราจรซึ่งสามารถทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงได้ 56 %

ตารางที่ 4.8 : ค่าความล่าช้าของแต่ละแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา

กรณี	ความล่าช้า (Delay) วินาที/คัน			
	แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2	แยก RCA	แยก รพ. ปิยะเวท	ความล่าช้าเฉลี่ยลดลง (%)
1. การใช้งานในปัจจุบัน	109.3 (F)	531.1 (F)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	109.3 (F)	531.1 (F)	44.6 (D)	29%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	95.0 (F)	504.3 (F)	31.9 (C)	34%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	52.8 (E)	326.8 (F)	26.9 (C)	58%



รูปที่ 4.12 : กราฟแสดงค่าความล่าช้าของแต่ละแยก นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา

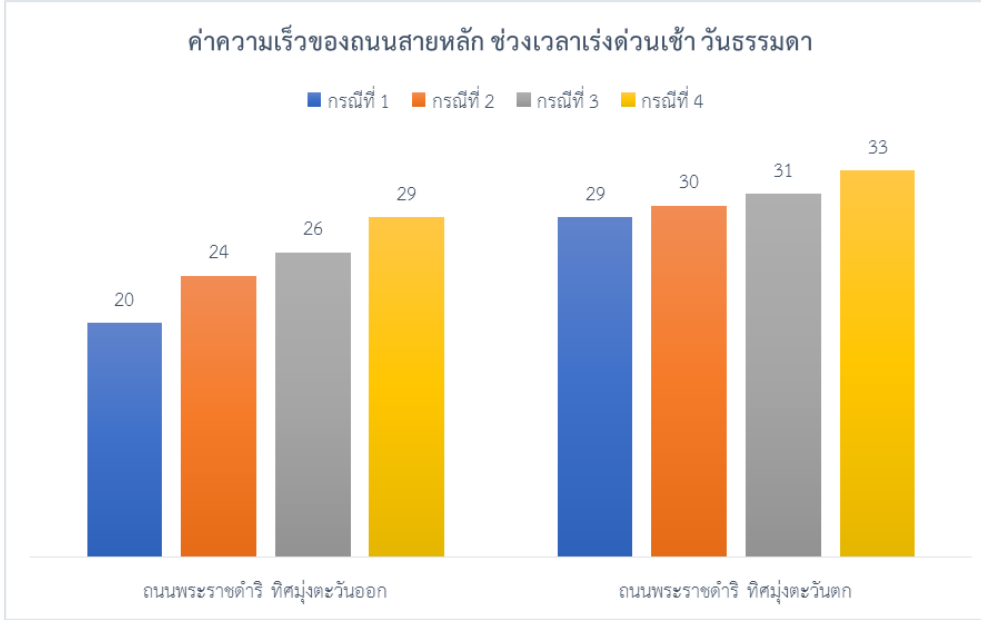
จากตารางที่ 4.8 พบว่า นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา ปริมาณจราจรในช่วงเวลานี้มีความคล่องตัวกว่าช่วงเวลาเร่งด่วนทั้งเช้าและเย็น ซึ่งค่าความล่าช้าของทุกทางแยกในกรณีต่าง ๆ ลดลงมากที่สุด และเมื่อดูจากกราฟในรูปที่ 4.12 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความล่าช้าของแต่ละทางแยกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในกรณีที่ 3 ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และมีค่าความล่าช้าลดลงมากที่สุดในกรณีของการประสานสัญญาณไฟจราจรซึ่งสามารถทำให้ความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงได้ 58 %

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความเร็ว (Speed)

ความเร็ว Speed (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ของแต่ละแยกเมื่อใช้การจำลองในกรณีต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.9 ถึงตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.9 : ค่าความเร็วของถนนสายหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

กรณี	ความเร็วในการเดินทาง (Speed) กม./ชม.			
	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันออก	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันตก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่งตะวันออก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	20 (D)	29 (C)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	24 (C)	30 (C)	9%	2%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	26 (C)	31 (C)	13%	3%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	29 (C)	33 (B)	18%	6%

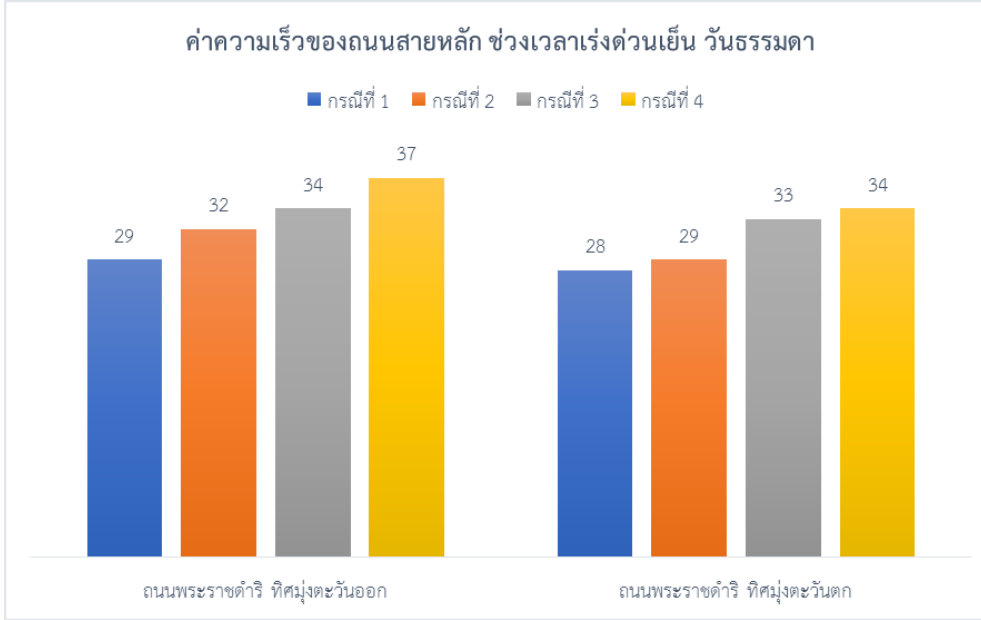


รูปที่ 4.13 : กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา ค่าความเร็วของถนนพระราชดำริมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 20 กม./ชม. และ 29 กม./ชม. ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ แต่เมื่อจัดการการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรกันทั้งหมดสามารถทำให้ความเร็วในการเดินทางบนถนนสายหลักเพิ่มขึ้นได้ 18% และ 6% ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 : ค่าความเร็วของถนนสายหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา

กรณี	ความเร็วในการเดินทาง (Speed) กม./ชม.			
	ถนน พระราชดำริ ทิศ มุ่งตะวันออก	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันตก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันออก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	29 (C)	28 (C)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	32 (B)	29 (C)	5%	2%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	34 (B)	33 (B)	8%	8%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	37 (B)	34 (B)	12%	10%

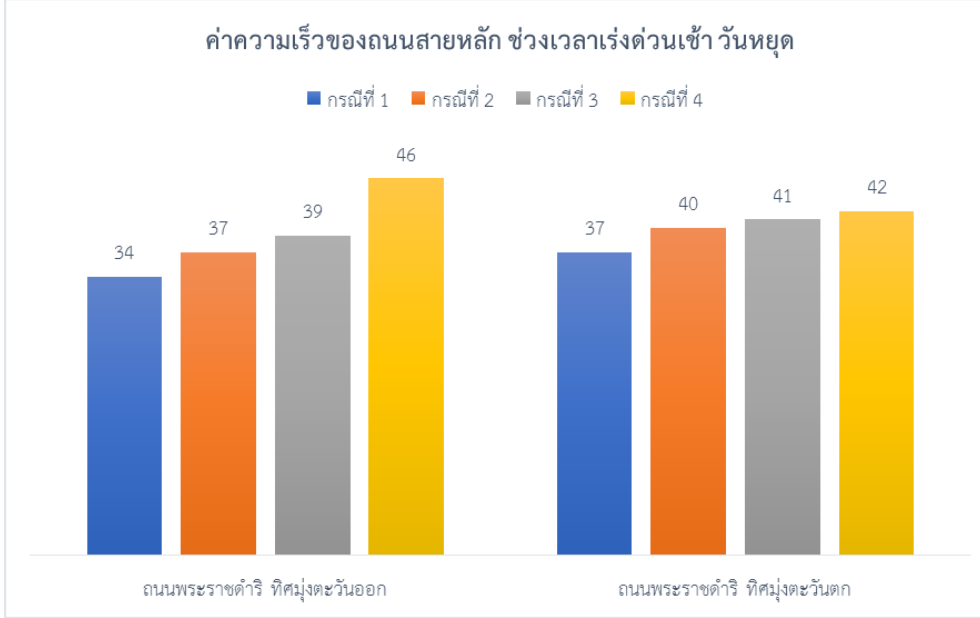


รูปที่ 4.14 : กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.14 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา ค่าความเร็วของถนนพระราชดำริมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 29 กม./ชม. และ 28 กม./ชม. ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ แต่เมื่อจัดการการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรกันทั้งหมดสามารถทำให้ความเร็วในการเดินทางบนถนนสายหลักเพิ่มขึ้นได้ 12% และ 10% ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 : ค่าความเร็วของถนนสายหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด

กรณี	ความเร็วในการเดินทาง (Speed) กม./ชม.			
	ถนน พระราชดำริ ทิศ มุ่งตะวันออก	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันตก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันออก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	34 (B)	37 (B)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	37 (B)	40 (B)	4%	4%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	39 (B)	41 (A)	7%	5%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	46 (A)	42 (A)	15%	6%

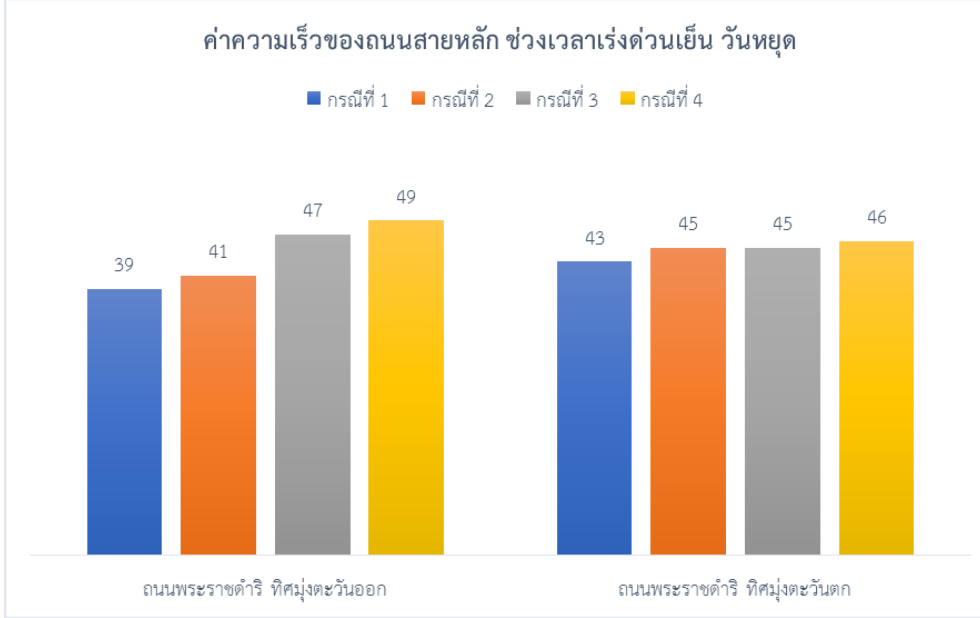


รูปที่ 4.15 : กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.15 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด ค่าความเร็วของถนนพระราชดำริมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 34 กม./ชม. และ 37 กม./ชม. ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ แต่เมื่อจัดการการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรกันทั้งหมดสามารถทำให้ความเร็วในการเดินทางบนถนนสายหลักเพิ่มขึ้นได้ 15% และ 6% ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 : ค่าความเร็วของถนนสายหลักที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด

กรณี	ความเร็วในการเดินทาง (Speed) กม./ชม.			
	ถนน พระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันออก	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันตก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่งตะวันออก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	39 (B)	43 (A)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	41 (A)	45 (A)	3%	2%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	47 (A)	45 (A)	9%	2%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	49 (A)	46 (A)	11%	3%

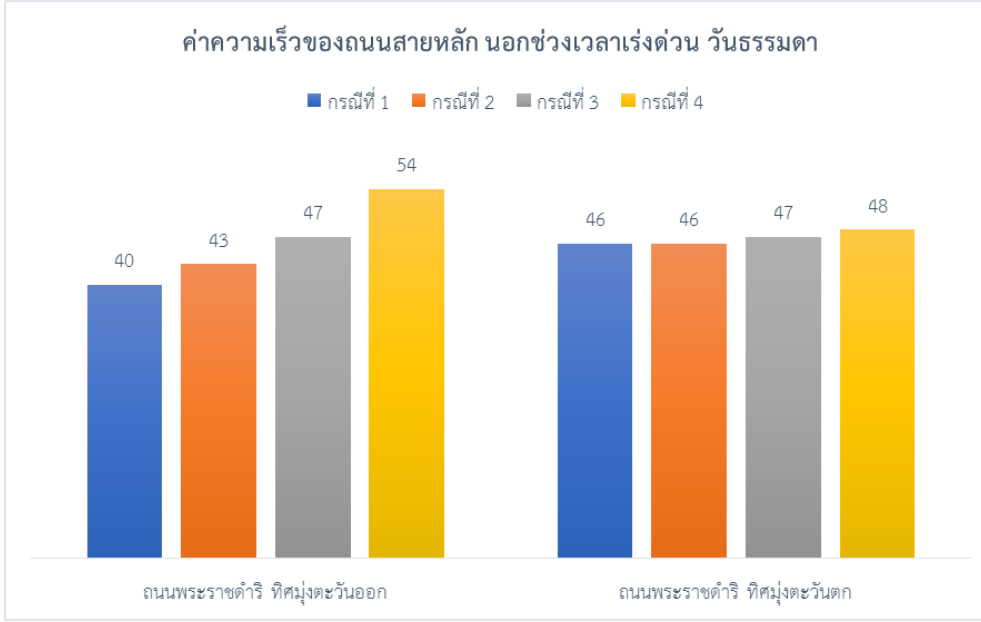


รูปที่ 4.16 : กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.16 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด ค่าความเร็วของถนนพระราชดำริมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 39 กม./ชม. และ 43 กม./ชม. ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ แต่เมื่อจัดการการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรกันทั้งหมดสามารถทำให้ความเร็วในการเดินทางบนถนนสายหลักเพิ่มขึ้นได้ 11% และ 3% ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 : ค่าความเร็วของถนนสายหลักได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา

กรณี	ความเร็วในการเดินทาง (Speed) กม./ชม.			
	ถนน พระราชดำริ ทิศ มุ่งตะวันออก	ถนนพระราชดำริ ทิศมุ่งตะวันตก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันออก	ความเร็วเพิ่มขึ้น (%) ทิศมุ่ง ตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	40 (B)	46 (A)	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	43 (A)	46 (A)	4%	0%
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	47 (A)	47 (A)	8%	1%
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	54 (A)	48 (A)	15%	2%



รูปที่ 4.17 : กราฟแสดงค่าความเร็วของถนนสายหลัก ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

จากตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.17 พบว่า ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด ค่าความเร็วของถนนพระราชดำริมีค่าต่ำที่สุดอยู่ที่ 40 กม./ชม. และ 46 กม./ชม. ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ แต่เมื่อจัดการการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรกันทั้งหมดสามารถทำให้ความเร็วในการเดินทางบนถนนสายหลักเพิ่มขึ้นได้ 15% และ 2% ในทิศทางมุ่งตะวันออกและทิศทางมุ่งตะวันตกของถนน ตามลำดับ

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความยาวแถวคอย (Queue Length)

ความยาวแถวคอย Queue Length (เมตร) ของแต่ละแยกเมื่อใช้การจำลองในกรณีต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.14 ถึงตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.14 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	594.6	140.9	189.0	292.5
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	594.6	140.9	189.0	292.5
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	524.3 (-)	123.9 (-)	165.4 (-)	434.8 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	109.7 (-)	69.7 (-)	104.4 (-)	270.8 (-)
แยกอาร์ ซี เอ (RCA)				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	259.4	45.5	819.9	814.4
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	259.4	45.5	819.9	814.4
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	259.4 (=)	45.5 (=)	819.9 (=)	814.4 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	285.6 (+)	49.8 (+)	876.7 (+)	657.7 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.14 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา (ต่อ)

แยกโรงพยาบาลปิยะเวท				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	-	-	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	62.2	-	70.7	474.7
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	62.2 (=)	-	70.7 (=)	474.7 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	17.5 (-)	-	56.3 (-)	256.7 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ในแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 และแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ความยาวแถวคอยของการจราจรในกระแสหลักนั้นลดลงเมื่อมีการปรับใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามรูปแบบกรณีที่ 3 เป็นการควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจรและจะลดลงมากที่สุดเมื่อมีการกำหนดให้มีควบคุมสัญญาณไฟตามกรณีที่ 4 การประสานสัญญาณไฟจราจร แต่ในส่วนของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) นั้นกลับมีความยาวของแถวคอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากหลักการทำงานของโปรแกรมจะเอื้อให้กับการจราจรในกระแสหลัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในบางทิศทางของแยกอาร์ ซี เอ จะมีค่าความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการประสานสัญญาณไฟจราจร

ตารางที่ 4.15 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	578.4	165.1	411.2	154.6
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	578.4	165.1	411.2	154.6
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	508.0 (-)	144.9 (-)	360.9 (-)	135.0 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	243.4 (-)	65.4 (-)	174.4 (-)	63.2 (-)
แยกอาร์ ซี เอ (RCA)				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	287.3	40.3	882.6	655.2
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	287.3	40.3	882.6	655.2
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	287.3	40.3	882.6	655.2
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	94.0 (-)	14.4 (-)	233.7 (-)	252.0 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.15 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา (ต่อ)

แยกโรงพยาบาลปิยะเวท				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	-	-	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	113.0	-	174.3	352.6
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	113.0 (=)	-	174.3 (=)	352.6 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	110.1 (-)	-	170.8 (-)	348.3 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ทั้ง 3 แยกที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นมีความยาวแถวคอยของการจราจรในกระแสหลักลดลงเมื่อมีการปรับใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในกรณีที่ 3 เป็นแบบกึ่งตามปริมาณจราจรแต่จะลดลงมากที่สุดเมื่อมีการกำหนดให้มีการควบคุมสัญญาณไฟตามกรณีที่ 4 การประสานสัญญาณไฟจราจร

ตารางที่ 4.16 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	466.6	223.6	231.7	260.4
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	466.6	223.6	231.7	260.4
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	410.3 (-)	195.5 (-)	204.4 (-)	227.7 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	168.3 (-)	80.4 (-)	90.8 (-)	91.3 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.16 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด (ต่อ)

แยกอาร์ ซี เอ (RCA)				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	102.3	40.7	428.3	278.7
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	102.3	40.7	428.3	278.7
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	102.3 (=)	40.7 (=)	428.3 (=)	278.7 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	39.6 (-)	22.4 (-)	222.4 (-)	291.1
แยกโรงพยาบาลปิยะเวท				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	-	-	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	57.7	-	40.6	332.0
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	57.7 (=)	-	40.6 (=)	332.0 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	73.3 (+)	-	45.8 (+)	357.8 (+)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.16 พบว่า ในแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 และแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ความยาวแถวคอยของการจราจรในกระแสหลักนั้นลดลงเมื่อมีการปรับใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามกรณีที่ 3 เป็นแบบกึ่งตามปริมาณจราจรแต่จะลดลงมากที่สุดเมื่อมีการกำหนดให้มีการควบคุมสัญญาณไฟตามดรณีที่ 4 การประสานสัญญาณไฟจราจร แต่ในส่วนของแยกโรงพยาบาลปิยะเวทนั้นกลับมีความยาวของแถวคอยเพิ่ม เนื่องจากหลักการทำงานของโปรแกรมจะเอื้อให้กับการจราจรใน

กระแสหลัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในบางทิศทางของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท จะมีค่าความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการประสานสัญญาณไฟจราจร

ตารางที่ 4.17 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	435.7	143.0	227.2	284.4
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	435.7	143.0	227.2	284.4
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	380.6 (-)	124.3 (-)	203.5 (-)	249.5 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	153.0 (-)	66.8 (-)	118.3 (-)	134.3 (-)
แยกอาร์ ซี เอ (RCA)				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	106.7	43.3	482.4	213.0
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	106.7	43.3	482.4	213.0
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	106.7 (=)	43.3 (=)	482.4 (=)	213.0 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	41.8 (-)	24.0 (-)	449.8 (-)	127.0 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.17 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด (ต่อ)

แยกโรงพยาบาลปิยะเวท				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	-	-	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	36.9	-	70.3	246.7
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	23.5 (-)	-	57.5 (-)	199.1 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	15.2 (-)	-	42.7 (-)	178.0 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.17 พบว่า ทั้ง 3 แยกที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นมีความยาวแถวคอยของการจราจรในกระแสหลักลดลงเมื่อมีการปรับใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในกรณีที่ 3 เป็นแบบกึ่งตามปริมาณจราจรแต่จะลดลงมากที่สุดเมื่อมีการกำหนดให้มีการควบคุมสัญญาณไฟตามกรณีที่ 4 การประสานสัญญาณไฟจราจร

ตารางที่ 4.18 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา

แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	445.6	106.1	204.6	171.7
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	445.6	106.1	204.6	171.7
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	395.3 (-)	93.3 (-)	181.8 (-)	149.5 (-)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	148.1 (-)	49.7 (-)	112.4 (-)	82.0 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.18 : ความยาวแถวคอยของทางแยกที่ได้จากการวิเคราะห์ ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา (ต่อ)

แยกอาร์ ซี เอ (RCA)				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	90.7	70.7	469.7	225.1
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	90.7	70.7	469.7	225.1
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	90.7 (=)	70.7 (=)	469.7 (=)	225.1 (=)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	36.3 (-)	33.5 (-)	436.9 (-)	308.2 (+)
แยกโรงพยาบาลปิยะเวท				
กรณี	ความยาวแถวคอยในแต่ละทิศทางหลัก (เมตร)			
	ทิศมุ่งเหนือ	ทิศมุ่งใต้	ทิศมุ่งตะวันออก	ทิศมุ่งตะวันตก
1. การใช้งานในปัจจุบัน	-	-	-	-
2. ควบคุมแบบคงทั้งหมด	52.5	-	53.5	308.6
3. ควบคุมแบบกึ่งตามปริมาณจราจร	52.5 (=)	-	53.5 (=)	309.3 (+)
4. ประสานสัญญาณไฟจราจร	110.4 (+)	-	18.4 (-)	248.8 (-)

หมายเหตุ : (-) คือมีค่าลดลง, (=) คือมีค่าเท่าเดิม, (+) คือมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ทั้ง 3 แยกที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นมีความยาวแถวคอยของการจราจรในกระแสหลักลดลงเมื่อมีการปรับใช้รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบกรณีที่ 3 เป็นแบบกึ่งตามปริมาณจราจรแต่จะลดลงมากที่สุดเมื่อมีการกำหนดให้มีการควบคุมสัญญาณไฟให้เป็นไปตามกรณีที่ 4 การประสานสัญญาณไฟจราจร แต่จะมีในบางทิศทางเท่านั้นที่ความยาวของแถวคอยมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหลักการทำงานของโปรแกรมจะเอื้อให้กับการจราจรในกระแสหลัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจะมีค่าความยาวแถวคอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในบางทิศทางเท่านั้น

4.3 สรุปผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพการจราจรด้วยโปรแกรม Synchro โดยได้มีการจำลองสภาพกรจราจรออกเป็น 4 กรณี พบว่า เมื่อใช้ตัวชี้วัด 3 ประเภทได้แก่ ความล่าช้าในการเดินทาง ความเร็วในการเดินทาง และความยาวของแถวคอยที่ใช้ในการรอสัญญาณไฟจราจรนั้น แนวโน้มของผลที่ได้มีค่าลดลงเมื่อมีการจำลองสภาพการจราจรในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ซึ่งข้อแตกต่างของที่ 4 กรณี คือ กรณีที่ 1 นั้นมีการใช้รอบสัญญาณไฟจราจรที่ต่างกันค่อนข้างมาก ทำให้บริเวณถนนสายหลักเกิดแถวคอยยาวทุก ๆ ทางแยก แต่เมื่อลองปรับใช้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามรูปแบบกรณีที่ 2 จะมีข้อดีตรงที่การบริหารจัดการง่าย แต่ข้อเสียคือจะทำให้รถที่อยู่ในทิศทางการสัญจรที่เยอะกว่าต้องเสียเวลาในการรอจังหวะสัญญาณไฟจากทิศทางที่มีรถสัญจรอยู่น้อย แต่เมื่อเราเปลี่ยนการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมาเป็นกรณีที่ 3 การเสียเวลาที่เกิดจากการรอจังหวะสัญญาณไฟจากทิศทางที่มีรถสัญจรน้อยจะหายไป แต่ข้อเสียคือ การใช้งานจะเหมาะสมกับช่วงนอกเวลาเร่งด่วนเท่านั้น ในส่วนของกรณีที่ 4 เป็นการประสานระบบสัญญาณไฟของทุกทางแยกให้ทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ข้อดีคือช่วยลดค่าความล่าช้าลงอย่างมาก แต่ข้อเสียของรูปแบบการคบคุมนี้จะไม่เหมาะกับช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรนั้นมีไม่มากนัก

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร กรณีศึกษาถนนโครงการพราะราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 นี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะศึกษาแนวทางและประสิทธิภาพในการออกแบบการประสานสัญญาณไฟจราจรบริเวณถนนโครงการพระราชดำริ ณ ปัจจุบัน ซึ่งเป็นบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจรโดยมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อกันตั้งแต่แยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 (แยกมารยาทดี) ไปจนถึงแยกโรงพยาบาลปิยะเวท โดยมุ่งเน้นในการลดผลกระทบด้านจราจรบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับมหภาค ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะทำการสำรวจข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานและสถานที่ต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับมหภาคต่อไป

ในการศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร จากการสร้างแบบจำลองสภาพจราจรระดับมหภาคด้วยโปรแกรม Synchro จะถูกแบ่งออกเป็น 5 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าของวันธรรมดา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นของวันธรรมดา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าของวันหยุด ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นของวันหยุด และนอกช่วงเวลาเร่งด่วนของวันธรรมดา โดยมีการกำหนดรูปแบบของการจำลองสภาพจราจรของแต่ละช่วงเวลาออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในรูปแบบของการใช้งานในปัจจุบัน กรณีที่ 2 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาล่วงหน้าหรือตั้งเวลาแน่นอน (Fixed Timed Signals) ในทุกทางแยกที่ทำการศึกษา กรณีที่ 3 มีรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal) ในทุกทางแยกที่ทำการศึกษา และกรณีที่ 4 ให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่อยู่ใกล้เคียงกันให้มีการทำงานร่วมกัน ซึ่งจากหลักการในการวิเคราะห์ดังกล่าวจะใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านจราจรเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาที่เกิดขึ้นได้โดยตัวชี้วัดที่ใช้จะประกอบด้วย ความล่าช้าที่เกิดจากการเดินทาง (Delay) ความเร็วในการเดินทาง (Speed) และความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการรอสัญญาณไฟจราจรในทิศทางหลัก (Queue Length) รวมไปถึงยังมีระดับการให้บริการ (Level of Service) เพื่อเป็นการวัดเชิงคุณภาพที่จะสามารถบอกถึงสภาพการจราจรได้อีกด้วย โดยผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการเดินทางของแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อมีการออกแบบให้ทางแยกทั้งหมดมีการประสานสัญญาณไฟจราจร เช่นเดียวกันกับความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการเดินทางจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้งานในรูปแบบของการประสานสัญญาณไฟจราจร และในส่วนของความยาวแถวคอยที่เกิดจากการรอสัญญาณไฟจราจรจะมีค่าลดลงเมื่อมีการประสานสัญญาณไฟโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 แต่จะมีบางทิศทางของ

แยกอาร์ ซี เอ (RCA) และแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าลดลงแต่ในทางกลับกันความเร็วในการเดินทางนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 10 – ในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น คือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็นของวันธรรมดา สมควรให้มีการประสานสัญญาณไฟจราจรไปยังแยกที่อยู่ใกล้เคียงเพราะจะทำให้ค่าความล่าช้าในการเดินทางลดลงเกินกว่าร้อยละ 42 และ 37 ตามลำดับ 12 สำหรับการจราจรในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเบาบางลงนั้น ถึงแม้ว่าจากผลการวิเคราะห์ ในกรณีที่มีการประสานสัญญาณไฟจราจรจะทำให้ความล่าช้าลดลงมากที่สุดก็ตาม แต่ในช่วงเวลาที่ปริมาณจราจรเบาบางนี้สามารถใช้รูปแบบการปล่อยสัญญาณไฟจราจรที่มีการตั้งค่าปรับเปลี่ยนไปตามปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางได้ ซึ่งจะช่วยให้ปริมาณจราจรมีความคล่องตัวมากขึ้นเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการรอสัญญาณไฟจราจรให้กับทิศทางที่ไม่มีรถสัญจร โดยการใช้สัญญาณไฟจราจรในรูปแบบนี้จะทำให้ค่าความล่าช้าเฉลี่ยโดยรวมลดลงอยู่ที่ร้อยละ 34 ความยาวของแถวคอยมีค่าลดลงเล็กน้อยแต่ความเร็วในการเดินทางนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 15 ในทิศมุ่งตะวันออก และร้อยละ 2 ในทิศมุ่งตะวันตกของถนนพระราชดำริ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยครั้งนี้ปริมาณจราจรที่นำมาใช้ในการสร้างและพัฒนาแบบจำลองนั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งเป็นการเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์และครบถ้วน ณ เวลาดังกล่าว แต่ในความเป็นจริงสภาพการจราจรย่อมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นทุก ๆ ปี ดังนั้นการเก็บข้อมูลควรปรับปรุงให้มีความทันสมัยในทุก ๆ ปี เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์สภาพจราจรให้เป็นไปอย่างถูกต้องและสามารถพัฒนาระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน

เนื่องจากการศึกษาการประสานสัญญาณไฟจราจรนี้เป็นงานศึกษาในระดับเบื้องต้น หากว่ามีการนำหลักการและแนวคิดของงานวิจัยนี้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาให้เกิดเป็นระบบโครงข่ายที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านจราจรและขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป อย่างไรก็ตาม การนำผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้หรือศึกษาต่อนั้น อาจจะมีการศึกษาในขอบเขตพื้นที่ที่กว้างออกไป ครอบคลุมพื้นที่ทางแยกที่มีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่มากขึ้น โครงข่ายใหญ่ขึ้น และควรให้มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกับเลือกใช้แบบจำลองที่หลากหลายมากขึ้นกว่าการใช้โปรแกรม Synchro อีกทั้งควรจะมีการลองนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปปรับใช้กับสัญญาณไฟจราจรจริงเพื่อเป็นการตรวจสอบดูว่าผลที่ได้นี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับความเป็นจริงหรือไม่ และหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาการตั้งเวลาของรอบสัญญาณไฟจราจรได้ในอนาคต และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดรอบสัญญาณไฟสามารถใช้การศึกษานี้เพื่ออ้างอิงในการพัฒนาระบบสัญญาณไฟต่อไปบนเส้นทางอื่น ๆ ให้เกิด

สุดท้ายนี้ การวิจัยนี้ไม่ได้มีการคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ หากมีการอ้างอิงถึงค่าใช้จ่าย กับแบบจำลอง อาจมีผลในการวิเคราะห์การตัดสินใจเลือกแบบจำลองอื่น ในการจัดการจราจรต่อไป

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

5.3.1 ได้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพและประสิทธิภาพการใช้งานของระบบสัญญาณไฟจราจรที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา

5.3.2 สามารถกำหนดแนวทางการปรับปรุงรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับบริเวณพื้นที่ศึกษาให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

5.3.3 ช่วยลดผลกระทบด้านจราจรที่เกิดขึ้นกับบริเวณพื้นที่ศึกษา อาทิเช่น ช่วยลดความล่าช้าในการเดินทางและความยาวของแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการรอสัญญาณไฟจราจร และช่วยทำให้ความเร็วในการเดินทางนั้นเพิ่มขึ้น

5.3.4 สามารถนำแนวคิดจากงานวิจัยนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอด เพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด กับโครงข่ายแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตกรุงเทพมหานครต่อไป

บรรณานุกรม

Roger P. Roess, William R. Mcshane and Elena S. Prassas. Traffic engineering, 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1989.

R. JAYAKRISHNAN. et.al. 1995 “A Dynamic Traffic Assignment Model with Traffic-Flow Relationships”. California

Highway Capacity Manual. 2000. Transportation Research Board. Washington D.C., USA.

Kaseko. 2002. “Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operation.” Traffic and Traffic Planning. Page 101-206

Louis J Pignataro. Traffic Engineering Theory and Practice. New Jersey: Prentice-Hall, 1973. Page 375.

David Husch and John Albech. Copyright 1993-2001. Trafficware Corporation. “Trafficware SimTraffic 5.0 User Guide for Windows”

David Husch and John Albech. Copyright 1993-2001. Trafficware Corporation. “Trafficware Synchro 5.0 User Guide for Windows”

Maria de Lourdes Simoes. Queues with survey Vacation in urban traffic control. Actas do IX Congress Annual da SPE 2007, pp. 1181-1186

Han, L.D., and Li, J.M. (2007). Short or Long - Which Is Better? Probabilistic Approach to Cycle Length Optimization. Traffic Signal Systems and Regional Transportation Systems Management.

Prabnasak, J., Yue, W.L. (2549). Using aaSIDRA and paramics in evaluation of a traffic signal coordination development in khon kaen city, thailand [CD-ROM]. ในเอกสารการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 3 (หน้า 33-46). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา, “วิศวกรรมจราจร”, หน้า 124-178

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. ร่างรายงานคู่มือมาตรฐานด้านการจัดระบบการจราจร. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2559.

สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2019. Available from: http://km.rdpb.go.th/Project/View/6647

สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. แผนบูรณาการเพื่อพัฒนาระบบโครงข่ายด้านการขนส่งและจราจร, 2019. Available from: https://transpos.azurewebsites.net/transport2.php

กมล ปุ่นศิริ, การประยุกต์ใช้โปรแกรม SIDRA ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในเมืองหาดใหญ่และในเมืองอุบลราชธานี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา (การขนส่ง) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2542

พลเทพ เลิศวรวนิช. (2553). การออกแบบสัญญาณไฟจราจรบนทางหลวง. รายงานฉบับที่ วพ. 283 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง. กรมทางหลวง.

ศิวกร อมตวีระกุล และคณะ. (2556). ศึกษาวิธีลดความล่าช้าที่ทางแยกเดี่ยวด้วยการปรับรอบสัญญาณไฟจราจร (กรณีศึกษา: แยกกำนันธารทิพย์ ถ.พุทธบูชา). การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทวี วิชัยเมธาวี. 2545. “การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพอิ่มตัว” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์. (2557). การประยุกต์ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลักที่มีปริมาณจราจรไม่สม่ำเสมอ: กรณีศึกษาสามแยกประตู 1 สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วีรชัย และคณะ. (2554). โครงการสาธิตการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะเพื่อลดการใช้พลังงานในภาคขนส่ง. รายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วุฒิชัย อมรประสิทธิ์ผล, หฤษฎ์ ประเสริฐสิน, จิตติชัย รุจนกนกนาฏ และ ทรงฤทธิ์ ชยานันท์. การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเพื่อปรับปรุงการตั้งเวลาสัญญาณไฟจราจรบนทางหลวง 351. In: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18. Toulouse, 8-10 May 2013, pp.90-97.

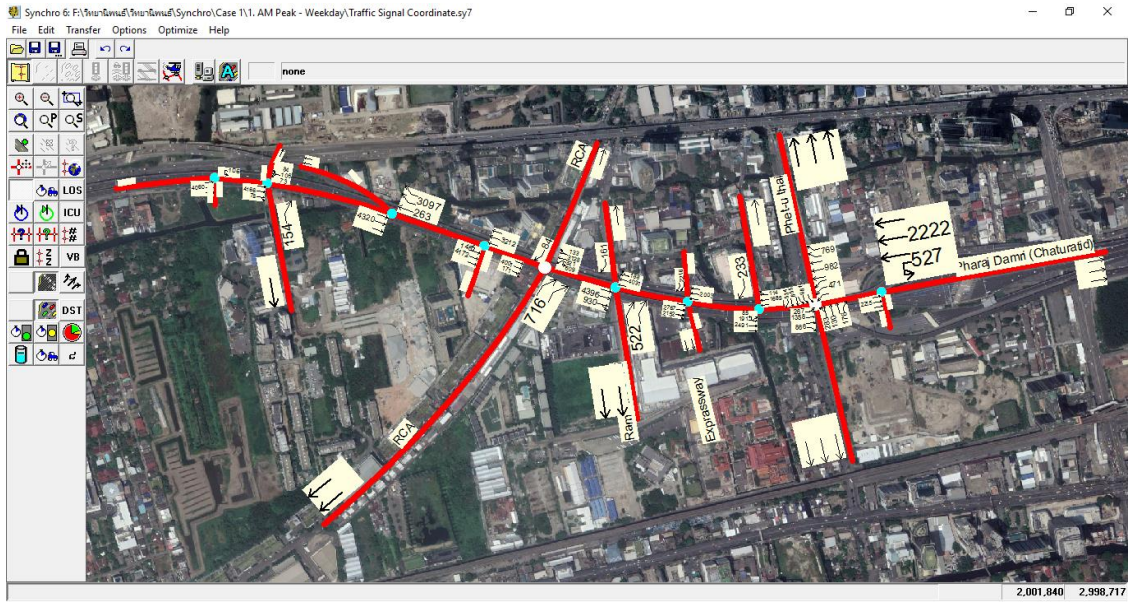
อรอนงค์ แสงผ่อง 2553. การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล 2550. การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

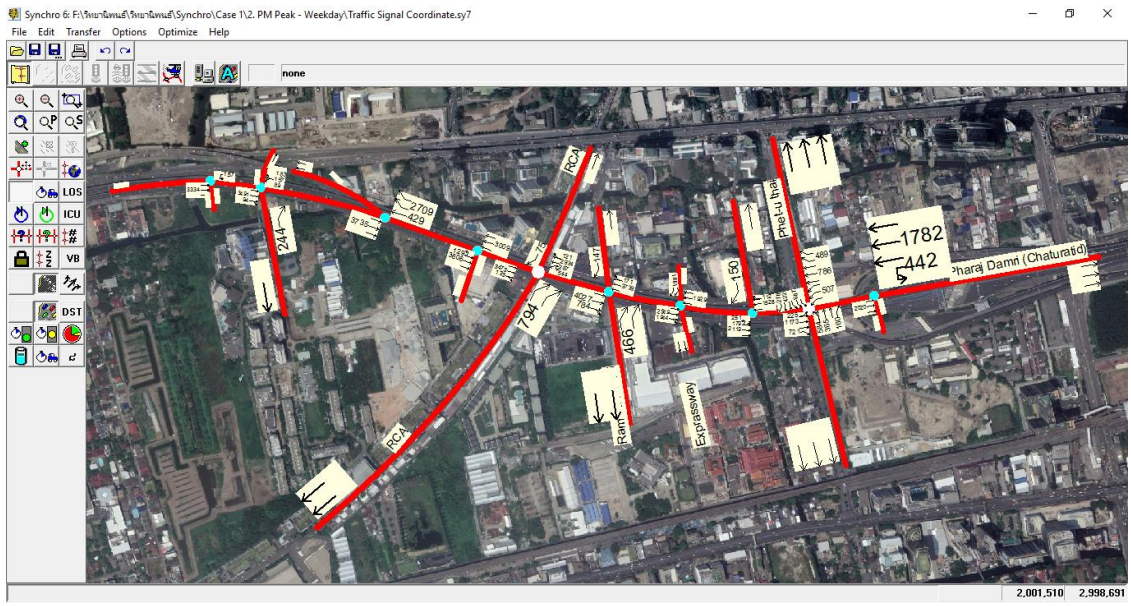
ปฏิภาณ แก้ววิเชียร. (2549). การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภาคผนวก ก

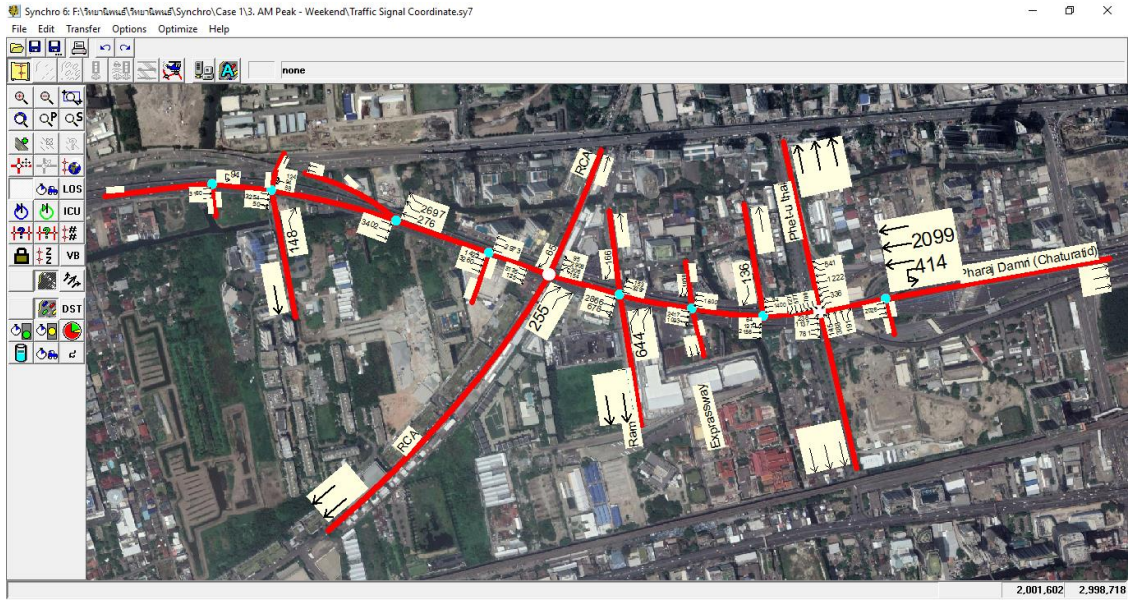
ตัวอย่างแบบจำลองและการประมวลผลสภาพจราจร โดยโปรแกรม Synchro



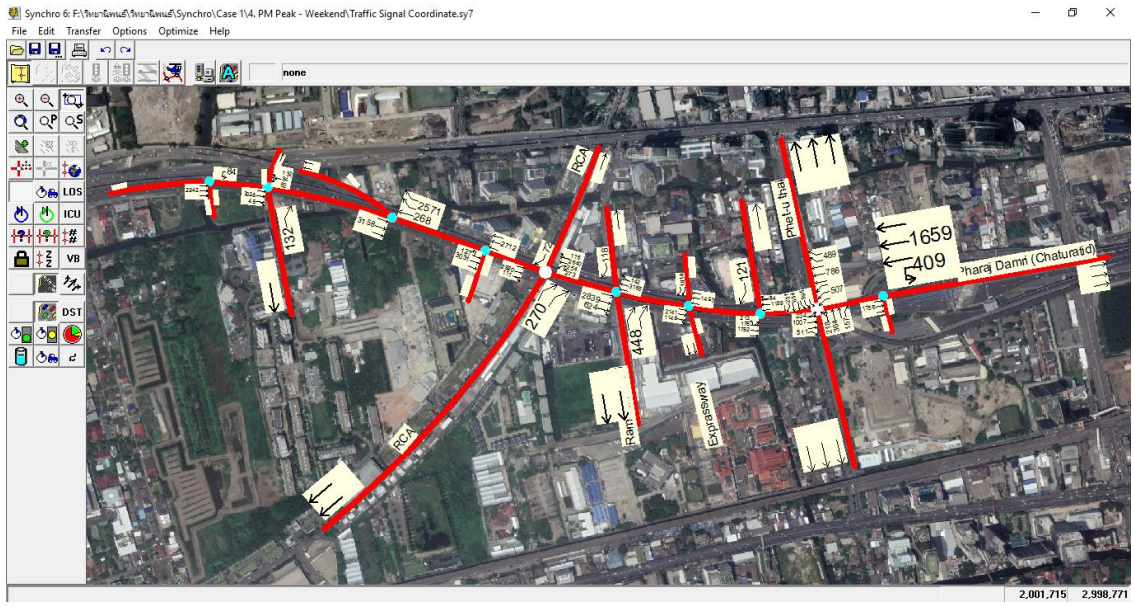
รูปที่ ก1 : แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา



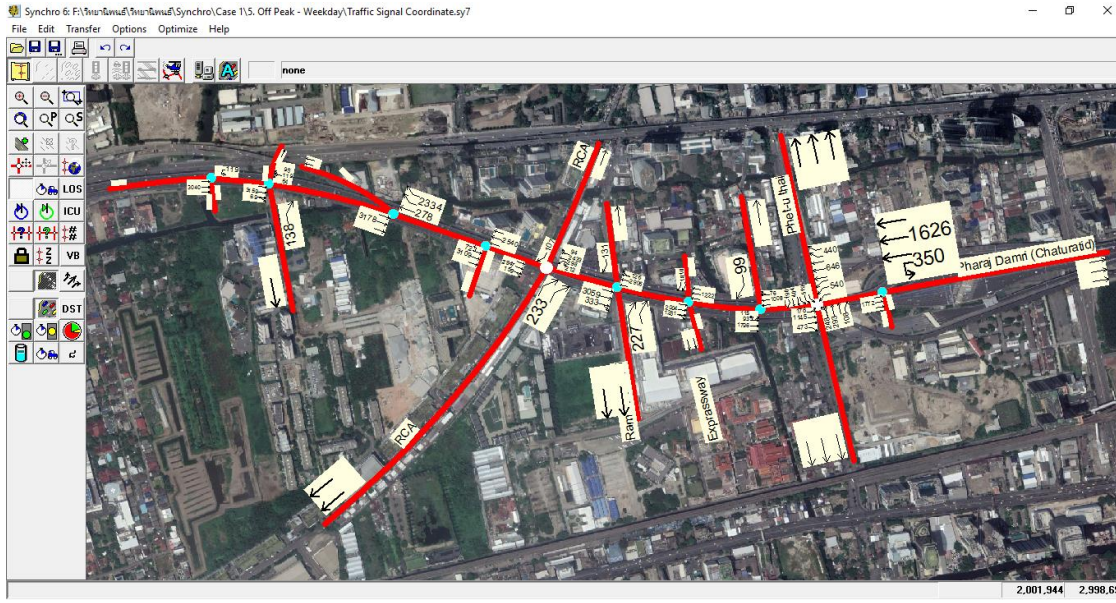
รูปที่ ก2 : แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันธรรมดา



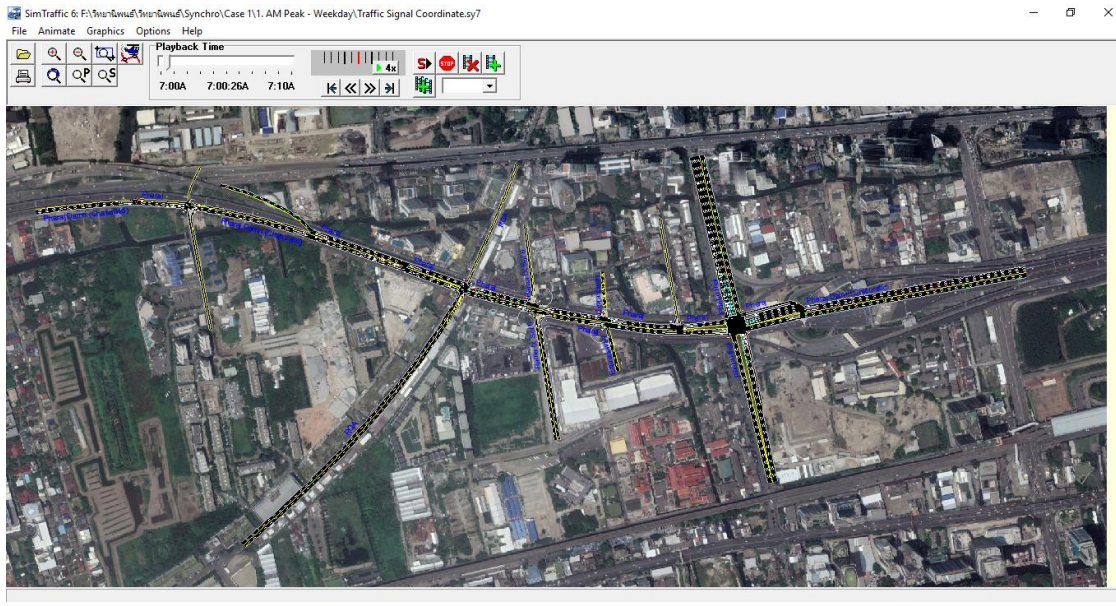
รูปที่ ก3 : แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันหยุด



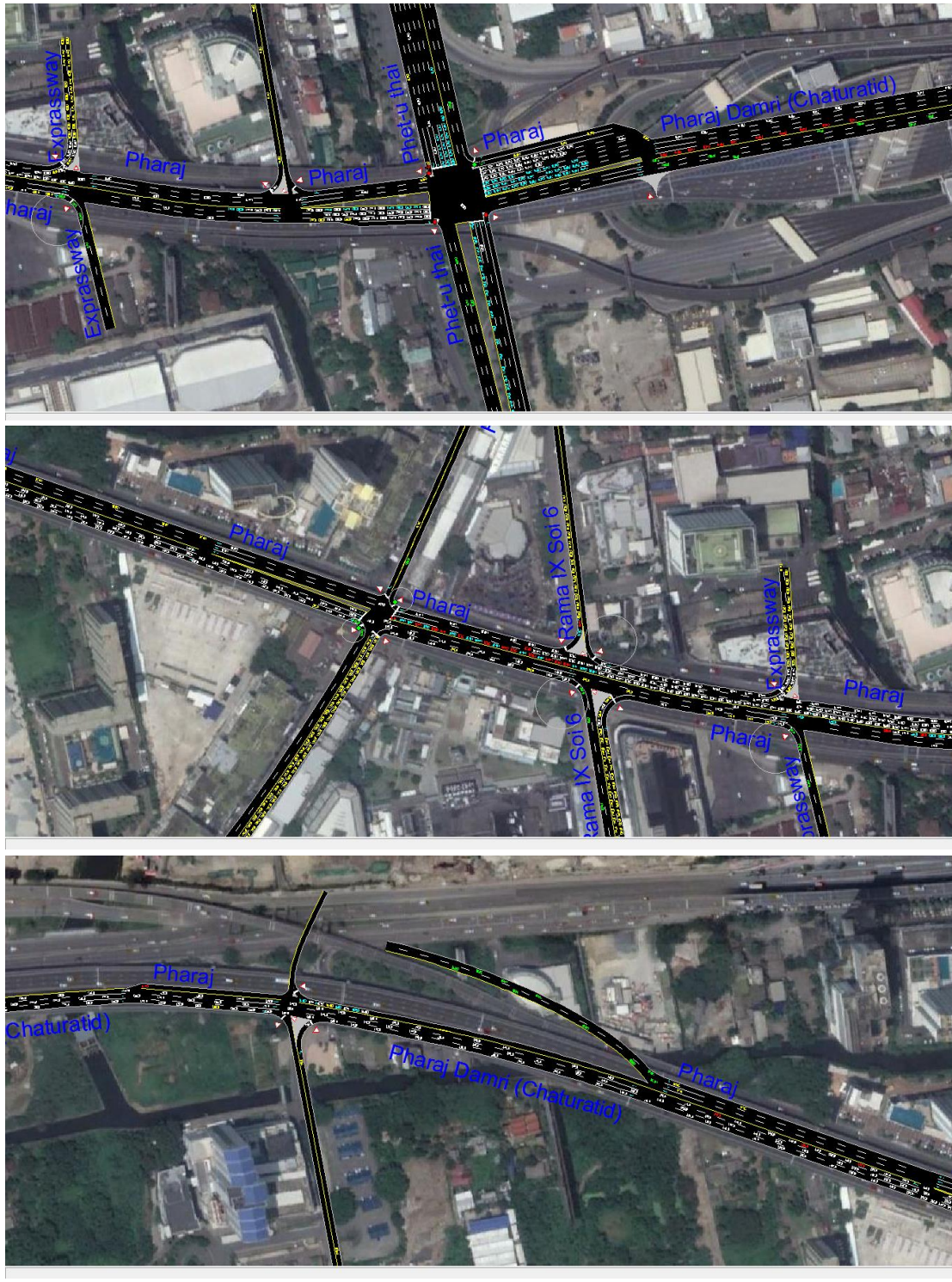
รูปที่ ก4 : แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น วันหยุด



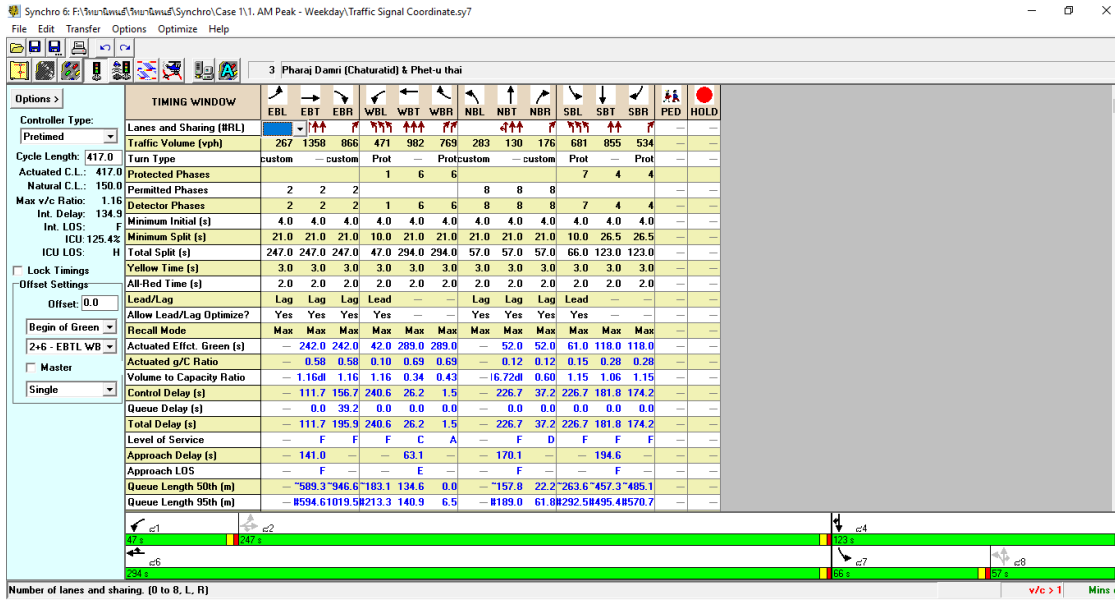
รูปที่ ก5 : แบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro นอกช่วงเวลาเร่งด่วน วันธรรมดา



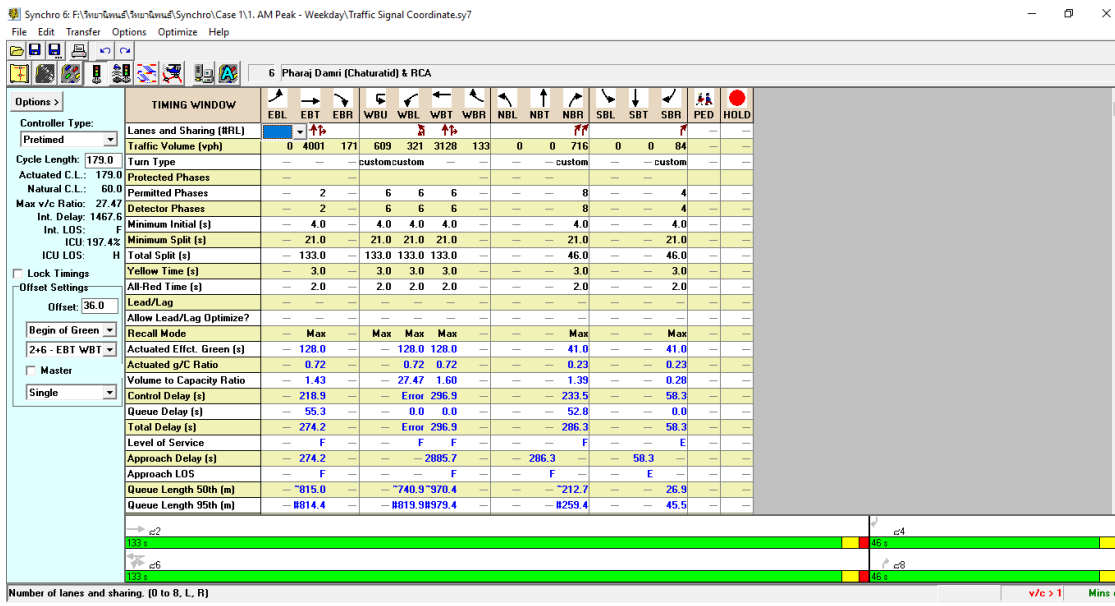
รูปที่ ก6 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรในรูปแบบสองมิติด้วยโปรแกรม Synchro



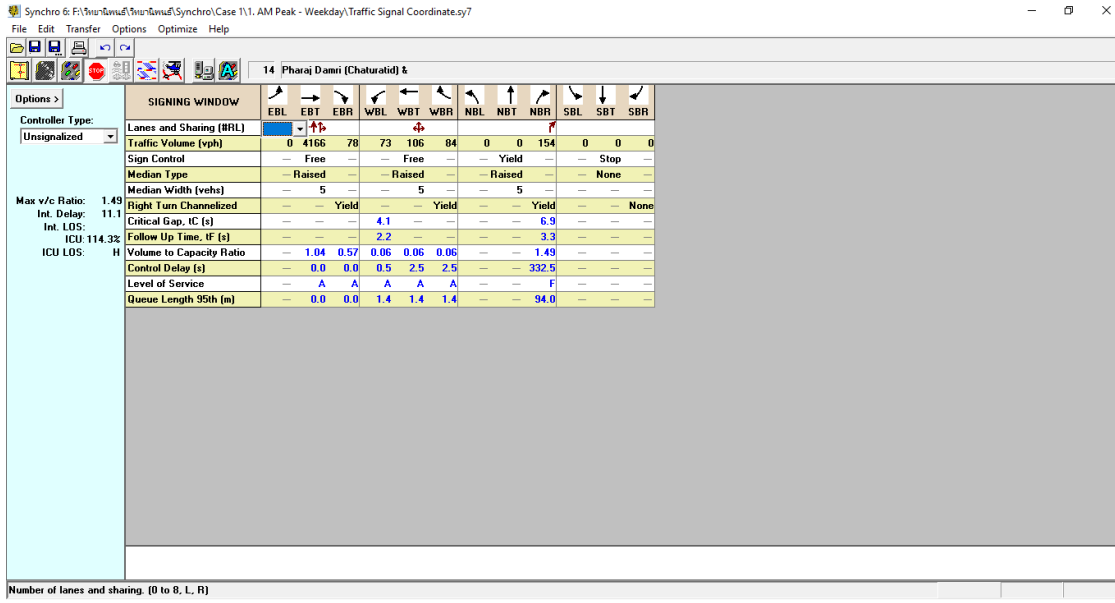
รูปที่ ก6 (ต่อ) : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรในรูปแบบสองมิติด้วยโปรแกรม Synchro



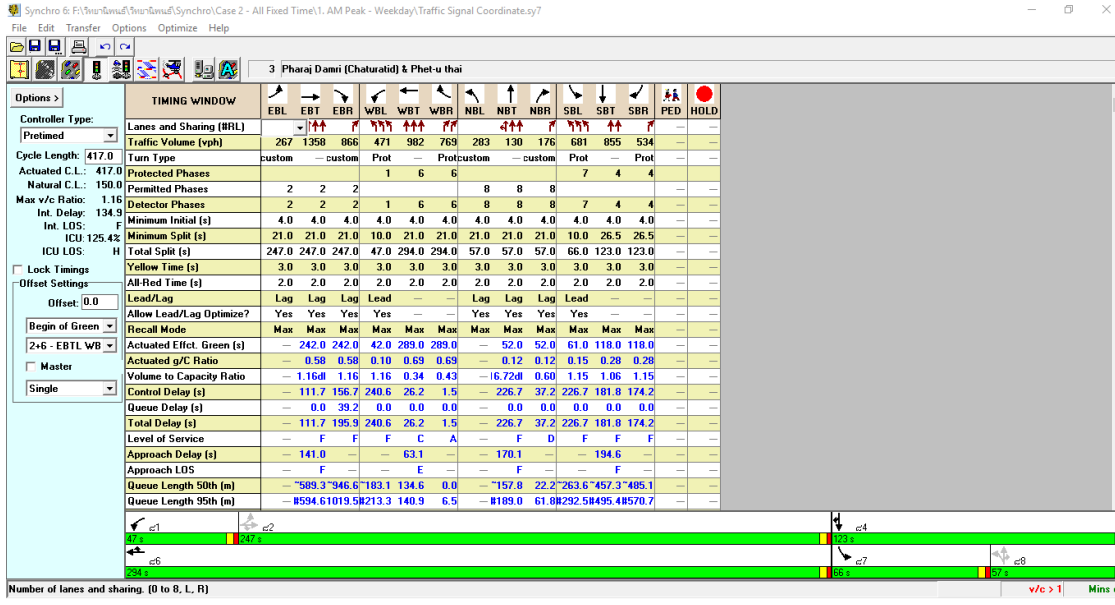
รูปที่ ก7 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 1



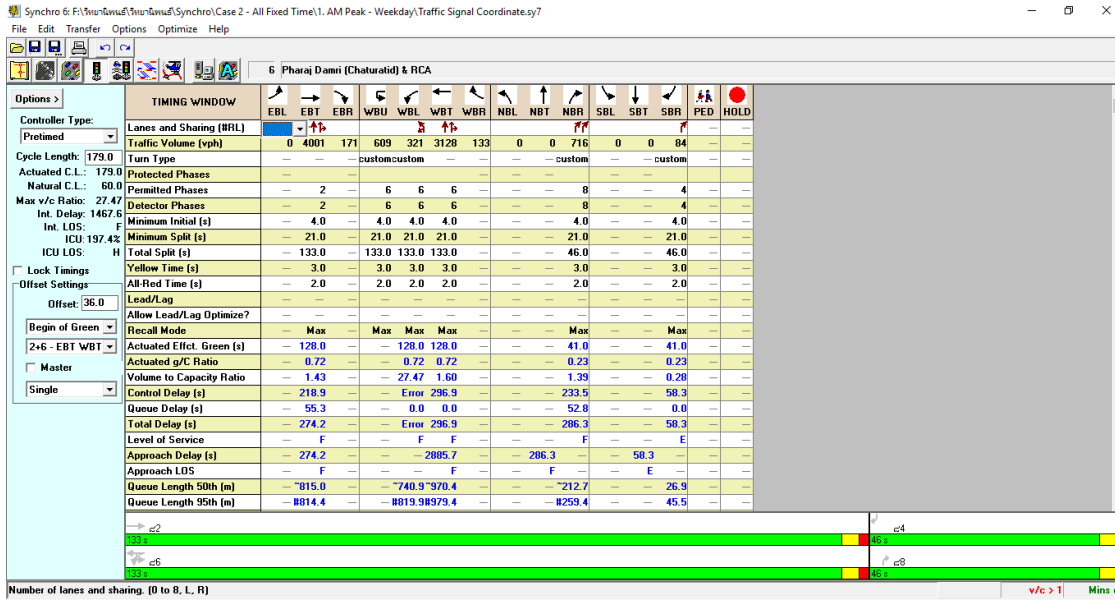
รูปที่ ก8 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 1



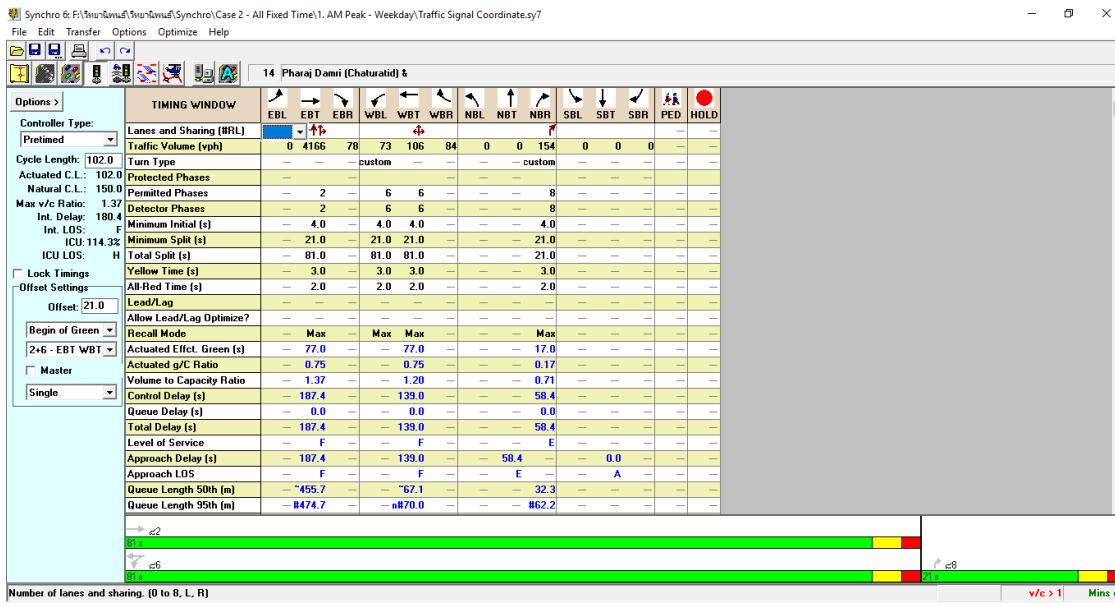
รูปที่ ก9 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 1



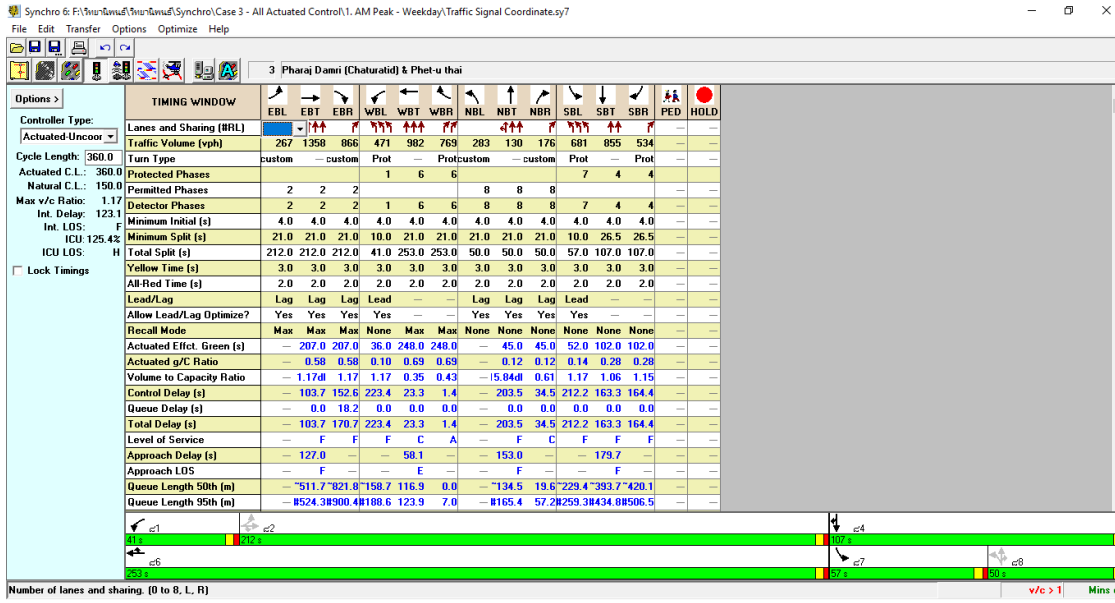
รูปที่ ก10 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2



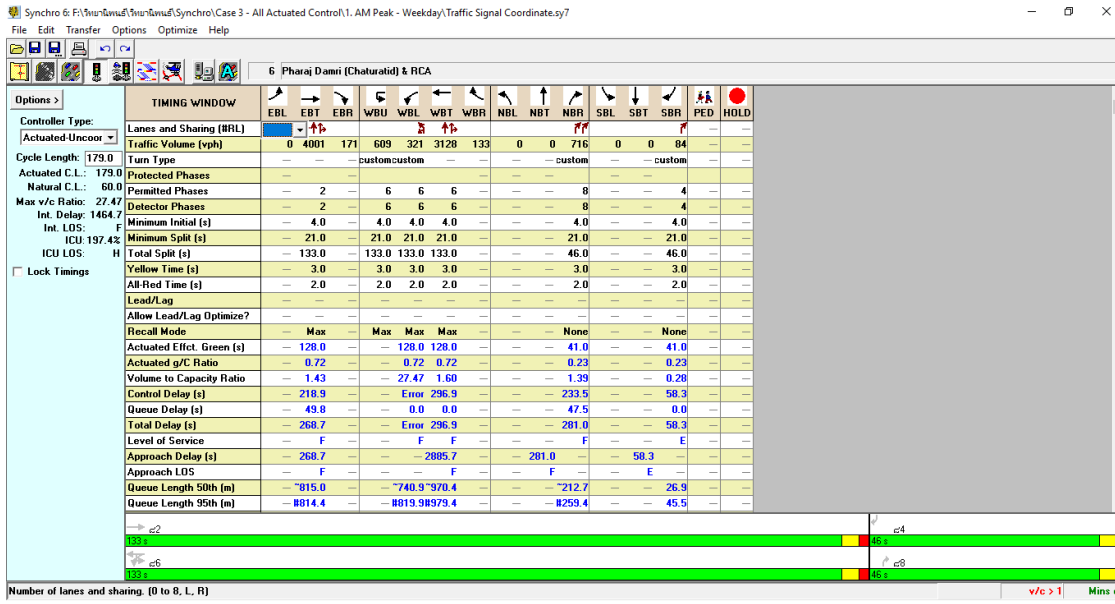
รูปที่ ก11 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2



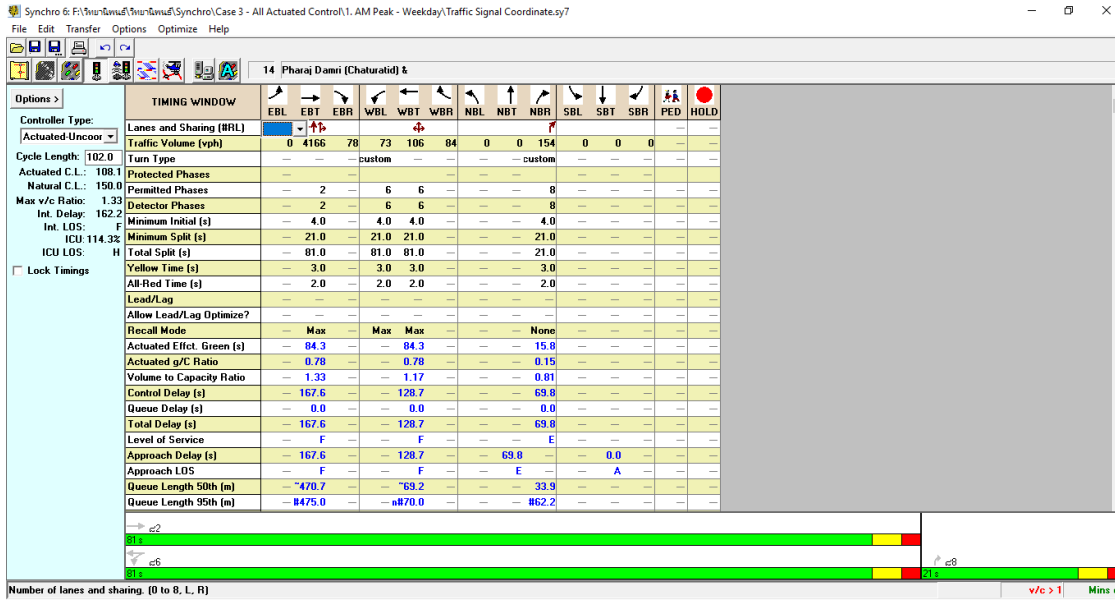
รูปที่ ก12 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 2



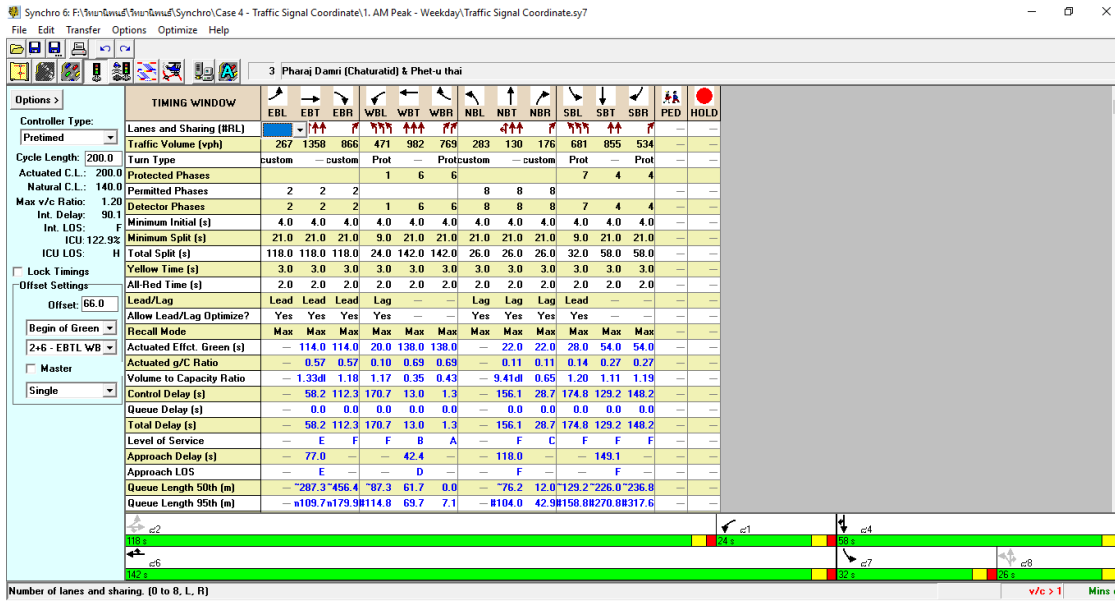
รูปที่ ก13 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 3



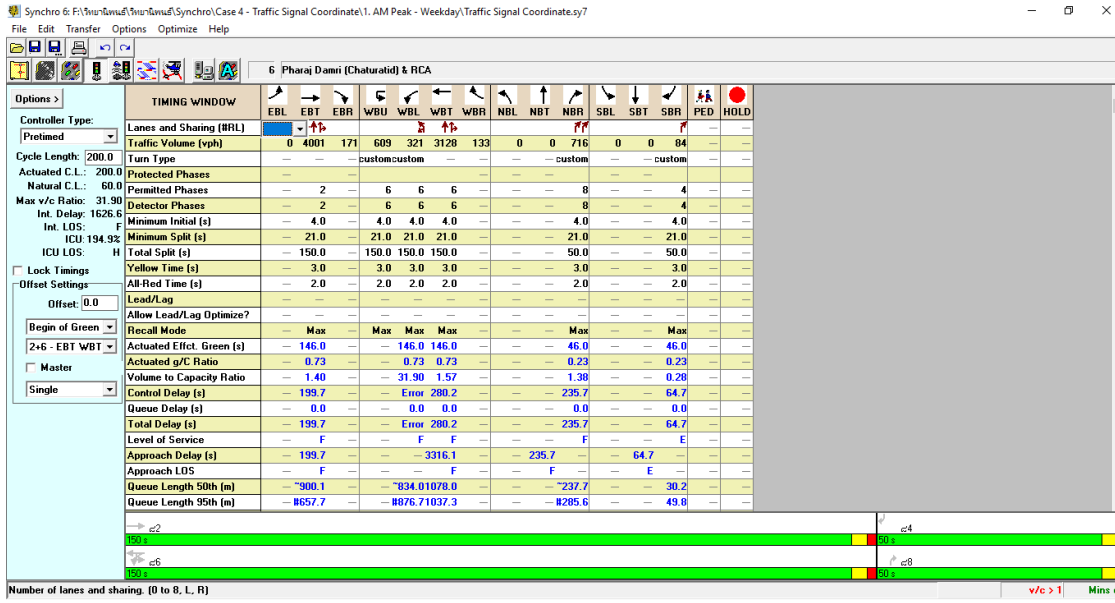
รูปที่ ก14 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเข้า วันธรรมดา กรณีที่ 3



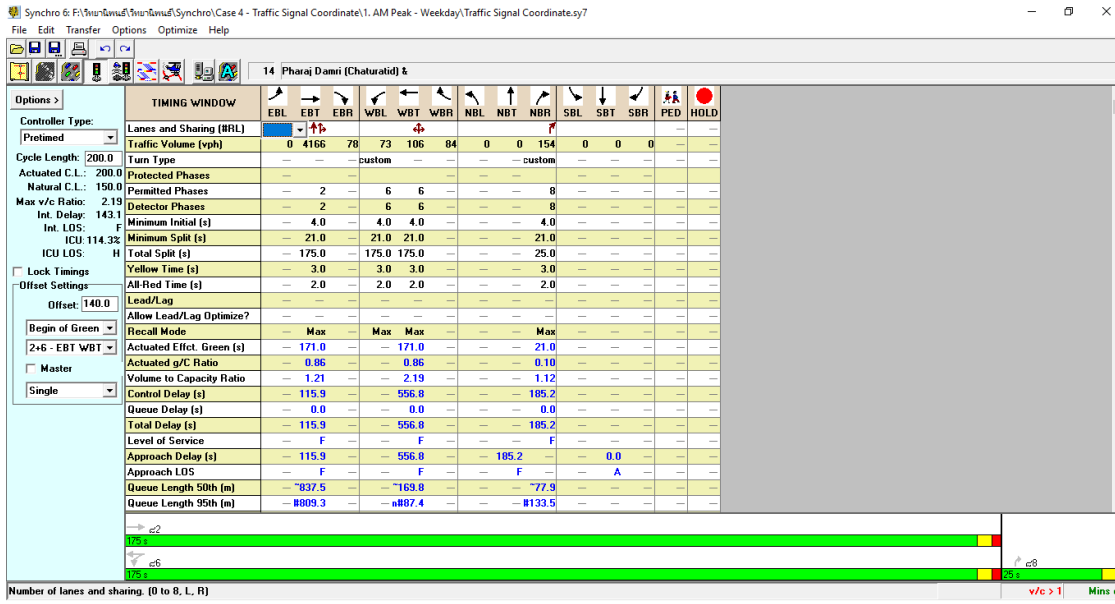
รูปที่ ก15 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 3



รูปที่ ก16 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกเพชรอุทัย – ทางด่วนขั้นที่ 2 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 4



รูปที่ ก17 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกอาร์ ซี เอ (RCA) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 4



รูปที่ ก18 : การประมวลผลแบบจำลองสภาพจราจรด้วยโปรแกรม Synchro ของแยกโรงพยาบาลปิยะเวท ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า วันธรรมดา กรณีที่ 4

ภาคผนวก ข

อุปกรณ์และแบบฟอร์มในการสำรวจข้อมูลด้านจราจร

อุปกรณ์ในการสำรวจข้อมูลด้านจราจร

รูปที่ ข1 : “กล้องวีดีโอ” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณจราจร

รูปที่ ข2 : “เรดาร์ กัน” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลความเร็ว

รูปที่ ข3 : “ล้อวัดระยะและตัววัดระยะแบบเรเซอร์” อุปกรณ์ในการสำรวจและเก็บข้อมูลเชิงระยะทาง

แบบฟอร์มในการสำรวจข้อมูลด้านจราจร

แบบฟอร์มการนับปริมาณจราจร ณ .....

จุดสำรวจ : _____ วันที่สำรวจ : _____

สภาพอากาศ : _____ ชื่อ-นามสกุล ผู้สำรวจ : _____

ช่วงเวลา	MC	PC	BUS	TRUCK

รูปที่ ข4 : แบบฟอร์มในการสำรวจปริมาณจราจร

ชื่อโครงการ _____

วันที่สำรวจ _____

เวลาที่สำรวจ _____

รอบสัญญาณไฟจราจร บริเวณทางแยก _____

	Phase I		Phase II		Phase III		Phase IV	
	1	2	1	2	1	2	1	2
	3	4	3	4	3	4	3	4
Green (Second)								
Yellow (Second)								
All Red (Second)								
Phase Length (Second)								
Cycle Length (Second)								

รูปที่ ข5 : แบบฟอร์มในการสำรวจรอบสัญญาณไฟจราจร

Queue Length

Location.. Location..

Time.. Time..

No.	Vehicle Type (Veh.)			Length (m)	No.	Vehicle Type (Veh.)			Length (m)
	Remark	PC	BUS+TRUCK			Remark	PC	BUS+TRUCK	

รูปที่ ข6 : แบบฟอร์มในการสำรวจความยาวแถวคอย

ภาคผนวก ค

หนังสือตอบรับการตีพิมพ์วารสารทางวิชาการ วิศวกรรสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ที่ R&D 128/2562

4 เมษายน 2562

เรื่อง การส่งบทความลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

เรียน นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์

ตามที่ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง **“การศึกษาและวิเคราะห์การประสานสัญญาณไฟจราจร กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริ”** มาเพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา นั้น

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ขอแจ้งให้ทราบว่าได้รับบทความของท่านเรียบร้อยแล้ว หากมีความคืบหน้าประการใดกองบรรณาธิการฯ จะแจ้งให้ทราบต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ถาวร อมตกิตติ์)
ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ประสานงาน: นางสาวอัจราภรณ์ รอดเกลี้ยง
โทรศัพท์: 0-2184-4600 ต่อ 516
E-mail: editor-rd@eit.or.th

ที่ R&D 233/2562

24 พฤษภาคม 2562

เรื่อง ผลการพิจารณาตอบรับบทความลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

เรียน นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์

ตามที่ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง **“การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9”** เพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา นั้น

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ขอแจ้งให้ทราบว่าบทความที่เสนอมาได้รับการพิจารณาประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว และให้ลงตีพิมพ์ได้ใน**วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา**

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ถาวร อมตกิตติ์)

ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ที่ R&D 279/2562

28 มิถุนายน 2562

เรื่อง ผลการตอบรับลงตีพิมพ์บทความในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

เรียน นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์

ตามที่ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง **“การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร : กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9”** เพื่อพิจารณาลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ตามที่ทราบแล้วนั้น

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ขอแจ้งให้ทราบว่าบทความที่เสนอมาได้รับการพิจารณาประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว และให้ลงตีพิมพ์ได้ใน**วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2563**

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ถาวร อมตกิตติ์)
ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวลดาวัลย์ สวนจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด	7 เมษายน 2532 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์
ที่อยู่	70/5 หมู่ที่ 3 ตำบลพญาแมน อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ 53120
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ปีการศึกษา 2551 สายวิทย์-คณิต โรงเรียนพิชัย อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์
ระดับปริญญาตรี	ปีการศึกษา 2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2556 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรขนส่ง บริษัท เอสทูอาร์ คอนซัลติ้ง จำกัด
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	ลดาวัลย์ สวนจันทร์ จำรัส พิทักษ์ศฤงคาร, “การศึกษาระบบการประสานสัญญาณไฟจราจร กรณีศึกษาถนนโครงการพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มีนาคม พ.ศ. 2563