

การศึกษาความยาวจ้งหะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม
โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจ้งหะสัญญาณไฟ

นางสาวอรอนงค์ แสงผ่อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณเฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

**A STUDY OF EFFECTIVE GREEN INTERVALS
USING A BALANCE BETWEEN CAPACITY LOSS
AT THE BEGINNING AND THE END OF GREEN PHASE**

Onanong Sangphong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Transportation Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2010

การศึกษาความยาวจ้งหะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม
โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจ้งหะสัญญาณไฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร. ศิริคล ศิริธร)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. ธีรยุทธ ติมานนท์)

กรรมการ

(ผศ. ดร. เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช)

กรรมการ

(อ. ดร. วุฒิ ด้านกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อรอนงค์ แสงส่อง : การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ (A STUDY OF EFFECTIVE GREEN INTERVALS USING A BALANCE BETWEEN CAPACITY LOSS AT THE BEGINNING AND THE END OF GREEN PHASE) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ศิริดล ศิริธร, 113 หน้า.

ในประเทศไทยการให้รอบสัญญาณไฟเขียวแก่ยานพาหนะแต่ละทิศทาง ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนมักขึ้นอยู่กับพิจารณาของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ซึ่งมักจะเลือกใช้รอบสัญญาณไฟที่ค่อนข้างยาวนานเพื่อระบายรถครั้งละมาก ๆ การใช้เวลาไฟเขียวที่ค่อนข้างยาวนานจะเกิดภาวะอัตราการไหลที่ลดลงจากอัตราการไหลอ้อมตัวหลังจากให้สัญญาณไฟเขียวไประยะเวลาหนึ่ง ทำให้ใช้ความจุของทางแยกไม่ได้เต็มที่และเพิ่มความล่าช้าให้ทิศทางอื่นโดยไม่จำเป็น แต่การกำหนดสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไปก็จะทำให้เกิดกระแสจราจรขาดความต่อเนื่อง และเพิ่มความล่าช้าให้กับกระแสจราจร วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อต้องการวิเคราะห์ความยาวรอบสัญญาณไฟในทางแยกที่สำรวจว่ามีความยาวรอบสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ยาวเกินไป หรือเหมาะสมดีอยู่แล้ว โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง ความจุที่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ได้จากการตั้งกล้องวิดีโอที่ถนนที่กวดิกรรมซับซ้อนในการตอบสนองต่อการให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา โดยข้อมูลหลักที่ใช้นามาวิเคราะห์ ได้แก่ เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว อัตราการไหลอ้อมตัว และระยะห่างระหว่างขบวนรถ อัตราการไหลอ้อมตัวและความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว จากการวิเคราะห์พบว่า ทางแยกสัญญาณไฟจราจรบริเวณเต็กสะ และทางแยกสัญญาณไฟจราจร โรงพยาบาล ป. แพทย์ มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป เนื่องจากความจุที่สูญเสียในช่วงต้นมากกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย ส่วนทางแยกชุมชนบูรพา มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป เนื่องจากความจุที่สูญเสียในช่วงต้นน้อยกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย

ONANONG SANGPHONG : A STUDY OF EFFECTIVE GREEN INTERVALS
USING A BALANCE BETWEEN CAPACITY LOSS AT THE BEGINNING
AND THE END OF GREEN PHASE . THESIS ADVISOR : SIRADOL
SIRIDHARA, Ph.D., 113 PP.

EFFECTIVE GREEN INTERVALS/ SATURATION FLOW RATE/ LOST TIME

In Thailand, design the cycle length and green time to each direction on rush hour often control by traffic police, he use long green time to release many car. Given the long green time to make decreased flow rate from saturation flow rate after that. And shorten green time, to makes discontinuous and delays of traffic flow. This study was to effective green intervals to appropriate at the beginning and end of green phase. From traffic data at signalize intersection in Nakhon Ratchasima city, to know the relationship between flow rate and headway, lost time and saturated flow rate. Determine to appropriate signalize intersection. The capacity loss can be obtained from the graph showing the flow versus green time. The method of integration, were recruited from the area function relationship of the graph. Will find that the capacity loss at the beginning greater than the end of green phase, it is shorten green time. And the capacity loss at the beginning less than the end of green phase, it is long green time.

School of Transport Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้
กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

อาจารย์ ดร. ศิรตล ศิริขร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรมสั่งสอน ชี้แนะ
ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จ
สมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษา
ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรยุทธ ลิมานนท์ กรรมการ ที่เมตตาให้การอบรมสั่งสอน ชี้แนะการ
วางแผนขั้นตอนในการทำงานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำและคำปรึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช กรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษา ชี้แนะ
แนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ ที่ให้คำปรึกษาในการจัดรูปแบบและตรวจทานความถูกต้องของ
วิทยานิพนธ์

คุณวันเพ็ญ สืบสาย เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงาน
ด้านเอกสารต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษา (ทุนงานวิจัยจากภายนอก) ในการศึกษา
ระดับปริญญาโท

กองทุนสนับสนุนการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำ
วิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดูด้วยความรัก และส่งเสริม
ทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

อรอนงค์ แสงผ่อง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตและสมมุติฐานของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4

2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณไฟจราจร	5
2.1.1 ความสำคัญของสัญญาณไฟจราจร	5
2.1.2 ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจร	6
2.1.3 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร	7
2.1.4 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร	8
2.2 การจัดการความยาวสัญญาณไฟเขียวของสัญญาณไฟจราจร	12
2.3 ระยะเวลาระหว่างขบวน	18
2.4 การไหลอิมตัว / ความจุ	19
2.5 เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน	23
2.6 เวลาที่สูญเสียไปที่ช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียว	26
2.7 ความล่าช้า	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	29
3.2	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	29
3.3	ขอบเขตของการสำรวจ.....	30
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.5	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	33
3.6	การถอดข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
4	การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	
4.1	ระยะเวลาห่างระหว่างขบวน.....	40
4.2	Discharge Headway ของรถยนต์ในแถวคอย.....	47
4.3	ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอิมตัว และอัตราการไหลอิมตัว.....	54
4.4	ความจุที่สูญเสีย.....	57
4.5	การวิเคราะห์เพื่อหาความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม.....	60
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	67
5.1.1	ลักษณะการออกตัวของรถจากทางแยก.....	67
5.1.2	เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน.....	68
5.1.3	ความจุที่สูญเสีย.....	68
5.1.4	ความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม.....	69
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	70
	รายการอ้างอิง.....	76
	ภาคผนวก.....	78
	ภาคผนวก ก. กราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด.....	78
	ภาคผนวก ข. การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย.....	91
	ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	97
	ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	แสดงจำนวนรอบสัญญาณไฟจราจร จากการสำรวจรวบรวมข้อมูล..... 41
4.2	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกเต็กสะ ช่วงเช้า..... 42
4.3	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกเต็กสะ ช่วงเย็น..... 43
4.4	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยก โรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า..... 44
4.5	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยก โรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น..... 45
4.6	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเช้า..... 46
4.7	สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเย็น..... 47
4.8	สรุปการวิเคราะห์รูปแบบยกกำลังของระยะเวลาระหว่างขุดยาน บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ..... 53
4.9	สรุปการวิเคราะห์รูปแบบยกกำลังของระยะเวลาระหว่างขุดยาน บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจร โรงพยาบาล ป.แพทย์..... 53
4.10	สรุปการวิเคราะห์รูปแบบยกกำลังของระยะเวลาระหว่างขุดยาน บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา..... 53
4.11	ตารางสรุปการวิเคราะห์ระยะเวลาระหว่างขุดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลาของทางแยกเต็กสะ 56
4.12	ตารางสรุปการวิเคราะห์ระยะเวลาระหว่างขุดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลาของทางแยก โรงพยาบาล ป.แพทย์..... 56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ตารางสรุปการวิเคราะห์ระยะเวลาระหว่างขวิดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลา ของทางแยกชุมชนบูรพา.....	57
4.14 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ.....	58
4.15 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์.....	59
4.16 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา.....	59
4.17 สรุปค่าความจุที่สูญเสียลดลง เมื่อหาระยะจังหวะสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา.....	65
4.18 การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเช้า.....	65
4.19 การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเย็น.....	66
5.1 ระยะเวลาระหว่างขวิดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว และลำดับรถที่เริ่มคงที่ของทางแยกที่ทำการศึกษา.....	67
5.2 สรุปเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขวิดยานของทางแยกที่ทำการศึกษา.....	68
5.3 สรุปปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ.....	69

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงตำแหน่ง Dilemma Zone บริเวณทางแยก.....	10
2.2	ตำแหน่งเครื่องตรวจจับยานพาหนะสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร.....	13
2.3	แสดงการให้สัญญาณไฟเขียวแก่ทางเข้าทางแยกหนึ่งในกรณีที่มียานพาหนะวิ่งผ่าน เครื่องตรวจจับหลังจากผ่านช่วงเวลาเริ่มต้นไปแล้ว เป็นกรณีที่สัญญาณไฟเขียวจบ ก่อนถึงความยาวสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด.....	15
2.4	แสดงการให้สัญญาณไฟเขียวแก่ทางเข้าทางแยกหนึ่งในกรณีที่มียานพาหนะวิ่งผ่าน เครื่องตรวจจับหลังจากผ่านช่วงเวลาเริ่มต้นไปแล้ว เป็นกรณีที่สัญญาณไฟเขียวจบ ที่ความยาวสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด.....	16
2.5	ความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด.....	17
2.6	แนวคิดของอัตราการไหลอิมิตัว.....	19
2.7	แนวคิดของอัตราการไหลอิมิตัวและเวลาที่สูญเสีย.....	23
3.1	แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกเตี้ย.....	30
3.2	แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์.....	31
3.3	แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกชุมชนบูรพา.....	31
3.4	พื้นที่ที่ทำการศึกษา ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา.....	32
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่แถวคอย เมื่อเวลาสัญญาณไฟเขียวมาตรฐาน.....	34
3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่แถวคอย เมื่อเวลาสัญญาณไฟเขียวยาว.....	35
3.7	แสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด กรณีที่ความยาวสัญญาณไฟเขียวปกติ.....	36
3.8	แสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด กรณีที่ความยาวสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น.....	36
3.9	กราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว.....	38
3.10	คุณลักษณะพื้นฐานของการไหลที่สัญญาณไฟทางแยก.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกเต็กสะ ช่วงเช้า..... 48
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกเต็กสะ ช่วงเย็น..... 48
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า..... 49
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น..... 49
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเช้า..... 50
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเย็น..... 50
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ Average Headway กับลำดับรถที่แถวคอย กรณีไฟเขียวสั้นเกินไป..... 51
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ Average Headway กับลำดับรถที่แถวคอย กรณีไฟเขียวยาวเกินไป..... 52
4.9	กราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลาย..... 58
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟเต็กสะ ช่วงเช้า..... 61
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟเต็กสะ ช่วงเย็น..... 61
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า..... 62
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น..... 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงรายละเอียดตัวแปรในกราฟความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจร ที่เล่นผ่านเส้นหยุด	64
5.1 การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม กรณีสัญญาณไฟเขียวนานเกินไป.....	71
5.2 การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม กรณีสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป.....	73

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

H_0	=	สมมติฐานว่าง
H_1	=	สมมติฐานแย้ง
R^2	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
Adjusted R^2	=	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับแก้
\bar{X}	=	ระยะเวลาห่างระหว่างขบวนเฉลี่ย (Average Headway)
S.D.	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
C.V.	=	สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน
C	=	ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
L	=	ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปสำหรับเฟสทั้งหมดในช่วงระยะเวลารวมของสัญญาณไฟเขียว(วินาที)
V/s	=	อัตราส่วนของอัตราการไหลออกแบบที่อัตราการไหลอิมตัวสำหรับวิธีการหรือช่องทางที่สำคัญในแต่ละเฟส
e_0	=	Unit Extension (วินาที)
s	=	อัตราการไหลอิมตัว (คันต่อชั่วโมง)
h_s	=	ระยะเวลาห่างระหว่างขบวนในช่วงการไหลอิมตัว (วินาที)
C_{ls}	=	ความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว
t_j	=	จังหวะเวลาสัญญาณไฟสุดท้าย ที่เกิด Saturation Flow Rate
Q_s	=	อัตราการไหลอิมตัว (Saturation Flow Rates)
q_d	=	ความจุที่สูญเสียลดลง เมื่อย่นระยะเวลาไฟเขียว คัน/ชั่วโมง
q_i	=	ความจุที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียว คัน/รอบสัญญาณไฟจราจร
$f(t_g)$	=	ฟังก์ชันความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุดในช่วงจังหวะสัญญาณไฟ
t_g	=	ความยาวจังหวะไฟเขียว+เหลืองที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้นและช่วงปลายสัญญาณไฟสมดุล
g_0	=	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเขียว
y	=	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเหลือง
m	=	ความชัน (Slope)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการเพิ่มจำนวนผู้ครอบครองยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันนี้ ส่งผลให้มีผู้สัญจรบนท้องถนนมากขึ้นทำให้เกิดปัญหาจราจรติดขัด และเนื่องจากปัญหาจราจรเป็นปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งเกิดจากปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น ความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี หรือพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ดังนั้นแนวทางแก้ไขจึงจำเป็นต้องอาศัยหลาย ๆ แนวทางมาใช้ร่วมกัน ได้แก่ การเพิ่มช่องทางการจราจร การติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร การส่งเสริมระบบขนส่งมวลชนและบริการที่ครอบคลุมทั้งถึง เช่น รถโดยสารประจำทาง รถไฟ รถไฟฟ้าใต้ดิน รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลประจำทาง เน้นให้บริการที่ดีแก่ประชาชน ให้เกิดความสะดวกและประทับใจ เพื่อเป็นการจูงใจ ให้หันมาใช้บริการของระบบขนส่งมวลชน เป็นการส่งเสริมให้ใช้รถยนต์ส่วนตัวลดน้อยลง การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่ เพื่อพัฒนาระบบขนส่ง เช่น ระบบจัดการจราจร เป็นระบบที่ตรวจวัดสภาพการจราจร GPS เพื่อช่วยให้ประชาชนมีการวางแผนการเดินทางล่วงหน้า ลดการเดินทางไปยังพื้นที่ที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นอยู่แล้ว ซึ่งแนวทางแก้ไขที่ได้รับความนิยมมาก คือ การติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นตัวช่วยในการลดความล่าช้าเฉลี่ยของยานทั้งหมดและความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง เนื่องจากไปลดจุดที่ก่อให้เกิดการขัดแย้งในกระแสจราจร

ถึงแม้ว่าสัญญาณไฟจราจรเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการควบคุมการจราจรของรถและคนข้ามถนนเพื่อจัดการจราจรในแต่ละทิศทางให้เหมาะสม การออกแบบและติดตั้งสัญญาณไฟจราจรในทางแยกต่าง ๆ จะต้องมีการศึกษาและการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์จึงจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจราจร แม้จะมีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกเพื่อควบคุมและจัดการจราจรแล้ว แต่พฤติกรรมของผู้ขับขี่ก็ยังคงมีการฝ่าฝืนกฎจราจรและไม่เชื่อฟังสัญญาณไฟจราจรกันอยู่ ทำให้เกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยก ได้แก่อุบัติเหตุจากการชนแบบตั้งฉากของยานพาหนะ จากข้อมูลสถิติอุบัติเหตุของกองบังคับการตำรวจจราจร แสดงถึงสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุจากการจราจรทางบกในเขตกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี 2537-2548 มีสาเหตุจากการฝ่าฝืนสัญญาณไฟหรือเครื่องหมายจราจร จำนวนเฉลี่ยปีละ 3,473 ครั้ง คิดเป็นร้อยละเฉลี่ยปีละ 6.73% ของสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ (กองบังคับการตำรวจจราจร 2552)

ปริมาณจราจรที่หนาแน่นในช่วงโมงเร่งด่วนบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัด การควบคุมที่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อยมักส่งผลกระทบเป็นวงกว้าง ในกรณีที่ปริมาณความต้องการเดินทางใกล้เคียงหรือมีมากเกินไปเกินความสามารถของสัญญาณไฟ วิธีการควบคุมจะเปลี่ยน

จากการมุ่งเน้นการลดความล่าช้าและความต่อเนื่องของสัญญาณไฟไปเป็นการบริหารจัดการความยาวแถวคอยและลดผลกระทบสู่ทางแยกข้างเคียง

ในประเทศไทยการกำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟและการให้ระยะเวลาไฟเขียวแก่ทิศทาง การเคลื่อนที่ในชั่วโมงเร่งด่วนมักขึ้นอยู่กับวิจารณ์ญาณของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ซึ่งมักเลือกใช้รอบสัญญาณไฟที่ค่อนข้างยาวนานเพื่อระบายรถครั้งละมาก ๆ การเลือกใช้รอบสัญญาณไฟที่นานขึ้นมีข้อได้เปรียบคือการลดเวลาที่สูญเสียบที่ช่วงต้นและช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการผสมผสานระหว่างรถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งส่วนบุคคลและรถขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามข้อเสียเปรียบของจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่ยาวมากเกินไปจะเกิดขึ้นหลังจากผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งเมื่อช่องว่างระหว่างรถจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและปริมาณการไหลค่อย ๆ ลดลงจากปริมาณการไหลแบบอิมัตวนนอกจากนั้นการให้สัญญาณไฟแดงเป็นระยะเวลานานยังมีความเสี่ยงที่จะเกิดแถวคอย และส่งผลกระทบต่อทางแยกข้างเคียงได้ง่าย

ทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ถูกหยิบยกมาอ้างอิงในการถกเถียงกันระหว่างข้อดีข้อเสียของการเลือกใช้รอบสัญญาณไฟสั้นและยาว รวมทั้งมีความพยายามหารอบสัญญาณไฟที่เหมาะสมการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียวสั้น ๆ และกำหนดความยาวสูงสุดของสัญญาณไฟเขียวเชื่อว่าจะมีส่วนช่วยลดความล่าช้าต่อกัน ในหลายประเทศจึงมีการกำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดไว้ประมาณสามนาทีส่วการใช้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไปทำให้กระแสดจราจรขาดความต่อเนื่องและประสบปัญหาความล่าช้าในอีกรูปแบบหนึ่ง ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงนิยมจังหวะสัญญาณไฟที่สั้นหรือยาวกว่ามาตรฐาน

งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการศึกษาสัญญาณไฟจราจรประเภทแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจรซึ่งในความจริงแล้วจะพบว่าในเขตเทศบาลเมืองจังหวัดนครราชสีมาฝั่งเมืองจะเป็นรูปดาขายและทางแยกสัญญาณไฟจะเป็นประเภทการให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบ Fixed time ทั้งหมดซึ่งในการออกแบบจะคำนึงถึงในชั่วโมงเร่งด่วนเป็นหลัก แต่พฤติกรรมในการจับขึ้นออกช่วงเวลาจะพบว่าอัตราการไหลในแต่ละทิศทาง และปริมาณจราจรไม่ได้เหมือนกับในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ซึ่งในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Time) ยานพาหนะมีจำนวนมากกว่าเวลาปกติในทุก ๆ ด้าน การใช้สัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาคงที่ก็เหมาะสมต่อเนื่องเพียงพอแต่หลังจากผ่านช่วงเวลาเร่งด่วนแล้วความหนาแน่นของยานพาหนะในแต่ละด้านเริ่มลดลงหรือการมียานพาหนะวิ่งเข้าบริเวณสี่แยกไม่สม่ำเสมอ

การกำหนดรอบสัญญาณไฟยาวเกินไปหรือสั้นเกินไป จะทำให้เกิดแถวคอยในระบบยาวจนเกินความจุของถนนหรือทำให้เกิดความล่าช้า ผู้ทำวิจัยจึงต้องการศึกษาพฤติกรรมนอกช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีการให้สัญญาณไฟเขียวยาวนานเกินไปหรือสั้นเกินไป จะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียความจุของจราจรที่ควรจะได้รับอย่างเหมาะสมมีลักษณะแนวโน้มนหรือทิศทางเป็นเช่นไร ซึ่งการศึกษานี้ช่วยหาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม เพื่อให้การสัญจรบริเวณทางแยกมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษาเพิ่มในการกำหนดสัญญาณไฟจราจรแบบ Fixed time ที่มีการให้จังหวะสัญญาณไฟเป็นแบบ 2 รอบสัญญาณไฟ สำหรับชั่วโมงปกติ และชั่วโมงเร่งด่วนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมของผู้ขับขี่ในกระแสรถที่วิ่งผ่านทางแยก เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ

- 1.2.1 ศึกษาลักษณะของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเปลี่ยนเฟสสัญญาณไฟในแต่ละทิศทาง
- 1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและช่องว่างระหว่างรถ เพื่อคำนวณความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟเขียว
- 1.2.3 เพื่อต้องการวิเคราะห์ความยาวรอบสัญญาณไฟในทางแยกที่สำรวจว่ามีความยาวรอบสัญญาณไฟเขียวสั้น-ยาวเกินไป หรือเหมาะสมคืออยู่แล้ว
- 1.2.4 พัฒนาวิธีการปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความจุให้ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในระดับจุลภาค

1.3 ขอบเขตและสมมติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 พื้นที่การศึกษาเขตเทศบาลเมืองจังหวัดนครราชสีมา
- 1.3.2 ทำการศึกษาบริเวณทางแยกที่มีระบบสัญญาณไฟจราจร และจุดที่ทำการสำรวจจะต้องมีปริมาณจราจรปานกลาง เพื่อให้เห็นช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เต็มที่ และมีอัตราการไหลอ้อมตัวช่วงเวลาหนึ่ง นอกจากนี้ จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง (Impedance) หลังจากกระแสรถผ่านทางแยก
- 1.3.3 วิเคราะห์และสร้างแผนภูมิภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับรถที่เคลื่อนที่ผ่านขณะให้สัญญาณไฟจราจรสีเขียวเทียบกับระยะห่างระหว่างขบวน
- 1.3.4 วิเคราะห์ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว จากกราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุดเมื่อได้จังหวะสัญญาณไฟ

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการศึกษาความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรอบสัญญาณไฟ ความล่าช้า อัตราการไหลอ้อมตัว เวลาไฟเขียวประสิทธิผล ระยะห่างระหว่างขบวนในแต่ละงานวิจัยมีแนวโน้มเป็นเช่นไร

1.4.2 คัดเลือกบริเวณจุดสำรวจที่จะทำการศึกษา ที่มีลักษณะทางกายภาพตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยทำการสำรวจจากหลาย ๆ จุด เพื่อคัดเลือกทางแยกสัญญาณไฟที่เหมาะสมกับการตั้งกล้องเก็บข้อมูล และไม่มีสิ่งกีดขวางบริเวณทางแยก เช่น ป้ายรถเมล์ โดยทำการทดสอบเก็บข้อมูลก่อนเพื่อนำมาวิเคราะห์สรุปปัญหาในแต่ละทางแยก เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกทางแยกที่จะนำมาเป็นตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้

1.4.3 เก็บข้อมูลพฤติกรรมในการขับขี่ในแต่ละทิศทางด้วยกล้องวิดีโอ โดยทำการเก็บข้อมูล 2 ช่วงเวลาเช้าและเย็น โดยการถ่ายกล้องวิดีโอจะต้องเห็นเส้นหยุดและการให้จังหวะสัญญาณไฟอย่างชัดเจน

1.4.4 วิเคราะห์ข้อมูล ทำการถอดข้อมูลและนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างลำดับรถที่เคลื่อนที่ผ่านขณะให้สัญญาณไฟจราจรสีเขียวเทียบกับระยะห่างระหว่างขบวน และใช้ความรู้ทางสถิติในการช่วยวิเคราะห์ระยะเวลาห่างขบวน ณ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation Headway) และพิจารณาเปรียบเทียบความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง เพื่อนำไปวิเคราะห์ว่ารอบสัญญาณไฟจราจรในทางแยกสั้นเกินไป ยาวเกินไป หรือเหมาะสมแล้ว

1.4.5 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา ในแต่ละทางแยกมีรอบสัญญาณไฟจราจรสั้น ยาวเกินไป หรือเหมาะสมแล้ว เมื่อปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มความจุหรือลดความสูญเสียความจุให้กระแสดูจราจรได้เท่าไร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถวิเคราะห์และสรุปความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรในทางแยกที่ทำการศึกษามีลักษณะการกำหนดความยาวระยะเวลาไฟเขียวเป็นประเภทใด สั้นเกินไป ยาวเกินไปหรือเหมาะสมแล้ว และทราบความจุที่สูญเสียเนื่องจากการกำหนดความยาวระยะเวลาไฟเขียวไม่ได้มาตรฐานกับพฤติกรรมและปริมาณจราจรบริเวณทางแยกนั้น ๆ

1.5.2 สามารถนำขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับทางแยกสัญญาณไฟที่มีลักษณะและพฤติกรรมในการขับขี่ที่คล้ายกัน ในการกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสมสำหรับแต่ละทางแยก

1.5.3 ทำให้ทราบพฤติกรรมรถขับขี่บนท้องถนน เมื่อผู้สัญจรได้สัญญาณไฟจราจรประเภทต่าง ๆ มีปฏิกิริยาตอบรับเป็นเช่นไร ซึ่งผลจากงานวิจัยอาจจะนำไปใช้ประโยชน์และเป็นแนวทางในการวางแผนควบคุมพฤติกรรมรถสัญจรบนท้องถนนในพื้นที่ศึกษาในจังหวัดนครราชสีมาได้

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับรายละเอียดของประเภทสัญญาณไฟจราจรรายละเอียดเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ควรทราบเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจร รวมทั้งความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว และจากการให้เวลาขบวนผ่านทางแยกไปโดยปลอดภัยเมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียว และบททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งขบวนที่แวกคอยกับค่าระยะห่างระหว่างขบวน อัตราการไหลอิมิตัว และเวลาที่สูญเสีย

2.1 สัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals)

ประวัติต้นกำเนิดไฟสัญญาณจราจรแห่งแรกบนโลกอยู่ที่ประเทศอังกฤษ เมื่อปี 1868 โดย เจ.พี. ไนต์ วิศวกรชาวอังกฤษได้สร้างไฟสัญญาณจราจรขึ้นมาก็เพื่อใช้ควบคุมการสัญจรของรถม้าและคนเดินเท้าที่เดินผ่านไปผ่านมารบริเวณสี่แยกใจกลางมหานครลอนดอนบริเวณหน้ารัฐสภาอังกฤษ ซึ่งในยุคนั้นสัญญาณไฟจราจรจะมีเฉพาะไฟเขียวกับไฟแดง จนกระทั่ง ในปี 1920 วิลเลียม พอดด์ ตำรวจจราจรแห่งคีทรอยด์ รัฐมิชิแกน ได้ออกแบบไฟสัญญาณจราจรรูปแบบใหม่ขึ้นพร้อมกับเพิ่มไฟสีอำพัน (สีเหลือง) เข้าไปอีกหนึ่งสี เพื่อเป็นสัญญาณเตือนผู้ใช้พาหนะให้ระวังและชะลอตัวก่อนที่จะหยุดหรือการออกตัว

จากนั้นอีกไม่กี่ปีต่อมา ไฟสัญญาณจราจรแบบอัตโนมัติก็ถูกประดิษฐ์ขึ้น โดยการเรดต์ มอร์แกน ซึ่งนำมาใช้ครั้งแรกในเมืองเคลฟแลนด์ รัฐโอไฮโอ ก่อนที่จะแพร่หลายไปทั่วโลก และทั้งหมดนี้ก็คือวิวัฒนาการของไฟสัญญาณจราจรที่ถูกพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ และมีใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งลักษณะสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals) ในปัจจุบันใช้ควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกหรือทางคนข้าม กำหนดใช้สีจากดวงไฟเป็นเครื่องหมายบังคับการจราจร มี 3 สีคือสีแดง (บังคับให้ขบวนรถทุกคันหยุด) สีเหลือง (เตือนให้ลดความเร็วหรือเตรียมที่จะเคลื่อนไปข้างหน้าได้) สีเขียว (ให้ขบวนรถแล่นผ่านไป)

2.1.1 ความสำคัญของสัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจรนับว่าเป็นอุปกรณ์ชิ้นสำคัญในการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยก การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรเพื่อการควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกมีทั้งข้อดีและข้อเสียต่อการจราจรหลายประการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า การออกแบบ ติดตั้ง และการใช้งาน มีความเหมาะสมและถูกต้องมากน้อยเพียงใด กล่าวคือ หากมีการออกแบบติดตั้งและจัดการควบคุมทำได้เหมาะสมแล้ว สัญญาณไฟจราจรจะส่งผลดีหลายประการคือ

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

แต่ในทางกลับกันหากมีการติดตั้ง ออกแบบ และการจัดการควบคุม ทำได้ไม่ถูกต้อง หรือ ไม่เหมาะสม ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาและเป็นผลเสียต่อการจราจรบริเวณทางแยก เช่น

- เพิ่มความความล่าช้าแก่รถยนต์ โดยไม่จำเป็น โดยเฉพาะในถนนสายหลัก
- อาจทำให้เพิ่มอุบัติเหตุบางชนิด เช่น รถชนท้าย กรณีมีจังหวะสัญญาณไม่เหมาะสม
- หากมีการจราจรติดขัดบริเวณทางแยกอาจทำให้มีการเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่น และเพิ่ม

ปัญหาในเส้นทางเหล่านั้น

2.1.2 ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณไฟจราจร

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 หรือหลายทิศทางได้รับสิทธิเคลื่อนที่ผ่านทางแยกในระหว่างหนึ่งหรือหลายช่วงเวลาการจาดระบบสัญญาณไฟจราจร โดยวิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดตามความเหมาะสมของสภาพการจราจรบริเวณแยกนั้น ๆ เช่น บริเวณสี่แยกที่มีรถเลี้ยวขวาน้อย อาจจะจัดเป็น 2 เฟส แต่ถ้าบริเวณสี่แยกมีปริมาณรถเลี้ยวขวามากอาจจะออกแบบเป็น 3 เฟสหรือ 4 เฟส ก็ได้

Critical Lane Volume (CLV) หมายถึง ปริมาณรถยนต์สูงสุดต่อ 1 ช่องทางวิ่ง Critical Lane Volume ขึ้นอยู่กับการจัด Phases ในแต่ละ Phase Critical Lane Volume สามารถคำนวณได้โดยเอา ปริมาณ (Volume) ในแต่ละทิศทางหารด้วยจำนวนช่องทางวิ่งในทิศทางนั้น ปริมาณในทิศทางใดที่มีค่ามากกว่าจะนำมาใช้เป็น Critical Lane Volume

Lost time หมายถึง เวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากการออกรถหรือการหยุดรถ

ระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway) หมายถึง ระยะเวลาระหว่างขบวนสองคันที่วิ่งตามหลังกันมา ขณะผ่านจุดสำรวจ มีหน่วยเป็นวินาที โดยจะต้องทำการวัด ณ จุดอ้างอิงเดียวกัน บนรถยนต์ทั้งสอง

2.1.3 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signal Control System)

สามารถจำแนกได้เป็นประเภทดังนี้

1. สัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Fix Time Traffic Signal) เป็นระบบควบคุมการจราจรที่มีการออกแบบควบคุมการจราจรไว้แน่นอน โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจวิเคราะห์ และจัดทำเป็นแผนการควบคุมที่แน่นอนไว้ มีลักษณะสำคัญคือ ตั้งเวลาเปิด - ปิด ช่วงเวลา (Timing) แต่ละจังหวะไว้แน่นอน อาจมีเพียงโปรแกรมเดียว ใช้งานแบบเดีวตลอดทั้งวันหรืออาจมีหลายโปรแกรม กำหนดใช้ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ นิยมใช้กับทางแยกที่ปริมาณการจราจรค่อนข้างคงที่เป็นระยะเวลานาน หรือในช่วงเวลาเร่งด่วนที่มีปริมาณยานพาหนะสม่ำเสมอ โดยใช้ช่วงที่ปริมาณการจราจรสูงเป็นเกณฑ์การทำงานของสัญญาณไฟ

ในปัจจุบันเมื่อสัญญาณไฟแบบนี้ถูกนำมาใช้ในทางแยกหลายแห่งบนถนนสายเดียวกัน จะมีเครื่องปรับเวลาเริ่มของสัญญาณไฟเขียวติดไว้ในเครื่อง การปรับนี้อาจกระทำได้ด้วยคลื่นวิทยุหรือผ่านสายโทรศัพท์จากเครื่องคอมพิวเตอร์ของศูนย์ควบคุม ประโยชน์ที่ได้จากการปรับ คือการประสานของสัญญาณไฟเขียวที่ต่างแยกต่าง ๆ เพื่อลดการจอร์อไฟเขียวทุกทางแยก

2. สัญญาณไฟประเภทเซมิแอกทีวเอท (Semi-Traffic Actuate Signal) การควบคุมการจราจรจะให้ความสำคัญกับบริเวณทางหลัก (Major) ได้เวลาไฟเขียวตลอดด้วยค่าเวลาคงที่ (Fix Time) ต่อจากนั้นเมื่อมียานพาหนะมาจอร์อบริเวณทางเลี้ยวที่ติดกันกับทางเอกหรือบริเวณทางโท ระบบควบคุมจะทำการร้องขอสัญญาณไฟเขียวให้กับทางเลี้ยวหรือทางโท เพื่อให้รถวิ่งผ่านไป ได้ เมื่อไม่มียานพาหนะบริเวณทางเลี้ยวหรือทางโทอีก ก็จะตัดกลับไปให้สัญญาณไฟเขียวบริเวณทางหลักอีก หรือถึงแม้กรณีมีปริมาณยานพาหนะที่บริเวณทางเลี้ยวหรือทางโทวิ่งมาเพิ่มเติมอีก แต่เมื่อให้สัญญาณไฟเขียวจนถึงค่าสัญญาณไฟเขียวสูงสุด (Maximum Green) เครื่องควบคุมสัญญาณไฟจราจรก็จะตัดกลับไปให้สัญญาณไฟเขียวบริเวณทางหลัก ฉะนั้นในบริเวณทางโทจะตั้งให้สัญญาณไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) เป็นศูนย์ โดยมีอัตราการขยายจังหวะสัญญาณไฟเขียว (Vehicle Extension) และระยะห่างระหว่างกันของยานพาหนะต่อเวลา (Gap) จะอยู่ในช่วง 1-5 วินาที

3. สัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร (Full-Actuated Signal) การดำเนินการของสัญญาณไฟเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร จะคำนวณปริมาณจราจรในทุก ๆ ด้าน ซึ่งมีความสามารถมากกว่าในสองแบบแรก ระบบมีความสามารถในการคำนวณความต่อเนื่องของสัญญาณไฟที่อยู่บนพื้นฐานสัญญาณไฟเขียวต่ำสุด และจะเพิ่มเวลาของสัญญาณไฟเขียว ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการร้องขอสัญญาณไฟเพิ่มขึ้นจากการที่ยานพาหนะผ่านเครื่องตรวจจับยานพาหนะ จนกระทั่ง การร้องขอสัญญาณไฟเขียวจะสิ้นสุดลงแบ่งได้เป็นสองกรณีคือ เมื่อยานพาหนะมีระยะห่างระหว่างกันของยานพาหนะต่อเวลามากกว่าค่าที่กำหนดไว้ และเมื่อสัญญาณไฟเขียวให้ค่าเวลาสูงสุด หลังจากนั้นก็จะไปทำงานในเฟส (Phase) ลำดับต่อไป จึงทำให้ปริมาณแถวคอยมีปริมาณน้อยที่สุดได้ แต่การติดตั้งเครื่องตรวจจับยานพาหนะก็จะต้องใช้จำนวนหลายเครื่อง

2.1.4 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

การออกแบบสัญญาณไฟจราจรมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ความจุของทางแยกให้เกิดประโยชน์สูงสุด กล่าวคือ สัญญาณไฟจราจรจะเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกให้มีปริมาณจราจรสามารถผ่านทางแยกไปได้มากที่สุดโดยปลอดภัย (Throughput Maximization)

2.1.4.1 การออกแบบรอบสัญญาณไฟจราจร

การออกแบบช่วงเวลาของสัญญาณไฟนั้นจะคำนึงถึงปริมาณความต้องการใช้ทางแยกเทียบกับความจุของช่องทางจราจรเป็นหลัก ในกรณีที่สภาพการไหลไม่เกินสภาวะอิ่มตัว (Under Saturated Flow) Webster [1] เสนอสูตรคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟเป็นฟังก์ชันของปริมาณจราจรและความจุทาง ดังต่อไปนี้

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum (V/s)} \quad (2.1)$$

โดยที่	C_0	คือ	ความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม
	L	คือ	ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไปสำหรับเฟสทั้งหมดในช่วงระยะเวลารวมของสัญญาณไฟเขียว (วินาที)
	V/s	คือ	อัตราส่วนของอัตราการไหลออกแบบที่อัตราการไหลอิ่มตัว สำหรับวิธีการหรือช่องทางที่สำคัญในแต่ละเฟส

HCM [2] ได้พัฒนาวิธีการประมาณค่าอย่างรวดเร็วสำหรับการคำนวณความยาวรอบสัญญาณไฟ สูตรสำหรับการประมาณค่าความยาวรอบสัญญาณไฟ ดังนี้

$$C = \frac{L}{1 - \frac{\min(CS, RS)}{RS}} \quad (2.2)$$

โดยที่	C	คือ	ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
	L	คือ	ผลรวมของเวลาที่สูญเสีย (วินาที)
	CS	คือ	ผลรวมจุดวิกฤตของปริมาณจราจรได้จากการวิเคราะห์การไหลที่วิกฤต
	RS	คือ	อัตราการไหลรวม = $1,710 * PHF * f_a$ (คัน / ชั่วโมง)
	f_a	คือ	0.90 (ในเมือง CBD) 1.00 (นอกเหนือพื้นที่ในเมือง)

Han, L.D., and Li, J.M. (2007) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร โดยพิจารณาที่รอบสัญญาณไฟจราจรที่มากกว่า 150 วินาที และที่น้อยกว่า 60 วินาที ด้วยวิธีการใช้สูตรทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองมอนติคาร์โล จากการสมมุติสถานการณ์ เพอร์เซ็นต์ความต้องการ ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร เพื่อต้องการหา ความคาดหวังที่เกี่ยวข้องของ ความล่าช้าเฉลี่ย พบว่า เมื่อมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร 75 วินาที ความล่าช้าเฉลี่ยจะเท่ากับ 37.5 และมีเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็น 52% ที่ระดับการให้บริการเท่ากับหรือมากกว่า LOS C ความน่าจะเป็น 39% จะอยู่ใน LOS D จากการคำนวณความล่าช้าเฉลี่ยจะพบการมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรน้อยเกินไปและมากเกินไปส่งผลให้เกิดความล่าช้าสูง และสรุปผลการศึกษา ได้แก่ (a) โดยทั่วไปเมื่อระดับความต้องการมีความผันผวนจะส่งผลให้ความล่าช้าเฉลี่ยเพิ่ม (b) ความยาวรอบสัญญาณไฟไม่ใช่ตัวชี้วัดที่ดีที่สุดสำหรับความล่าช้า และ (c) การมีความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรสั้นมากจะทำให้เกิดความล่าช้าสูงเสมอ

2.1.4.2 การออกแบบสัญญาณไฟเหลือง

จุดประสงค์ในการใช้สัญญาณไฟเหลืองก็เพื่อให้โอกาสแก่รถคันสุดท้าย ที่ตัดสินใจข้ามทางแยกให้ผ่านไปได้อย่างปลอดภัย และรถคันแรกที่ตัดสินใจหยุด ก็สามารถหยุดได้ทันก่อนที่จะข้ามเส้นหยุด คือ เมื่อรถแล่นมาถึงทางแยกแล้ว สัญญาณไฟเขียวหมดพอดี รถคันสุดท้าย ควรจะมีระยะเวลาหน่วงเพียงที่จะแล่นผ่านทางแยกได้อย่างปลอดภัย ในกรณีที่คนขับรถตัดสินใจ แล่นผ่านแทนที่จะหยุดรอสัญญาณไฟเขียวในครั้งต่อไป

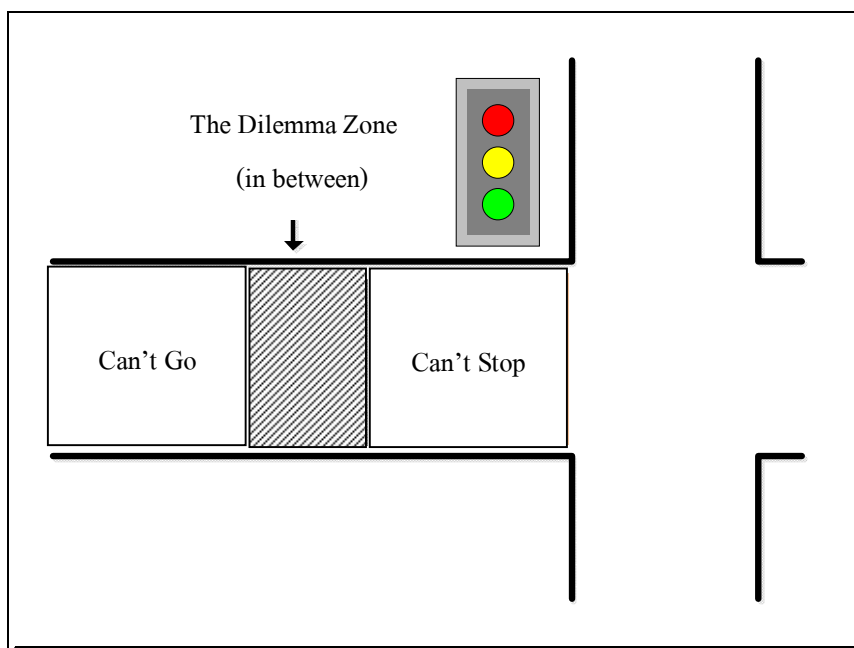
Elmitiny, N., et al. (2010) ได้ศึกษาพฤติกรรมรถที่ขับผ่านทางแยกสัญญาณไฟจราจรในช่วงที่มีการเปลี่ยนสัญญาณไฟจากไฟเขียวเป็นไฟเหลือง ผู้ขับรถมักจะลังเลในการตัดสินใจที่จะหยุดหรือขับผ่านทางแยก การตัดสินใจขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางจากเส้นหยุดรถ ถ้าตัดสินใจไม่หยุดรถอาจจะทำให้เกิดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดง หรือถ้าตัดสินใจที่จะหยุดรถที่ทางแยก ในขณะที่รถคันที่ตามมาต้องการไป ก็อาจจะทำให้เกิดการชนท้ายขึ้น

Yan, X., et al. (2009) ได้สรุปเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้ขับรถ คุณลักษณะการจราจร ในขณะที่เข้าสู่ทางแยกสัญญาณไฟในช่วงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟจากนักวิจัยหลายท่าน เช่น การตัดสินใจหยุด/ไป ในช่วงเริ่มต้นสัญญาณไฟเหลือง การขับรถฝ่าฝืนสัญญาณไฟเหลือง การฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดง ทั้งด้วยเจตนาและไม่เจตนา ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุการชนด้านข้างจากรถในทิศทางอื่นที่ได้สิทธิจากสัญญาณไฟในการผ่านทางแยก การตัดสินใจตรงกันข้ามของผู้ขับรถขณะขับรถเข้าสู่ทางแยกในช่วงเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟ โดยรถคันข้างหน้าเตรียมที่จะหยุดรถที่เส้นหยุดเมื่อได้รับสัญญาณไฟเหลืองแต่รถคันข้างหลัง ต้องการจะขับผ่านทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเหลือง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุการชนท้ายและการติดตั้งอุปกรณ์ในการช่วยปรับปรุงพฤติกรรมและช่วยในการตัดสินใจของผู้ขับรถขณะขับรถเข้าสู่ทางแยก ในช่วงเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟ ช่วยลดความเร็วในการขับขี่ เพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางแยก และลดอัตราการชนที่ฝ่าไฟแดงได้

2.4.1.3 Dilemma Zone

Dilemma Zone คือ ระยะปลอดภัยที่รถวิ่งเข้าทางแยกสัญญาณไฟจราจร จะตัดสินใจหยุดหรือเร่งเพื่อผ่านทางแยกขณะไฟเหลือง ซึ่งเท่ากับระยะมองเห็นปลอดภัยเพื่อหยุดครวมกับระยะหยุดรถโดยชะลอความเร็วด้วยอัตรา 3.3 เมตร/วินาที หรือตัดสินใจเร่งผ่านไฟเหลืองไป จำนวนค่อนข้างยาก เพราะขึ้นกับพฤติกรรมกรับรถของบุคคลที่แตกต่างกันมาก

การที่รถที่กำลังวิ่งเข้ามาสู่ทางแยกแล้วไฟเขียวเปลี่ยนเป็นไฟเหลือง พบตัวเองอยู่ในตำแหน่งที่จะตัดสินใจหยุดรถก็ไม่ทันข้ามเส้นหยุด จะตัดสินใจเร่งผ่านก็ไม่พ้นแยก มักจะเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรง กฎเกณฑ์การออกแบบสัญญาณไฟเหลืองก็ต้องกำหนดให้มีความยาวพอที่จะกำจัดเขตตรงนี้ให้ได้



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่ง Dilemma Zone บริเวณทางแยก

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสัญญาณไฟเหลืองจะออกแบบช่วงเวลาประมาณ 3 – 5 วินาที หากการออกแบบสัญญาณไฟเหลืองที่น้อยกว่า 3 วินาที จะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในกรณีที่คนขับตัดสินใจแล่นผ่านทางแยก หรือหากออกแบบสัญญาณไฟเหลืองนานเกิน 5 วินาที จะทำให้คนขับฉวยโอกาสฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น การคำนวณระยะเวลาของสัญญาณไฟเหลืองเราจะใช้สูตร

$$CP = t + \frac{V}{2a} + \frac{W + L}{V} \quad (2.3)$$

โดยที่	CP	คือ	ระยะเวลาของสัญญาณไฟเหลือง (วินาที)
	t	คือ	ระยะเวลาการตัดสินใจของคนขับรถ โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 1 วินาที
	V	คือ	ความเร็วของรถที่แล่นมาถึงทางแยก (กม./ชม.) หรือ (ฟุต/วินาที)
	a	คือ	อัตราความเร่ง โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 5 เมตร/วินาที ²
	W	คือ	ความกว้างของทางแยก เมตร หรือ ฟุต
	L	คือ	ความยาวเฉลี่ยของยานพาหนะ เมตร หรือฟุต

2.1.4.4 การออกแบบสัญญาณไฟเขียว

1. พิจารณาช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับคนเดินเท้า

$$G = 7 + \frac{D}{s} - Y \quad (2.4)$$

โดยที่	G	คือ	ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (วินาที)
	D	คือ	ระยะทางที่คนเดินทางใช้เดิน (เมตร)
	Y	คือ	ช่วงเวลาไฟเหลือง (วินาที)
	S	คือ	ความเร็วในการเดิน (เมตร/วินาที) โดยปกติจะอยู่ที่ 1.2 เมตรต่อวินาที

2. พิจารณาช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับในกรณีที่ไม่ต้องพิจารณา

คนเดินเท้า (Minimum Green Time)

$$G_{\min} = l_1 + 2 * Int + \frac{d}{20} \quad (2.5)$$

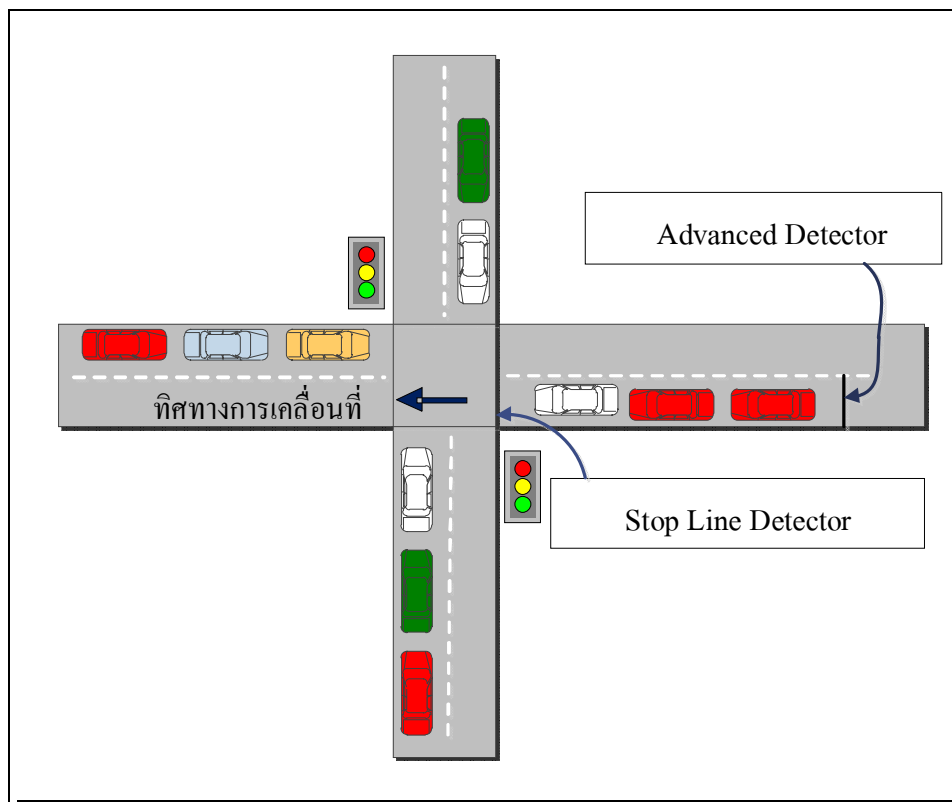
โดยที่	G_{\min}	คือ	ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (วินาที)
	l_1	คือ	เวลาที่สูญเสียในการออกตัว (วินาที)
	d	คือ	ระยะทางระหว่าง detectors และเส้นหยุด (ฟุต)

Kim, J.T., and Courage, K.G. (2003) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินค่าและการออกแบบเวลาไฟเขียวสูงที่สุดสำหรับติดตั้งการควบคุมจราจรตามปริมาณจราจร (TRAFFIC ACTUATED CONTROL) เพื่อต้องการลดความล่าช้าบริเวณทางแยก โดยเสนอการออกแบบได้ 4 องค์ประกอบ

(1) การประมาณเวลาไฟเขียวเฉลี่ยตามปริมาณจราจรของเฟส (2) การประเมินผลการทำงานของระบบผ่านขั้นตอน HCM 2000 (3) ใช้สูตรคำนวณในการแก้ปัญหาความล่าช้า (4) ค้นหาเวลาไฟเขียวมากที่สุดที่มีประสิทธิภาพและส่งผลให้ความล่าช้าน้อยที่สุดบริเวณทางแยก ในการทดลองได้กำหนดเวลาไฟเขียว Unit Extension ระยะ Detector และเงื่อนไขปริมาณจราจร โดยสร้างการจำลองด้วย CORSIM และประเมินโดยวิธี HCM จากตัวอย่างการทดลองที่เวลาไฟเขียวมากที่สุด 46 วินาที โดยการสร้างแบบจำลองด้วย CORSIM และประเมินค่าด้วยวิธี HCM ได้ค่า R-Square 0.56 และเมื่อใช้วิธีการนำเสนอจากการปรับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ได้ค่า R-Square 0.90 จากการศึกษาี้ ต้องการหาวิธีที่จะหาเวลาไฟเขียวเฉลี่ย นอกเหนือจากวิธี HCM วิธีการเดียว จากการประเมินค่าได้ก็พบว่า การหาเวลาไฟเขียวเฉลี่ย จากปริมาณจราจรก็มีวิธีการที่นำเสนอจากการปรับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ก็ให้ผลออกมาได้ดี

2.2 การจัดการความยาวสัญญาณไฟเขียวของสัญญาณไฟจราจรแบบเปลี่ยนแปลงความยาวสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจร

ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบเปลี่ยนแปลงเวลาตามปริมาณจราจรหรือ Actuated Control นิยมวางเครื่องตรวจจับยานพาหนะสองตำแหน่งพื้นฐาน ได้แก่ เครื่องตรวจจับยานพาหนะที่เส้นหยุด (Stop Line Detector) และเครื่องตรวจจับยานพาหนะล่วงหน้า (Advance Detector) เครื่องตรวจจับยานพาหนะที่เส้นหยุด จะติดตั้งอยู่ที่เส้นหยุดถึงระยะไม่เกินหนึ่งเมตรครึ่งจากเส้นหยุด มีหน้าที่เมื่อตรวจจับยานพาหนะหยุดคอยที่เส้นหยุดและส่งสัญญาณขอไฟเขียว (Call) ไปยังหน่วยควบคุม ในขณะที่เครื่องตรวจจับยานพาหนะล่วงหน้าจะติดตั้งอยู่ในระยะที่รถซึ่งใช้ความเร็วเริ่มต้นเท่ากับขีดจำกัดความเร็วสามารถหยุดได้ที่เส้นหยุด เครื่องตรวจจับประเภทนี้ตรวจจับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ผ่าน โดยส่งสัญญาณเป็นช่วง (Pulse) ตำแหน่งในการติดตั้งของเครื่องตรวจจับยานพาหนะแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งเครื่องตรวจจับยานพาหนะสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

การจัดความยาวสัญญาณไฟเขียวในแต่ละเฟสในการควบคุมแบบเปลี่ยนแปลงเวลาตามปริมาณจราจรมีข้อที่ต้องพิจารณาดังนี้

2.2.1 การขอสัญญาณไฟเขียว (Call)

การให้สัญญาณไฟเขียวแก่เฟสใดเฟสหนึ่งที่ไม่อยู่ใน “Recall mode” ขึ้นกับการส่งสัญญาณขอจากเครื่องตรวจจับยานพาหนะที่เส้นหยุด เมื่อเฟสไฟในลำดับก่อนหน้ากำลังจะหมดลง เช่นอยู่ในช่วงไฟเหลือง ตัวควบคุมจะตรวจสอบสัญญาณขอจากเฟสที่ตามมา หากมีการขอไฟเขียว เนื่องจากมีการตรวจพบยานพาหนะหยุดคอยที่เส้นหยุด หน่วยควบคุมจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่เฟสดังกล่าว

2.2.2 ช่วงเวลาเริ่มต้น (Initial interval)

ส่วนแรกของระยะเวลาไฟเขียวที่เหมาะสมที่จัดให้ยานพาหนะที่รอระหว่างเส้นหยุดและ Detector ในช่วงสัญญาณไฟแดงสามารถเคลื่อนตัวออกจากบริเวณทางแยกได้หมด ซึ่งเวลานี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนยานพาหนะที่แถวคอย ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนที่สภาวะการไหลอึดตัว (Saturated Headway) เวลาที่สูญเสียในการออกตัว (Start-up lost time) ช่วงเวลาเริ่มต้น (Initial interval) สามารถหาได้จาก

$$I = (hn + K_1) \quad (2.6)$$

โดยที่	h	คือ	ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวน (วินาที)
	n	คือ	จำนวนขบวนพาหนะระหว่าง detectors และเส้นหยุด
	K_1	คือ	ค่าความล่าช้าในการออกตัว (วินาที)
			ค่าที่เหมาะสม สำหรับ h และ K_1 คือ 2 วินาที และ 3.5 วินาที ตามลำดับ

2.2.3 ช่วงระยะเวลาขยายหนึ่งหน่วย (Unit Extension)

หลังจากทางเข้าทางแยกหนึ่งได้รับสัญญาณไฟเขียวเป็นระยะเวลาเท่ากับช่วงเวลาเริ่มต้นแล้ว เครื่องตรวจจับขบวนพาหนะล่วงหน้าจะเริ่มทำงานเพื่อตรวจจับขบวนพาหนะที่ผ่านเข้ามา แล้วส่งสัญญาณช่วงไปยังหน่วยควบคุมเพื่อขอสัญญาณไฟเขียวเพิ่มจากช่วงเวลาเริ่มต้น โดยเมื่อตรวจจับขบวนพาหนะได้หนึ่งครั้ง หน่วยควบคุมจะต่อเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เป็นเวลาเท่ากับหนึ่งหน่วยขยาย (Unit Extension) โดยประมาณ เท่ากับเวลาที่รถคันหนึ่งใช้วิ่งจากตำแหน่งของเครื่องตรวจจับขบวนพาหนะไปถึงเส้นหยุดด้วยความเร็วที่ขีดจำกัดความเร็ว

Unit Extension สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$e_o = \frac{S}{1.47v} \quad (2.7)$$

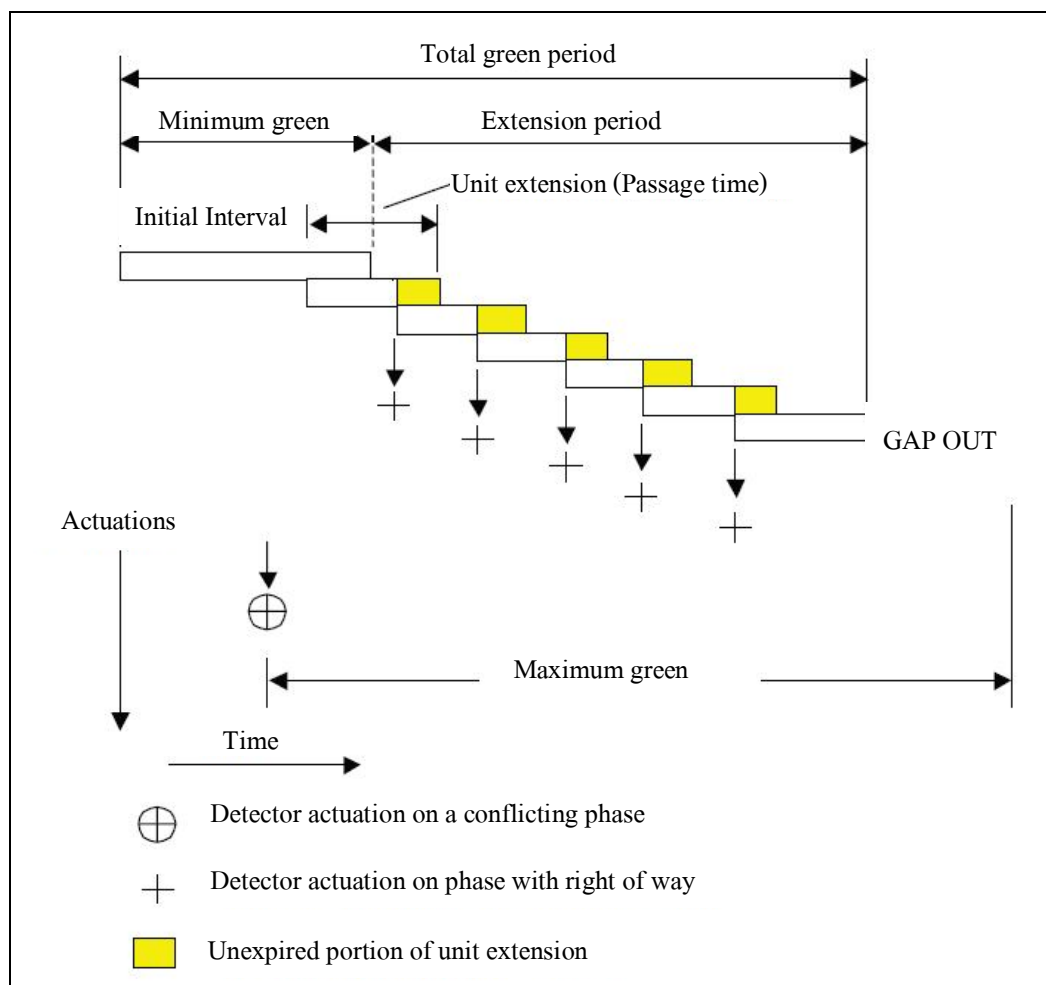
โดยที่	e_o	คือ	Unit Extension (วินาที)
	v	คือ	ความเร็วเฉลี่ย (ไมล์ต่อชั่วโมง)
	S	คือ	ระยะระหว่าง detectors และเส้นหยุด (ฟุต)

2.2.4 ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (The minimum green interval)

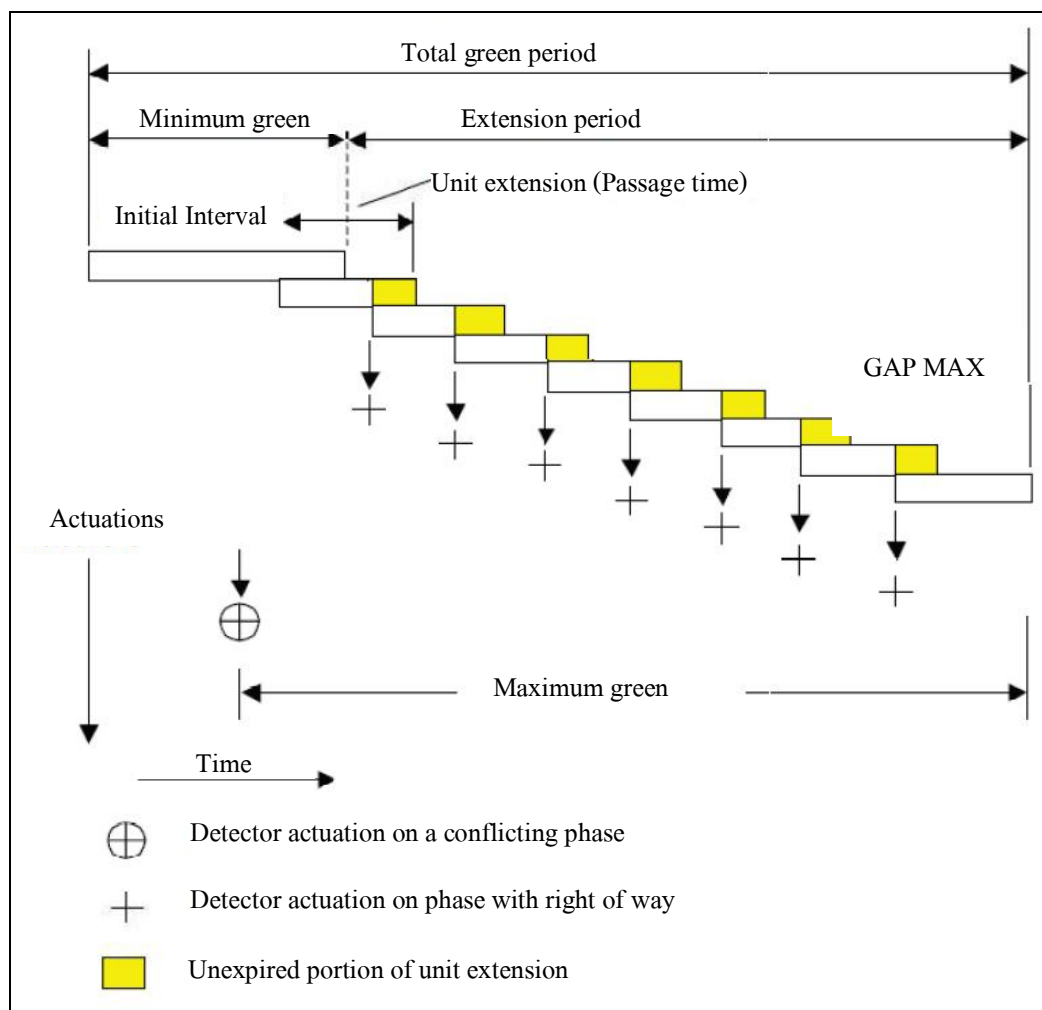
เวลาน้อยที่สุดสำหรับช่วงเวลาไฟเขียวระหว่างระยะเวลาจราจรใด ๆ ในการออกแบบพื้นฐาน มักกำหนดให้ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดเท่ากับผลรวมของช่วงเวลาเริ่มต้น และช่วงระยะเวลาขยายหนึ่งหน่วย (Unit Extension) แต่ในบางกรณีอาจยอมให้ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดอาจจะน้อยกว่าช่วงเวลาเริ่มต้นเพิ่มการขยายหนึ่งหน่วย

2.2.5 ช่วงเวลาไฟเขียวมากที่สุด (The maximum green interval)

ช่วงระยะเวลาที่สามารถให้ไฟเขียวได้นานที่สุด ที่จะทำให้เกิดการสูญเสียความล่าช้าในทุกทิศทางสามารถยอมรับได้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะอยู่ระหว่าง 30 และ 60 วินาที ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร ถึงแม้ว่าปริมาณจราจรจะหนาแน่นมาก แต่การให้สัญญาณไฟเขียวในทิศทางนั้น ๆ จะสามารถให้ได้แค่ช่วงเวลาไฟเขียวมากที่สุด (The maximum green interval) ก็ต้องให้ทิศทางอื่นได้สัญญาณไฟเขียวบ้าง เพื่อลดการสูญเสียความล่าช้า



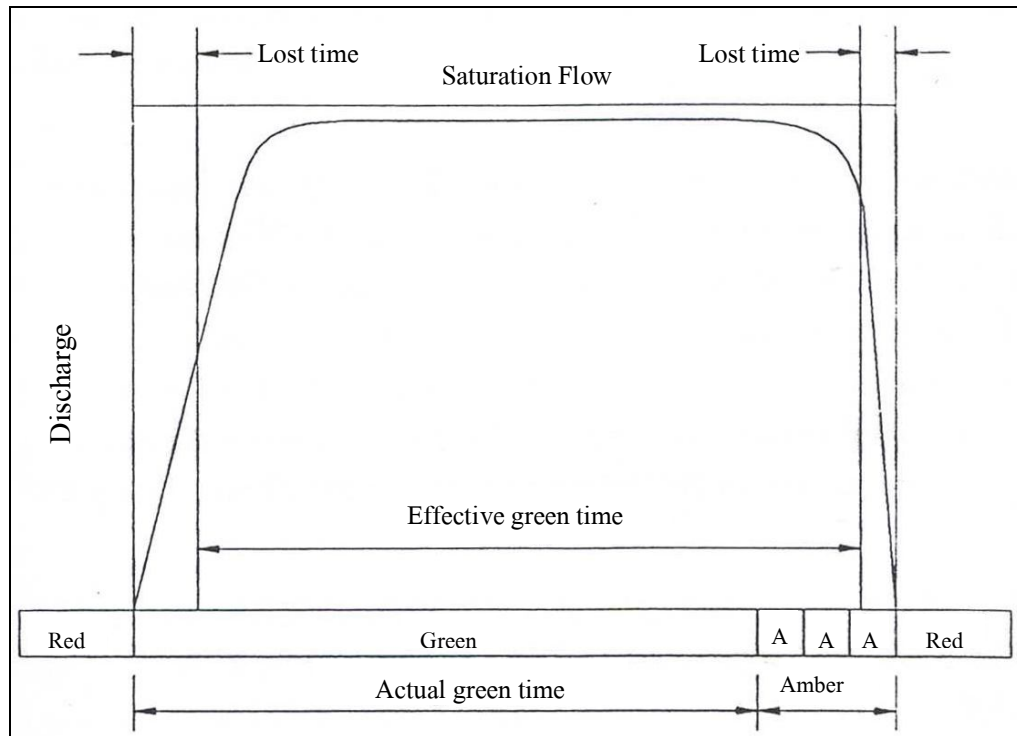
รูปที่ 2.3 แสดงการให้สัญญาณไฟเขียวแก่ทางเข้าทางแยกหนึ่งในกรณีที่มียานพาหนะวิ่งผ่านเครื่องตรวจจับหลังจากผ่านช่วงเวลาเริ่มต้นไปแล้ว เป็นกรณีที่สัญญาณไฟเขียวจบก่อนถึงความยาวสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด



รูปที่ 2.4 แสดงการให้สัญญาณไฟเขียวแก่ทางเข้าทางแยกหนึ่งในกรณีที่มียานพาหนะวิ่งผ่านเครื่องตรวจจับหลังจากผ่านช่วงเวลาเริ่มต้นไปแล้ว เป็นกรณีที่สัญญาณไฟเขียวจบที่ความยาวสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด

2.2.5 เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (Determination of the Effective Green Time)

เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียว การจราจรจะเริ่มเคลื่อนตัวผ่านทางแยกโดยมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงอัตราการไหลสูงสุดที่การจราจรสามารถผ่านทางแยกไปได้ จนเมื่อเริ่มสัญญาณไฟเหลือง อัตราการไหลของการจราจรก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเป็นศูนย์ หรือไม่มีปริมาณการจราจรผ่านทางแยกเลยเมื่อเริ่มสัญญาณไฟแดง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 พื้นที่ภายใต้กราฟ คือ ปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว การหาพื้นที่นี้ค่อนข้างยุ่งยาก เพื่อความสะดวกจึงใช้รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีพื้นที่เท่ากันนี้แทน ความสูงของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้ก็คือ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) และความกว้างก็คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (Effective Green Time)



รูปที่ 2.5 ความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด

ช่วงเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียวกับจุดเริ่มต้นของเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ และช่วงเวลาระหว่างจุดสุดท้ายของเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพกับจุดสุดท้ายของสัญญาณไฟเหลืองเรียกรวมกันว่า ช่วงเวลาไฟสัญญาณที่สูญเสียไปเนื่องจากความล่าช้าในการออกรถ (Lost Time due to Starting Delays) จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวรวมกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง จะเท่ากับเวลาไฟเขียว ประสิทธิภาพรวมกับเวลาที่สูญเสียทั้งหมด (Total Lost Time) คำนวณได้จาก

$$l_i = G_{ai} + \tau_i - G_{ei} \quad (2.8)$$

โดยที่ l_i คือ เวลาที่สูญเสียในเฟส i
 G_{ai} คือ เวลาไฟเขียวสำหรับเฟส i
 τ_i คือ เวลาไฟเหลืองของเฟส i
 G_{ei} คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิภาพของเฟส i

ในทางปฏิบัติคือว่า ช่วงเวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากความล่าช้าในการออกรถ (และก่อนจบช่วงสัญญาณไฟเหลือง) มีค่าประมาณ 2 วินาที/เฟส ดังนั้น เวลาไฟเขียวประสิทธิผลจะเท่ากับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวรวมกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง และหักออกด้วยเวลา 2 วินาที

2.3 ระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway)

ระยะห่างของช่วงเวลาระหว่างขบวนที่วิ่งติดกันมาซึ่งผ่านตำแหน่งหรือแนวอ้างอิงที่กำหนดไว้บนถนนหรือช่องจราจร โดยสังเกตจากเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงบนตัวรถคันหนึ่งวิ่งผ่านจุดที่กำหนดไว้ถึงเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันบนรถคันถัดไปที่วิ่งตามกันมาผ่านจุดที่กำหนดนั้นเช่นกัน ตำแหน่งบนตัวรถที่นิยมใช้ในการอ้างอิง อาทิ กันชนหน้า กันชนท้าย หรือเพลาน้ำ เป็นต้น

Richard, W., et al. (2009) ได้ทำการวิจัยทางแยกใน Virginia เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าระยะเวลาระหว่างขบวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาไฟเขียวยาว และทดสอบสมมติฐานทั่วไปที่ว่า ปริมาณรถที่ผ่านทางแยกจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาไฟเขียวยาว จากการวิเคราะห์พบว่าที่ว่า ระยะเวลาระหว่างขบวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อทางแยกมีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยาว แต่ไม่ได้ทำให้ปริมาณรถที่ผ่านทางแยกเพิ่มขึ้นด้วย

วินัย รักสุนทร (2547) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของรถเขียวช้ายต่อขีดจำกัดของทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยทำการศึกษาบนช่องจราจรใน 2 ลักษณะ คือ (1) ช่องจราจรสำหรับรถเขียวช้าย และ (2) ช่องจราจรที่มีการใช้งานร่วมกันระหว่างรถเขียวช้ายกับรถตรง โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยกล้องวิดีโอบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของการจราจรบริเวณทางแยก ใช้เวลาแยกละอย่างน้อย 15 รอบสัญญาณไฟ จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่า

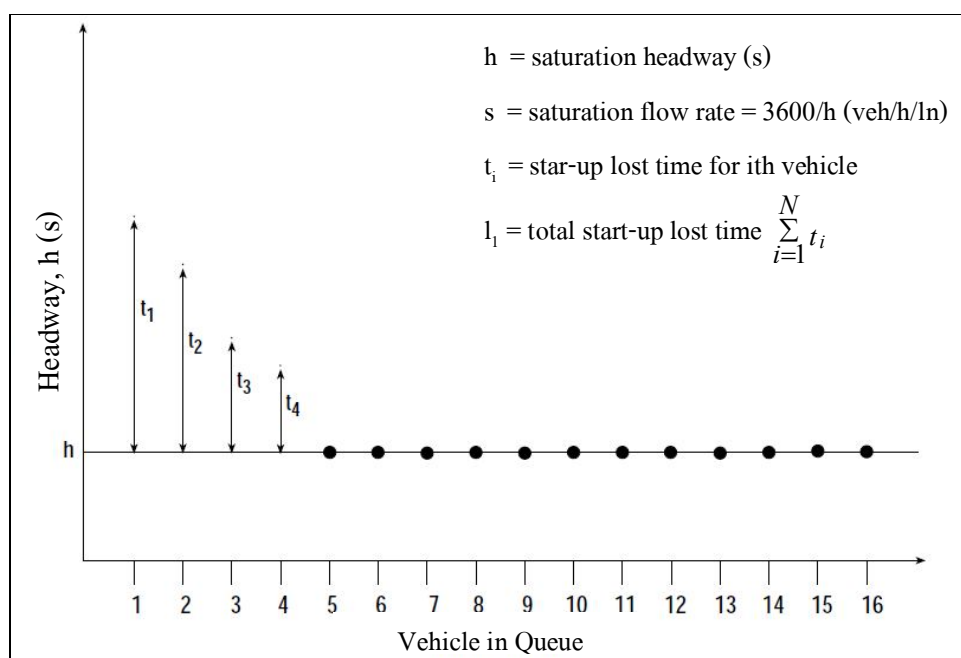
บนช่องจราจรสำหรับรถเขียวช้ายและมีการให้สัญญาณไฟเขียวโดยเฉพาะ คำนวณจากค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างของเวลาระหว่างรถยนต์สำหรับรถยนต์ตั้งแต่ในลำดับที่ 6 ถึงลำดับสุดท้ายที่จอดสนิท เพื่อรอสัญญาณไฟจราจรที่เส้นหยุดจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าระยะห่างของเวลาระหว่างรถยนต์จำนวน 2,024 ข้อมูล (รถยนต์ในลำดับที่ 6 เป็นต้นไป) บนช่องจราจรสำหรับรถยนต์เขียวช้ายโดยเฉพาะ พบว่า ค่าระยะห่างของเวลาระหว่างรถยนต์เขียวช้ายมีค่าระหว่าง 1.4 ถึง 4.7 วินาทีโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.15 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.60 วินาที สำหรับอัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถยนต์เขียวช้ายมีค่าประมาณ 1,675 คันต่อชั่วโมงของไฟเขียวต่อช่องจราจร ($3,600/2.15 = 1,675$) และคิดเป็น อัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถยนต์บนช่องจราจรเขียวช้ายจะมีค่าประมาณร้อยละ 88 ของช่องจราจรสำหรับรถตรง

บนช่องจราจรที่ใช้ร่วมกันระหว่างรถเขียวช้ายกับรถตรง และมีการให้สัญญาณไฟเขียวโดยเฉพาะ ทำการแบ่งศึกษาเป็น 4 ลักษณะ คือ (1) รถตรงตามด้วยตรง (2) รถตรงตามด้วยรถเขียวช้าย (3) รถเขียวช้ายตามด้วยรถตรง และ (4) รถเขียวช้ายตามด้วยรถเขียวช้าย จากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถยนต์บนช่องจราจรสำหรับรถเขียวช้าย และมีการให้สัญญาณไฟเขียวโดยเฉพาะมีค่าต่ำกว่าสำหรับรถยนต์บนช่องทางตรงประมาณร้อยละ 12 ส่วนอัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถยนต์บนช่องจราจร

ที่ใช้ร่วมกันระหว่างรถเลียวย้ายกับรถตรงและมีการให้สัญญาณไฟเขียวโดยเฉพาะนั้น จะมีค่าต่ำกว่า สำหรับรถยนต์บนช่องทางตรง และขึ้นกับสัดส่วนของรถเลียวย้ายบนช่องทางจร โดยอัตราการไหลจะมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 0.19 ทุก ๆ ร้อยละ 1 ของรถเลียวย้ายที่เพิ่มขึ้น

2.4 การไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rates) / ความจุ (Capacity)

การไหลอิ่มตัว (Saturation Flow) หมายถึง ปริมาณการจราจรสูงสุดที่ผ่านเส้นหยุดที่ทางแยกไปได้ในช่วงสัญญาณไฟเขียว (Effective Green Time) มีหน่วยนับเป็นปริมาณรถยนต์ต่อชั่วโมง หรือหน่วยรถยนต์เทียบรถเก๋ง (Passenger Car Unit) เริ่มจากการเคลื่อนที่ การเร่งความเร็วเพื่อให้ความเร็วเพิ่มขึ้นคงที่ ปริมาณการจราจรที่สามารถผ่านทางแยกส่วนหนึ่ง จะเสียไปจากประสิทธิภาพของทางแยก ได้แก่ สภาพทางกายภาพของถนน ความลาดเอียง (Gradient) การจอดรถที่ทางแยก (Parking) และการสูญเสียเวลาออกตัวของรถ



รูปที่ 2.6 แนวคิดของอัตราการไหลอิ่มตัว

สูตรคำนวณสำหรับการอัตราการไหลอิ่มตัว

$$s = 3600 / h_s \quad (2.9)$$

โดยที่ s คือ อัตราการไหลอิ่มตัว (คันต่อชั่วโมง)
 h_s คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างระหว่างรถในช่วงการไหลอิ่มตัว (วินาที)

สูตรคำนวณสำหรับความจุในกลุ่มช่องทางจราจร

$$c_i = s_i (g_i / C) \quad (2.10)$$

โดยที่ c_i คือ ความจุของช่องทางสำหรับการเคลื่อนไหวที่ i (คัน/ชั่วโมง)
 C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
 s_i คือ อัตราการไหลอิ่มตัวสำหรับการเคลื่อนไหว i (วินาที)
 g_i คือ เวลาสีเขียวที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเคลื่อนไหว i (วินาที)

Bester, C.J., and Meyers, W.L. (2007) ได้ทำการศึกษาหาอัตราการไหลเต็มอิ่ม (Saturation Flow Rates) ซึ่งคือปริมาณรถที่จะวิ่งผ่านทางแยกออกไปได้มากที่สุดเมื่อให้สัญญาณไฟเขียวในเวลา 1 ชั่วโมง โดยระบุเหตุการณ์ ดังนี้

- การเคลื่อนย้ายแบบทิศทางตรง หรือเลี้ยวขวา
 - ทางลาดขึ้น หรือทางลง
 - จำนวนช่องทางจราจร หนึ่ง/สองช่องทางจราจร และ
 - ความเร็ว พิจารณาที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- จากการทดสอบใช้สมการความถดถอยพบว่า

$$S = 990 + 288TL + 8.5SL - 26.8G \quad (2.11)$$

โดยที่ S คือ อัตราการไหลอิ่มตัว (คัน/ชั่วโมง/ช่องทางจราจร)
 TL คือ จำนวนช่องทางจราจรทางตรง (1 หรือ 2)
 SL คือ จำกัดความเร็ว (60 หรือ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
 G คือ เปอร์เซ็นต์ทางลาด

จากการศึกษาพบว่า จำนวนช่องจราจรทางตรงมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลอ้อมตัวมากขึ้นด้วย และการใช้ความเร็วมากขึ้น ก็จะส่งผลให้อัตราการไหลอ้อมตัวมากขึ้นด้วย แต่เมื่อความลาดชันมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลอ้อมตัวลงน้อยลง

ทวี วิชัยเมธาวิ (2545) ได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอ้อมตัว โดยใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS ที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ (API) ในการวิเคราะห์ ถูกนำมาใช้พัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟ ทำการศึกษาทางแยก 2 โคจรข่าย โดยกำหนดตัววัดประสิทธิภาพของการควบคุม ได้แก่ จำนวนขบวนที่ติดค้างในโคจรข่าย จำนวนขบวนที่ออกจากโคจรข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่ขบวนวิ่งบนโคจรข่ายรวม (คัน – กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ขบวนใช้ในโคจรข่ายรวม (คัน – ชั่วโมง) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง จากผลการศึกษาพบว่า วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจร โดยใช้ระดับความอ้อมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวัดสัญญาณไฟในการจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว และกำหนดให้ความยาวรอบสัญญาณไฟสูงสุดเท่ากับ 150 วินาที เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมอื่น ๆ ที่ใช้ทดสอบ เพราะในช่วงเวลาที่มีปริมาณจราจรเพิ่มขึ้น วิธีควบคุมสามารถปรับเปลี่ยนการควบคุมให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกได้ดี ส่วนการปรับความยาวรอบสัญญาณไฟให้สั้นลง หรือการกรองปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกวิกฤตด้วยวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอยในช่วงเวลาที่ทางแยกมีความอ้อมตัว จะให้ประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีน้อยกว่า ดังนั้นการปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเมื่อสภาพจราจรเริ่มอ้อมตัวตั้งแต่เริ่มต้น จึงเป็นหลักการสำคัญที่ใช้บรรเทาปัญหาสภาพจราจรติดขัดได้เป็นอย่างดี แต่หากการปรับสัญญาณไฟในช่วงเวลาที่มีความอ่อนไหวนี้ไม่เหมาะสม จะทำให้สภาพจราจรติดขัดแผ่ขยายเป็นวงกว้างและใช้เวลานานกว่าสภาพจราจรจะกลับสู่สภาพปกติ

นันทนา บัวคง (2548) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลอ้อมตัว โดยทำการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอ้อมตัว ลักษณะเรขาคณิตของทางแยก และลักษณะการจราจร ได้แก่ วัน ช่วงเวลา ประเภทของช่องจราจร สัดส่วนของรถแต่ละประเภท โดยเก็บรวบรวมข้อมูลระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway) ในแถวคอยของช่องจราจรต่าง ๆ ที่ออกจากทางแยก เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว และนำข้อมูลไปหาอัตราการไหลอ้อมตัว และความสัมพันธ์ต่อลักษณะทางกายภาพของช่องจราจร ทำเก็บข้อมูลจากสี่แยกสัญญาณไฟเดี่ยวในกรุงเทพมหานครจำนวน 7 ทางแยก จากผลการศึกษา พบว่า ระยะเวลาระหว่างขบวนที่ออกจากทางแยก จะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 6 ถึง 14 และจากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลอ้อมตัวในการศึกษารุ่นนี้ ได้แก่ ช่วงเวลาและประเภทของช่องจราจร และแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลอ้อมตัวกับลักษณะทางกายภาพ และลักษณะการจราจรที่วิเคราะห์ด้วยสมการความถดถอยเชิงพหุ ได้ดังนี้

$$s = 2547.079 - 287.864 \text{LN_G} - 147.215 \text{T_G} - 1.105\%R - 17.110\%T \&B + 7.327\%TT - 210.819\text{Width} \quad (2.12)$$

เมื่อ	s	คือ	อัตราการไหลอิมัตว์ (คัน/ชั่วโมง)
	LN_G	คือ	1 เมื่อเป็นช่องทางตรงรวมเลียวซ้าย (ชิดขอบถนน) 0 เมื่อเป็นช่องทางจรประเภทอื่น ๆ (ได้แก่ ช่องทางเลียวขวา ช่องทางเลียวขวา (ชิดเกาะกลางถนน) ช่องทางตรงรวมเลียวขวา ช่องทางตรงและช่องทางตรง (ชิดเกาะกลางถนน))
	T_G	คือ	1 เมื่อเป็น ชม.การจราจรปกติช่วงสาย และช่วงเวลากลางคืน 0 เมื่อเป็นช่วงเวลาอื่น ๆ (ได้แก่ ชม.การจราจรเร่งด่วนช่วงเช้า ชม.การจราจรปกติช่วงบ่าย และชม.การจราจรเร่งด่วนช่วงเย็น)
	%R	คือ	ร้อยละของรถเลียวขวา
	%T&B	คือ	ร้อยละของรถบรรทุกและรถโดยสารประจำทาง
	%TT	คือ	ร้อยละของรถจักรยานยนต์สามล้อ
	Width	คือ	ความกว้างของช่องทางจร (เมตร)

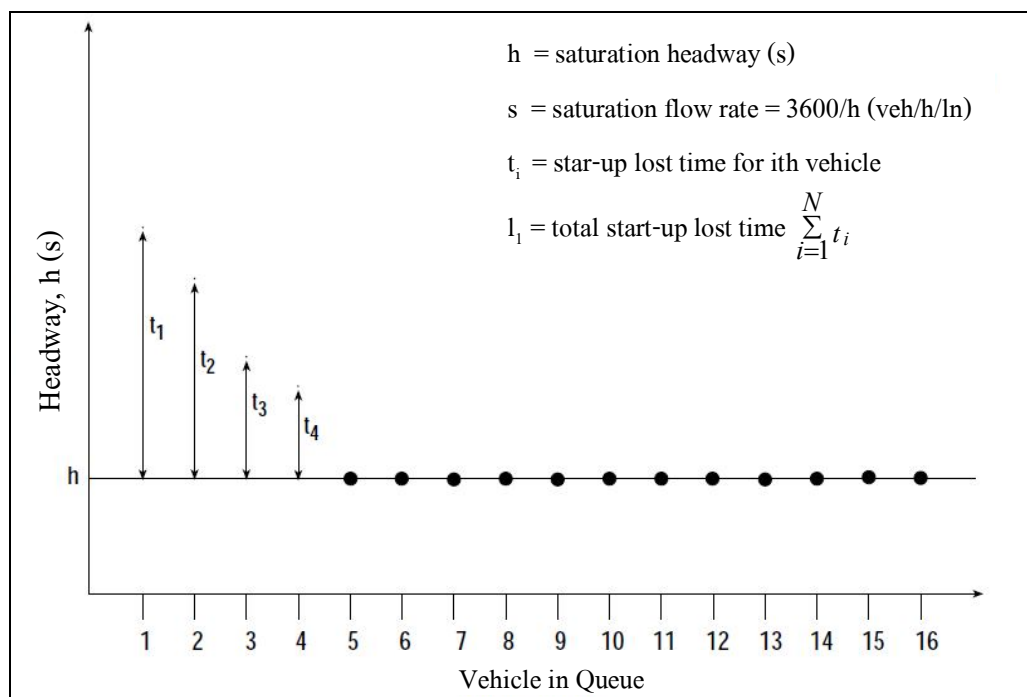
โดยมีอัตราการไหลอิมัตว์พื้นฐานเท่ากับ 2547 ± 478 คันต่อชั่วโมง และมีประสิทธิภาพการตัดสินใจเชิงพหุเท่ากับ 0.76 ที่มีปริมาณการจราจรมากพอ และมีช่วงความกว้างของช่องทางจรตั้งแต่ 2.8 ถึง 3.5 เมตร ในกรุงเทพมหานคร อีกทั้งพบว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลาสูญเสียในช่วงเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวของช่องทางจรทุกประเภท มีค่าเท่ากับ 3.25 วินาที

Khosla, K., and Williams, J.C. (2006). ได้ทำการศึกษาลักษณะของอัตราการไหลอิมัตว์ หลังจากผ่านช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ 30 - 40 วินาที เพื่อต้องการทราบว่าเมื่อมีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวนาน จะส่งผลต่ออัตราการไหลอิมัตว์อย่างไร โดยทำการสำรวจข้อมูลด้วยการบันทึกภาพวิดีโอขณะยานพาหนะผ่านเส้นหยุด โดยเวลาที่บันทึกจะมีความละเอียดในระดับ 00:00:00 (hh:mm:ss:ff) โดยทำการเก็บข้อมูลในนครบาล Dallas-Fort Worth จำนวนห้าทางแยก โดยทำการเก็บข้อมูลทางแยกละ 32-34 รอบสัญญาณไฟในช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น จากการวิเคราะห์ระยะเวลาระหว่างขูดยานของรถทุกประเภทมีค่า 1.93 วินาที อัตราการไหลอิมัตว์ 1,865 คันต่อชั่วโมง และเมื่อพิจารณาเฉพาะรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จะพบว่า ระยะเวลาระหว่างขูดยานของรถทุกประเภท มีค่า 1.86 วินาที อัตราการไหลอิมัตว์ 1,935 คันต่อชั่วโมง จากการวิเคราะห์ทั้งห้าทางแยก ระหว่างค่าระยะเวลาระหว่างขูดยานเมื่อเทียบกับการกำหนดสัญญาณไฟเขียว พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามทางแยก และอีกสองทางแยก พบว่า ค่าระยะเวลาระหว่างขูดยานลดลงเมื่อสัญญาณไฟเขียวยาว จากการทดสอบสมมติฐานที่ว่าเมื่อกำหนดให้ระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยาว จะส่งผลให้อัตราการไหลลดลง สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ไม่เป็นไปตามข้อสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.5 เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวนยาน (Star up lost time)

เวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว (l) คือ ผลรวมของจำนวนยานพาหนะ (n) ที่มีระยะเวลาระหว่างขบวนยานมากกว่า saturation headway (h) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$l_i = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.7 แนวคิดของอัตราการใช้รถล้มตัวและเวลาที่สูญเสีย

ตัวอย่างจากรูปที่ 2.7 สามารถหาเวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียวได้จาก

$$l_1 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (2.14)$$

เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช (2547) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาผลกระทบจากรถจักรยานยนต์ต่อการเคลื่อนตัวของรถยนต์ในบริเวณทางแยกสัญญาณไฟบริเวณแยกจันทน์นรินทร์ ซึ่งเป็นทางแยกที่ไม่มีช่องสำหรับจอดจักรยานยนต์ และอีกแยกหนึ่งคือแยกประชานุกูล มีช่องจอดจักรยานยนต์ เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของช่องจอดรถจักรยานยนต์ โดยนำข้อมูล Discharge Headway มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนรถจักรยานยนต์ต่อระยะเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกตัวของรถยนต์ (Start-up Lost Time) และประเมินประสิทธิภาพของช่องจอดรถจักรยานยนต์ ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์ทางสถิติ โดยทำการเปรียบเทียบ 3 กรณี คือ กรณีมีและไม่มีรถจักรยานยนต์ปะปนในแถวคอย กรณีมีและไม่มีรถยนต์จอดล้ำช่องจอดรถจักรยานยนต์ กรณีช่องจราจรกว้าง 2.90 และ 3.20 เมตร พบว่าการไม่มีรถจักรยานยนต์จอดปะปนในแถวคอยอยู่จะมีระยะเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์น้อยกว่าการไม่มีรถจักรยานยนต์ปะปนอยู่เลย และกรณีที่มียอดรถจอดล้ำช่องจอดรถจักรยานยนต์จะมีระยะเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์น้อยกว่าการไม่มีรถจักรยานยนต์จอดล้ำช่องจอดรถจักรยานยนต์ ส่วนกรณีช่องจราจรกว้าง 3.20 เมตรจะมีระยะเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์น้อยกว่าช่องจราจรที่มีความกว้าง 2.90 เมตร อย่างมีนัยสำคัญ

ระยะเวลาสูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณรถจักรยานยนต์ ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของช่องจอดรถจักรยานยนต์พบว่าการมีช่องสำหรับจอดรถจักรยานยนต์ จะทำให้เวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกรถของรถยนต์สูงขึ้น แต่ก็ช่วยให้รถจักรยานยนต์สามารถเคลื่อนตัวออกจากทางแยกได้เร็วขึ้น

Limanond, T., et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์นับเวลาถอยหลัง ณ ทางแยกสัญญาณไฟ จะมีผลกระทบต่อคุณลักษณะของการไหลจราจรของรถทางตรงที่บริเวณทางแยกอย่างไรบ้าง โดยที่อุปกรณ์นับเวลาถอยหลังจะแสดงระยะเวลา (ในหน่วยวินาที) ก่อนที่จะเปลี่ยนสัญญาณไฟให้ผู้ขับขี่ในแถวคอยที่ติดสัญญาณไฟแดงอยู่ทราบล่วงหน้าว่าสัญญาณไฟจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ขับขี่สามารถเคลื่อนตัวได้ทันทีเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนทำการเก็บข้อมูลจากการอัดภาพวิดีโอ เป็นเวลา 24 ชม. และจากการทดสอบทางสถิติโดยใช้ t-test เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของการไหลจราจรระหว่างสองกรณีที่ใช้ระบบสัญญาณไฟแบบมีและไม่มีอุปกรณ์นับเวลาถอยหลัง พบว่าอุปกรณ์นับเวลาถอยหลัง ส่งผลกระทบต่อ การสูญเสียเวลาในช่วงเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียวอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะช่วยลดการสูญเสียเวลาในช่วงเริ่มต้นสัญญาณไฟได้ 1.00 – 1.92 วินาทีต่อรอบสัญญาณ และผลกระทบต่อระยะเวลาระหว่างขบวนในสภาพการไหลอ้อมตัว พบว่าไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งบอกว่าอุปกรณ์นับเวลาถอยหลังแทบจะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลต่อทางแยกสัญญาณไฟ หรืออาจจะมีแต่มีปริมาณน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลานอกเร่งด่วน และช่วงเวลากลางคืน สำหรับการประหยัดการสูญเสียเวลาในช่วงเริ่มต้นไฟเขียว ประเมินว่าจะช่วยเพิ่มความจุจราจรบริเวณทางแยกได้มากขึ้น ประมาณ 8 – 24 คันต่อช่องทาง ณ ทางแยกสัญญาณไฟ

ปกาสิต จิตรศักดิ์ (2547) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการขับขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟจราจร แบบแสดงเวลาในช่วงเวลาปิดและเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา โดยพิจารณาอัตราการไหลอ้อมตัว และเวลาที่สูญเสีย โดยทำการเก็บข้อมูลจากการบันทึกเวลาเมื่อล้อหลังของรถแต่ละคันวิ่งผ่านเส้นหยุด โดยใช้นาฬิกาจับเวลาหาเวลาที่รถแต่ละคันเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุด ซึ่งกำหนดเป็นจุดอ้างอิง และนำไปวิเคราะห์ ด้วยวิธี t-test จากการศึกษาพบว่า

1. อัตราการไหลอ้อมตัวของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลช่วงเวลาปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ (Time Headway) เกิดขึ้นช่วงคันที่ 5 ถึงคันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 2.02 วินาที และค่าอัตราการไหลอ้อมตัวมีค่าเท่ากับ 1780 คันรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อชั่วโมงเวลาไฟเขียว และกรณีที่เปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์เท่ากับ 1.96 วินาที เกิดขึ้นช่วงคันที่ 4 ถึงคันที่ 10 และค่าอัตราการไหลอ้อมตัวมีค่าเท่ากับ 1833 คันต่อชั่วโมงเวลาไฟเขียว เมื่อทำการเปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่าการเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลาสามารถเพิ่มอัตราการไหลอ้อมตัวของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี t-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลาไม่มีนัยสำคัญต่ออัตราการไหลอ้อมตัว

2. การศึกษาเวลาสูญเสียเริ่มต้น ทำการวิเคราะห์ระยะเวลาห่างของรถยนต์ ช่วงเวลาปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีค่าเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็น 2.79 วินาที ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงคันที่ 1 ถึงคันที่ 4 และช่วงเวลาเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีค่าเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเป็น 1.85 วินาที ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงคันที่ 1 ถึงคันที่ 3 จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาช่วงเวลาปิดและเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา แสดงให้เห็นว่าการเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลาสามารถลดระยะเวลาสูญเสียเริ่มต้นได้ร้อยละ 33 เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี t-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีนัยสำคัญต่อเวลาสูญเสียเริ่มต้นของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

วินัยรักสุนทร (2547) ได้ทำการการศึกษาหาค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวของรถจักรยานยนต์ (Total start-up Lost Time of Motorcycles) และอัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถจักรยานยนต์ (Saturation Flow Rate of Motorcycles) สำหรับทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรและมีบริเวณที่จอดรถสัญญาณไฟจราจร สำหรับรถจักรยานยนต์ ที่มีขนาดต่างกัน 3 ขนาด คือ 2.7 3.0 และ 3.3 เมตร รวมจำนวนทั้งสิ้น 30 ทางแยก ในกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาพบว่าความกว้างของช่องจราจรทั้ง 3 ขนาดนั้น ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัว และจากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ ความกว้างของช่องจราจรระหว่าง 2.7 ถึง 3.3 เมตร จะไม่มีผลกระทบต่อค่าระยะของเวลาระหว่างรถจักรยานยนต์ที่จุดอ้อมตัว และระยะเวลาระหว่างรถจักรยานยนต์ จะเริ่มคงที่หลังจากรถจักรยานยนต์คันที่ 6 ผ่านเส้นหยุดไปแล้ว มีค่าโดยประมาณ 0.32 วินาที ค่าเฉลี่ยของเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวของรถจักรยานยนต์ มีค่าโดยประมาณ 1.45 วินาที (ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05) และอัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของช่องจราจรขนาดระหว่าง 2.7 ถึง 3.3 เมตร จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 11,250 คันต่อชั่วโมงของไฟเขียวต่อช่องจราจร

2.6 เวลาที่สูญเสียไปที่ช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียว (Clearance lost time) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$l_2 = y + ar - e \quad (2.15)$$

โดยที่	l_2	คือ	เวลาที่สูญเสียไปที่ช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียว
	y	คือ	ช่วงระยะเวลาไฟเหลือง
	ar	คือ	ช่วงระยะเวลาไฟแดง
	e	คือ	การบุกรุกของยานพาหนะสำหรับไฟเหลืองและไฟแดง (วินาที)

ปกาสิต จิรศักดิ์ (2547) ได้ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมการขับขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลาในช่วงเวลาปิดและเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา โดยพิจารณาการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรจากการศึกษาพบว่า ช่วงเวลาปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรร้อยละ 93 ส่วนการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรสูงสุดเท่ากับ 8 คันต่อรอบสัญญาณไฟจราจร และการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรเฉลี่ยเท่ากับ 2.91 คันรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อรอบสัญญาณไฟจราจร ส่วนในช่วงเวลาเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา มีการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรร้อยละ 72 ส่วนการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรสูงสุด 7 คันต่อรอบสัญญาณไฟ และการฝ่าฝืนสัญญาณไฟเฉลี่ยเท่ากับ 1.88 คันรถยนต์นั่งส่วนบุคคลต่อรอบสัญญาณไฟจราจร เมื่อทำการเปรียบเทียบช่วงเวลาปิดและเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา พบว่าการเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลาสามารถลดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟจราจรได้ร้อยละ 21 เมื่อทำการวิเคราะห์ห้ด้วยวิธี t-test ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการเปิดสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลามีนัยสำคัญต่อการฝ่าฝืนสัญญาณไฟ

2.7 ความล่าช้า (Delay)

Delay เป็นเวลาที่ยานพาหนะสูญเสียไปของการเดินทาง เนื่องจากเหตุผลที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยผู้ควบคุมยานพาหนะ

Operational Delay เป็นส่วนของความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขัดข้อง ซึ่งมาจากขบวนคันอื่น แรงขับยั้งนี้อาจจะเป็นได้ทั้งแรงขับยั้งทางด้านข้าง ซึ่งกระแสการจราจรมีการรบกวนกันกับขบวนคันอื่น ตัวอย่างเช่น การจอด และการออกจากที่จอดรถของยานพาหนะ หรือแรงเสียดทานภายในจากกระแสการจราจรเอง ซึ่งการขัดแย้งจะอยู่ภายในกระแสของการจราจร ตัวอย่างเช่น การลดลงของความจุของสายทาง

Stopped time delay เป็นส่วนของความล่าช้า ระหว่างขบวนรถหยุดนิ่ง

Fixed Delay เป็นส่วนของความล่าช้าที่เกิดจากอุปกรณ์ควบคุม เช่น ไฟสัญญาณจราจร ความล่าช้านี้เกิดขึ้นโดยไม่สนใจถึงปริมาณจราจรหรือค่าความหน่วงเหนี่ยวการจราจรต่าง ๆ ที่อาจจะคงอยู่

Travel Time Delay ความล่าช้าของเวลาในการเดินทางเป็นผลต่างระหว่างเวลาในการเดินทางจริง ๆ และเวลาในการเดินทางซึ่งจะเกิดขึ้น โดยการสมมุติว่าขบวนรถจะเดินทางผ่านส่วนที่ดำเนินการศึกษา โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับการไหลของจราจรบนส่วนของสายทางที่กำลังศึกษา ขณะที่การไหลไม่มีการติดขัด

สูตรสำหรับการหาความล่าช้า [Webster]

$$d = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q} \right)^{1/2} x^{(2+5\lambda)} \quad (2.16)$$

โดยที่	d	คือ	ความล่าช้าเฉลี่ยต่อคัน
	c	คือ	ความยาวรอบสัญญาณไฟ
	λ	คือ	อัตราส่วนของไฟเขียวประสิทธิภาพต่อความยาวรอบสัญญาณไฟ
	q	คือ	อัตราการไหล
	s	คือ	อัตราการไหลอิมตัว
	x	คือ	ระดับของความอิมตัว

รูปแบบการหาความล่าช้า [HCM 2000]

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (2.17)$$

โดยที่	d	คือ	ความล่าช้าเฉลี่ยต่อรถ (วินาที)
	d_1	คือ	Uniform Delay ความล่าช้าที่เกิดจากมีรถเข้ามาสม่ำเสมอ หรือคงที่ (วินาที)
	PF	คือ	ปัจจัยการปรับเปลี่ยนการก้าวหน้า (progression adjustment factor)
	d_2	คือ	Random Delay ความล่าช้าที่เกิดจากมีรถเข้ามาแบบไม่สม่ำเสมอ หรือไม่คงที่ (วินาที)
	d_3	คือ	ความล่าช้าเฉลี่ยต่อรถยนต์ ในกรณีที่เผชิญมีรถติดอยู่แล้ว จึงต้องนำ d_3 มาพิจารณาด้วย (d_3 ไม่มีสูตรคำนวณ ต้องวัดจากภาคสนาม)

$$d_1 = \begin{cases} \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - \left[\min(1, X) * \frac{g}{C} \right]} \end{cases} \quad (2.18)$$

โดยที่	C	คือ	รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)
	G	คือ	เวลาสีเขียวประสิทธิภาพสำหรับกลุ่มช่องทาง (วินาที)
	X	คือ	v/c (โดยที่ค่ามากที่สุด คือ 1.00)

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \left[(X - 1)^2 + \frac{8kLX}{cT} \right]^{1/2} \right] \quad (2.19)$$

โดยที่	T	คือ	ระยะเวลาของการวิเคราะห์ในช่วงเวลา
	k	คือ	ปัจจัยการปรับความล่าช้าที่ขึ้นอยู่กับโหมดควบคุมสัญญาณ
	I	คือ	ปัจจัยการปรับต้นทาง (Upstream)
	c	คือ	ความจุในกลุ่มช่องทาง (คัน/ ชม)

ร้อยตำรวจเอกอมรชัย ลีลาขจรจิตร (2551) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบการอนุญาตเลี้ยวซ้ายผ่านตลอดต่อประสิทธิภาพการจราจรบริเวณแยกในช่วงการจราจรติดขัด โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วงเย็นวันศุกร์เวลา 18:00 -19:00 น. ซึ่งมีสภาพจราจรติดขัดอย่างหนัก เก็บข้อมูลด้านละ 15 นาที และมาแยกประเภทรถที่พิจารณา ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ และรถบัส/บรรทุก จากการวิเคราะห์พบว่าภายหลังการยกเลิกการอนุญาตให้เลี้ยวซ้ายผ่านตลอดแล้วยังคงมีความล่าช้ามากเช่นเดิมและได้ระดับการให้บริการ (Level of Service) เป็น F เท่าเดิมแต่พบว่า ทางแฉวงของรถที่รอผ่านแยกลดลงประมาณ 150 เมตร ดัชนีประสิทธิภาพ (Performance Index) เพิ่มขึ้น 76 หน่วย และความล่าช้าสูงสุด (Largest movement delay) ลดลงจาก 1820 วินาที เหลือเพียง 827 วินาที ซึ่งลดลงประมาณ 55% ทำให้เห็นได้ว่าจากเดิมที่มีรถบางคันที่ต้องรอผ่านแยกเป็นเวลานานขณะที่บางคันผ่านได้อย่างรวดเร็ว นั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้น โดยผู้ที่เคยรอเป็นเวลานานมากนั้น จะรู้สึกได้ถึงความปลอดภัยอย่างชัดเจน เพราะความล่าช้าลดลงมากขณะที่ผู้ที่เคยผ่านแยกด้วยความรวดเร็ว ก็จะมีควมล่าช้าเพิ่มขึ้นบ้าง ซึ่งเป็นการเฉลี่ยความล่าช้าไม่ใช้มีความแตกต่างกันมากจนเกินไป สรุปได้ว่าการยกเลิกเลี้ยวซ้ายผ่านตลอดไม่ส่งผลให้ความล่าช้าโดยรวมของแยกเปลี่ยนแปลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากข้อมูลเวลาที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา มีวิธีการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การถอดข้อมูล และ การวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาข้อมูลอัตราการไหลอ้อมตัวเวลาที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังนี้

3.1.1 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาเวลาที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟและศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อเวลาที่สูญเสีย และอัตราการไหลอ้อมตัว ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณไฟจราจรประเภทต่าง ๆ การออกแบบสัญญาณไฟ

3.1.2 สืบหาพื้นที่ที่จะทำการศึกษา โดยเลือกพื้นที่ที่มีสัญญาณไฟจราจร และมีตำแหน่งไว้สำหรับติดตั้งกล้องวิดีโอ แล้วทำการวางแผนการสำรวจข้อมูล

3.1.3 เก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บข้อมูลด้วยกล้องวิดีโอ เป็นข้อมูลระยะห่างระหว่างขูดยาน อัตราการไหลอ้อมตัวเวลาที่สูญเสีย

3.1.4 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและบันทึกข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ เตรียมพร้อมสำหรับการถอดข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์

3.1.5 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างลำดับรถที่เคลื่อนที่ผ่านขณะให้สัญญาณไฟจราจรสีเขียวเทียบกับระยะห่างระหว่างขูดยาน และใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาในการช่วยวิเคราะห์

3.1.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำข้อเสนอแนะ

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลประเภทปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมเอง ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจโดยใช้การตั้งกล้องวิดีโอบันทึกพฤติกรรมรถขับขึ้นบนท้องถนนเมื่อผ่านบริเวณทางแยกต่าง ๆ

ในช่วงเวลาเช้าและเย็นที่ไม่ได้เป็นช่วงเวลาเร่งด่วน ข้อมูลหลักที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ระยะเวลาระหว่างขบวน ในช่วงจังหวะสัญญาณไฟเขียว ซึ่งสามารถแปลงเป็นปริมาณต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.2.1 เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time)

3.2.2 อัตราการไหลอิมิตัวและระยะห่างระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอิมิตัว (Saturation flow rates and Saturation headway)

3.2.3 วิเคราะห์ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว (Capacity loss at the Beginning & the end of green phase)

3.3 ขอบเขตของการสำรวจ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา มีลักษณะโครงข่ายถนนเป็นแบบตาข่าย ในบริเวณทางแยกที่ใกล้เคียงกันจะมีพฤติกรรมการจับจีและปริมาณจราจรที่คล้ายกัน

จุดที่ทำการศึกษาจะต้องมีปริมาณจราจรปานกลาง เพื่อให้ให้เห็นช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์เต็มที่ และมีอัตราการไหลอิมิตัวช่วงเวลาหนึ่ง นอกจากนั้น จะต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง (Impedance) หลังจากกระแสจราจรผ่านทางแยก เช่น รถจอด หรือรถหยุดรับส่งผู้โดยสาร ช่อมถนน เป็นต้น ซึ่งทางแยกที่ถูกคัดเลือกให้เป็นตัวอย่างที่จะทำการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ มี 3 ทางแยก สัญญาณไฟ ได้แก่

3.3.1 สี่แยกเต็กสะ เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนโพธิ์กลางกับถนน โยธา ถนนทั้งสองสาย มี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกเต็กสะ

3.3.2 สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนไชยณรงค์กับถนนมหาดไทย ถนนทั้งสองสายมี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง

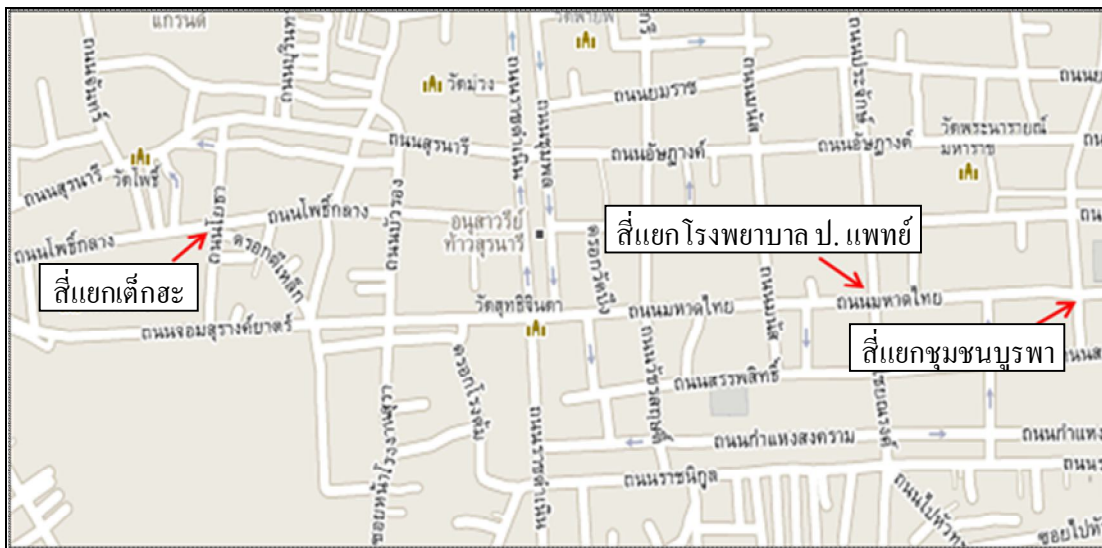


รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์

3.3.3 สี่แยกชุมชนบูรพา เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนกุดั่นกับถนนมหาดไทย ถนนทั้งสองสายมี 2 ช่องจราจรต่อหนึ่งทิศทาง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะทางกายภาพสี่แยกชุมชนบูรพา



รูปที่ 3.4 พื้นที่ที่ทำการศึกษ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.1 เครื่องมือในการเก็บข้อมูล

3.4.1.1 กล้องสำหรับถ่ายวิดีโอ ใช้บันทึกข้อมูลพฤติกรรมในการจับจีบบริเวณทางแยก โดยมีความละเอียดในการซูมในตำแหน่งจุดอ้างอิง และสัญญาณไฟจราจร ได้อย่างชัดเจนสามารถบันทึกไฟล์วิดีโอในแผ่น CD ได้ ซึ่งใช้บันทึกข้อมูลเก่าได้

3.4.1.2 ขาดังกล้อง ความสูง 120 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มระดับความสูงในการเป็นฐานตั้งกล้อง ให้สามารถส่องเลนส์ไปยังจุดอ้างอิง และสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกได้ชัดเจน

3.4.2 เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.2.1 โปรแกรมนาฬิกาจับเวลา เพื่อใช้ระบุเวลาเมื่อยานพาหนะผ่านจุดอ้างอิงโดยเวลาที่บันทึกจะมีความละเอียดในระดับ 00:00:00:00 (hh:mm:ss:ff) เพื่อต้องการให้ข้อมูลระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway) ที่วิเคราะห์มีความละเอียด

3.4.2.2 โปรแกรม SPSS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และใช้ในงานวิจัย โดยคำว่า SPSS ย่อมาจาก Statistical Packages for the Social Sciences โดยมีการเริ่มคิดค้นในสหรัฐอเมริกา และต่อมาได้พัฒนาปรับปรุงแก้ไขมาตลอดจนถึงปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม SPSS สำหรับนำมาวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของระยะเวลาห่างระหว่างขบวนกับลำดับรถในแถวคอย ในแต่ละทิศทางของแต่ละช่วงเวลา

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

จะทำการเก็บข้อมูลด้วยกล้องวิดีโอ โดยเก็บภาพบันทึกวิดีโอไปยังบริเวณเส้นหยุดบริเวณทางแยก และเห็นสัญญาณไฟจราจรในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลการจราจร ใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า และช่วงเย็น ทางแยกละ 1 ชั่วโมง 30 นาที เป็นเวลา 3 วันวันอังคาร วันพุธ และวันพฤหัสบดี โดยทำการตั้งกล้องในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นจุดอ้างอิงและสัญญาณไฟจราจรได้ชัดเจน โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง และสามารถเก็บข้อมูลที่ต้องการนำไปวิเคราะห์ได้ครบถ้วน

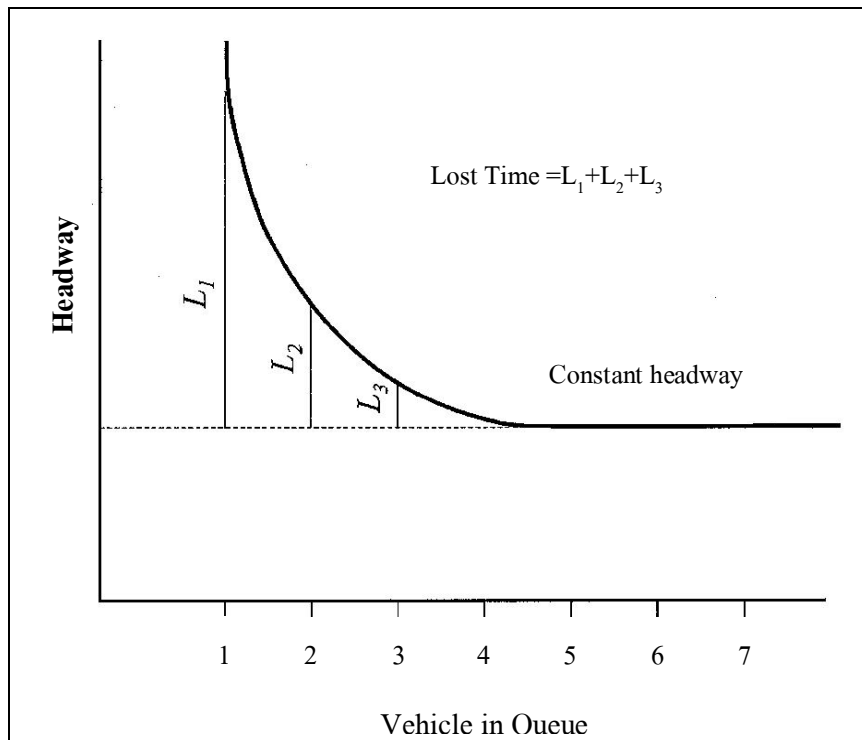
3.6 การถอดข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลการจราจรที่เก็บข้อมูลจากภาคสนามมา และนำข้อมูลที่ได้อ้อมบันทึกลงคอมพิวเตอร์ ผู้ทำการวิจัยจะนำวิดีโอมาวิเคราะห์หาระยะเวลาระหว่างรถสองคันที่วิ่งตามกันมา (Headway) ในแต่ละช่องจราจร โดยใช้นาฬิกาจับเวลาเวลาที่รถแต่ละคันเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุดซึ่งกำหนดเป็นจุดอ้างอิง (Reference Line) โดยกำหนดให้ทำการบันทึกเวลาเมื่อล้อหลังของรถแต่ละคันวิ่งผ่านเส้นหยุด การศึกษาของ Miller (1968) พบบ่อยครั้งว่ารถคันหน้ามักจะหยุดคร่อมเส้นหยุดขณะจอดบริเวณทางแยก ดังนั้นในการศึกษาจึงทำการกำหนดให้ล้อหลังของรถแต่ละคันเป็นจุดอ้างอิงเปรียบเทียบเวลาที่วิ่งผ่านเส้นหยุด การใช้กล้องวิดีโอในการเก็บข้อมูลนั้นไม่เพียงแต่ช่วยแก้ไขปัญหาในการที่ไม่สามารถจับเวลาและบันทึกระยะเวลาห่างระหว่างรถยนต์ในสนามทันที แต่ยังทำให้ถูกต้องและแม่นยำกว่าและสามารถนำกลับมาดูใหม่เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยข้อมูลที่ถอดเพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อมาสร้างแผนภูมิภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับรถที่เคลื่อนที่ผ่านขณะให้สัญญาณไฟจราจรสีเขียวเทียบกับระยะเวลาห่างระหว่างขบวน

ข้อมูลหลักที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความยาวสัญญาณไฟเขียว ระยะเวลาต่างๆ และระยะเวลาระหว่างขบวนตลอดจังหวะสัญญาณไฟเขียว ซึ่งสามารถแปลงเป็นปริมาณต่างๆ ได้ดังนี้

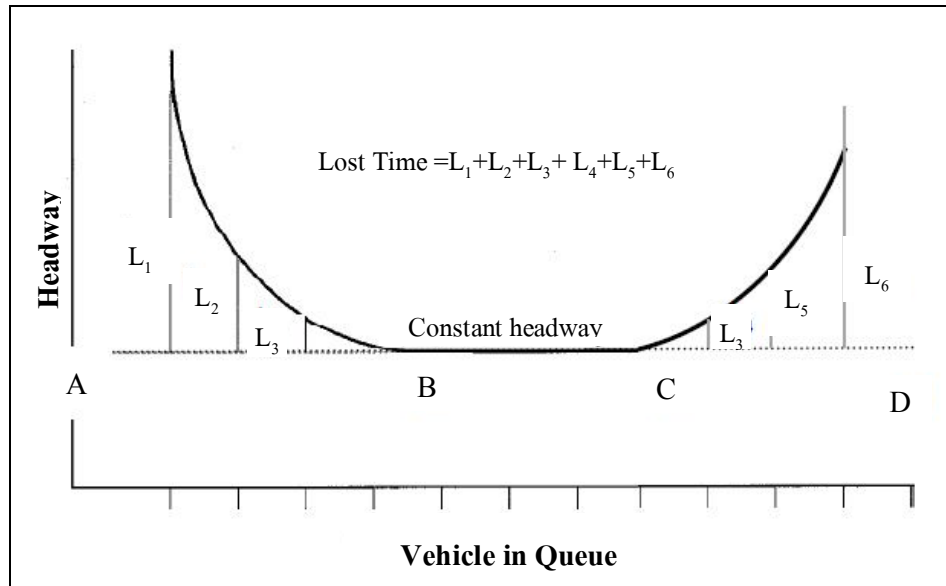
3.6.1 เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time)

โดยทำการพลอตกราฟระหว่างค่าระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway) โดยคำนวณจากเวลาที่ล้อหลังของรถคันหลังที่ถึงเส้นหยุด ลบด้วยเวลาที่ล้อหลังของรถก่อนหน้าจะได้เป็นค่าระยะเวลาระหว่างขบวนของแต่ละคันตามลำดับรถที่ถึงเส้นหยุดบริเวณทางแยก โดยเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวจะได้จากค่ารวมผลต่างของ Headway ที่มากกว่าระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอ้อมตัว การหาเวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียวได้จาก
$$I_1 = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$$
 ซึ่งจากรูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่แถวคอย เมื่อเวลาสัญญาณไฟเขียวมาตรฐาน สามารถหา Star-up lost time = $L_1 + L_2 + L_3$



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนรถกับลำดับรถที่แถวคอย เมื่อเวลาสัญญาณไฟเขียวมาตรฐาน

เมื่อใช้จังหวะสัญญาณไฟเขียวยาว จะพบว่าหลังจากผ่านไฟเขียวไปช่วงหนึ่ง อัตราการไหลจะเริ่มน้อยลง ระยะเวลาระหว่างขบวนรถจะเริ่มเพิ่มขึ้นมากกว่าระยะเวลาระหว่างขบวนรถ ณ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation headway) ลักษณะกราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนรถกับลำดับรถที่แถวคอย ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนรถกับลำดับรถที่แถวคอย
เมื่อเวลาสัญญาณไฟเขียวยาว

จากรูปที่ 3.6 เวลาสูญเสียของ L_1 ในช่วง A-B เป็นเวลาสูญเสียไปเนื่องจากการออกตัว และเวลาสูญเสียของ L_6 ในช่วง C-D เป็นเวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากปริมาณจราจรลดลง ซึ่งเวลาที่สูญเสียรวมในกรณีนี้จะมีค่ามากขึ้น จากรูปที่ 3.6 สามารถหาเวลาที่สูญเสียรวมได้เท่ากับ $Lost\ time = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6$

3.6.2 อัตราการไหลอ้อมตัวและระยะเวลาระหว่างขบวนรถ ณ อัตราการไหลอ้อมตัว

อัตราการไหลอ้อมตัวได้จาก $s = 3600/h_s$ เมื่อ s คือ อัตราการไหลอ้อมตัว (คันต่อชั่วโมง) h_s คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างรถในช่วงการไหลอ้อมตัว (วินาที) และสามารถนำไปพลอตกราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุดเมื่อได้จังหวะสัญญาณไฟจราจร

จากกราฟรูป 3.7 แสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุดเมื่อกำหนดเวลาสัญญาณไฟเขียวปกติ แต่เมื่อมีการกำหนดเวลาไฟเขียวยาวนานขึ้น จะพบว่าเมื่อผ่านเวลาไปช่วงหนึ่งปริมาณรถที่ผ่านจะเริ่มน้อยลง ระยะห่างระหว่างขบวนรถจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการใช้ความจุได้ไม่เต็มที่ ดังแสดงในกราฟรูป 3.8 แสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุดเมื่อกำหนดเวลาสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น

3.6.3 ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว

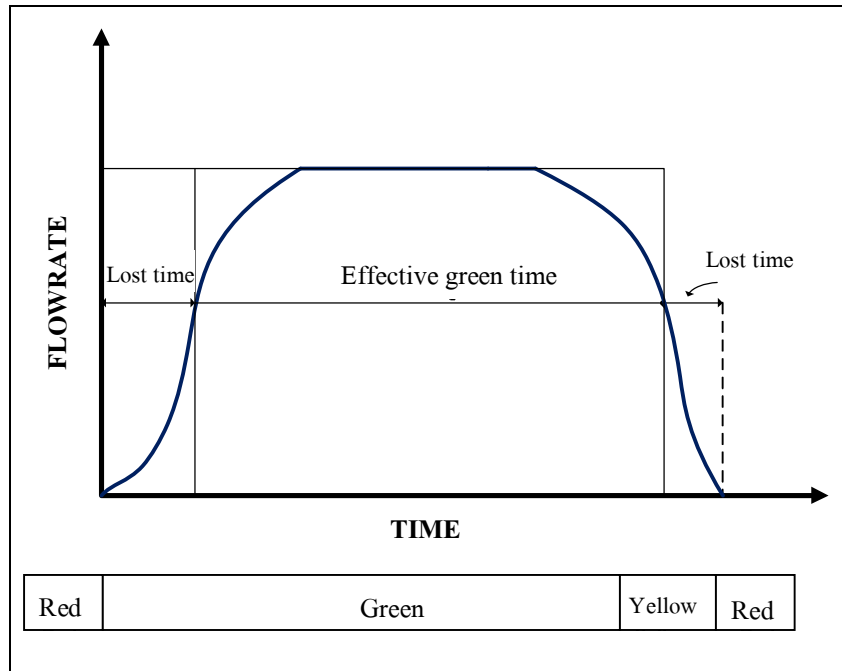
ในช่วงรอบสัญญาณไฟ เมื่อให้เวลาสัญญาณไฟเขียวตามมาตรฐาน ก็จะมียานพาหนะที่ไม่สามารถออกตัวได้ทันที ทำให้เกิดความจุที่ควรได้รับไม่สามารถได้เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งความจุที่สูญเสียไปจะมีทั้งในช่วงเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Star-up lost time) เวลาที่สูญเสียไปที่ช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียว (Clearance lost time)

การคำนวณความจุสามารถหาได้จากค่าเวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Effective green time) อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow Rate) จากสมการ HCM 2000 ดังนี้

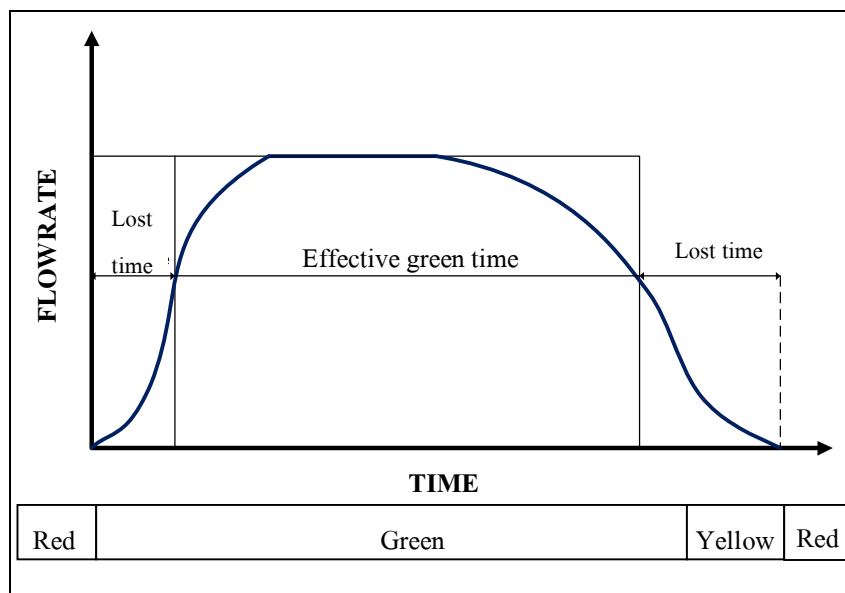
$$c_i = s_i(g_i/C) \quad (3.1)$$

โดยที่	c_i	คือ	ความจุของช่องจราจรหรือกลุ่มช่องจราจร (lane group) i (คัน/ชั่วโมง)
	C	คือ	ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)
	s_i	คือ	อัตราการไหลอิ่มตัวสำหรับสำหรับช่องจราจร หรือกลุ่มช่องจราจร i (วินาที)
	g_i	คือ	เวลาไฟเขียวประสิทธิผลสำหรับช่องจราจร หรือกลุ่มช่องจราจร i (วินาที)

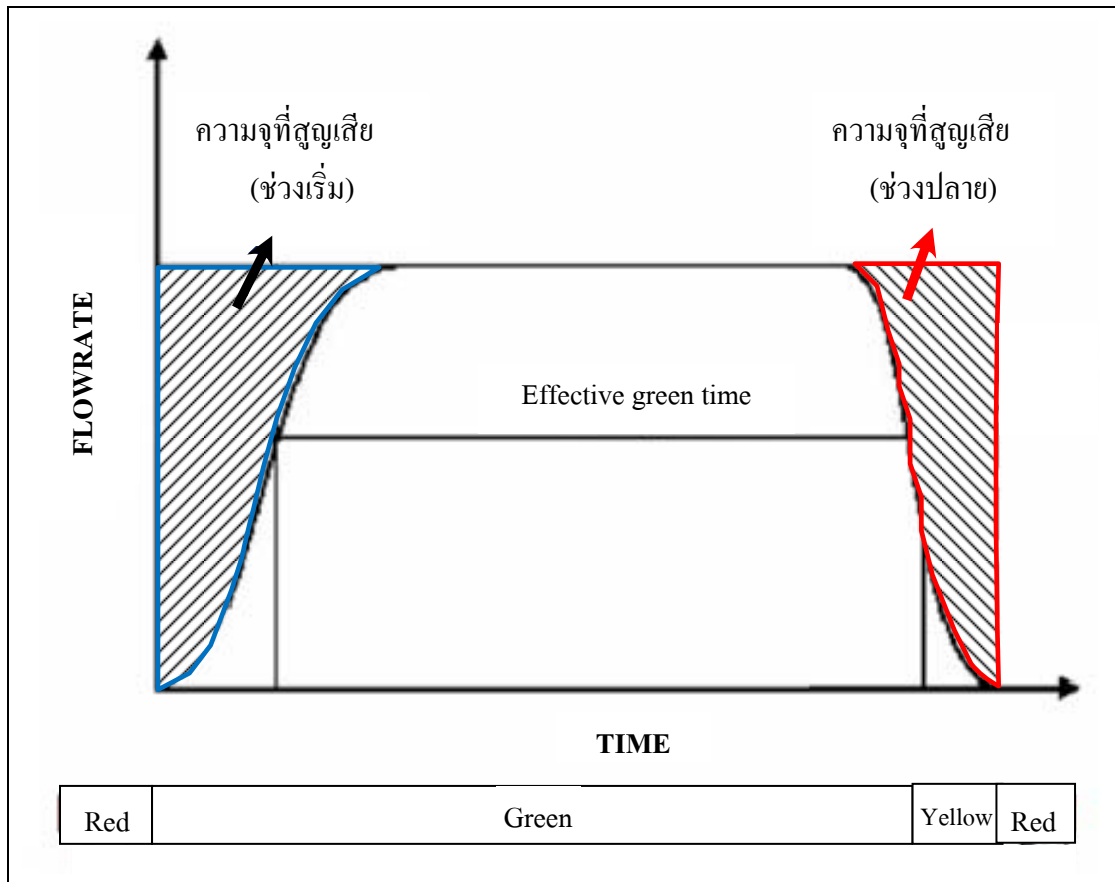
ความจุที่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟความจุที่สูญเสียเทียบกับส่วนที่แรเงาดังรูปที่ 3.9 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียวเมื่อความจุที่สูญเสียในช่วงต้นมากกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย หมายถึง สัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป แต่เมื่อวิเคราะห์พบว่า ความจุที่สูญเสียในช่วงต้นน้อยกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย หมายถึง สัญญาณไฟจราจรยาวเกินไป



รูปที่ 3.7 แสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด
กรณีที่มีความยาวสัญญาณไฟเขียวปกติ

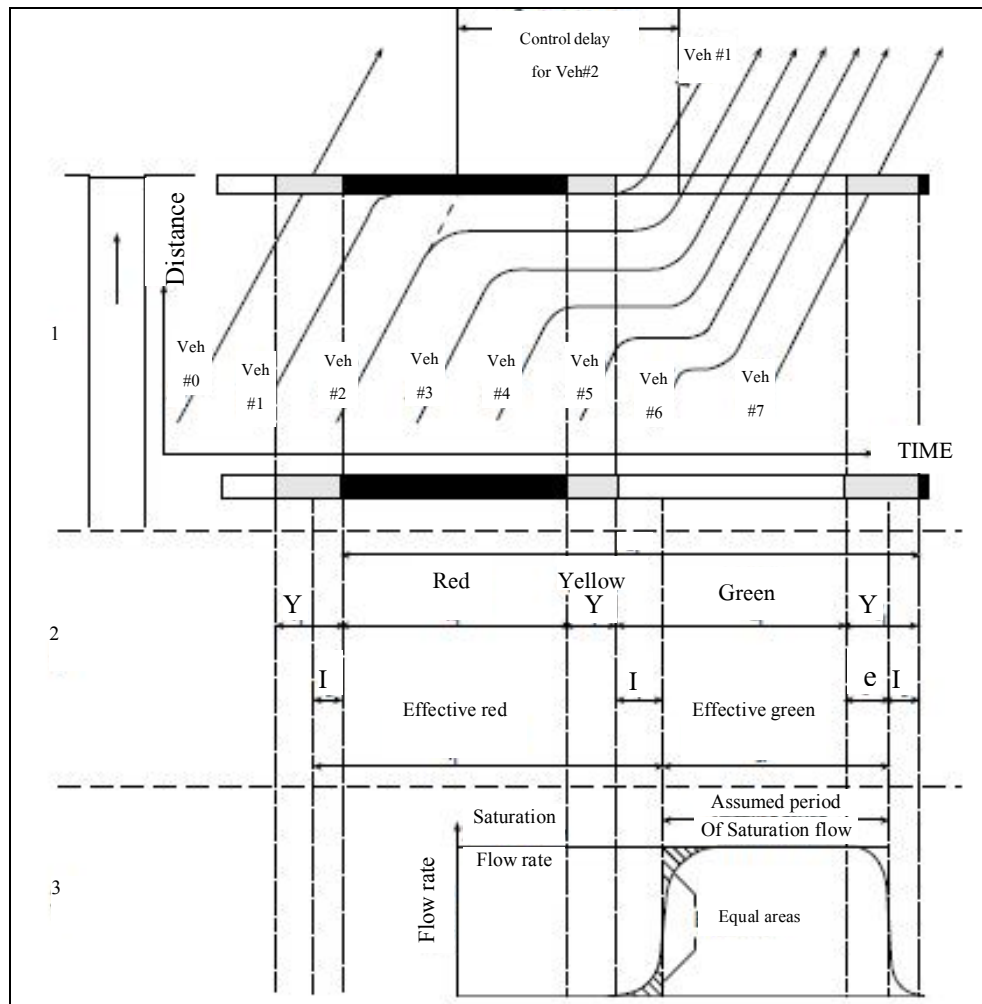


รูปที่ 3.8 แสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด
กรณีที่มีความยาวสัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด
และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว

ลักษณะภาพโดยรวมเมื่อยานพาหนะขับมาถึงทางแยกได้รับสัญญาณไฟแดง ก็จะจอดรอ เมื่อได้สัญญาณไฟเขียวก็จะเริ่มออกตัว รถที่จอดรอก็จะเริ่มออกตัวตาม แต่เมื่อรถที่ขับมาถึงทางแยก ในขณะที่เป็นไฟเขียวก็สามารถขับผ่านไปได้อย่างรวดเร็วคงที่ลักษณะกราฟในยานพาหนะคันนี้ ก็จะเป็นเชิงเส้นตรง รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 คุณลักษณะพื้นฐานของการไหลที่สัญญาณไฟทางแยก

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมรถตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียวบริเวณทางแยก ที่ทำการศึกษา โดยใช้ข้อมูลที่ถอดจากการบันทึกภาพวิดีโอบริเวณทางแยกทุกทิศทาง โดยใช้ข้อมูลระยะเวลาห่างระหว่างขบวน (Headway) เป็นข้อมูลหลักที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาหาความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวและจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ และนำมาเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลบริเวณทางแยกที่ทำศึกษานั้น มีลักษณะการกำหนดระยะเวลา จังหวะสัญญาณไฟเขียวเป็นประเภทใด

4.1 ระยะเวลาห่างระหว่างขบวน (Headway)

นำวิดีโอที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล มาวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างรถสองคันที่วิ่งตามกันมา โดยใช้ นาฬิกาจับเวลาหาเวลาที่รถแต่ละคันเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุดซึ่งกำหนดเป็นจุดอ้างอิง และทำการบันทึก เวลาทุกครั้งเมื่อล้อหลังของรถแต่ละคันวิ่งผ่านเส้นหยุด ซึ่งข้อมูลรอบสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้

1. สี่แยกเต็กสะ มีการกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจร 69 วินาที มี 2 จังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรในทิศทางเหนือ-ใต้ ให้จังหวะเวลาไฟเขียว 20 วินาที ไฟเหลือง 5 วินาที และไฟแดง 44 วินาที และจังหวะสัญญาณไฟในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ให้ไฟเขียว 37 วินาที ไฟเหลือง 5 วินาที และไฟแดง 27 วินาที

2. สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ มีรอบสัญญาณไฟจราจร 63 วินาที มี 2 จังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรในทิศทางเหนือ-ใต้ ให้ไฟเขียว 34 วินาที ไฟเหลือง 4 วินาที และไฟแดง 25 วินาที และจังหวะสัญญาณไฟในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ให้ไฟเขียว 19 วินาที ไฟเหลือง 4 วินาที และไฟแดง 40 วินาที

3. สี่แยกชุมชนบูรพา มีการกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจร 94 วินาที มี 2 จังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรในทิศทางเหนือ-ใต้ ให้ไฟเขียว 38 วินาที ไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดง 53 วินาที และจังหวะสัญญาณไฟจราจรในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ให้จังหวะไฟเขียว 48 วินาที ไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดง 43 วินาที

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพฤติกรรมรถตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกโดยกล้องวิดีโอ โดยวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างรถสองคันที่วิ่งตามกันมา (Headway) แต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร ซึ่งจำนวนรอบสัญญาณไฟที่รวบรวมได้จากการสำรวจในการศึกษานี้

รายละเอียดดังตารางที่ 4.1 โดยแสดงระยะเวลาห่างระหว่างขบวน (Headway) ของทั้งสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศทางตะวันออกไปตะวันตก (EW) ทิศทางใต้ไปเหนือ (SN) ทิศทางตะวันตกไปตะวันออก (WE) และทิศทางเหนือไปใต้ (NS)

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนรอบสัญญาณไฟจราจร จากการสำรวจรวบรวมข้อมูล

ช่วงเวลา	ทิศทาง	จำนวนรอบสัญญาณไฟจราจร		
		สี่แยกเต็กสะ	สี่แยกโรงพยาบาล ป. แพทย์	สี่แยกชุมชนบูรพา
เช้า	EW	211	246	128
	SN	180	247	120
	WE	225	223	128
	NS	218	237	156
เย็น	EW	206	255	136
	SN	202	252	130
	WE	217	244	146
	NS	201	256	139

4.1.1 การวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน

4.1.1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean, \bar{X}) หมายถึง ค่าที่หาได้จากผลรวมของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดของข้อมูลชุดนั้น

$$x = \frac{\sum \bar{X}}{N} \quad (4.1)$$

โดยที่ \bar{X} คือ ระยะเวลาห่างระหว่างขบวนเฉลี่ย (Average Headway)

4.1.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัวกับตัวกลางเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น ใช้สำหรับการวัดการกระจายทางสถิติที่เป็นปกติทั่วไป ใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าค่าต่างๆ ในเซตข้อมูลกระจายตัวออกไปมากน้อยเท่าใด หากข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่าน้อย ในทางกลับกัน ถ้าข้อมูลแต่ละจุดอยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยเป็นส่วนมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่ามาก และเมื่อข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่มีการกระจายตัว

$$SD = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (4.2)$$

โดยที่	S	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง
	X	คือ	ค่าของข้อมูลแต่ละตัว
	\bar{X}	คือ	ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
	N	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

4.1.1.3 สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน (Coefficient of Variation: C.V) เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลที่ไม่มีหน่วย ซึ่งต่างจากค่าสถิติตัวอื่น ๆ ที่ใช้วัดการกระจาย ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ย จะมีสูตรการคำนวณ

$$C.V. = \frac{SD}{\bar{X}} \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างยวดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกเต็กสะ ช่วงเช้า

ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
EW	\bar{X}	4.93	4.73	4.42	3.80	3.40	3.56	3.38	3.16	3.26				
	S.D.	2.45	2.79	2.51	2.14	2.01	1.46	1.72	0.95	1.44				
	C.V.	50%	59%	57%	56%	59%	41%	51%	30%	44%				
SN	\bar{X}	4.59	3.97	3.56	3.12	3.21	3.38							
	S.D.	2.58	1.23	1.26	0.92	1.22	0.37							
	C.V.	56%	31%	35%	29%	38%	11%							
WE	\bar{X}	3.87	3.57	3.37	3.14	3.09	3.01	3.14	2.91	2.92	2.72	2.73	2.64	2.47
	S.D.	1.58	1.12	1.34	1.17	1.44	1.19	1.10	1.16	1.00	0.91	1.00	0.95	0.78
	C.V.	41%	31%	40%	37%	46%	39%	35%	40%	34%	33%	37%	36%	32%
NS	\bar{X}	3.97	3.64	3.37	3.12	3.13	3.08	2.76						
	S.D.	1.80	1.02	1.00	0.78	0.97	0.96	0.46						
	C.V.	45%	28%	30%	25%	31%	31%	17%						

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขูดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกเต็ทสะ ช่วงเย็น

ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EW	\bar{X}	4.18	4.39	3.97	3.56	3.71	3.59	3.36	3.45	3.32	2.89	2.76	
	S.D.	2.04	2.03	2.21	1.82	1.77	1.76	1.86	1.53	1.22	0.96	0.73	
	C.V.	49%	46%	56%	51%	48%	49%	55%	44%	37%	33%	26%	
SN	\bar{X}	4.05	3.74	3.49	3.19	3.15	3.11	2.88					
	S.D.	2.02	1.18	0.99	0.86	0.82	0.82	1.33					
	C.V.	50%	31%	28%	27%	26%	26%	46%					
WE	\bar{X}	4.29	3.67	3.28	3.04	3.22	3.21	3.17	3.15	3.17	3.14	3.02	2.88
	S.D.	3.05	1.18	1.19	1.25	1.35	1.50	1.24	1.25	1.71	1.52	1.22	1.21
	C.V.	71%	32%	36%	41%	42%	47%	39%	40%	54%	48%	40%	42%
NS	\bar{X}	3.88	3.57	3.34	3.05	2.90	3.01	2.88					
	S.D.	2.19	1.01	0.91	1.09	0.92	0.92	0.65					
	C.V.	56%	28%	27%	36%	32%	31%	22%					

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขูดขนเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า

ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EW	\bar{X}	4.36	3.56	3.38	3.04	2.88	2.71	2.50			
	S.D.	1.17	0.84	0.99	0.96	0.91	0.80	0.30			
	C.V.	27%	24%	29%	32%	32%	30%	12%			
SN	\bar{X}	4.99	4.23	3.93	3.59	3.09	3.31	3.21	3.17	3.18	3.22
	S.D.	2.06	1.77	1.72	1.52	1.04	1.19	1.18	1.40	1.09	1.22
	C.V.	41%	42%	44%	42%	34%	36%	37%	44%	34%	38%
WE	\bar{X}	4.19	3.90	3.60	3.18	3.18	3.18				
	S.D.	1.73	1.51	1.38	1.06	0.91	0.73				
	C.V.	41%	39%	38%	33%	29%	23%				
NS	\bar{X}	4.91	4.18	3.79	3.49	3.28	3.10	3.16	3.13	2.94	2.69
	S.D.	1.84	1.52	1.50	1.22	0.96	1.08	0.88	1.06	0.99	0.64
	C.V.	38%	36%	39%	35%	29%	35%	28%	34%	34%	24%

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขูดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น

ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
EW	\bar{X}	4.09	3.71	3.34	2.99	2.88	2.74	2.52				
	S.D.	1.68	1.03	1.03	0.64	0.64	0.65	0.55				
	C.V.	41%	28%	31%	22%	22%	24%	22%				
SN	\bar{X}	4.70	3.89	3.56	3.33	3.10	3.14	3.14	3.20	3.10	2.90	2.65
	S.D.	1.43	1.41	1.50	1.15	1.26	1.23	1.09	0.87	1.02	1.11	0.19
	C.V.	30%	36%	42%	35%	41%	39%	35%	27%	33%	38%	7%
WE	\bar{X}	4.28	3.92	3.62	3.18	3.05	3.02					
	S.D.	1.70	1.31	1.40	0.76	0.70	0.78					
	C.V.	40%	33%	39%	24%	23%	26%					
NS	\bar{X}	5.07	4.19	3.90	3.63	3.38	3.40	3.28	3.16	2.98	2.99	
	S.D.	2.13	1.71	1.79	1.52	1.22	1.13	1.25	1.09	0.87	1.07	
	C.V.	42%	41%	46%	42%	36%	33%	38%	34%	29%	36%	

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเช้า

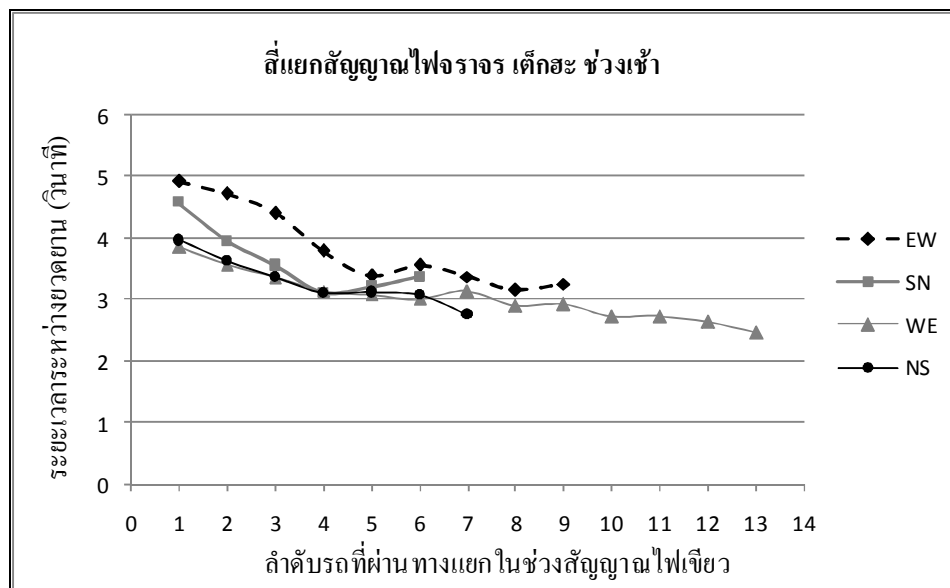
ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
EW	\bar{X}	5.87	4.07	3.33	3.24	3.06	3.33	2.92	6.51	
	S.D.	2.34	2.24	1.45	0.77	0.59	0.71	0.66	0.59	
	C.V.	40%	55%	44%	24%	19%	21%	23%	9%	
SN	\bar{X}	4.47	3.93	3.49	3.31	3.14	3.18	3.23	4.91	
	S.D.	2.32	2.03	1.02	0.84	0.96	1.23	1.61	0.18	
	C.V.	52%	52%	29%	25%	30%	39%	50%	4%	
WE	\bar{X}	4.86	4.11	3.61	3.05	2.98	3.07	3.64	6.59	
	S.D.	2.76	1.35	0.77	0.82	0.46	0.76	0.21	0.48	
	C.V.	57%	33%	21%	27%	15%	25%	6%	7%	
NS	\bar{X}	4.18	3.75	3.41	3.26	3.06	3.17	3.12	5.01	6.31
	S.D.	2.40	1.77	1.32	1.48	1.28	0.88	1.64	0.54	0.80
	C.V.	57%	47%	39%	46%	42%	28%	53%	11%	13%

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ยกับลำดับรถที่ผ่านสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเย็น

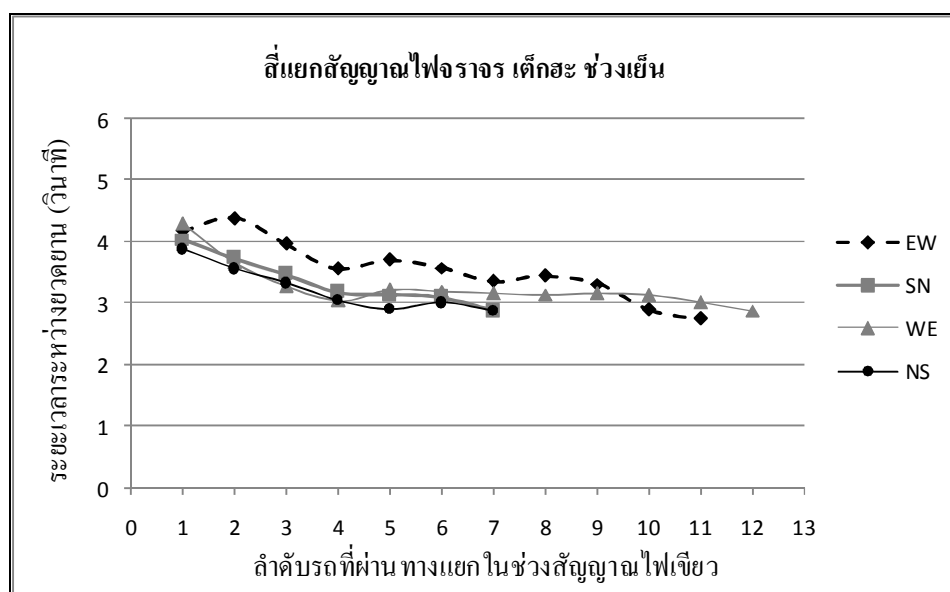
ทิศ ทาง	ค่า สถิติ	ลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียว									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
EW	\bar{X}	4.89	3.77	3.13	3.23	3.22	3.26	3.38	4.58	6.67	
	S.D.	2.69	1.68	1.07	1.47	1.45	1.39	1.26	0.11	0.43	
	C.V.	55%	45%	34%	45%	45%	43%	37%	2%	6%	
SN	\bar{X}	4.12	3.66	3.22	3.22	3.08	3.21	3.36	3.14	4.89	
	S.D.	2.20	1.74	1.20	1.26	1.20	0.96	1.78	1.87	1.01	
	C.V.	53%	47%	37%	39%	39%	30%	53%	60%	21%	
WE	\bar{X}	5.32	4.21	3.48	3.27	3.32	3.22	3.11	3.17	3.35	6.35
	S.D.	3.13	1.72	1.40	1.24	1.07	0.25	1.07	0.11	0.78	1.44
	C.V.	59%	41%	40%	38%	32%	8%	34%	4%	23%	23%
NS	\bar{X}	4.08	3.66	3.35	3.26	3.21	2.89	2.91	4.18	5.17	
	S.D.	2.38	1.42	0.95	1.13	1.20	1.50	1.24	1.51	0.63	
	C.V.	58%	39%	28%	35%	37%	52%	43%	36%	12%	

4.2. Discharge Headway ของรถยนต์ในแถวคอย

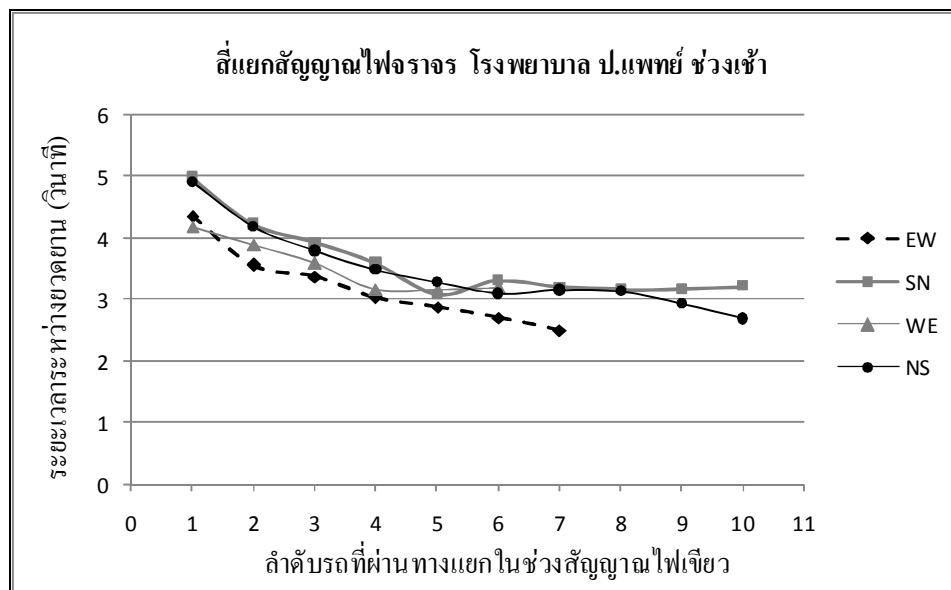
ทำการพลอตข้อมูลเพื่อคุณลักษณะพฤติกรรมการตอบสนองในการขับขีเมื่อได้รับจังหวะสัญญาณไฟเขียว โดยทำการพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาระหว่างขุดยานเฉลี่ย กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียว ซึ่งรายละเอียดดังกราฟในรูปที่ 4.1-4.6



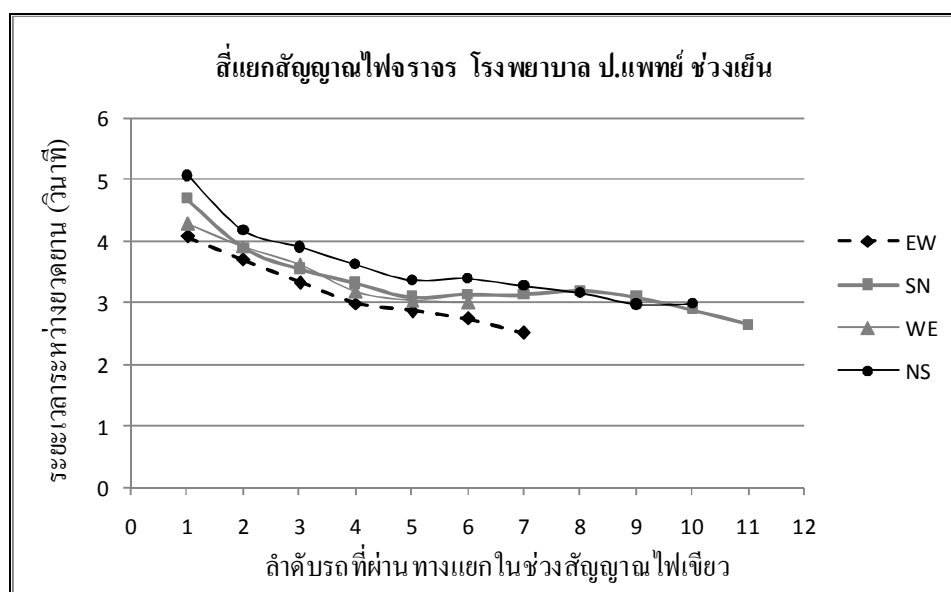
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกเต็มกะ ช่วงเช้า



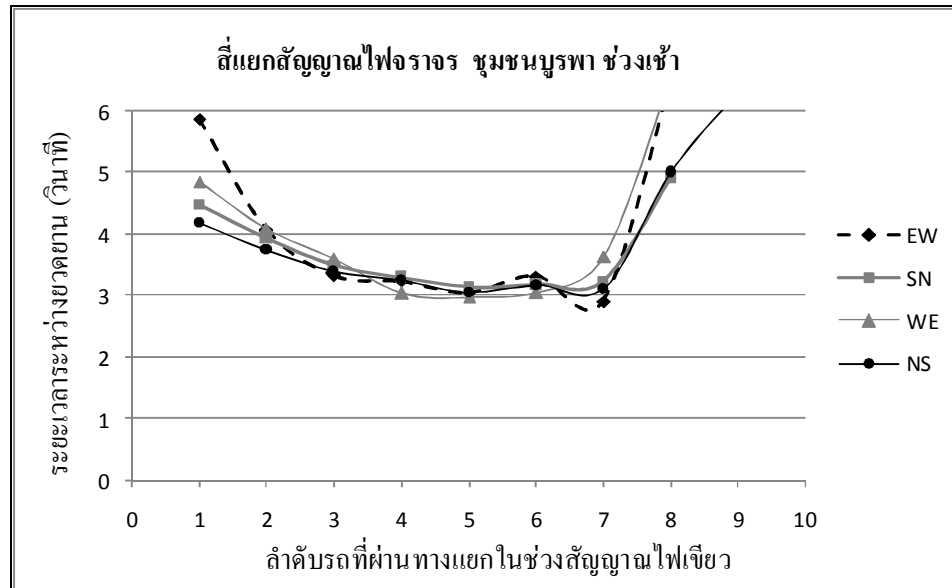
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกเต็มกะ ช่วงเย็น



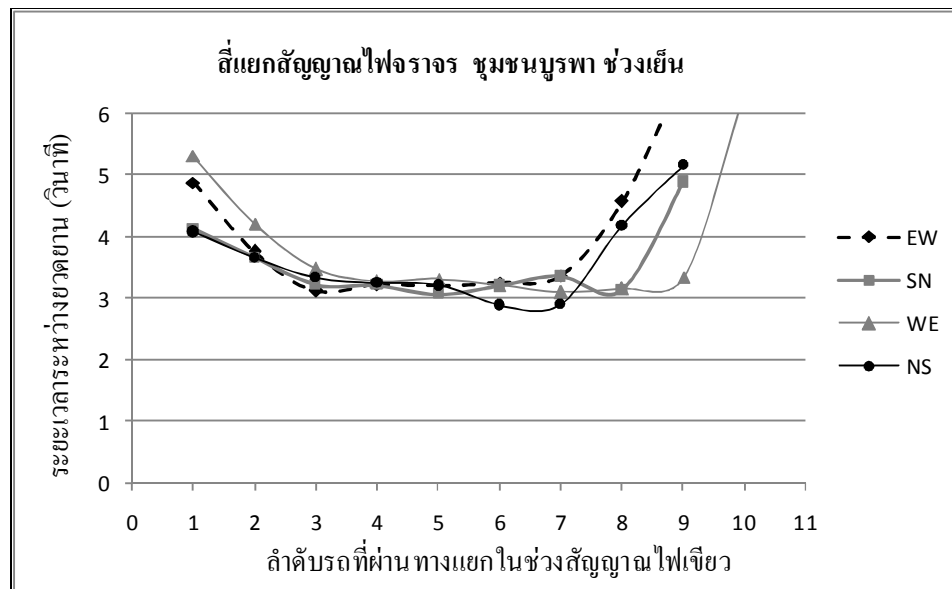
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น

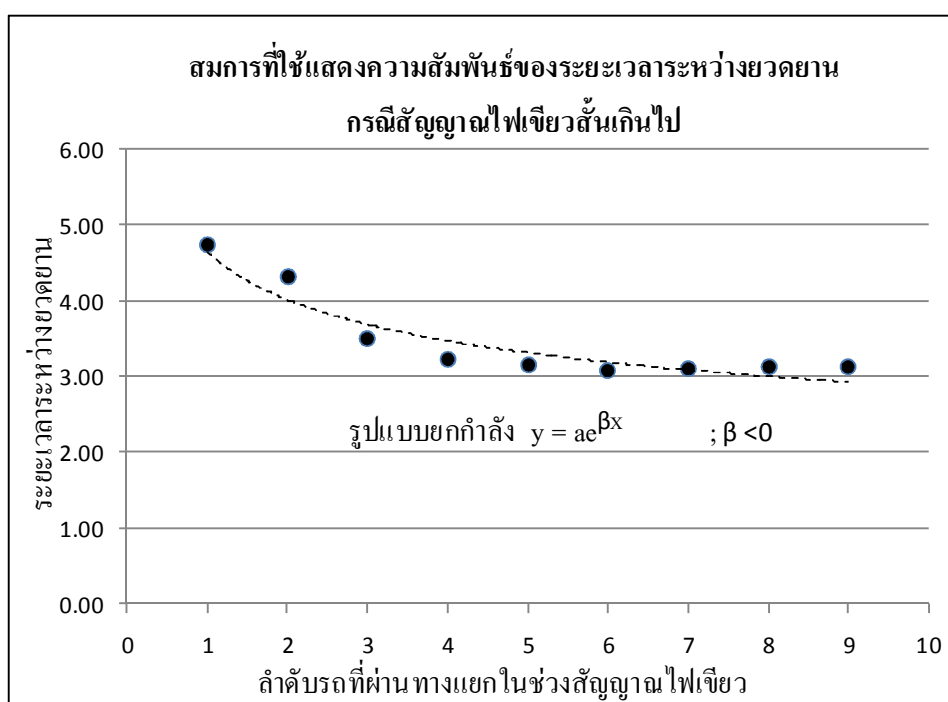


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเช้า



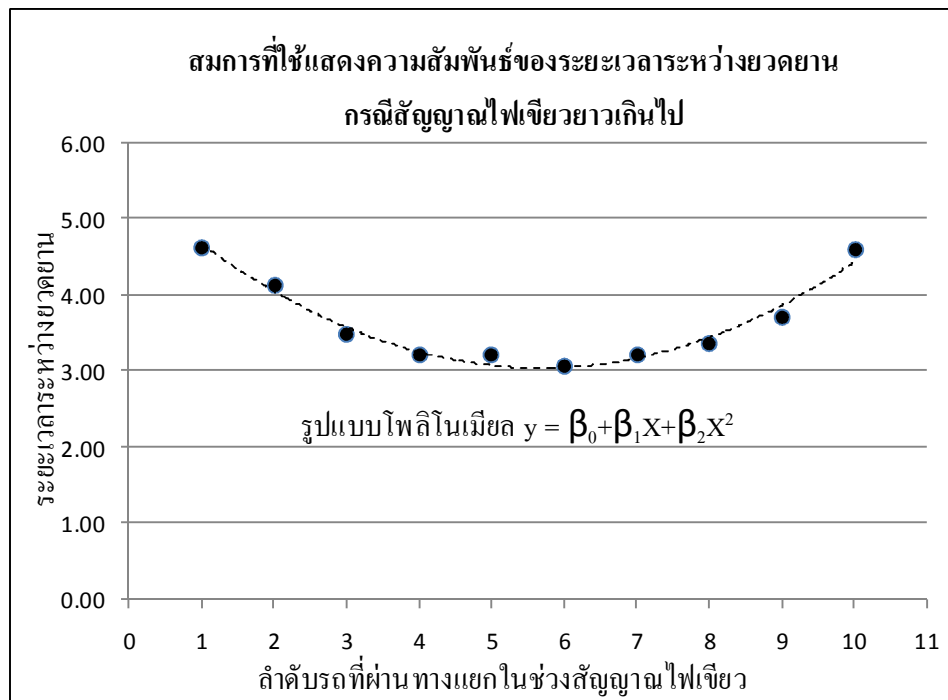
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Average Headway กับลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวสี่แยกชุมชนบูรพา ช่วงเย็น

การศึกษานี้ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียว ในฟังก์ชันรูปแบบเชิงเส้นตรง ลอการิทึม โพลีโนเมียล และฟังก์ชันยกกำลัง โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมจากค่า R^2 ซึ่งฟังก์ชันที่มีลักษณะแนวโน้มที่เหมาะสมสำหรับทางแยก สัญญาณไฟจราจรที่มีระยะเวลาสั้นเกินไป คือ ฟังก์ชันยกกำลัง โดยที่ลำดับแรก ๆ ของรถในแถวคอย จะพบว่าระยะเวลาระหว่างขบวนจะมีค่าสูง และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับรถที่ผ่านทางแยก ในช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ตามมาในกระแสรถ รายละเอียดลักษณะแนวโน้มดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Average Headway กับลำดับรถที่แถวคอย กรณีไฟเขียวสั้นเกินไป

สำหรับฟังก์ชันที่มีลักษณะแนวโน้มที่เหมาะสมสำหรับทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีระยะเวลา ยาวเกินไป คือ โพลีโนเมียลกำลังสอง โดยที่ลำดับแรก ๆ ของรถในแถวคอย จะพบว่าระยะเวลาระหว่างขบวน จะมีค่าสูง และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ตามมา ในกระแสรถจนกระทั่งมีค่า Headway คงที่อยู่ระดับหนึ่ง และหลังจากนั้นผ่านช่วงที่มีค่า Headway คงที่ จะพบว่าระยะเวลาระหว่างขบวนจะเริ่มมีค่าสูงขึ้นอีก รายละเอียดลักษณะแนวโน้ม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Average Headway กับลำดับรถที่แถวคอยกรณีไฟเขียวยาวเกินไป

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมในการขับขี่และอัตราการไหลในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร ทางแยกที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ ทางแยกเต็กสะ ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ พบว่าเมื่อลำดับรถในคันแรก ๆ ผ่านเส้นหยุดระยะเวลาระหว่างขบวนจะมีค่าสูง และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวที่ตามมา ถึงสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง เราจึงเลือกใช้ฟังก์ชันความสัมพันธ์ในรูปแบบยกกำลัง และสำหรับทางแยกชุมชนบูรพา จะเลือกใช้รูปแบบพหุนามกำลังสอง เนื่องจากหลังจากที่ค่า Headway คงที่ได้มีค่า Headway สูงขึ้นอีก รายละเอียดดังตารางที่ 4.8-4.10

ตารางที่ 4.8 สรุปการวิเคราะห์รูปแบบยกกำลังของระยะเวลาระหว่างขุดยาน
บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ

ทิศทาง	ช่วงเวลา	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square	ช่วงเวลา	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square
E-W	เช้า	$5.2217 * x^{-0.2235}$	0.913	เย็น	$4.6038 * x^{-0.1669}$	0.773
S-N		$4.5139 * x^{-0.205}$	0.868		$4.1243 * x^{-0.1702}$	0.966
W-E		$3.9699 * x^{-0.1572}$	0.928		$3.9956 * x^{-0.1235}$	0.799
N-S		$4.0296 * x^{-0.17020}$	0.943		$3.9154 * x^{-0.1619}$	0.95

ตารางที่ 4.9 สรุปการวิเคราะห์รูปแบบยกกำลังของระยะเวลาระหว่างขุดยาน
บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจร โรงพยาบาล ป.แพทย์

ทิศทาง	ช่วงเวลา	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square	ช่วงเวลา	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square
E-W	เช้า	$4.3918 * x^{-0.2716}$	0.984	เย็น	$4.2469 * x^{-0.2478}$	0.969
S-N		$4.8437 * x^{-0.2058}$	0.907		$4.5229 * x^{-0.1982}$	0.922
W-E		$4.2614 * x^{-0.1751}$	0.931		$4.3957 * x^{-0.2128}$	0.954
N-S		$4.9154 * x^{-0.2411}$	0.976		$4.9905 * x^{-0.2252}$	0.989

ตารางที่ 4.10 สรุปการวิเคราะห์รูปแบบพหุนามกำลังสองของระยะเวลาระหว่างขุดยาน
บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา

ทิศทาง	ช่วง เวลา	รูปแบบสมการที่เหมาะสม	R Square	ช่วง เวลา	รูปแบบสมการที่เหมาะสม	R Square
E-W	เช้า	$7.88 - 2.276 * x + 0.25 * x^2$	0.796	เย็น	$6.26 - 1.51 * x + 0.168 * x^2$	0.928
S-N		$5.63 - 1.12 * x + 0.122 * x^2$	0.813		$4.91 - 0.796 * x + 0.08 * x^2$	0.746
W-E		$6.92 - 1.924 * x + 0.23 * x^2$	0.839		$6.61 - 1.376 * x + 0.13 * x^2$	0.763
N-S		$5.575 - 1.238 * x + 0.14 * x^2$	0.889		$5.13 - 0.95 * x + 0.103 * x^2$	0.840

4.3 ระยะเวลาระหว่างหยุดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว และอัตราการไหลอิมตัว

4.3.1 ระยะเวลาระหว่างหยุดยาน ณ อัตราการไหลอิมตัว (Saturation headway)

เมื่อระยะห่างระหว่างรถสองคันที่วิ่งตามกันมาคงที่ โดยใช้การทดสอบ t Test โดยทำการเปรียบเทียบจากระยะเวลาห่างระหว่างหยุดยานเฉลี่ย (Average Headway) ในลำดับก่อน-หลังของรถยนต์ในแถวคอยที่อยู่ติดกัน

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples) เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม ในกรณีที่ไม่นทราบความแปรปรวนของประชากร

4.3.1.1 กำหนดสมมติฐานทางสถิติ สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (4.4)$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0 \quad (4.5)$$

4.3.1.2 เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1 \neq \sigma_2$ เรียกสูตรนี้ว่า t-test ชนิด Separated Variance

$$t' = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (4.6)$$

$$c = \frac{\frac{S_1^2}{n_1}}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} \quad (4.7)$$

โดยมี
$$df = \frac{(n_1 - 1)(n_2 - 1)}{(n_2 - 1)c^2 + (1 - c)^2(n_1 - 1)} \quad (4.8)$$

4.3.1.3 กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยหาค่า t วิกฤต ในการวิจัยครั้งนี้ จะกำหนดค่า $\alpha = 0.05$

4.3.1.4 ทดสอบเปรียบเทียบค่า t' กับ t วิกฤต เพื่อสรุปผลการทดลอง โดยพิจารณาตัวเลขไม่คิดเครื่องหมายเมื่อ $t' > t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0 และ $t' < t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

เพื่อคำนวณหาลำดับรถที่มีค่าระยะเวลาระหว่างขบวนเฉลี่ยที่เท่ากัน จากการวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟสี่แยกเตี้ย พบว่า Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 5 มีค่าที่ 2.85-3.35 วินาที และทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ พบว่าในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก มี Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 5 มีค่า 2.70-3.18 วินาที ส่วนทิศทางเหนือ-ใต้ Saturation headway เกิดขึ้นที่คันที่ 6 มีค่า 3.0-3.22 วินาที และทางแยกชุมชนบูรพา มี Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 4 มีค่า 3.07-3.27 วินาที รายละเอียดดังตารางที่ 4.11-4.13

เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) เวลาทั้งหมดที่สูญเสียจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว ได้จากผลรวมของผลต่างระหว่างค่า Time Headway กับ Saturation headway ของลำดับรถที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเขียวตั้งแต่คันแรกจนถึงคันก่อนเริ่มคันที่ รายละเอียดดังตารางที่ 4.11-4.13

จากการทำวิจัยในครั้งนี้ สังเกตได้ว่า พฤติกรรมตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกในเขตเทศบาลเมืองที่ทำการศึกษามีปฏิริยาตอบสนองที่แตกต่างกันมาก สำหรับรถคันแรก ๆ ของแถวคอย จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน (C.V.) ของคันที่ 1-2 มีความแปรผันค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิริยาการตอบสนองในการขับขี่เมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวจะเร็ว/ช้า น่าจะมีหลายปัจจัย เช่น ความชำนาญในการขับขี่ เป็นคนในพื้นที่เทศบาลหรือคนต่างจังหวัด ความเอาใจใส่ต่อการให้สัญญาณไฟจราจร เป็นต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นสันนิษฐานได้ว่า การให้ความสำคัญรอบสัญญาณไฟจราจรมาก จะส่งผลให้เกิดเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน สูงกว่าการกำหนดให้ความสำคัญรอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยกว่า

4.3.2 อัตราการไหลอิมิตัว (Saturation Flow Rates)

อัตราการไหลอิมิตัวเป็นปริมาณจราจรรายชั่วโมงสูงสุดที่สามารถตรงผ่านทางแยกของช่องทางหรือกลุ่มช่องทาง (Lane group) โดยสมมติว่าได้รับไฟเขียวตลอด 60 นาที อัตราการไหลอิมิตัวสามารถคำนวณได้จาก

$$s = 3600 / h_s \quad (4.9)$$

โดยที่ s คือ อัตราการไหลอิมิตัว (คันต่อชั่วโมง)
 h_s คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างระหว่างรถในช่วงการไหลอิมิตัว (วินาที)

อัตราการไหลอิมตัว (Saturation Flow Rates) จากการศึกษาทงแยกทั้ง 3 ทงแยก โดยพิจารณาในแต่ละทิศทง รยละเอียดดังตารงที่ 4.11-4.13

ตารงที่ 4.11 ตารงสรูปกรวิเคราะห์ควมสัมพันธ์ระยเวลาระหว่งขดยน ณ อัตราการไหลอิมตัว Saturation Flow Rates และค้ำควมสูญเสียเวลา ของทงแยกเต็กชะ

ทิศทง	Saturation Headway	ล้ำดับรถที่ค้งที่	Saturation Flow rate	lost time (s) /cycle	No. cycle length/1 hr	lost time (s) / 1 hr
E-W เข้า	3.35	ค้งที่ 5	1,075	4.48	52	234
S-N เข้า	3.30	ค้งที่ 5	1,091	2.04	52	106
W-E เข้า	2.85	ค้งที่ 5	1,263	2.55	52	133
N-S เข้า	2.99	ค้งที่ 5	1,204	2.14	52	112
E-W เย็น	3.30	ค้งที่ 5	1,091	2.90	52	152
S-N เย็น	3.05	ค้งที่ 5	1,180	2.26	52	118
W-E เย็น	3.12	ค้งที่ 5	1,154	1.80	52	94
N-S เย็น	2.93	ค้งที่ 5	1,229	2.12	52	111

ตารงที่ 4.12 ตารงสรูปกรวิเคราะห์ควมสัมพันธ์ระยเวลาระหว่งขดยน ณ อัตราการไหลอิมตัว Saturation Flow Rates และค้ำควมสูญเสียเวลา ของทงแยกโรงพยบถล ป.แพทย

ทิศทง	Saturation Headway	ล้ำดับรถที่ค้งที่	Saturation Flow rate	lost time (s) /cycle	No. cycle length/1 hr	lost time (s) / 1 hr
E-W เข้า	2.70	ค้งที่ 5	1,333	3.54	57	203
S-N เข้า	3.22	ค้งที่ 6	1,118	3.73	57	213
W-E เข้า	3.18	ค้งที่ 5	1,132	2.15	57	123
N-S เข้า	3.00	ค้งที่ 6	1,200	4.64	57	265
E-W เย็น	2.71	ค้งที่ 5	1,328	3.29	57	188
S-N เย็น	3.02	ค้งที่ 6	1,192	3.48	57	199
W-E เย็น	3.03	ค้งที่ 5	1,188	2.89	57	165
N-S เย็น	3.16	ค้งที่ 6	1,139	4.36	57	249

ตารางที่ 4.13 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอัตโนมัติ

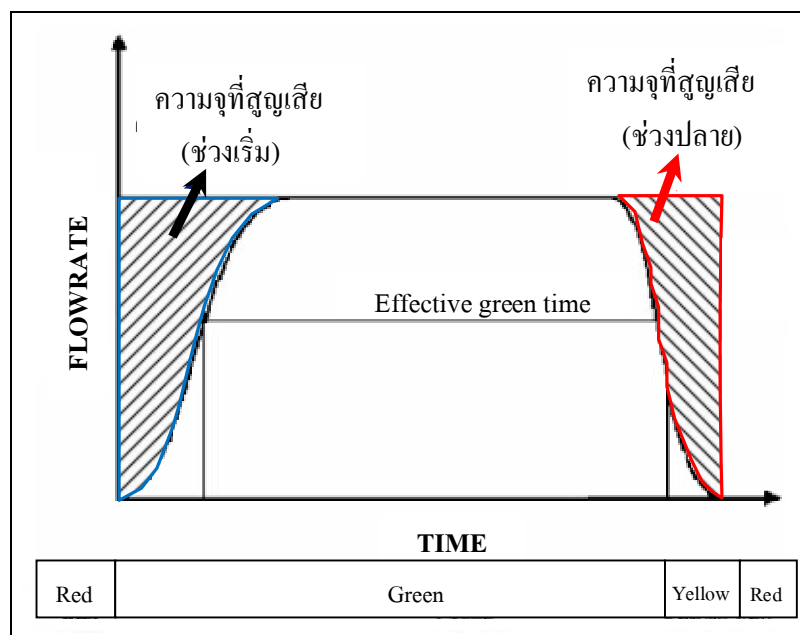
Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลา ของทางแยกชุมชนบูรพา

ทิศทาง	Saturation Headway	ลำดับรถที่คงที่	Saturation Flow rate	lost time (s) /cycle	No. cycle length/1 hr	lost time (s) / 1 hr
E-W เข้า	3.14	คันที่ 4	1,146	7.24	38	277
S-N เข้า	3.22	คันที่ 4	1,118	3.93	38	151
W-E เข้า	3.19	คันที่ 4	1,129	6.40	38	245
N-S เข้า	3.15	คันที่ 4	1,143	6.91	38	265
E-W เย็น	3.27	คันที่ 4	1,101	5.38	38	206
S-N เย็น	3.20	คันที่ 4	1,125	3.10	38	119
W-E เย็น	3.24	คันที่ 4	1,111	3.41	38	131
N-S เย็น	3.07	คันที่ 4	1,173	5.09	38	195

4.4 ความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

ความจุที่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ เพื่อหาลักษณะการกำหนดระยะเวลาจังหวะสัญญาณไฟเขียวเป็นประเภทใด โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

ลักษณะความจุที่สูญเสียเนื่องจากการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวสั้นเกินไป จะพบว่าความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) มากกว่า ความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) ส่วนลักษณะความจุที่สูญเสียเนื่องจากการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวยาวเกินไป จะพบว่าความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว น้อยกว่า ความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลาย

ทำการวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่ม และช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว ของทางแยกที่ทำการศึกษา สามารถวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.14-4.16

ตารางที่ 4.14 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทกยะ

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย		สรุประยะเวลาไฟเขียว
	ช่วงเริ่มต้นไฟเขียว	เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง	
E-W เข้า	6794	3117	สั้นเกินไป
S-N เข้า	4345	1089	สั้นเกินไป
W-E เข้า	7058	1303	สั้นเกินไป
N-S เข้า	6714	921	สั้นเกินไป
E-W ยื่น	15335	1267	สั้นเกินไป
S-N ยื่น	5096	768	สั้นเกินไป
W-E ยื่น	3901	1465	สั้นเกินไป
N-S ยื่น	4301	1158	สั้นเกินไป

ตารางที่ 4.15 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย		สรุประยะเวลาไฟเขียว
	ช่วงเริ่มต้นไฟเขียว	เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง	
E-W เข้า	10290	342	สั้นเกินไป
S-N เข้า	5593	1162	สั้นเกินไป
W-E เข้า	4246	883	สั้นเกินไป
N-S เข้า	6319	1426	สั้นเกินไป
E-W เย็น	6208	413	สั้นเกินไป
S-N เย็น	8105	639	สั้นเกินไป
W-E เย็น	8297	817	สั้นเกินไป
N-S เย็น	7577	1086	สั้นเกินไป

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง สี่แยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย		สรุประยะเวลาไฟเขียว
	ช่วงเริ่มต้นไฟเขียว	เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง	
E-W เข้า	7312	16019	ยาวเกินไป
S-N เข้า	5083	9667	ยาวเกินไป
W-E เข้า	5347	17658	ยาวเกินไป
N-S เข้า	6110	9266	ยาวเกินไป
E-W เย็น	4393	15971	ยาวเกินไป
S-N เย็น	3321	7767	ยาวเกินไป
W-E เย็น	5905	11705	ยาวเกินไป
N-S เย็น	6833	9620	ยาวเกินไป

4.5 การวิเคราะห์หาความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม

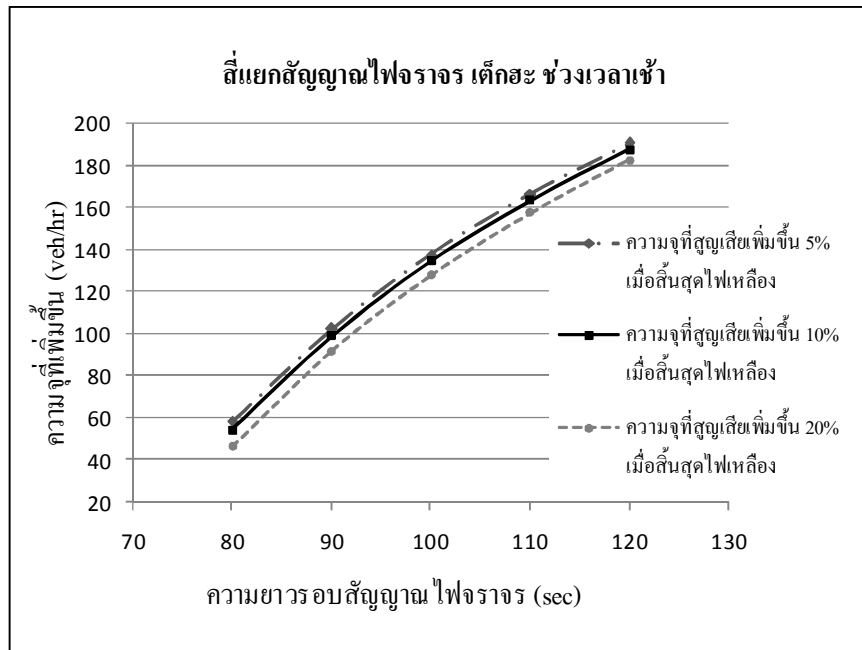
ทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการรองรับปริมาณการจราจรของทางแยก ในทางกลับกัน ถ้ามีการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวสั้นหรือยาวเกินไปจะเกิดการสูญเสียความจุไปในแต่ละรอบสัญญาณไฟจราจร การปรับเปลี่ยนระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเขียวจะช่วยให้เพิ่มความจุกับทางแยกได้ ทำให้ทางแยกดังกล่าวมีสัญญาณไฟจราจรที่มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อพฤติกรรมและปริมาณจราจรต่อผู้สัญจรในบริเวณนั้น ได้อย่างเหมาะสม การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม จะทำการศึกษาเป็น 2 กรณี ได้แก่

4.5.1 ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป

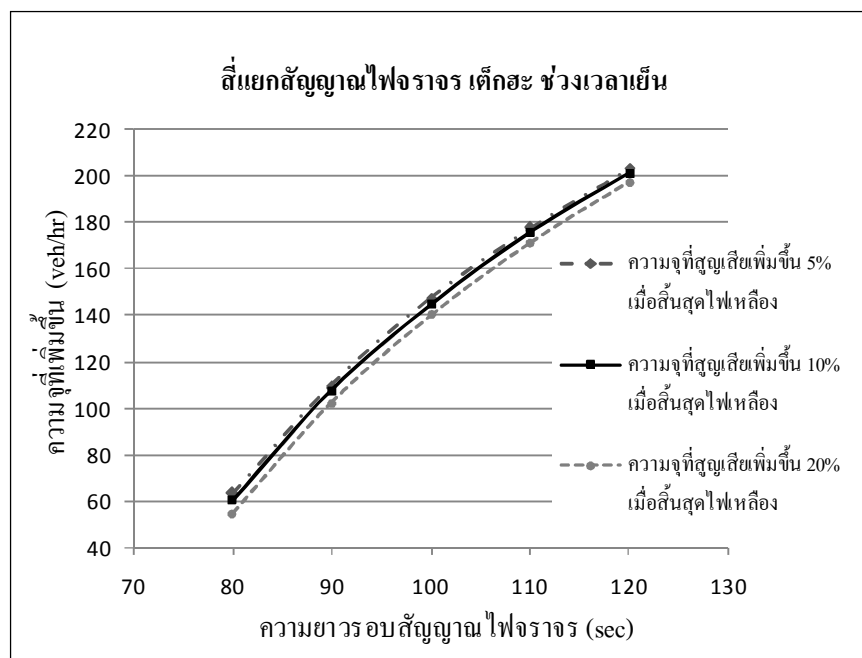
ทางแยกที่มีความยาวจังหวะไฟเขียวสั้นเกินไป จะเกิดการสูญเสียความจุไปเนื่องจากความต้องการในการเดินทางของผู้สัญจรในทิศทาง/บริเวณนั้นมีมากกว่าช่วงเวลาจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่กำหนดไว้ การปรับเปลี่ยน โดยเพิ่มระยะเวลารอบสัญญาณไฟให้มากขึ้น จะส่งผลให้มีความจุเพิ่มขึ้นกับทางแยกเช่นเดียวกัน

ลักษณะความจุที่สูญเสียเนื่องจากการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวสั้นเกินไป จะพบว่าความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวมากกว่าความจุที่สูญเสียไป เนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถนั้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยน โดยเพิ่มระยะเวลารอบสัญญาณไฟ เป็นการลดความถี่ของรอบสัญญาณไฟบริเวณทางแยก ทำให้ความจุที่สูญเสียเนื่องจากการออกตัวของขบวนน้อยลง แต่จะส่งผลให้ความจุที่สูญเสียจากการหยุดรถในช่วงปลายสัญญาณไฟเหลืองเพิ่มขึ้น ลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความจุเมื่อเพิ่มระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรไม่สามารถทราบได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรและความต้องการในการเดินทาง การศึกษาในครั้งนี้ จึงได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีที่ความจุที่สูญเสียในช่วงปลายไฟเขียวเพิ่มขึ้น 5% 10% และ 20% เมื่อปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรใหม่

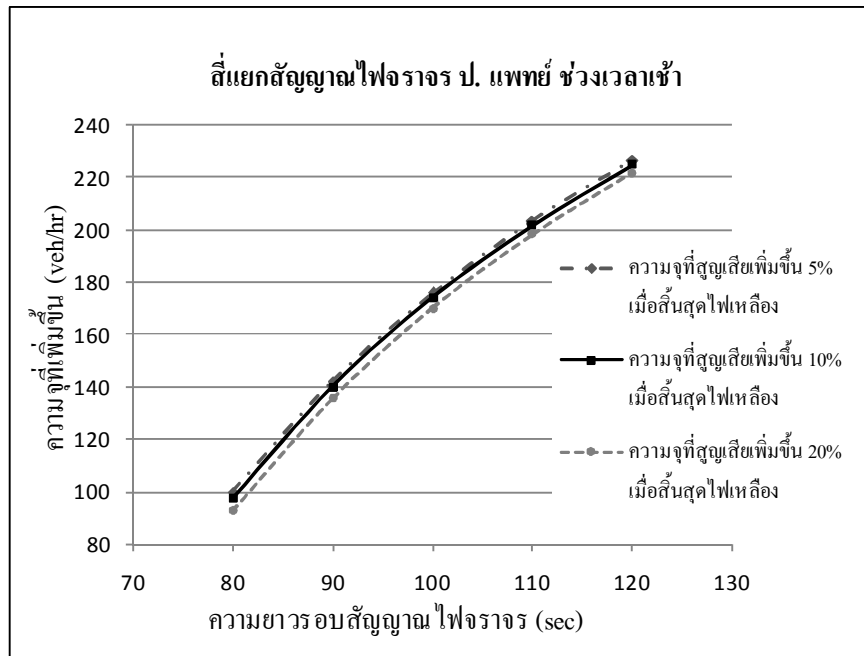
ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป ได้แก่ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเตี้ยกะและทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร จะส่งผลให้ความจุเพิ่มขึ้นกับทางแยกทั้งสอง ดังรูปที่ 4.9-4.12 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำหนดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรเพิ่มขึ้น กรณีที่ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป



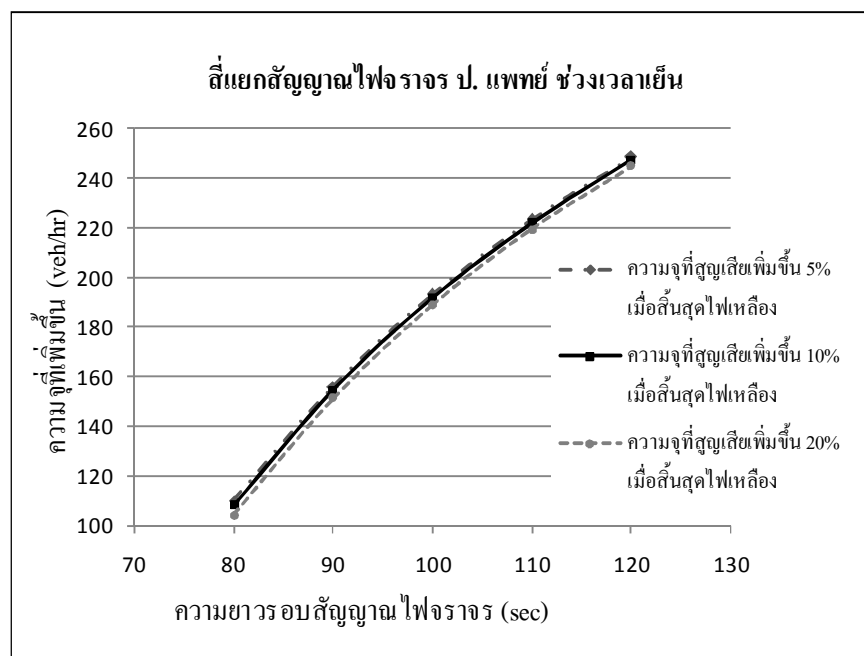
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟเต้กอะ ช่วงเช้า



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟเต้กอะ ช่วงเย็น



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเช้า



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อกำหนดระยะเวลา รอบสัญญาณไฟเพิ่มขึ้น ทางแยกสัญญาณไฟโรงพยาบาล ป.แพทย์ ช่วงเย็น

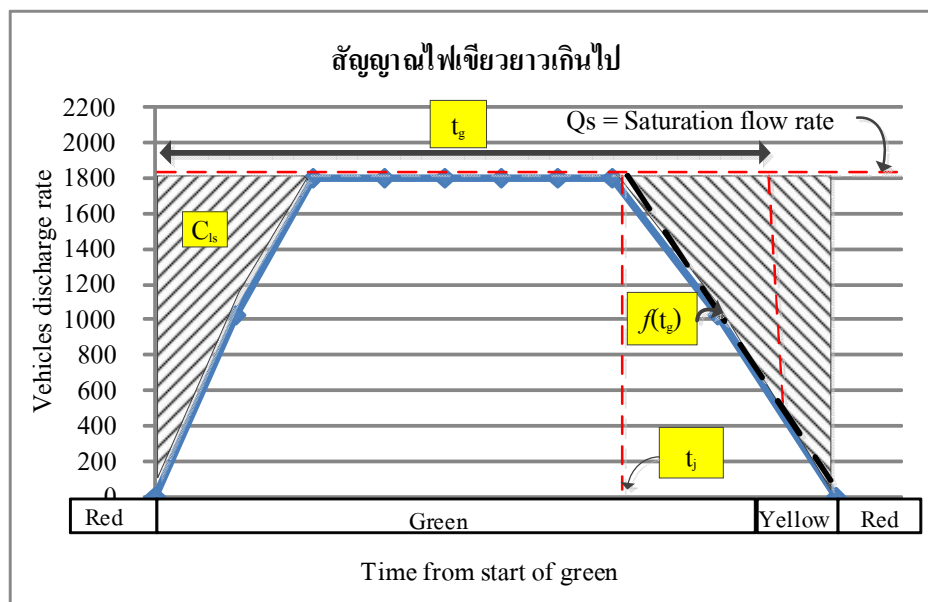
4.5.2 ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรยาวเกินไป

ทางแยกที่มีความยาวจังหวะไฟเขียวยาวเกินไป จะเกิดการสูญเสียความจุไปเนื่องจากความต้องการในการเดินทางของผู้สัญจรในทิศทาง/บริเวณนั้นมีน้อยกว่าช่วงเวลาจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่กำหนดไว้ ซึ่งจะพบว่าในขณะที่ปล่อยให้จังหวะสัญญาณไฟเขียวอยู่ มีการสูญเสียเวลาไปเนื่องจากบางช่วงเวลาไม่มียานผ่านเลย และการให้สัญญาณไฟแดงที่นานสำหรับทิศทางที่เหลือ จะเกิดความล่าช้าในการรอคอยให้กับทิศทางนั้น ๆ นานด้วย การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม ควรทำการลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟให้น้อยลง จะส่งผลให้มีความจุที่สูญเสียลดน้อยลงเช่นกัน

ลักษณะความจุที่สูญเสียเนื่องจากการกำหนดความยาวจังหวะไฟเขียวยาวเกินไป จะพบว่า ความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว น้อยกว่า ความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถนั้น เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโดยลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟ เป็นการลดความจุที่สูญเสียเนื่องจากการออกตัวของยานน้อยลง

ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรยาวเกินไป ได้แก่ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา จากการวิเคราะห์ความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว ทำให้ทราบลักษณะแนวโน้มระยะเวลาที่ไม่มียานผ่านในขณะที่ให้สัญญาณไฟเขียวอยู่ และทำให้เกิดการสูญเสียความจุไป การศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากการกำหนดสัญญาณไฟจราจรใหม่ที่ทำให้การสูญเสียความจุสมดุลกันระหว่างความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวกับความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ โดยใช้วิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว จากกราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด

การวิเคราะห์หาความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม ในกรณีนี้ที่ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป โดยพิจารณาจากกราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด



รูปที่ 4.14 แสดงรายละเอียดตัวแปรในกราฟความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด

การพิจารณาหาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม ในกรณีที่ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป สามารถหาได้จาก

$$C_{ls} = \left(Q_s (t_g - t_j) \right) - \int_{t_j}^{t_g} f(t_g) \quad (4.10)$$

โดยที่	C_{ls}	คือ	ความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time)
	t_j	คือ	จังหวะเวลาสัญญาณไฟสุดท้าย ที่เกิด saturation flow rate
	Q_s	คือ	อัตราการไหลอิมตัว (Saturation Flow Rates)
	q_d	คือ	ความจุที่สูญเสียลดลง เมื่อย่นระยะเวลาไฟเขียว คำนวณชั่วโมง
	$f(t_g)$	คือ	ฟังก์ชันความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุดในช่วงจังหวะสัญญาณไฟ
	t_g	คือ	ความยาวจังหวะไฟเขียว+เหลืองที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้นและช่วงปลายสัญญาณไฟสมดุล

การวิเคราะห์หาระยะจังหวะสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสมในทางแยกสัญญาณไฟจราจร
ชุมชนบูรพา ตามสมการ 4.1 ผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สรุปค่าความจุที่สูญเสียลดลง เมื่อหาระยะจังหวะสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม
ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา

ทิศทาง	C_s	t_j	Q_s	$f(t_g)$	t_g	q_d
E-W เข้า	7312	27	1146	$y = -44.73x + 2223$	42.4	8707
S-N เข้า	5083	25	1118	$y = -61.46x + 2542$	36.2	4584
W-E เข้า	5347	23	1129	$y = -38.99x + 1941$	37.5	12311
N-S เข้า	6110	24.2	1143	$y = -62.44x + 2627$	37.8	3156
E-W เย็น	4393	24	1101	$y = -38.68x + 1960$	37.4	11578
S-N เย็น	3321	27.5	1125	$y = -81.79x + 3351$	36.2	4446
W-E เย็น	5905	32	1111	$y = -54.29x + 2748$	30.8	5800
N-S เย็น	6833	24.3	1173	$y = -67.29x + 2794$	38.3	2786

การศึกษาจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสมโดยทำการลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรนั้น
เป็นการเพิ่มความจุมากขึ้นให้กับทางแยก แต่การย่นระยะเวลาลง จะต้องคำนึงความต้องการของปริมาณจราจร
ในแต่ละทิศทางด้วยเป็นหลัก จากการพิจารณาทางแยกชุมชนบูรพา

ตารางที่ 4.18 การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม ทางแยกสัญญาณไฟจราจร
ชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเช้า

ทิศทาง	ปัจจุบัน			การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟให้เหมาะสม				
	ไฟ เขียว	Cycle length (sec)	ความจุที่ สูญเสีย (veh/hr)	ไฟ เขียว	Cycle length (sec)	ความจุที่สูญเสีย		ความจุที่ สูญเสีย (veh/hr)
						ช่วง เริ่มต้น	ช่วง ปลาย	
E-W	48	94	813	40	83	7312	7817	652
S-N	38	94		35	83	5083	6656	
W-E	48	94		40	83	5347	9493	
N-S	38	94		35	83	6110	6319	

ตารางที่ 4.19 การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม ทางแยกสัญญาณไฟจราจร
ชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเย็น

ทิศทาง	ปัจจุบัน			การปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟให้เหมาะสม				
	ไฟเขียว	Cycle length (sec)	ความจุที่สูญเสีย (veh/hr)	ไฟเขียว	Cycle length (sec)	ความจุที่สูญเสีย		ความจุที่สูญเสีย (veh/hr)
						ช่วงเริ่มต้น	ช่วงปลาย	
E-W	48	94	697	40	83	4393	8299	476
S-N	38	94		35	83	3321	4753	
W-E	48	94		40	83	5905	4388	
N-S	38	94		35	83	7173	6509	

การศึกษาจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสมโดยทำการเพิ่ม/ลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรนั้น เป็นการเพิ่มความจุมากขึ้นให้กับทางแยก แต่การขยายระยะสัญญาณไฟจราจร หรือการย่นระยะเวลาลง จะต้องคำนึงความต้องการของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางด้วยเป็นหลัก

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.10-4.13 สรุปแนวคิดได้ว่า เมื่อทางแยกมีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป ควรจะทำการขยายระยะสัญญาณไฟจราจรให้มากขึ้น เมื่อปฏิบัติตามแล้ว จะส่งผลให้เพิ่มความจุกับทั้งสองทางแยกได้ ส่วนในกรณีทางแยกชุมชนบูรพา เมื่อวิเคราะห์ตามสมการที่ 4.10 จะพบว่าเมื่อลดระยะรอบสัญญาณไฟจราจรลงโดยทำการกำหนดรอบสัญญาณไฟจราจรเป็น 83 วินาที ในช่วงเช้าจะช่วยลดความจุที่สูญเสียได้ 161 คันต่อชั่วโมง และช่วงเย็น 221 คันต่อชั่วโมง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ผลต่าง ๆ จากทางแยกสัญญาณไฟจราจรในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา จำนวน 3 ทางแยก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะการออกตัวของรถจากทางแยกเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียว

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกในเขตเทศบาลเมืองที่ทำการศึกษ พบว่าระยะห่างระหว่างขบวนของรถลำดับแรก ๆ ของแถวคอยจะใช้เวลามากกว่าคันอื่น ๆ ที่ขับตามกันมา ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอ้อมตัวของทางแยกที่ทำการศึกษา สามารถสรุปผลได้ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 5.1 ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอ้อมตัวและลำดับรถที่เริ่มคงที่ของทางแยกที่ทำการศึกษา

ทิศทาง	สี่แยกเต็กฮะ		สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์		สี่แยกชุมชนบูรพา	
	Saturation Headway	ลำดับรถที่คงที่	Saturation Headway	ลำดับรถที่คงที่	Saturation Headway	ลำดับรถที่คงที่
E-W เข้า	3.35	คันที่ 5	2.70	คันที่ 5	3.14	คันที่ 4
S-N เข้า	3.30	คันที่ 5	3.22	คันที่ 6	3.22	คันที่ 4
W-E เข้า	2.85	คันที่ 5	3.18	คันที่ 5	3.19	คันที่ 4
N-S เข้า	2.99	คันที่ 5	3.00	คันที่ 6	3.15	คันที่ 4
E-W เย็น	3.30	คันที่ 5	2.71	คันที่ 5	3.27	คันที่ 4
S-N เย็น	3.05	คันที่ 5	3.02	คันที่ 6	3.20	คันที่ 4
W-E เย็น	3.12	คันที่ 5	3.03	คันที่ 5	3.24	คันที่ 4
N-S เย็น	2.93	คันที่ 5	3.16	คันที่ 6	3.07	คันที่ 4

ทางแยกสัญญาณไฟจราจรสี่แยกเต็กฮะ พบว่าระยะห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอยที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร ทั้งสี่ทิศทางจะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 2.85-3.35 วินาที

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ พบว่าในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอย ที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร จะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 5 มีค่าเท่ากับ 2.70-3.18 วินาที ส่วนทิศทางเหนือ-ใต้ มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอยที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร จะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 6 มีค่าเท่ากับ 3.0-3.22 วินาที

ทางแยกชุมชนบูรพา มีระยะเวลาห่างระหว่างรถแต่ละคันในแถวคอย ที่เคลื่อนตัวออกจากทางแยกของช่องจราจร ทั้งสี่ทิศทางจะมีค่าคงที่ตั้งแต่คันที่ 4 มีค่าอยู่ที่ 3.07-3.27 วินาที

5.1.2 เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time)

เวลาที่สูญเสียดังกล่าวจากการออกตัวในช่วงเริ่มต้นจังหวะสัญญาณไฟเขียว คำนวณได้จากผลรวมของผลต่างระหว่างค่า Time Headway กับ Saturation headway ของลำดับรถในแถวคอย ตั้งแต่คันแรกจนถึงคันก่อนที่เริ่มคงที่ จากการวิเคราะห์เวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) ในรอบสัญญาณไฟจราจร ประกอบไปด้วยทั้ง 4 ทิศทางที่มีกระแสจราจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย พบว่า

ตารางที่ 5.2 สรุปเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวนของทางแยกที่ทำการศึกษา

lost time (s) / 1 hr	ช่วงเวลา	สี่แยกเต็กสะ	สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์	สี่แยกชุมชนบูรพา
	เช้า	584	804	938
เย็น	474	801	650	

ทางแยกเต็กสะ ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 584 วินาที/ชั่วโมง ส่วนทางแยกเต็กสะ ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 474 วินาที/ชั่วโมง

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 804 วินาที/ชั่วโมง ส่วนทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 801 วินาที/ชั่วโมง

ทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเช้า จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 938 วินาที/ชั่วโมง ส่วนทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเย็น จะมีเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของขบวน (Start up lost time) 650 วินาที/ชั่วโมง

5.1.3 ความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

ทำการวิเคราะห์ความจุที่สูญเสียในรอบสัญญาณไฟจราจร ประกอบไปด้วยทั้ง 4 ทิศทางที่มีกระแสจราจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุดพบว่า

ทางแยกเต็กสะ ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสีย 454 คัน/ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น จะมีความจุที่สูญเสีย 482 คัน/ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเช้า มีความจุที่สูญเสีย 480 คัน/ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น จะมีความจุที่สูญเสีย 526 คัน/ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

ทางแยกชุมชนบูรพา ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสีย 813 คัน/ชั่วโมง ช่วงเวลาเย็น จะมีความจุที่สูญเสีย 697 คัน/ชั่วโมง เป็นทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป

ทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวนานเกินไปจะเกิดการสูญเสียความจุมากกว่าทางแยกที่มีการกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

5.1.4 ความยาวจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป ควรจะทำการขยายระยะเวลาสัญญาณไฟจราจรให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถกับทางแยกนั้น ๆ ส่วนในกรณีที่ทำการศึกษาที่มีการกำหนดระยะเวลาไฟเขียวยาวเกินไป ควรทำการลดระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรลง เพื่อเป็นการลดความจุที่สูญเสียไปและเป็นการเพิ่มความจุของอัตราการไหลให้กับทางแยกนั้น ๆ

ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม โดยการเพิ่มเวลารอบสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น สามารถสรุปได้ดังตาราง ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ กรณีที่ความจุสูญเสียเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.3 สรุปปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาความยาวรอบสัญญาณไฟ

ความยาวรอบสัญญาณไฟ (sec)	สี่แยกเต็กสะ		สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์	
	เช้า	เย็น	เช้า	เย็น
80	58	63	100	110
100	138	147	176	193

จากตารางสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ปริมาณจราจรเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อทางแยกเต็กสะ กำหนดความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 80 วินาที จะทำให้เพิ่มกระแสจราจรในทางแยกได้ 58 คันต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มระยะเวลารอบสัญญาณไฟจราจรเป็น 100 วินาที ก็จะทำให้ความจุของกระแสจราจรเพิ่มขึ้น 138 คันต่อชั่วโมง

ทางแยกชุมชนบูรพาเมื่อมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป ได้ทำการปรับเปลี่ยนความยาวสัญญาณไฟจราจรให้เหมาะสม โดยการลดเวลารอบสัญญาณไฟจราจรน้อยลง โดยทำการ

ปรับเปลี่ยนเวลาสัญญาณไฟจราจรจากปัจจุบันมีความยาวรอบสัญญาณไฟ 94 วินาที เมื่อเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟเป็น 83 วินาที โดยกำหนดให้เฟสในทิศทางเหนือ-ใต้ ให้ไฟเขียว 35 วินาที ไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดง 45 วินาที และในเฟสสัญญาณไฟจราจรในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก ให้ไฟเขียว 40 วินาที ไฟเหลือง 3 วินาที และไฟแดง 40 วินาที พบว่า ช่วงเช้า จะลดการสูญเสียความจุ 161 คันต่อชั่วโมง และช่วงเย็น จะลดการสูญเสียความจุได้ 221 คันต่อชั่วโมง

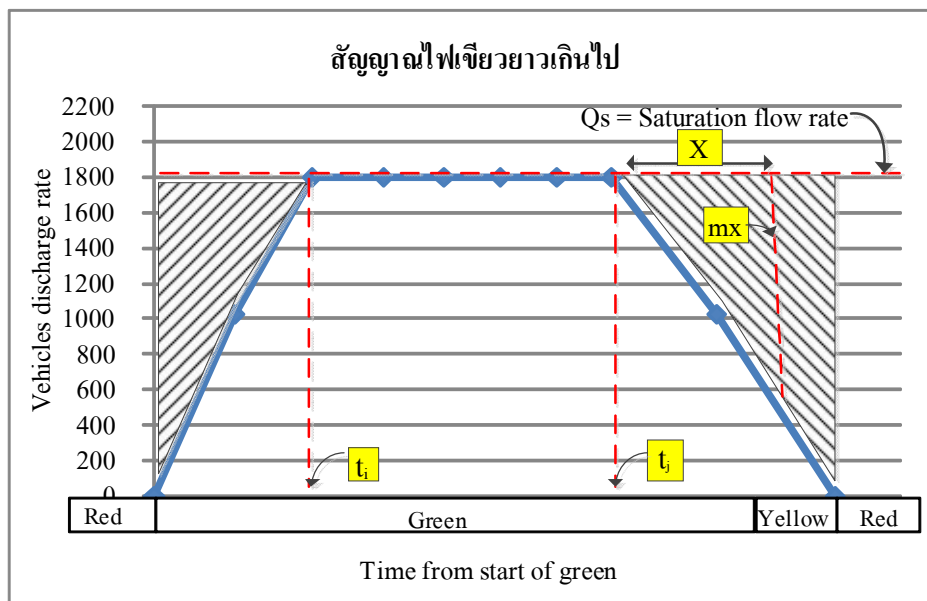
การศึกษาจังหวะไฟเขียวที่เหมาะสมโดย ทำการเพิ่ม/ลดระยะเวลาเวลารอบสัญญาณไฟจราจรนั้น เป็นการเพิ่มความจุมากขึ้นให้กับทางแยก แต่ปรับเปลี่ยนความยาวรอบสัญญาณไฟนั้น จะต้องคำนึงความต้องการของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทำวิจัยในครั้งนี้ สังเกตได้ว่า พฤติกรรมการตอบสนองต่อระยะเวลาการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกในเขตเทศบาลเมืองที่ทำการศึกษา มีปฏิกิริยาตอบสนองที่แตกต่างกันมาก สำหรับรถคันแรก ๆ ของแถวคอย จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แห่งความแปรผัน (C.V.) ของคันที่ 1-2 มีความแปรผันค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาการตอบสนองในการจับจีเมื่อได้รับสัญญาณไฟเขียวจะเร็ว/ช้า น่าจะมีหลายปัจจัย เช่น ความชำนาญในการจับจี เป็นคนในพื้นที่เทศบาลหรือคนต่างจังหวัด ความเอาใจใส่ต่อการให้สัญญาณไฟจราจร เป็นต้น ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้น สันนิษฐานได้ว่า การให้ความถี่รอบสัญญาณไฟจราจรมาก จะส่งผลให้เกิดเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยวดยาน (Start up lost time) สูงกว่าการกำหนดให้ความถี่รอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยกว่า

5.2.2 การปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากความสมดุลของความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) และความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) โดยตั้งสมมติฐานว่า ทางแยกที่มีการกำหนดให้ระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวเหมาะสม จะส่งผลให้ความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัวจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ ข้อเสนอแนะการปรับเปลี่ยนระยะเวลาไฟเขียวให้เหมาะสมในครั้งนี้ จะทำการพิจารณาโดยหาพื้นที่ความจุที่สูญเสียจากกราฟที่แสดงการแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด โดยสมมติพื้นที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมมุมฉาก และความจุเริ่มต้นกับความจุช่วงปลายไฟเขียวจะเท่ากับเมื่อระยะเวลาไฟเขียวให้เหมาะสม

5.2.2.1 การปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสมกรณีสัญญาณไฟเขียวนานเกินไป



รูปที่ 5.1 การปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม กรณีสัญญาณไฟเขียวนานเกินไป

โดยที่	g_0	คือ	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเขียว
	y	คือ	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเหลือง
	m	คือ	ความชัน (Slope)
	t_i	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟเริ่มต้น ที่เกิด saturation flow rate
	t_j	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟสุดท้าย ที่เกิด saturation flow rate
	Q_s	คือ	อัตราการไหลอิมตัว (Saturation Flow Rates)
	q_d	คือ	ความจุที่สูญเสียลดลง เมื่อลดระยะเวลาไฟเขียว คับ/รอบสัญญาณไฟจราจร
	h_s	คือ	ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอิมตัว (Saturation headway)
	x	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟที่เหมาะสมนับจาก t_j ที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) สมดุลกับความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time)

1. การหาระยะเวลา X เมื่อ X คือ ระยะเวลาที่เหมาะสมที่นับจาก t_j ที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) สมดุลกับความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time)

จาก $\frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s} * t_i = \frac{1}{2} * x * mx$ (5.1)

$$mx^2 = \frac{3600}{h_s} * t_i$$
 (5.2)

$$x^2 = \frac{3600 * t_i}{h_s * m}$$
 (5.3)

$$x = \sqrt{\frac{3600 * t_i}{h_s * m}}$$
 (5.4)

โดยที่ $m = \frac{3600}{h_s * (g_o + y - t_j)}$ (5.5)

จะได้ $x = \sqrt{t_i * (g_o + y + t_j)}$ (5.6)

2. สูตรระยะเวลารอบสัญญาณไฟเขียว+เหลืองที่เหมาะสม = $t_j + X$
3. การลดระยะเวลาสำหรับไฟเขียวที่นานเกินไปช่วยลดความจุที่สูญเสีย (q_d)

$$q_d = \left[\frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s} * (g_o + y - t_j) \right] - \left[\frac{1}{2} * x * mx \right]$$

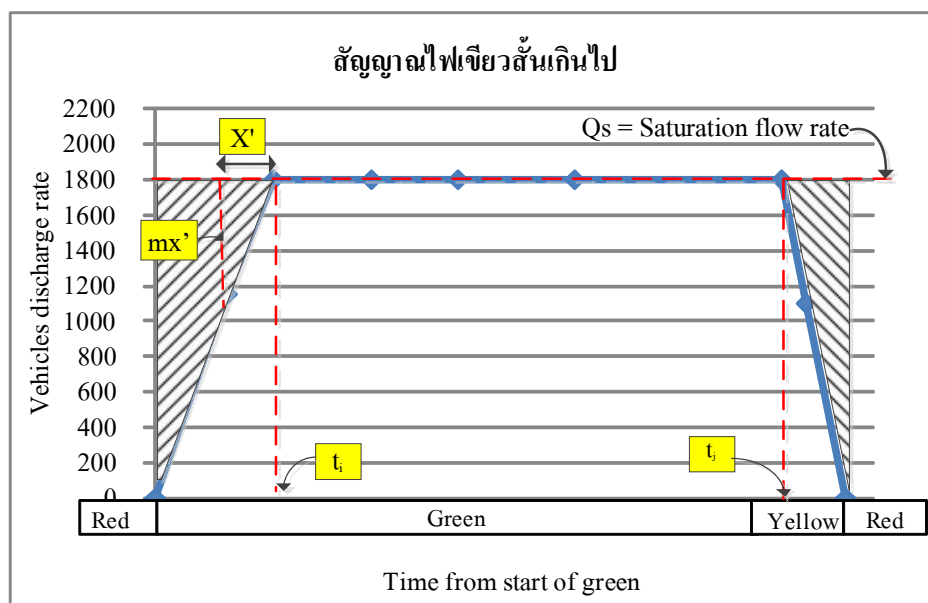
$$q_d = \frac{1800}{h_s} \left[(g_o + y - t_j) - \frac{t_i * (g_o + y - t_j)}{g_o + y - t_i} \right]$$

$$q_d = \frac{1800}{h_s} \left[(g_o + y - t_j) - t_i \right]$$

เมื่อ $t_l = g + y - t_j - t_i$ (5.7)

จะได้ $q_d = \frac{1800}{h_s} t_l$ คัน/1 รอบสัญญาณไฟจราจร (5.8)

5.2.2.2 การปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม กรณีสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป



รูปที่ 5.2 การปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟเขียวให้เหมาะสม กรณีสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป

โดยที่	g_0	คือ	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเขียว
	y	คือ	ระยะเวลาการให้สัญญาณไฟเหลือง
	m	คือ	ความชัน (Slope)
	t_i	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟเริ่มต้น ที่เกิด saturation flow rate
	t_j	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟสุดท้าย ที่เกิด saturation flow rate
	Q_s	คือ	อัตราการไหลอ้อมตัว (Saturation Flow Rates)
	q_i	คือ	ความจุที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียว คัน/รอบสัญญาณไฟจราจร
	h_s	คือ	ระยะเวลาระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลอ้อมตัว (Saturation headway)
	t_k	คือ	ความยาวจังหวะสัญญาณไฟที่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียสมดุล

1. การหาระยะเวลา X' เมื่อ X' คือ ความยาวจังหวะสัญญาณไฟที่นับจาก t_i ที่ทำให้เกิดความจุที่สูญเสียเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) สมมูลกับความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time)

$$\text{จาก } \frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s} * (g + y - t_j) = \frac{1}{2} * x' * mx' \quad (5.9)$$

$$mx'^2 = \frac{3600(g + y - t_j)}{h_s} \quad (5.10)$$

$$mx' = \sqrt{\frac{3600(g + y - t_j)}{h_s}} \quad (5.11)$$

$$\text{เมื่อ } m = \frac{3600}{t_i * h_s} \quad (5.12)$$

$$\text{จะได้ } x' = \sqrt{(g + y - t_j) * t_i} \quad (5.13)$$

2. สูตรระยะเวลารอบสัญญาณไฟเขียว+เหลืองที่เหมาะสม $t_k = t_j + (t_i - x')$

3. การเพิ่มระยะเวลาสำหรับไฟเขียวที่สั้นเกินไปช่วยเพิ่มความจุให้อัตรการไหล

ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น (q_i)

$$q_i = \left[\frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s} * t_i \right] - \left[\frac{1}{2} * x' * mx' \right]$$

$$q_i = \left[\frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s} * t_i \right] - \left[\frac{1}{2} * \frac{3600}{h_s t_i} * (g + y - t_j) * t_i \right]$$

$$\text{จะได้ } q_i = \frac{1800}{h_s} \left[t_i - (g + y - t_j) \right] \quad (5.14)$$

ข้อเสนอแนะนี้เป็นเพียงแนวทางอย่างคร่าว ๆ สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษา หรือต้องการเรียนรู้เกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนระยะเวลาไฟเขียวให้เหมาะสมเมื่อทางแยกที่ต้องการศึกษามีการกำหนดให้ระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไปหรือยาวเกินไป เพื่อเป็นการลดปริมาณความจุที่สูญเสียต่อทางแยกนั้น ๆ การปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัญญาณไฟเขียว ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มหรือลดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียว จะต้องพิจารณาเรื่องความต้องการใช้บริการของปริมาณจราจรที่เข้ามาในแต่ละทิศทาง ทั้งสี่ทิศทาง เป็นหลัก เพื่อการปรับเปลี่ยนที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อภาพโดยรวมทั้งระบบอย่างแท้จริง

5.2.3 การกำหนดสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ ในช่วงเวลาเร่งด่วน และนอกเวลาเร่งด่วน ควรจะมีรอบสัญญาณไฟจราจรแตกต่างกัน เนื่องจากจำนวนปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางของชั่วโมงเร่งด่วน กับนอกเวลาเร่งด่วนแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความจุต่อระบบ โดยรวมทุกทิศทาง

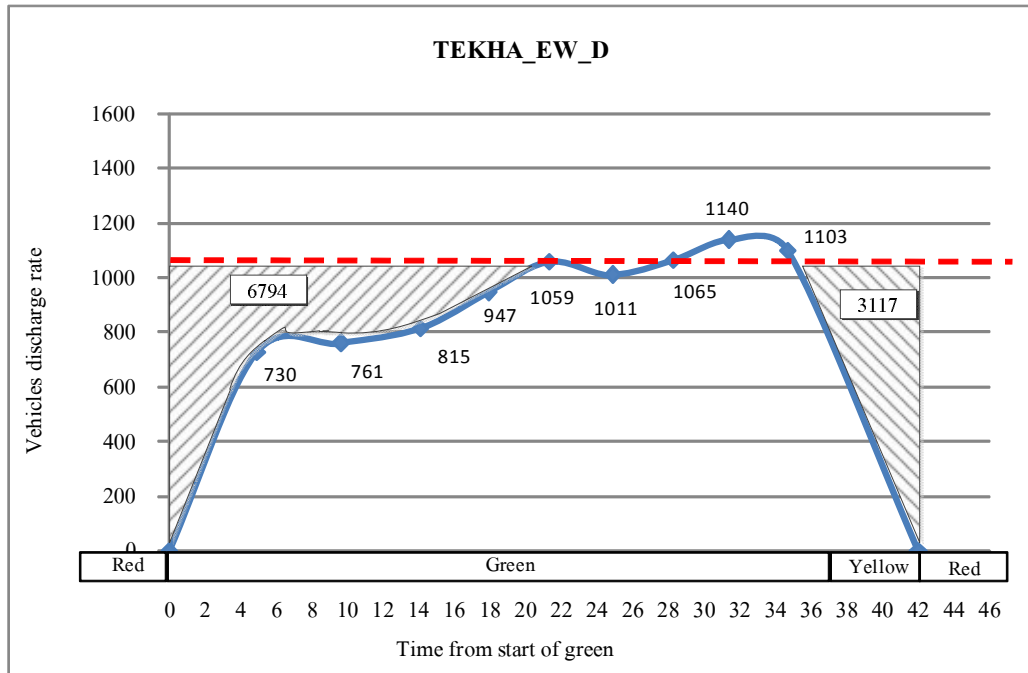
รายการอ้างอิง

- ปกาสิต จิรศักดิ์ (2550). การศึกษาผลกระทบของสัญญาณไฟจราจรแบบแสดงเวลา. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หน้า 522-529
- เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช (2547). ผลกระทบจากรถจักรยานยนต์ต่อการจราจรบนถนนในเขตเมือง การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (TRP53).
- วินัย รักสุนทร (2547). ค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการไหลที่จุดอ้อมตัวของรถจักรยานยนต์สำหรับทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (TRP23).
- วินัย รักสุนทร (2547). ผลกระทบของสัญญาณเตือนต่อค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวของรถยนต์. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (TRP24).
- ร้อยตำรวจเอกอมรชัย ลีลาขจรจิตร (2551). ผลกระทบการอนุญาตเลี้ยวซ้ายผ่านตลอดต่อประสิทธิภาพการจราจรบริเวณแยกในช่วงการจราจรติดขัด. การประชุมวิชาการ การขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 5
- นันทนา บัวคง (2548). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลอ้อมตัว ณ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรในกรุงเทพมหานคร. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ทวี วิชัยเมธาวิ (2545). การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอ้อมตัว. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 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.
- Bester, C.J., and Meyers, W.L. (2007). **Saturation flow rates.** The 26th Southern African Transport Conference. Pretoria, South Africa
- Khosla, K., and Williams, J.C. (2006). **Saturation Flow at Signalized Intersections during Longer Green Time.** Journal of the Transportation Research Board. Transportation Research Board of the National Academies. (Vol. 1978, pp.61-67)
- Cheng, D. (2003). **Modification of Webster's Minimum Delay Cycle Length Equation Based on HCM 2000.** Transportation Research Board.

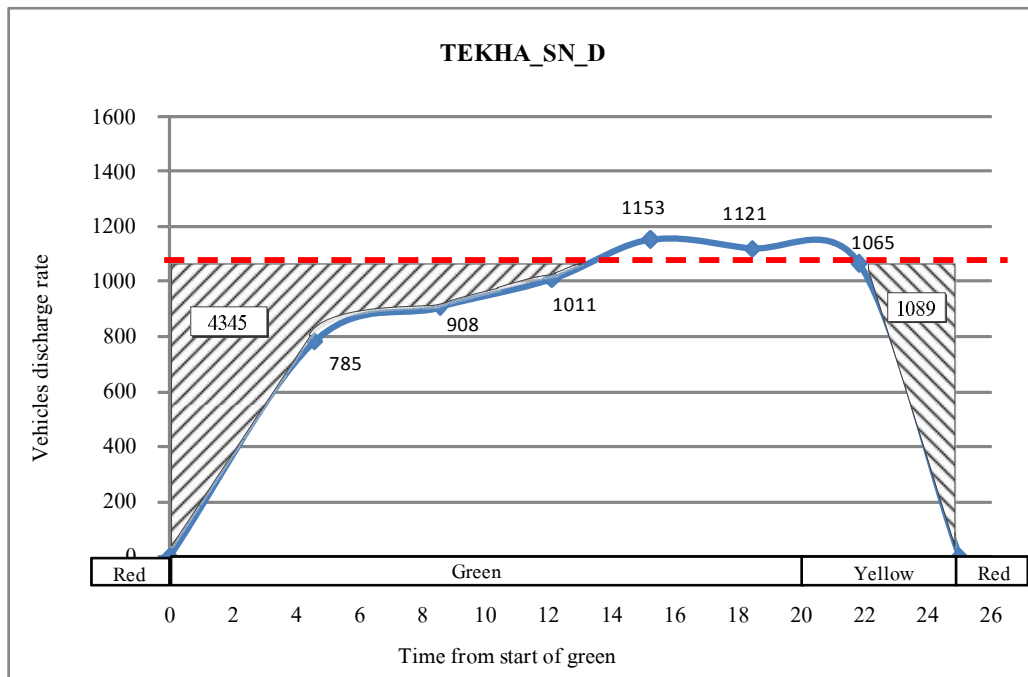
- Limanond, T., Chookerd, S., and Roubtonglang N. (2009). **Effects of countdown timers on queue discharge characteristics of through movement at a signalized intersection.** Transportation Research Part C. (pp. 662-671)
- Yan, X., Radwan, E., Guo, D., and Richards, S. (2009). **Impact of “Signal Ahead” pavement marking on driver behavior at signalized intersrctions.** Transportation Research Part F.
- Elmitiny, N., Yan, X., Radwan, E., Russo, C., and Nashar, D. (2010). **Classification analysis of driver's stop/go decision and red-light running violation.** Accident Analysis and Prevention. (Vol.42, pp. 101-111)
- Kim, J.T., and Courage, K.G. (2003). **Evaluation And Design Of Maximum Green Time Settings For Traffic-Actuated Control.** Transportation Research Record. (Vol. 1852, pp. 246-255)
- Richard, W., Denney J., Eddie, E., and Larry, H. (2009). **Long Green Times and Cycles at Congested Traffic Signals.** Journal of the Transportation Research Board. , (Vol. 2128, pp. 1-10)

ภาคผนวก ก

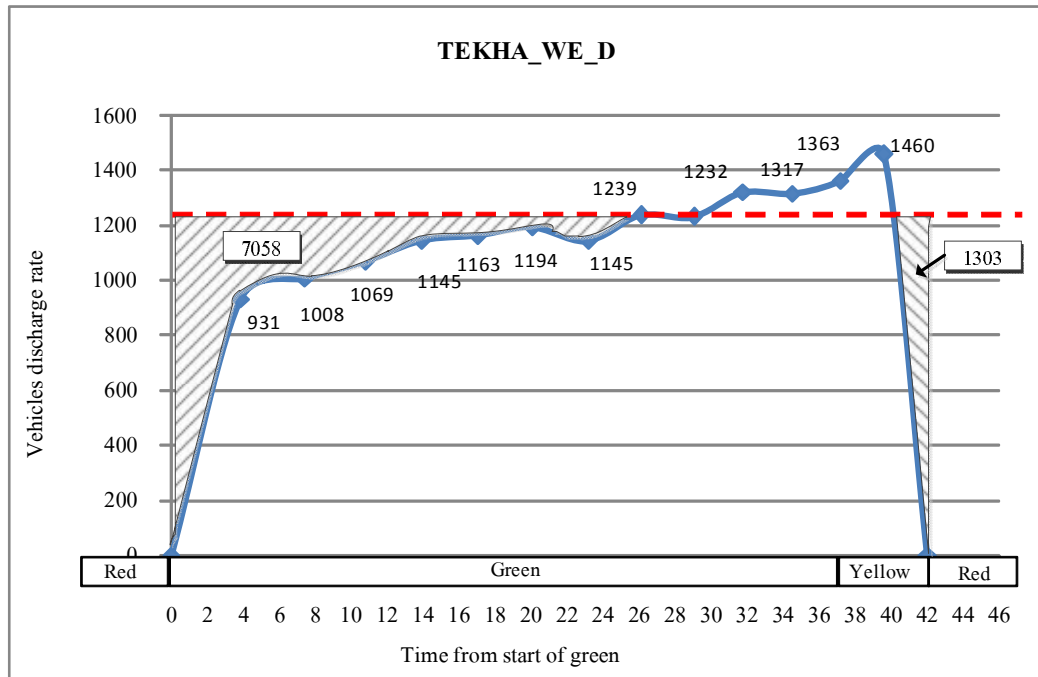
กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการจราจรที่เล่นผ่านเส้นหยุด
และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว



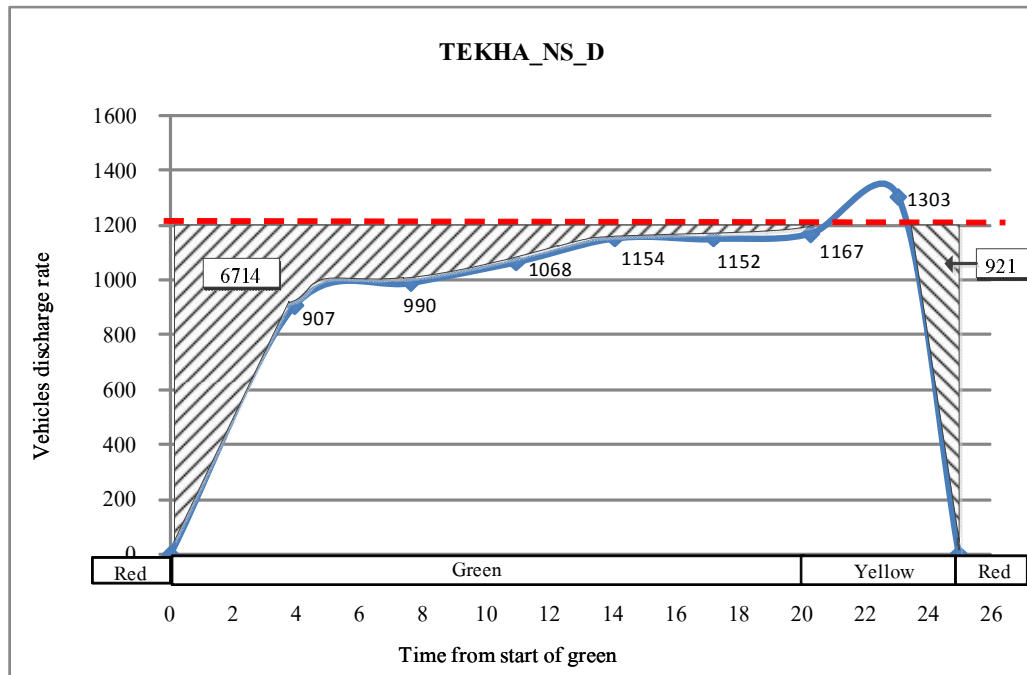
รูปที่ ก.1 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง EW ช่วงเวลาเช้า



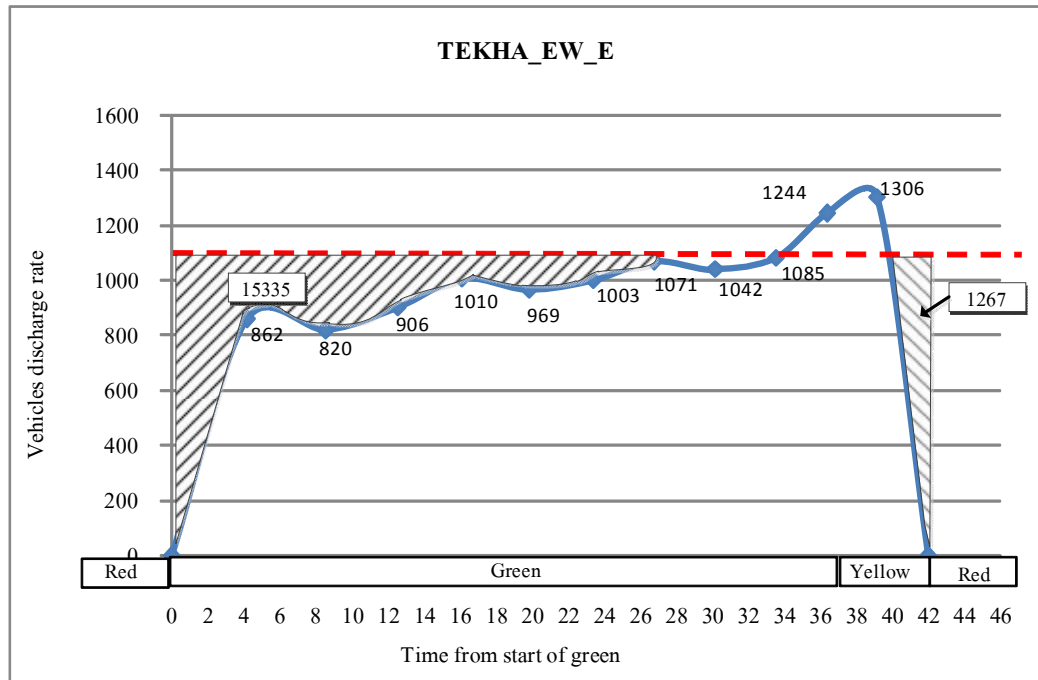
รูปที่ ก.2 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง SN ช่วงเวลาเช้า



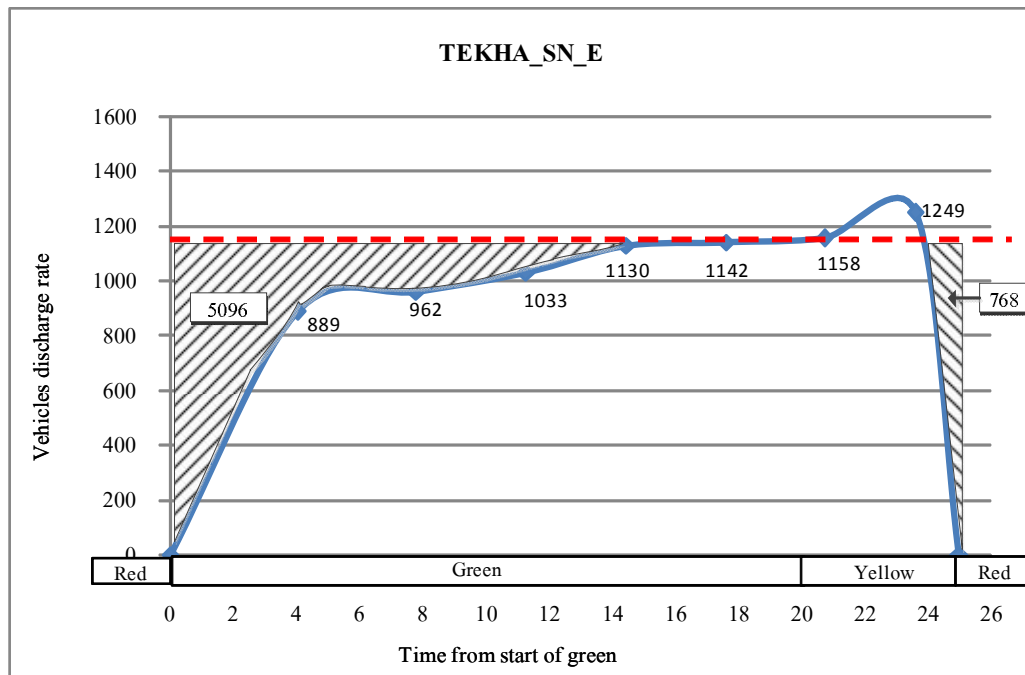
รูปที่ ก.3 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง WE ช่วงเวลาเช้า



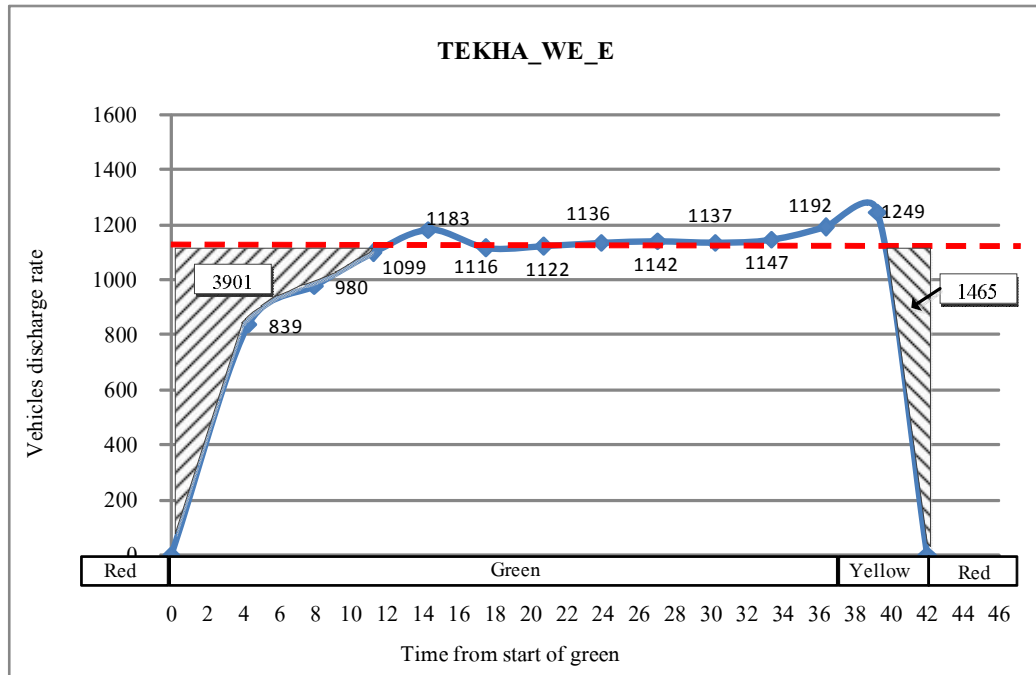
รูปที่ ก.4 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง NS ช่วงเวลาเช้า



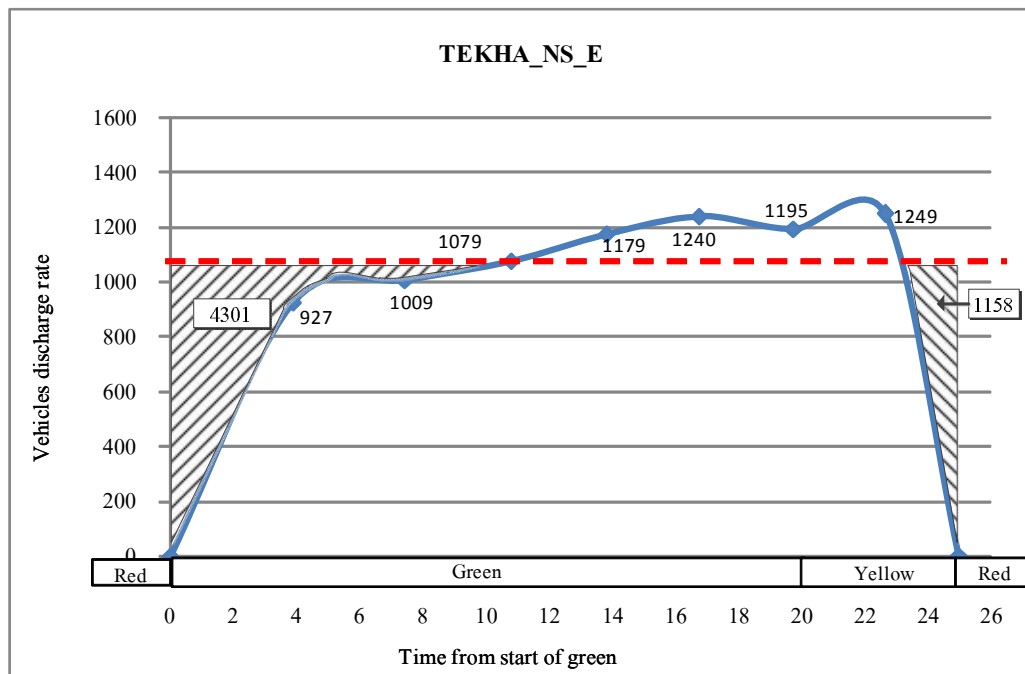
รูปที่ ก.5 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง EW ช่วงเวลาเย็น



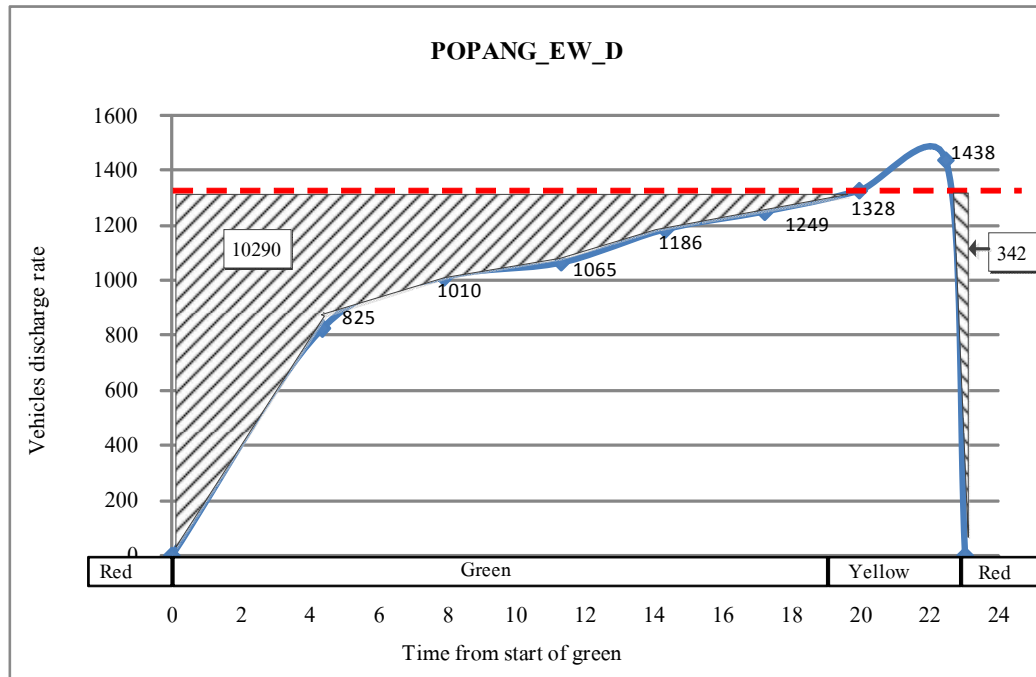
รูปที่ ก.6 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็ทสะ ทิศทาง SN ช่วงเวลาเย็น



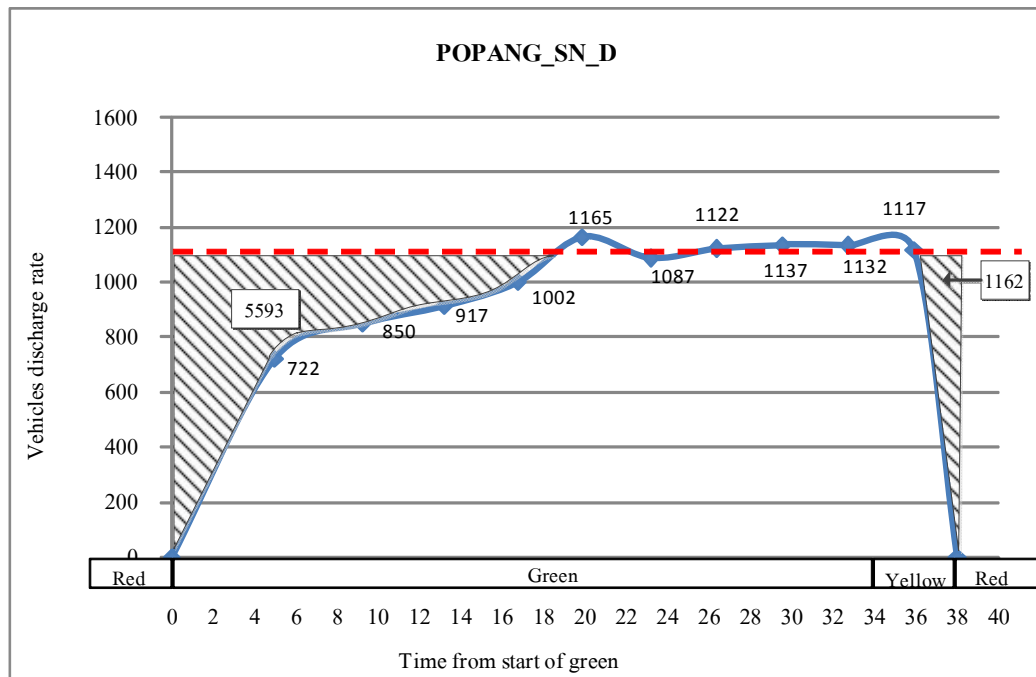
รูปที่ ก.7 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ ทิศทาง WE ช่วงเวลาเย็น



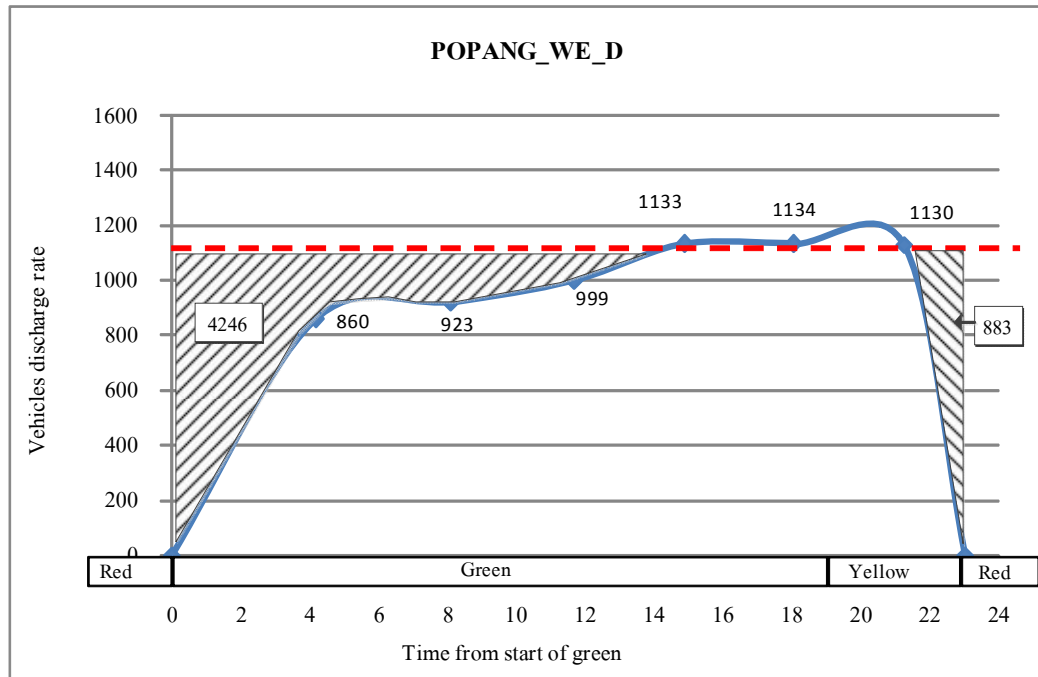
รูปที่ ก.8 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ ทิศทาง NS ช่วงเวลาเย็น



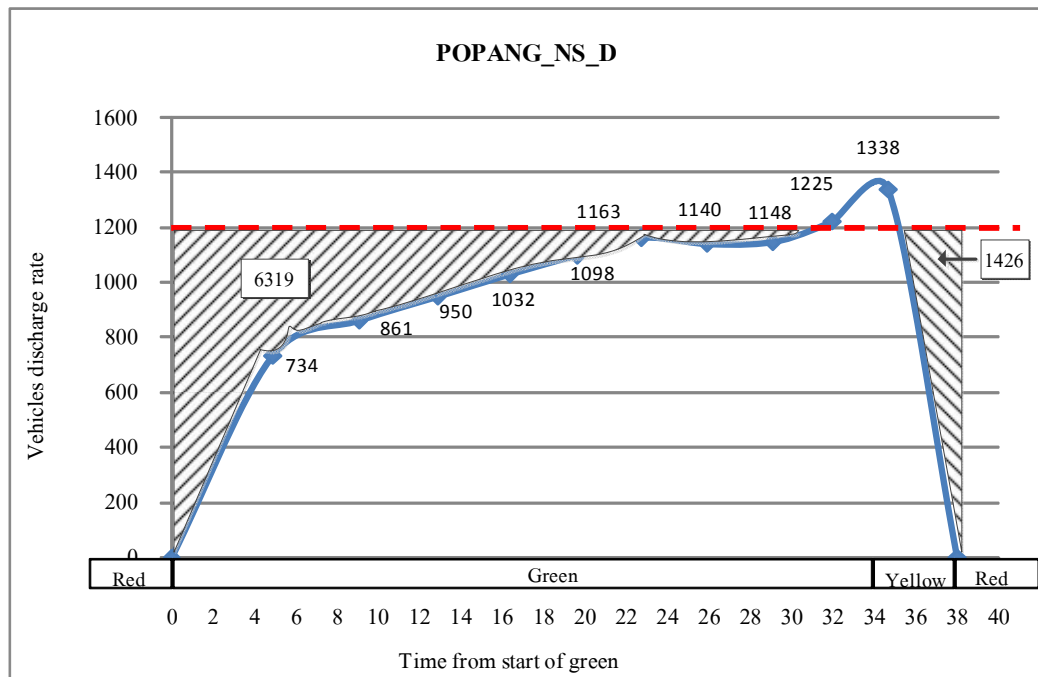
รูปที่ ก.9 ทางแยกสัญญาณไฟจราจร โรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง EW ช่วงเวลาเช้า



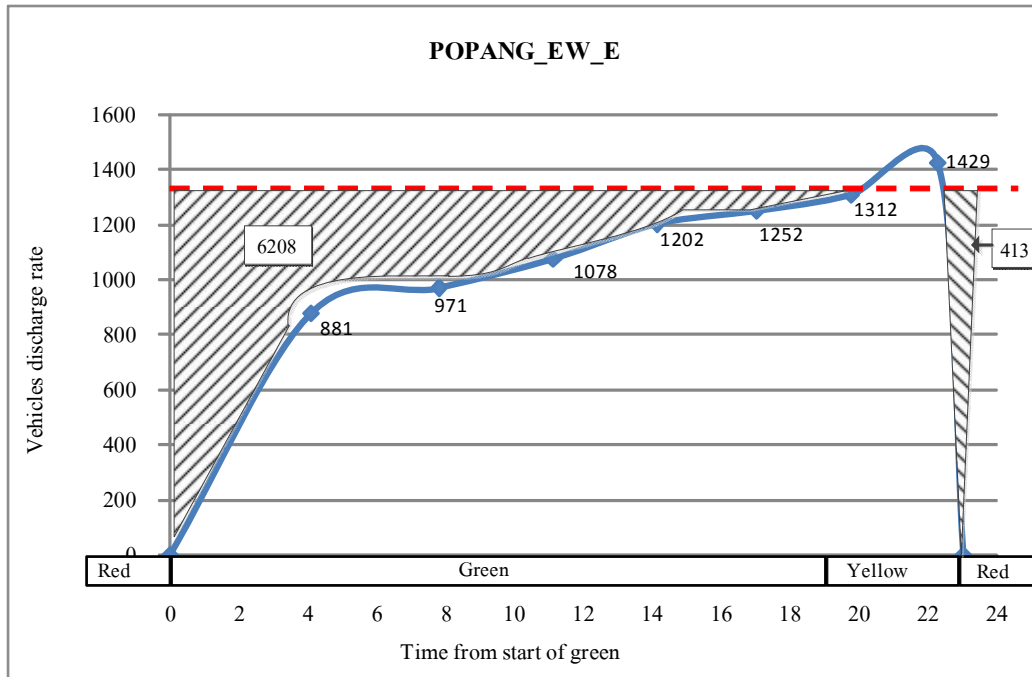
รูปที่ ก.10 ทางแยกสัญญาณไฟจราจร โรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง SN ช่วงเวลาเช้า



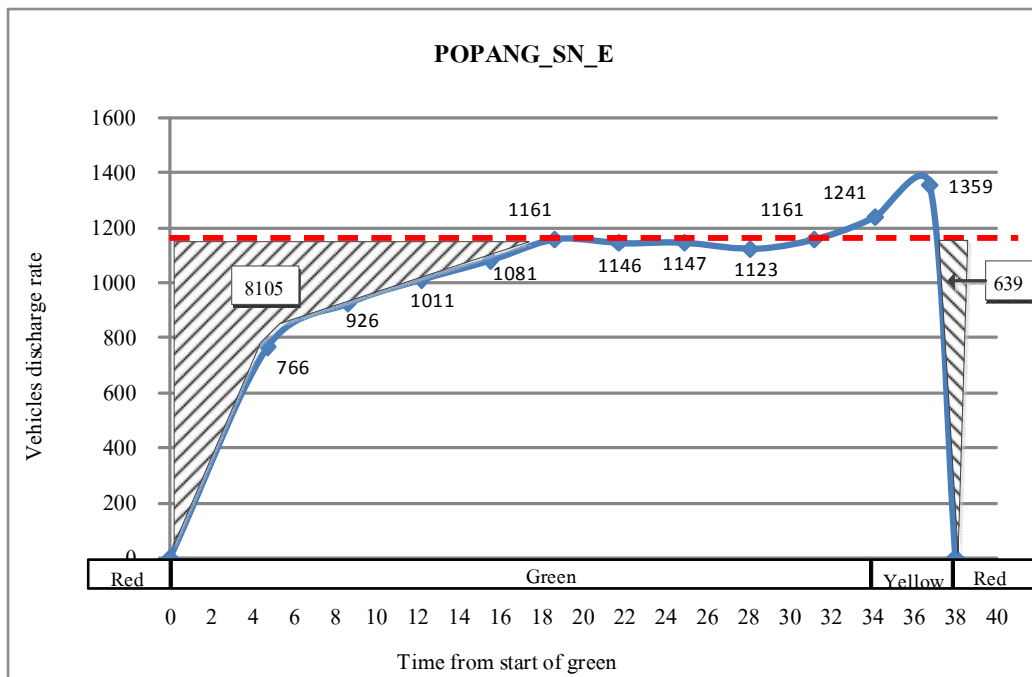
รูปที่ ก.11 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง WE ช่วงเวลาเช้า



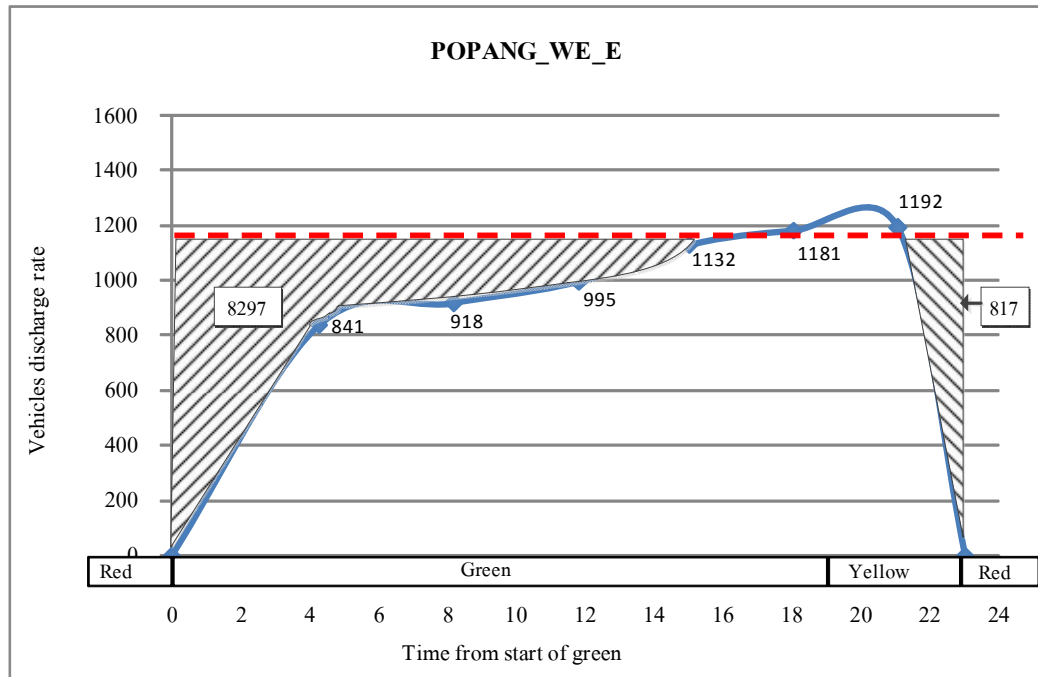
รูปที่ ก.12 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง NS ช่วงเวลาเช้า



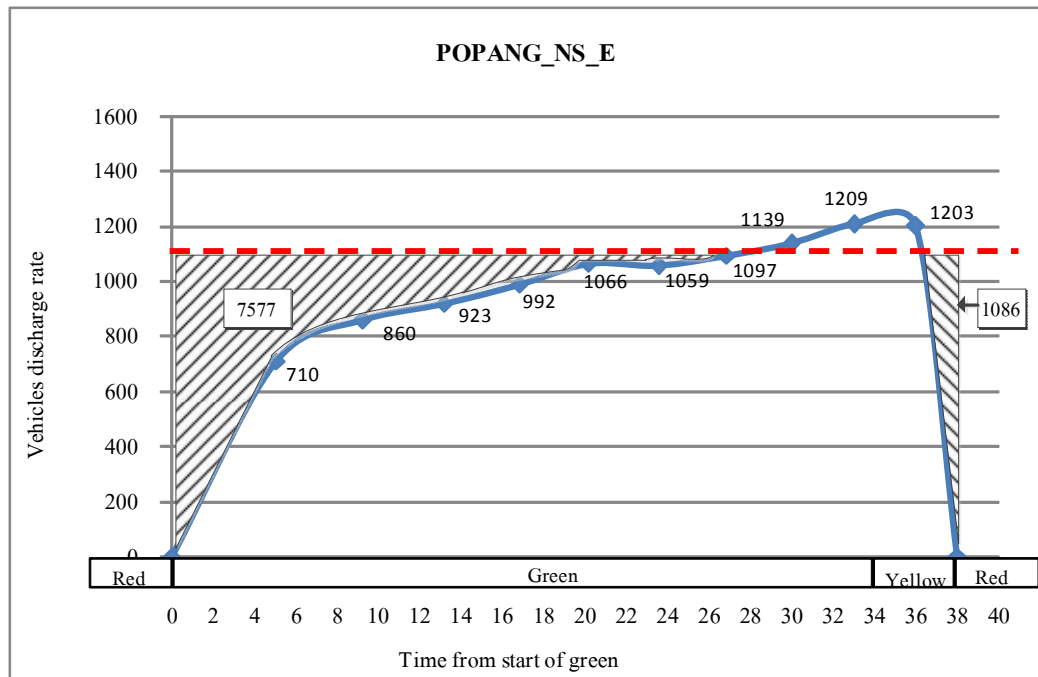
รูปที่ ก.13 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง EW ช่วงเวลาเย็น



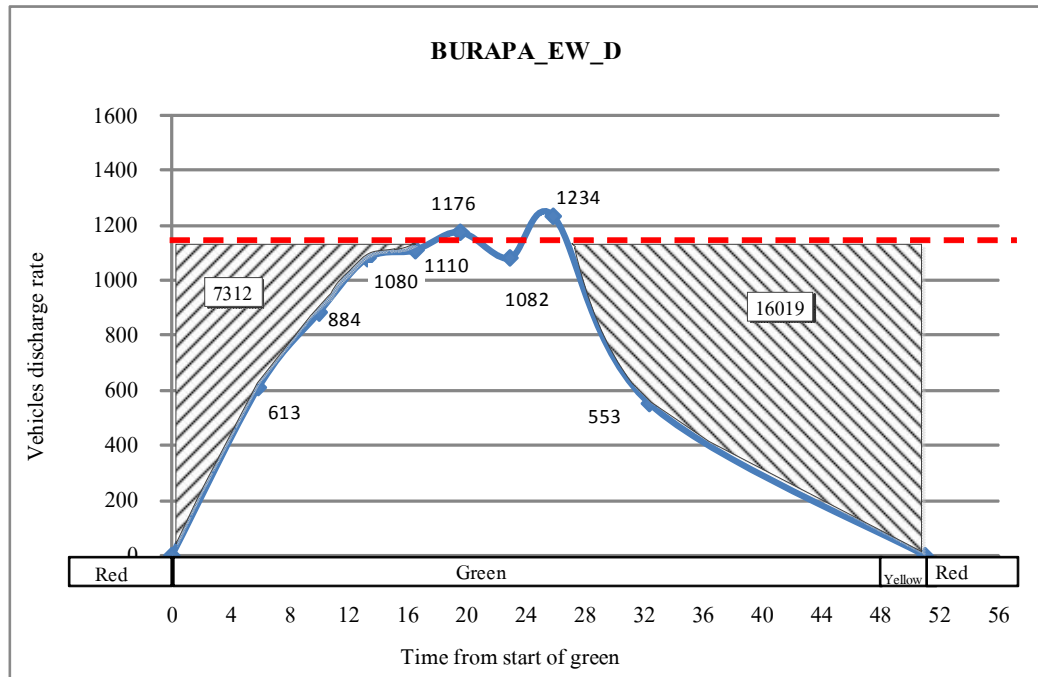
รูปที่ ก.14 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง SN ช่วงเวลาเย็น



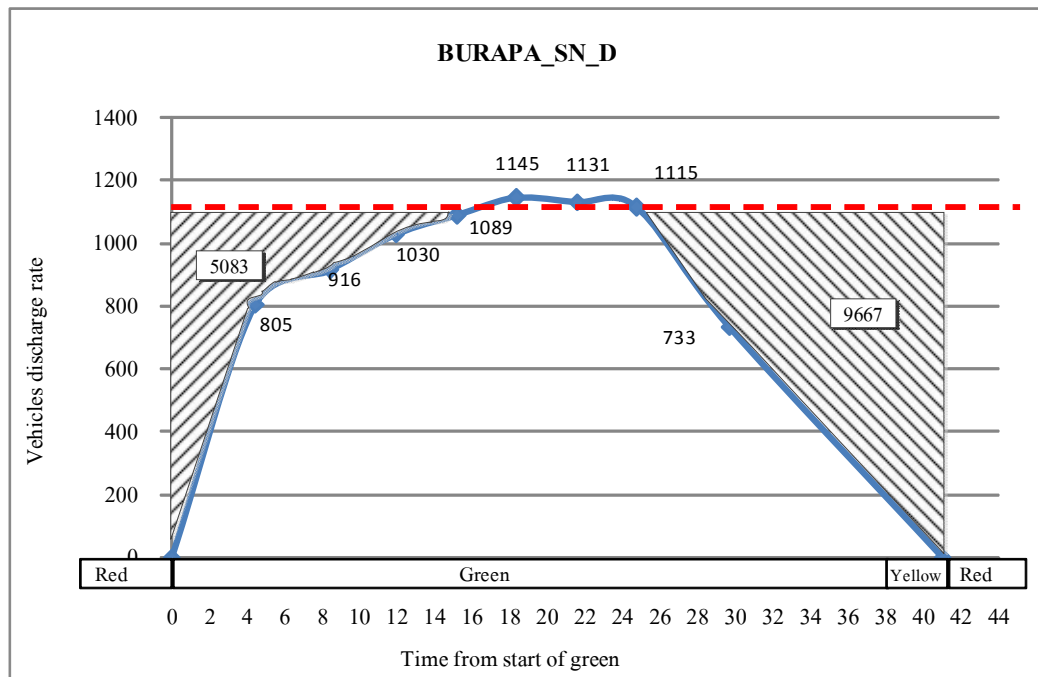
รูปที่ ก.15 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง WE ช่วงเวลาเย็น



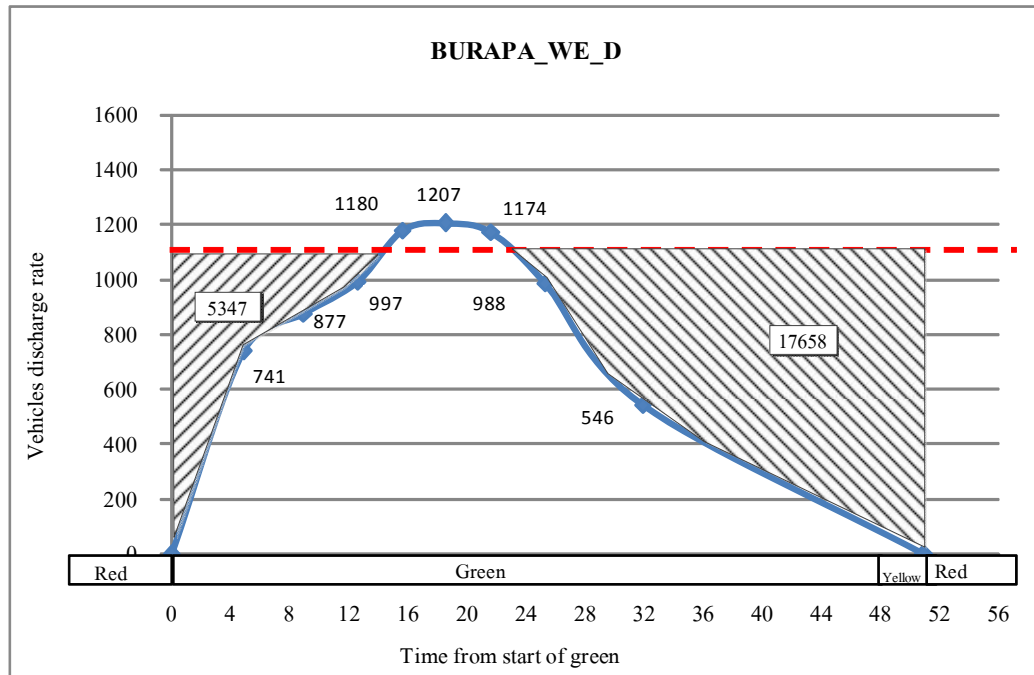
รูปที่ ก.16 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ ทิศทาง NS ช่วงเวลาเย็น



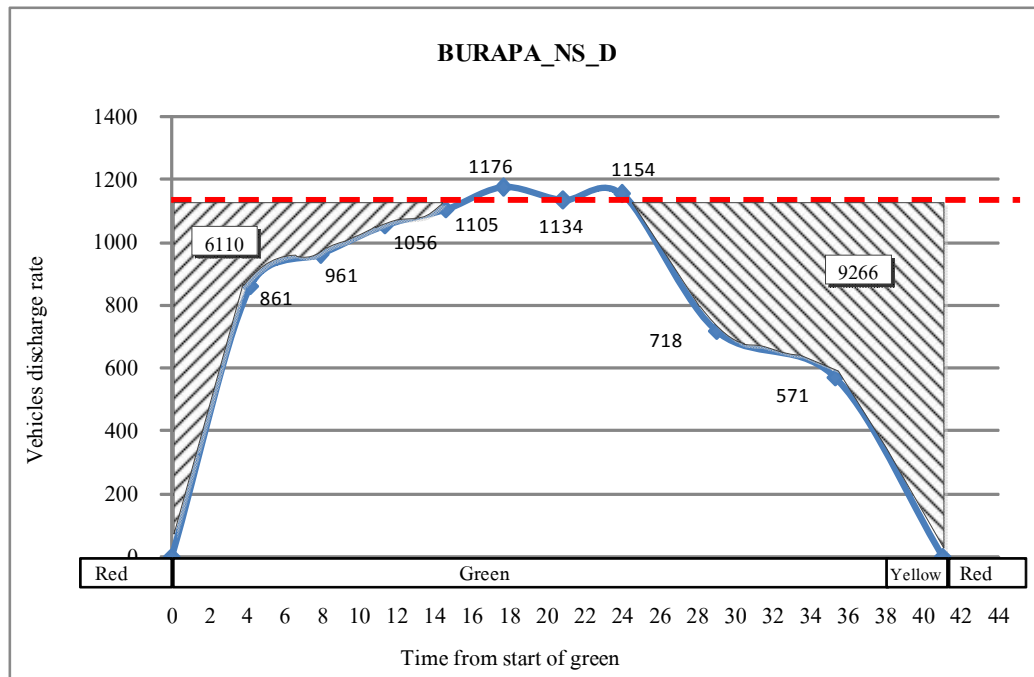
รูปที่ ก.17 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง EW ช่วงเวลาเช้า



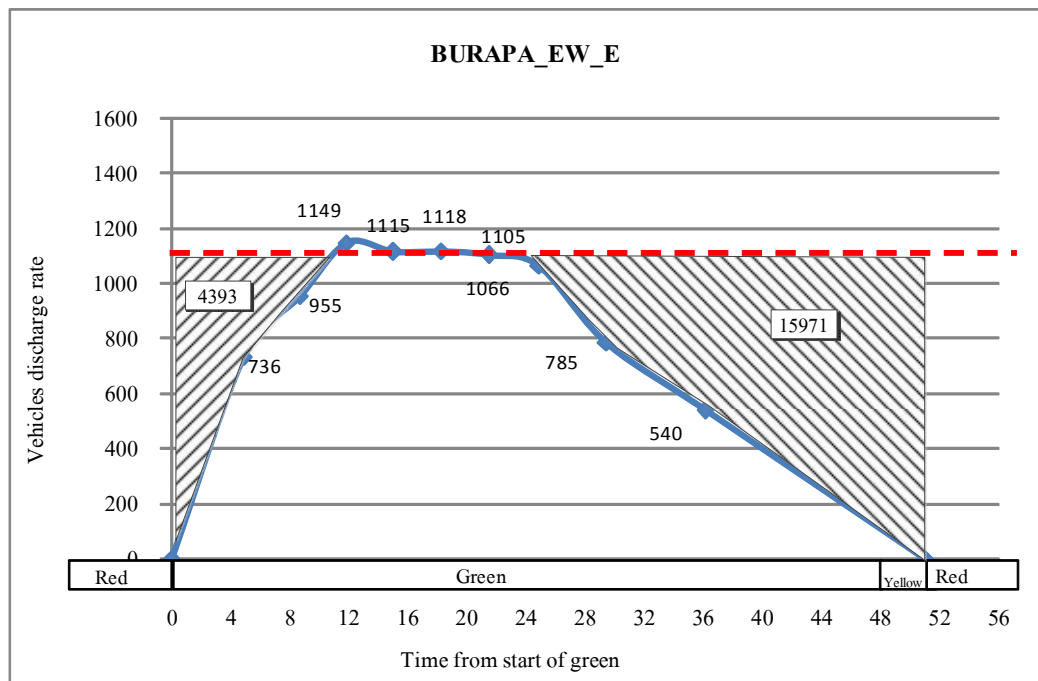
รูปที่ ก.18 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง SN ช่วงเวลาเช้า



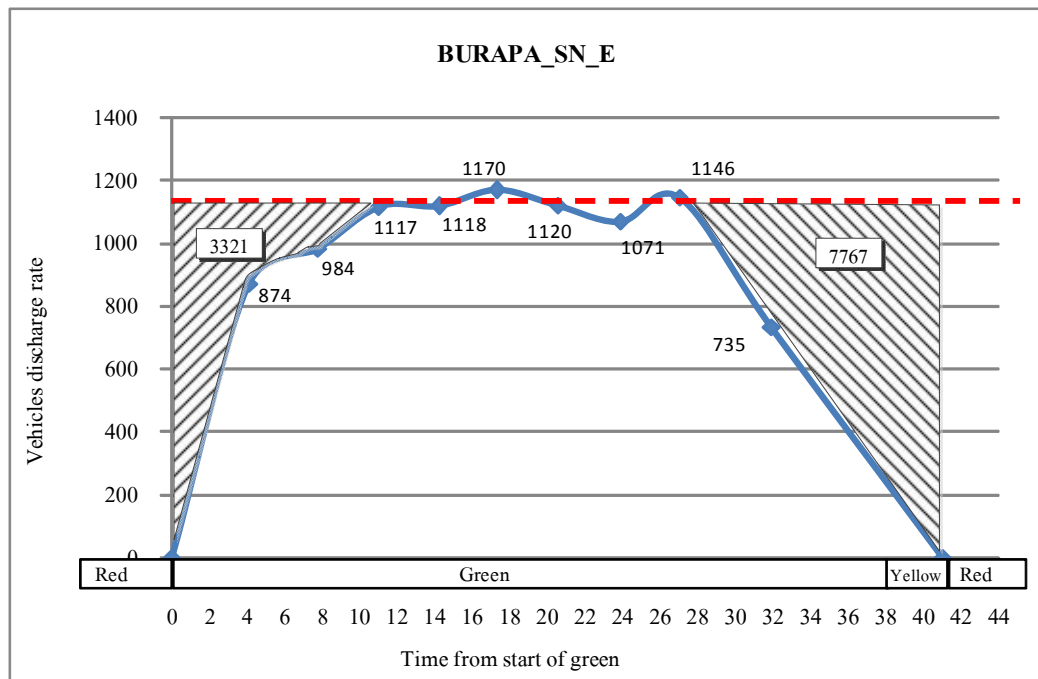
รูปที่ ก.19 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง WE ช่วงเวลาเช้า



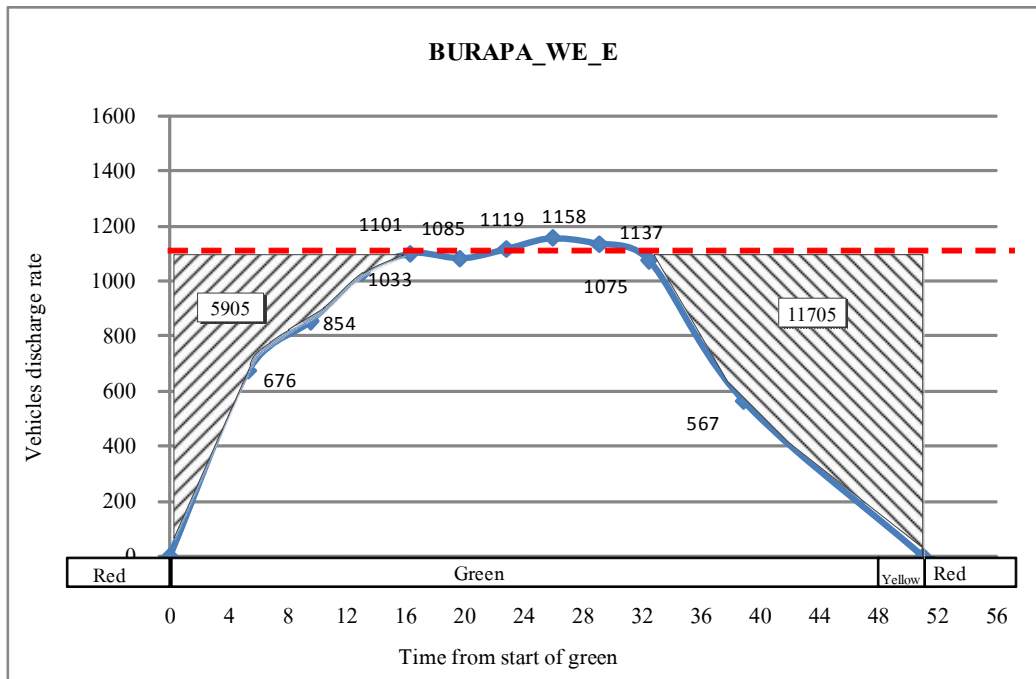
รูปที่ ก.20 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง NS ช่วงเวลาเช้า



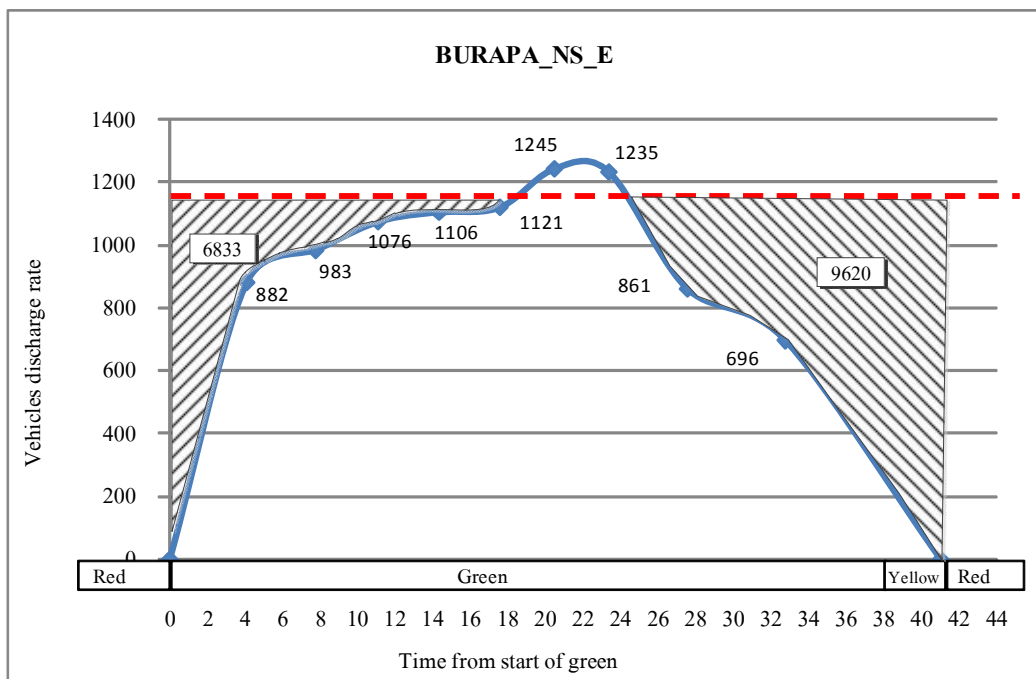
รูปที่ ก.21 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง EW ช่วงเวลาเย็น



รูปที่ ก.22 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง EW ช่วงเวลาเย็น



รูปที่ ก.23 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง WE ช่วงเวลาเย็น



รูปที่ ก.24 ทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ทิศทาง NS ช่วงเวลาเย็น

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และความจุที่สูญเสีย
เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็กฮะ

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต็กสะ ช่วงเวลาเช้า

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียเมื่อ สิ้นสุดไฟเหลือง (q_c)
E-W	6794	E-W	3117
S-N	4345	S-N	1089
W-E	7058	W-E	1303
N-S	6714	N-S	921
Sum (q_i)	24910	Sum (q_c)	6430
Sum (q_i)/3600 (veh)	6.92	Sum (q_c)/3600 (veh)	1.79
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	361	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	93

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียวบริเวณสี่แยก
สัญญาณไฟจราจรเต็กสะ ช่วงเช้า

ความยาวรอบสัญญาณไฟ (sec)	เปอร์เซ็นต์ความจุที่สูญเสียเพิ่มขึ้น			
	5%	10%	15%	20%
80	58	54	50	46
90	102	99	95	92
100	138	134	131	128
110	166	163	161	158
120	190	188	185	182

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรเต๊กสะ ช่วงเวลาเย็น

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย เมื่อสิ้นสุดไฟ เหลือง (q_c)
E-W	15335	E-W	1267
S-N	5096	S-N	768
W-E	3901	W-E	1465
N-S	4301	N-S	1158
Sum (q_i)	28633	Sum (q_c)	4658
Sum (q_i)/3600 (veh)	7.95	Sum (q_c)/3600 (veh)	1.29
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	415	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	68

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียวบริเวณสี่แยก
สัญญาณไฟจราจรเต๊กสะ ช่วงเย็น

ความยาวรอบสัญญาณไฟ (sec)	เปอร์เซ็นต์ความจุที่สูญเสียเพิ่มขึ้น			
	5%	10%	15%	20%
80	63	61	58	55
90	110	107	105	102
100	147	145	143	140
110	178	176	173	171
120	203	201	199	197

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร รพ.ป.แพทย์ ช่วงเวลาเช้า

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย เมื่อสิ้นสุดไฟ เหลือง (q_c)
E-W	10290	E-W	342
S-N	5593	S-N	1162
W-E	4246	W-E	883
N-S	6319	N-S	1426
Sum (q_i)	26448	Sum (q_c)	3813
Sum (q_i)/3600 (veh)	7.35	Sum (q_c)/3600 (veh)	1.06
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	420	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	61

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียวบริเวณ
สี่แยกสัญญาณไฟจราจร รพ.ป.แพทย์ ช่วงเช้า

ความยาวรอบสัญญาณไฟ (sec)	เปอร์เซ็นต์ความจุที่สูญเสียเพิ่มขึ้น			
	5%	10%	15%	20%
80	100	97	95	93
90	142	140	138	136
100	176	174	172	170
110	204	202	200	198
120	227	225	223	222

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร รพ.ป.แพทย์ ช่วงเวลาเย็น

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย เมื่อสิ้นสุดไฟ เหลือง (q_c)
E-W	6208	E-W	413
S-N	8105	S-N	639
W-E	8297	W-E	817
N-S	7577	N-S	1086
Sum (q_i)	30187	Sum (q_c)	2955
Sum (q_i)/3600 (veh)	8.39	Sum (q_c)/3600 (veh)	0.82
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	479	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	47

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาไฟเขียวบริเวณ
สี่แยกสัญญาณไฟจราจร รพ.ป.แพทย์ ช่วงเย็น

ความยาวรอบสัญญาณไฟ (sec)	เปอร์เซ็นต์ความจุที่สูญเสียเพิ่มขึ้น			
	5%	10%	15%	20%
80	110	108	106	104
90	156	155	153	151
100	193	192	190	189
110	223	222	221	219
120	249	247	246	245

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเช้า

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย เมื่อสิ้นสุดไฟ เหลือง (q_c)
E-W	7312	E-W	16019
S-N	5083	S-N	9667
W-E	5347	W-E	17658
N-S	6110	N-S	9266
Sum (q_i)	23852	Sum (q_c)	52610
Sum (q_i)/3600 (veh)	6.63	Sum (q_c)/3600 (veh)	14.61
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	254	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	560

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความจุที่สูญเสีย บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา ช่วงเวลาเย็น

ทิศทาง	ความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มต้น สัญญาณไฟเขียว (q_i)	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย เมื่อสิ้นสุดไฟ เหลือง (q_c)
E-W	4393	E-W	16242
S-N	3321	S-N	7838
W-E	5905	W-E	12020
N-S	6833	N-S	8364
Sum (q_i)	20452	Sum (q_c)	44463
Sum (q_i)/3600 (veh)	5.68	Sum (q_c)/3600 (veh)	12.35
Sum (q_i)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	218	Sum (q_c)/3600 *no. Cycle/hour (veh/hr)	473

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์หาความยาวสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร
ชุมชนบูรพา

ทิศทาง	C_s	t_j	Hs	Q_s	$f(t_g)$
E-W เข้า	7312	27	3.14	1146	$y = -44.73x + 2223$
S-N เข้า	5083	25	3.22	1118	$y = -61.46x + 2542$
W-E เข้า	5347	23	3.19	1129	$y = -38.99x + 1941$
N-S เข้า	6110	24.2	3.15	1143	$y = -62.44x + 2627$
E-W ขึ้น	4393	24	3.27	1101	$y = -38.68x + 1960$
S-N ขึ้น	3321	27.5	3.20	1125	$y = -81.79x + 3351$
W-E ขึ้น	5905	32	3.24	1111	$y = -54.29x + 2748$
N-S ขึ้น	6833	24.3	3.07	1173	$y = -67.29x + 2794$

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์แก้สมการ 4.1 เพื่อหาความยาวสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม บริเวณทางแยก
สัญญาณไฟจราจรชุมชนบูรพา

ทิศทาง	การวิเคราะห์ตามสมการ 4.1
E-W เข้า	$7312 = (1146*(x-27)) - (((-44.73x^2/2) + (2223x)) - ((-44.73*27^2/2) + (2223*27)))$
S-N เข้า	$5083 = (1118*(x-25)) - (((-61.46x^2/2) + (2542x)) - ((-61.46*25^2/2) + (2542*25)))$
W-E เข้า	$5347 = (1129*(x-23)) - (((-38.99x^2/2) + (1941*x)) - ((-38.99*23^2/2) + (1941*23)))$
N-S เข้า	$6110 = (1143*(x-24.2)) - (((-62.44x^2/2) + (2627x)) - ((-62.44*24.2^2/2) + (2627*24.2)))$
E-W ขึ้น	$4393 = (1101*(x-24)) - (((-38.68*x^2/2) + (1960x)) - ((-38.68*24^2/2) + (1960*24)))$
S-N ขึ้น	$3321 = (1125*(x-27.5)) - (((-81.79*x^2/2) + (3351x)) - ((-81.79*27.5^2/2) + (3351*27.5)))$
W-E ขึ้น	$5905 = (1111*(x-32)) - (((54.29x^2) + (2748x)) - ((54.29*32^2) + (2748*32)))$
N-S ขึ้น	$6833 = (1173*(x-24.3)) - (((-67.29x^2/2) + (2794x)) - ((-67.29*24.3^2/2) + (2794*24.3)))$

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

อรอนงค์ แสงส่อง และ ศิริชล ศิริธร (2554). การศึกษาความจุที่สูญเสียจากสัญญาณไฟเขียวที่สั้นเกินไป. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16 (TRL0020). ระหว่างวันที่ 18 - 20 พฤษภาคม 2554 โรงแรมเดอะชาयน์ พัทยา จ.ชลบุรี (ตอบรับแล้ว)

Sangphong, O., and Siridhara, S. (2011). **Determination of Optimum Green Interval for Intersections with Excessive Green Time.** Naresuan University Engineering Journal, No.1, January - June 2011 (submitted)



การศึกษาความจุที่สูญเสียจากจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่สั้นเกินไป

A study of capacity loss at the shorten green phase.

อรอนงค์ แสงผ่อง¹, ศีรตล ศิริธร²

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรมศาสตร์ nongon333@hotmail.com

² อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรมศาสตร์ siradols@sut.ac.th

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาหาความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟเขียว ในกรณีที่ทางแยกมีการกำหนดให้มีความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป โดยที่ฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลาระหว่างยวดยานกับลำดับรถในแถวคอย จะเลือกใช้ฟังก์ชันประเภทยกกำลัง ซึ่งมีลักษณะแนวโน้มที่เหมาะสมดังนี้ จะพบว่าสำหรับรถในแถวคอยคันแรก ๆ จะมีระยะเวลาระหว่างยวดยานสูงและจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับและจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อสิ้นสุดการให้จังหวะไฟเขียว ส่วนการพิจารณาความจุที่สูญเสียสามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ ซึ่งในกรณีที่ทางแยกมีการกำหนดสัญญาณไฟเขียวที่สั้นเกินไป จะพบว่ามีความจุที่สูญเสียในช่วงเริ่มจะมากกว่าความจุที่สูญเสียเมื่อจบสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

ABSTRACT

This research study to determine the capacity loss at the beginning and the end of green phase at the intersection of the shorten green time. Use to the power function show relationship between the Headway and position in queue. That appropriate because the first car have headway Higher and next car is decreasing until constant. The capacity loss can be obtained from the graph showing the flow versus green duration. The method of integration, were recruited from the area function relationship of the graph. Will find that the capacity loss at the beginning greater than the end of green phase.

KEYWORDS: effective green intervals; saturation flow rate; lost time; capacity loss



1. บทนำ

เนื่องจากปัญหาจราจรเป็นปัญหาที่ซับซ้อนอันเกิดจากปัจจัยหลายๆด้าน เช่น ความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี หรือพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ซึ่งแนวทางแก้ไขที่ได้รับความนิยมมาก คือ การติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นตัวช่วยในการลดความล่าช้าเฉลี่ยของยานพาหนะทั้งหมดและความน่าจะเป็นของการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลง เนื่องจากไปลดจุดที่ก่อให้เกิดการขัดแย้งในกระแสจราจร

ถึงแม้ว่าสัญญาณไฟจราจรนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการควบคุมการจราจรของรถและคนข้ามถนน เพื่อจัดการจราจรในแต่ละทิศทางให้เหมาะสม แต่การออกแบบและติดตั้งสัญญาณไฟจราจรในทางแยกต่างๆ จะต้องมีการศึกษาและการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์จึงจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจราจรมากที่สุด แต่ปัญหาเกี่ยวกับทางแยกที่มีการกำหนดให้มีความยาวจังหวะไฟเขียวที่สั้นเกินไป ก็ส่งผลให้กระแสจราจรขาดความต่อเนื่องอีกทั้งเพิ่มความล่าช้าให้กับกระแสจราจรในภาพรวม การกำหนดให้มีการใช้ความยาวจังหวะไฟเขียวที่สั้นเกินไป จะส่งผลให้มีความถี่รอบสัญญาณไฟจราจรมาก ทำให้เกิดเวลาที่สูญเสียในการออกตัวของยานพาหนะ (Start up lost time) มากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับกำหนดความถี่รอบสัญญาณไฟจราจรที่น้อยกว่า

งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาหาความถี่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟเขียว ในกรณีที่มีทางแยกมีการกำหนดให้มีความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ซึ่งความถี่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปฏิบัติการตอบสนองต่อการให้จังหวะสัญญาณไฟเขียว บริเวณทางแยกที่มีการกำหนดสัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป
2. ศึกษาลักษณะของเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเปลี่ยนเฟสสัญญาณไฟในแต่ละทิศทาง
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและช่องว่างระหว่างรถ เพื่อคำนวณความถี่ที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟเขียว

3. ขอบเขตการวิจัย และวิธีการสำรวจข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลประเภทปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมเอง ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจโดยใช้การตั้งกล้องวิดีโอที่ถนนบันทึกพฤติกรรมจราจรที่ซับซ้อนทั้งถนนเมื่อผ่านบริเวณทางแยกบริเวณทางแยกต่าง ๆ โดยทำการกล้องวิดีโอที่ถนนทั้งสี่ทิศทาง

บริเวณที่ทำการศึกษา จะเป็นสี่แยกที่มีระบบสัญญาณไฟจราจรประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Pretime Traffic Signal) ในพื้นที่ในจังหวัดนครราชสีมา มีเส้นหยุดให้เห็นชัดเจน และจุดที่ทำการสำรวจจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง (Impedance) หลังจากผ่านกระแสจราจรผ่านทางแยก เช่น รถจอด, ข้อมถนน เป็นต้น



บริเวณทางแยกที่ทำการสำรวจ ได้แก่

- 1.สี่แยกเต็กฮะ เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนโพธิ์กลางกับถนนโยธา
- 2.สี่แยกโรงพยาบาล ป.แพทย์เป็นสี่แยกที่ตัดกันระหว่างถนนไชยณรงค์กับถนนมหาดไทย



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งทางแยกที่ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา

การศึกษานี้เก็บข้อมูลด้วยกล้องวิดีโอ โดยเก็บภาพบริเวณเส้นหยุดรถบริเวณทางแยก และเห็นสัญญาณไฟจราจรในทิศทางที่ทำการวิเคราะห์ โดยเก็บข้อมูลการจราจร ใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ช่วงเช้า และช่วงเย็น ทางแยกละ 1 ชั่วโมง 30 นาที เป็นเวลา 3 วัน คือวันอังคาร, วันพุธและวันพฤหัสบดี กล้องวิดีโอจะตั้งในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นจุดอ้างอิงและสัญญาณไฟจราจรได้ชัดเจน โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง และสามารถเก็บข้อมูลที่ต้องการนำไปวิเคราะห์ได้ครบถ้วน ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประมาณ 200-260 รอบสัญญาณไฟจราจรต่อทิศทางต่อช่วงเวลา

4.การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา

ข้อมูลหลักที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่

- 1.เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time)
- 2.อัตราการไหลล้มตัวและระยะห่างระหว่างขบวน ณ อัตราการไหลล้มตัว

3.ความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว (Capacity loss at the beginning & the end of green phase) ในช่วงรอบสัญญาณไฟ เมื่อให้จังหวะสัญญาณไฟเขียวตามมาตรฐาน ก็จะมียานพาหนะที่ไม่สามารถออกตัวได้ทันที ในส่วนนี้จะทำให้เกิดความจุที่สูญเสียไปในการออกตัวของขบวน และในช่วงท้ายของจังหวะสัญญาณไฟเขียวจะมีความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดความเร็วของยานพาหนะ เพื่อจอดหยุดในช่วงสัญญาณไฟแดง



สูตรคำนวณสำหรับการอัตราการไหลอ้อมตัว[HCM]

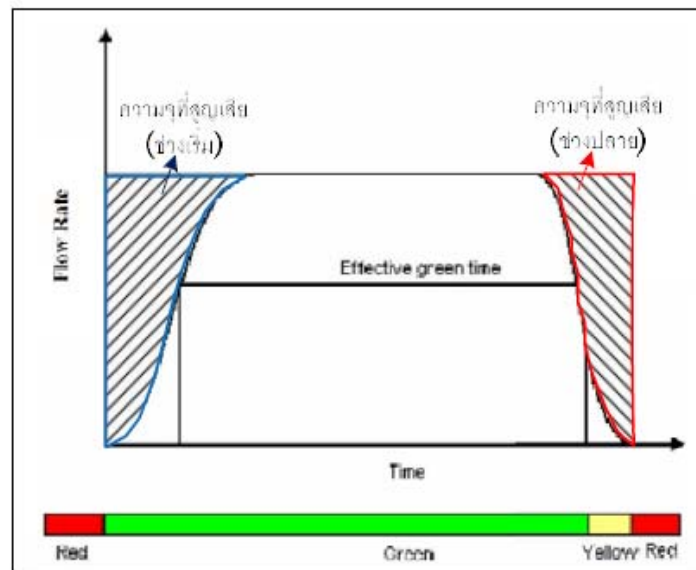
$$s = 3600 / h$$

เมื่อ s คือ อัตราการไหลอ้อมตัว (คันต่อชั่วโมง)

h คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาห่างระหว่างรถในช่วงการไหลอ้อมตัว (วินาที)

โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว เมื่อความจุที่สูญเสียในช่วงต้นมากกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย หมายถึง สัญญาณไฟจราจรสั้นเกินไป

ในทางกลับกัน ความจุที่สูญเสียในช่วงต้นน้อยกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย หมายถึง สัญญาณไฟจราจรยาวเกินไป

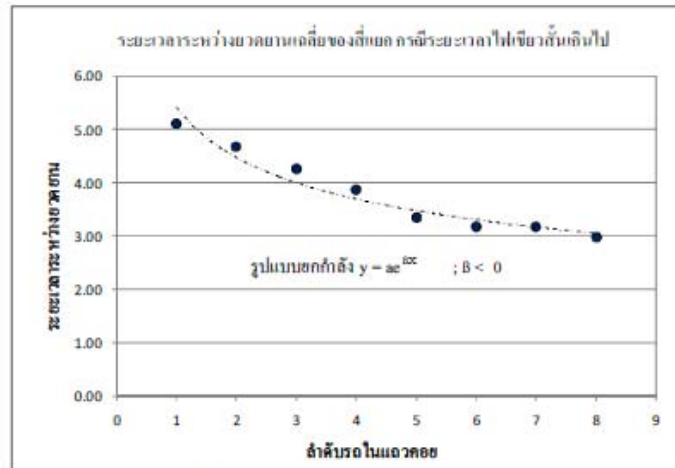


รูปที่ 3 กราฟแสดงความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว

ผลการศึกษา

1. ระยะเวลาห่างระหว่างยวดยาน (Headway)

การศึกษานี้ ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาระหว่างยวดยานกับลำดับรถที่แถวคอย ในฟังก์ชันรูปแบบ เชิงเส้นตรง ลอการิทึม โพลีโนเมียล และฟังก์ชันยกกำลัง โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมจากค่า R^2 ซึ่งฟังก์ชันที่มีลักษณะแนวโน้มที่เหมาะสมสำหรับทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีระยะเวลาสั้นเกินไป คือ ยกกำลัง โดยที่ลำดับแรก ๆ ของรถในแถวคอย จะพบว่าระยะเวลาระหว่างยวดยานจะมีค่าสูง และจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับรถในแถวคอยที่ตามมาในกระแสจราจร รายละเอียดลักษณะแนวโน้มดังกล่าว



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่แถวคอย

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลสี่แยกเต็กสะ รอบสัญญาณไฟจราจร 69 วินาที

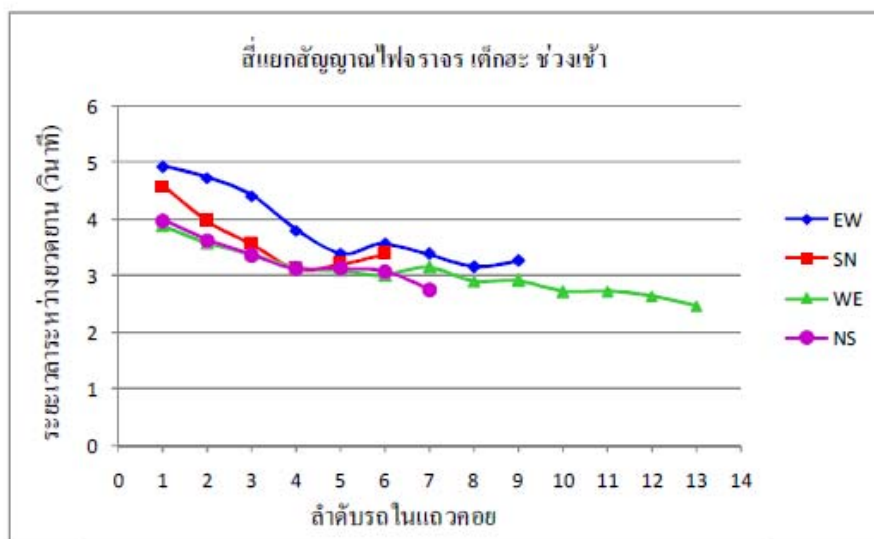
ทิศทางเหนือ – ใต้; ไฟเขียว 20 วินาที, ไฟเหลือง 5 วินาที, ไฟแดง 44 วินาที

ทิศทางตะวันออก-ตะวันตก; ไฟเขียว 37 วินาที, ไฟเหลือง 5 วินาที, ไฟแดง 27 วินาที

สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลสี่แยกโรงพยาบาล ป. แพทย์ รอบสัญญาณไฟจราจร 63 วินาที

ทิศทางเหนือ – ใต้; ไฟเขียว 34 วินาที, ไฟเหลือง 4 วินาที, ไฟแดง 25 วินาที

ทิศทางตะวันออก-ตะวันตก; ไฟเขียว 19 วินาที, ไฟเหลือง 4 วินาที, ไฟแดง 40 วินาที



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระยะเวลาระหว่างขบวนกับลำดับรถที่แถวคอยทางแยกเต็กสะ ช่วงเวลาเช้า



ตารางที่1: ตารางสรุปการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระยะเวลาห่างยวดยานกับลำดับรถในแถวคอย
Saturation headway, Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลา ของทางแยกเต็ทกษะ

ทิศทาง	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square	Saturation Headway	Saturation Flow rate	lost time (s) /cycle
E-W เข้า	$5.2217 * x^{-0.2235}$	0.913	3.35	1,075	4.48
S-N เข้า	$4.5139 * x^{-0.205}$	0.868	3.30	1,091	2.04
W-E เข้า	$3.9699 * x^{-0.1572}$	0.928	2.85	1,263	2.55
N-S เข้า	$4.0296 * x^{-0.17020}$	0.943	2.99	1,204	2.14
E-W เย็น	$4.6038 * x^{-0.1669}$	0.773	3.30	1,091	2.90
S-N เย็น	$4.1243 * x^{-0.1702}$	0.966	3.05	1,180	2.26
W-E เย็น	$3.9956 * x^{-0.1235}$	0.799	3.12	1,154	1.80
N-S เย็น	$3.9154 * x^{-0.1619}$	0.95	2.93	1,229	2.12

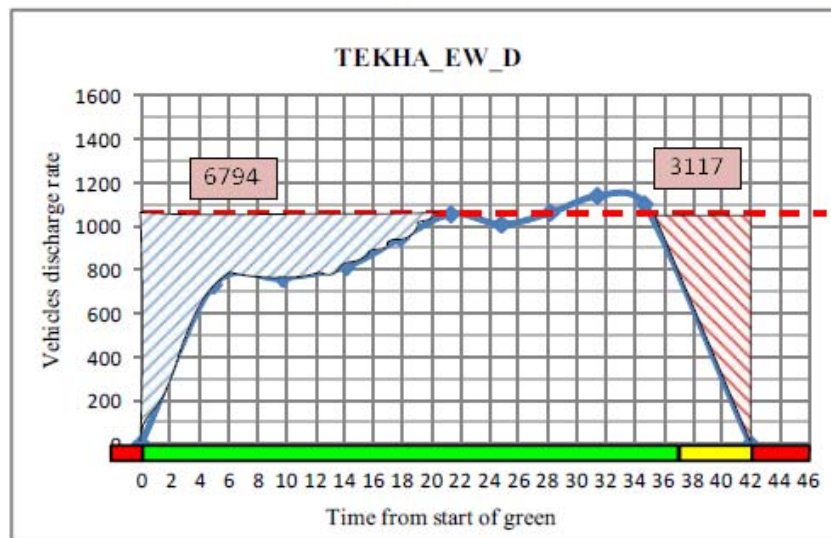
ตารางที่2: สรุปการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระยะเวลาห่างยวดยานกับลำดับรถในแถวคอย
Saturation headway, Saturation Flow Rates และค่าความสูญเสียเวลา ของทางแยก รพ.เปพพทย์

ทิศทาง	รูปแบบสมการที่ เหมาะสม	R Square	Saturation Headway	Saturation Flow rate	lost time (s) /cycle
E-W เข้า	$4.3918 * x^{-0.2716}$	0.984	2.70	1,333	3.54
S-N เข้า	$4.8437 * x^{-0.2058}$	0.907	3.22	1,118	3.73
W-E เข้า	$4.2614 * x^{-0.1751}$	0.931	3.18	1,132	2.15
N-S เข้า	$4.9154 * x^{-0.2411}$	0.976	3.00	1,200	4.64
E-W เย็น	$4.2469 * x^{-0.2478}$	0.969	2.71	1,328	3.29
S-N เย็น	$4.5229 * x^{-0.1982}$	0.922	3.02	1,192	3.48
W-E เย็น	$4.3957 * x^{-0.2128}$	0.954	3.03	1,188	2.89
N-S เย็น	$4.9905 * x^{-0.2252}$	0.989	3.16	1,139	4.36



2. ความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง

ความจุที่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ



รูปที่ 6 กราฟความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด และความจุที่สูญเสียในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว ณ ทางแยกเต็กกะ ทิศทาง E-W ช่วงเวลาเช้า

ตารางที่ 3: สรุปค่าความจุที่สูญเสียในแต่ละทิศทาง

สี่แยกสัญญาณไฟจราจรเต็กกะ				สี่แยกสัญญาณไฟจราจร รพ.ป.แพทย์			
ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย		สรุประยะเวลาไฟเขียว	ทิศทาง	ความจุที่สูญเสีย		สรุประยะเวลาไฟเขียว
	ช่วงเริ่มต้นไฟเขียว	เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง			ช่วงเริ่มต้นไฟเขียว	เมื่อสิ้นสุดไฟเหลือง	
E-W เข้า	6794	3117	สั้นเกินไป	E-W เข้า	10290	342	สั้นเกินไป
S-N เข้า	4345	1089	สั้นเกินไป	S-N เข้า	5593	1162	สั้นเกินไป
W-E เข้า	7058	1303	สั้นเกินไป	W-E เข้า	4246	883	สั้นเกินไป
N-S เข้า	6714	921	สั้นเกินไป	N-S เข้า	6319	1426	สั้นเกินไป
E-W เย็น	15335	1267	สั้นเกินไป	E-W เย็น	6208	413	สั้นเกินไป
S-N เย็น	5096	768	สั้นเกินไป	S-N เย็น	8105	639	สั้นเกินไป
W-E เย็น	3901	1465	สั้นเกินไป	W-E เย็น	8297	817	สั้นเกินไป
N-S เย็น	4301	1158	สั้นเกินไป	N-S เย็น	7577	1086	สั้นเกินไป



ทำการวิเคราะห์ความจุที่สูญเสียในรอบสัญญาณไฟจราจร ประกอบไปด้วยทั้ง 4 ทิศทางที่มีกระแสจราจรเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

พบว่า ทางแยกเต็ทสะ ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) 361 คัน/ชั่วโมง และความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) 93 คัน/ชั่วโมง ส่วนทางแยกเต็ทสะ ในช่วงเวลาเย็น จะมีความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) 415 คัน/ชั่วโมง และความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) 68 คัน/ชั่วโมง

พบว่า ทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเช้า จะมีความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) 420 คัน/ชั่วโมง และความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) 61 คัน/ชั่วโมง ส่วนทางแยกโรงพยาบาล ป.แพทย์ ในช่วงเวลาเย็น จะมีความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว (Star-up lost time) 479 คัน/ชั่วโมง และความจุที่สูญเสียไปเนื่องจากเวลาที่สูญเสียไปในการหยุดรถ (Clearance lost time) 47 คัน/ชั่วโมง

5.บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ ทางแยกสัญญาณไฟจราจรสี่แยกเต็ทสะ พบว่า Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 5 มีค่าอยู่ที่ 2.85-3.35 วินาที และทางแยก รพ.ป.แพทย์ พบว่าในทิศทางตะวันออก-ตะวันตก มี Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 5 มีค่าอยู่ที่ 2.70-3.18 วินาที ส่วนทิศทางเหนือ-ใต้ มี Saturation headway จะเกิดขึ้นที่คันที่ 6 มีค่าอยู่ที่ 3.0-3.22 วินาที

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟของทางแยกเต็ทสะ และโรงพยาบาล ป. แพทย์ พบว่า ความจุที่สูญเสียในช่วงต้นมากกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย เพราะฉะนั้นทั้งสองทางแยกนี้มีการให้สัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ทำให้อัตราการไหลของจราจรสูญเสียไป

จากการศึกษากรณีทางแยกที่มีการกำหนดความยาวจังหวะเขียวสั้นเกินไป จะเห็นได้ว่าจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Headway กับลำดับรถในแถวคอย จำนวนรถที่สามารถผ่านเส้นหยุดไปได้ในช่วงเวลาไฟเขียวนั้น ฟังก์ชันเริ่มมีค่า Headway คงที่ อัตราการไหลเริ่มอึดตัว เป็นช่วงที่ทำให้อัตราการไหลได้มาก แต่เป็นช่วงเวลาไม่นาน เพราะทำการตัดสัญญาณไฟเป็นไฟแดงเร็วเกินไป เพราะฉะนั้นการเพิ่มความยาวสัญญาณไฟเขียว จะทำให้ความจุเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความจุที่จะเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้บริการในทิศทางอื่น ๆ



ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มระยะเวลาให้สัญญาณไฟเขียวเพิ่มขึ้น จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งในส่วนนี้จะช่วยให้ทราบได้ว่าเราสามารถเมื่อเพิ่มความยาวของสัญญาณไฟเขียว จะทำให้ Capacity เพิ่มขึ้นเท่าไร เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ผู้สัญจรในแต่ละทางแยก

6.เอกสารอ้างอิง

1. Han, Lee David, Short or Long—Which Is Better? Probabilistic Approach to Cycle Length Optimization, Traffic Signal Systems and Regional Transportation Systems Management 2007
2. เทอดศักดิ์ รongวิริยะพานิช, 2547. ผลกระทบจากรถจักรยานยนต์ต่อการจราจรบนถนนในเขตเมือง,การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, ชะอำ, เพชรบุรี. TRP53
3. วินัย รักสุนทร, 2547. ค่าเสียเวลาเริ่มต้นรวมของการเคลื่อนตัวและอัตราการใช้จุดอ้อมตัวของรถจักรยานยนต์สำหรับทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, ชะอำ, เพชรบุรี. TRP23
4. Kim, J-T, Courage, K G .EVALUATION AND DESIGN OF MAXIMUM GREEN TIME SETTINGS FOR TRAFFIC-ACTUATED CONTROL, Transportation Research Record No. 1852, p. 246-255, 2003.
5. Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel, Traffic & Highway Engineering, 2002, p.296-304

Determination of Optimum Green Interval for Intersections with Excessive Green Time

Onanong Sangphong¹, Siradol Siridhara²

¹Department of Transportation Engineering, Suranaree University of Technology, E-mail: nongon333@hotmail.com

²Lecturer, School of Transportation Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, E-mail: siradols@sut.ac.th

Abstract – Design traffic signal that is long time. Will find traffic will not pass or Travel demand less than green time. Make use of the capacity loss of the intersections and increase delay to the other way unnecessarily. The analysis of relationship between Average headway and sequence car through the green light. To select the appropriate format is Polynomials. The capacity loss can be obtained from the graph showing the flow versus green duration. The method of integration, were recruited from the area function relationship of the graph. Will find that the capacity loss at the beginning less than the end of green phase. It is long green time. Change traffic light to appropriate by reducing the green green intervals. Change new cycle length is 83 s from the original traffic lights is cycle length 94 s ,result the morning to reduce the capacity loss 161 vehicles per hour and the evening will reduce the capacity loss 215 vehicles per hour

Keywords – Effective Green Intervals / Lost Time / Saturation Flow Rate

1. INTRODUCTION

In Thailand, determination of cycle length and green interval during peak hours usually depends on a judgment of policemen. Most of them tend to use long cycle lengths to accommodate a large number of vehicles. Long cycle lengths are advantageous as they reduce start-up lost time at the beginning of green. This is true especially when the traffic is combined among motorcycles, passenger cars and large trucks. Nonetheless, a main shortcoming of using too long green time will take place after the green interval is shown for a period of time in which gaps between cars gradually increase and traffic flow start to drop from a saturated value. Furthermore, long red intervals risk long queue and easily affect to nearby intersections.

Most research topics focus on actuated signal control. In our local case, however, Nakhon Ratchasima Municipality Area consists of grid-system roads on which traffic lights are fixed-time controlled. The design considers mainly peak-hour

traffic volumes. Off-peak traffic patterns which are often neglected do not resemble those in peak intervals. This study focuses on off-peak traffic control where green time is excessively provided and intersection capacity is lost. This study finds an optimum green interval to more efficiently accommodate intersectional traffic.

2. OBJECTIVES

The objectives of the study are envisaged as follows:

1. To analyze characteristics of lost time during signal phase change,
2. To study relationship between flow and gap to determine start-up and clearance lost time,
3. To study effects of green interval adjustment to capacity loss

3. STUDY SCOPE AND DATA COLLECTION

Video cameras were installed to collect data on road driving behavior and reaction to green intervals for all four sides (i.e., East to West – EW, West to East – WE, North to South – NS, and South to North – SN).

Ideal signalized intersections for the study should be located in the municipality area, and have no impedence after the traffic flows through the intersection such as parking and construction work. An Intersection near Burapha Community was selected for analysis as its traffic volume apparently cannot fill the whole green interval.

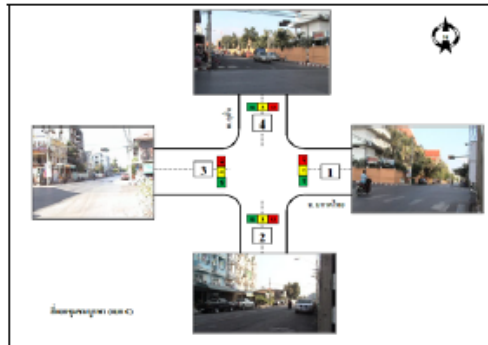


Figure 1 Physical Characteristics of Burapha Community Intersection

This study collected drivers' behavior in response to green time interval through video recording on each approach. Traffic data was collected in two intervals; morning and evening, one hour and thirty minutes each for three (D)s (Tues(D), Wednes(D) and Thurs(D)). The video camera was at a point where traffic lights and references can be seen clearly and all necessary data could be collected for analysis.

4. DATA ANALYSIS AND STUDY RESULT

4.1 Headway

Headways between vehicles in the queue were plotted to analyze drivers' behavior during green intervals. The chart was constructed from average values of headways between two successive vehicles versus the vehicle order in the queue to illustrate unused green portion.

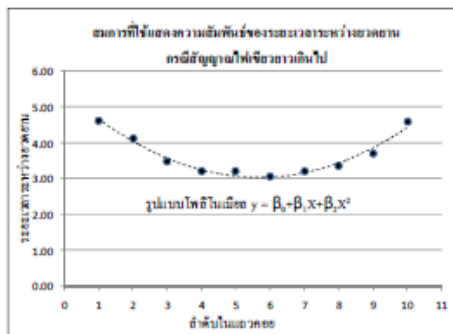


Figure 2 Relationships between Average Headway and Order of Queued Vehicle.

4.2 Saturation Headway

As the headway between vehicles in the field would not perfectly conform the theoretical saturation headway characteristics, it is essential to set criteria to determine whether the flow has reached a saturation point. A t-test, a proven tool for comparing means of two independent sample groups with unknown variances, was applied to confirm that two successive headways were equal and the saturation flow state had started. The test process consists of the following stages:

- 1) Set a hypothesis for a one-tailed t-test.

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$$

- 2) As variances of the two group are not equal ($\sigma_1 \neq \sigma_2$), apply a "separated variance" t-test.

$$t' = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$c = \frac{\frac{S_1^2}{n_1}}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

Where $df = \frac{(n_1 - 1)(n_2 - 1)}{(n_2 - 1)c^2 + (1 - c)^2(n_1 - 1)}$

- 3) Determine critical t where $\alpha = 0.05$.
- 4) Compare t' with critical t to find the test result neglecting the sign.

If $t' > t_c$ reject H_0 , and

If $t' < t_c$ accept H_0

4.3 Saturation Flow Rates

A saturation flow rate is a maximum hourly flow rate that can be accommodated through an intersection by lane or lane group, assuming 100% green time. A saturation flow rate can be calculated from $s = 3600/h_s$ where h_s is average headway during a saturated flow state (second)

Table 1 Summary of Relationship between headway, saturation headway, saturation flow rate and lost time at Burapha Community Intersection

Direction	Fitted Equation	R Square	Saturation Headway	Order in Queue	Saturation Flow rate	lost time (s) /hr
E-W (D)	$7.884 - 2.276 * x + 0.251 * x^2$	0.796	3.14	4	1,146	277
S-N (D)	$5.625 - 1.119 * x + 0.122 * x^2$	0.813	3.22	4	1,118	151
W-E (D)	$6.923 - 1.924 * x + 0.225 * x^2$	0.839	3.19	4	1,129	245
N-S (D)	$5.574 - 1.238 * x + 0.143 * x^2$	0.889	3.15	4	1,143	265
E-W (E)	$6.256 - 1.513 * x + 0.168 * x^2$	0.928	3.27	4	1,101	206
S-N (E)	$4.909 - 0.796 * x + 0.083 * x^2$	0.746	3.20	4	1,125	119
W-E (E)	$6.608 - 1.376 * x + 0.126 * x^2$	0.763	3.24	4	1,111	131
N-S (E)	$5.131 - 0.951 * x + 0.103 * x^2$	0.840	3.07	4	1,173	195

Table 2 Summary of Relationship between Traffic Flow Rate and Capacity Loss by Direction at Burapha Community Intersection

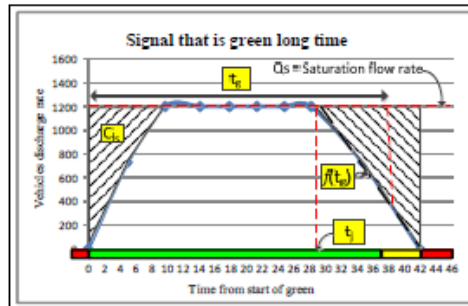
Direction	Start stage function	End Stage Function	Capacity Loss	
			Capacity	Clearance
E-W (D)	$y = 0.011x^4 - 0.51x^3 + 3.78x^2 + 93.47x + 3.26$	$y = -44.73x + 2223$	7312	16019
S-N (D)	$y = 0.002x^5 - 0.164x^4 + 4.437x^3 - 55.93x^2 + 353.6x + 0.757$	$y = -61.46x + 2542$	5083	9667
W-E (D)	$y = -0.042x^4 + 2.020x^3 - 34.02x^2 + 272.3x + 2.093$	$y = -38.99x + 1941$	5347	17658
N-S (D)	$y = -5E-05x^6 + 0.006x^5 - 0.33x^4 + 7.25x^3 - 78.71x^2 + 430x + 0.23$	$y = -62.44x + 2627$	6110	9266
E-W (E)	$y = -0.003x^4 + 0.33x^3 - 12.62x^2 + 201.7x + 1.603$	$y = -38.68x + 1960$	4393	15971
S-N (E)	$y = -0.05x^4 + 2.4x^3 - 43.16x^2 + 345.5x + 4.24$	$y = -81.79x + 3351$	3321	7767
W-E (E)	$y = -0.003x^4 + 0.31x^3 - 10.5x^2 + 169.1x + 3.94$	$y = -54.29x + 2748$	5905	11705
N-S (E)	$y = 0.001x^5 - 0.12x^4 + 3.70x^3 - 54.13x^2 + 378.1x + 2.571$	$y = -67.29x + 2794$	6833	9620

In case of excessively long green time, capacity lost due to start-up time would be less than that lost in slowing down and stopping.

4.5 Determination of Optimum Green Time

An intersection with excessive green time would lose capacity as traffic demand was lower than an amount that could be accommodated by programmed green time. At the end of green capacity would be lost due to no demand. Long red time for all other approaches also generated unnecessary delay for waiting vehicles. Signal timing should therefore be adjusted by reducing cycle length which would in turn reduce capacity loss.

This study adjusted cycle length attempting to balance capacity loss due to start-up and capacity loss due to clearance. As shown in Figure 3 the area at the end of green was determined by integrated function.



Optimum green time for intersections with excessive long green interval can be determined from:

$$C_{bl} = (Q_s(t_g - t_j)) - \int_{t_j}^{t_g} f(t_g)$$

- Where C_{bl} = capacity loss due to start-up,
- t_j = time where saturation flow ends,
- Q_s = saturation flow rate,
- q_d = reduction in capacity loss after cutting down green time (veh/hr),
- $f(t_g)$ = linear relationship between traffic flow and time during green
- t_g = optimum interval of green plus yellow that balances capacity loss during start-up and clearance stages.

Optimum green times at Burapha Community Intersection is shown in Table 3 Table 3 Reduction in Capacity Loss after Using Optimum Green Time

Direction	C_{bl}	t_j	Q_s	$f(t_g)$	t_g	q_d
E-W (D)	7312	27	1146	$y = -44.73x + 2223$	42.4	8707
S-N (D)	5083	25	1118	$y = -61.46x + 2542$	36.2	4584
W-E (D)	5347	23	1129	$y = -38.99x + 1941$	37.5	12311
N-S (D)	6110	24.2	1143	$y = -62.44x + 2627$	37.8	3156
E-W (E)	4393	24	1101	$y = -38.68x + 1960$	37.4	11578
S-N (E)	3321	27.5	1125	$y = -81.79x + 3351$	36.2	4446
W-E (E)	5905	32	1111	$y = -54.29x + 2748$	30.8	5800
N-S (E)	6833	24.3	1173	$y = -67.29x + 2794$	38.3	2786

Determining optimum green time by reducing unused green portion would increase intersection capacity.

However, one must consider existence of traffic demand at other approaches. As for this Burapha Community Intersection, optimum green times were determined as shown in Tables 4 and 5.

Table 4 Optimum Green Times for Burapha Community Intersection, Morning Period

Direction	Existing			Adjusted				
	Green	Cycle Length	Capacity Loss (veh/hr)	Green	Cycle Length	Capacity Loss		Capacity Loss (veh/hr)
						Start	End	
E-W	48	94	813	40	83	7312	7817	652
S-N	38	94		35	83	5083	6656	
W-E	48	94		40	83	5347	9493	
N-S	38	94		35	83	6110	6319	

Table 5 Optimum Green Times for Burapha Community Intersection, Evening Period

Direction	Existing			Adjusted				
	Green	Cycle Length	Capacity Loss (veh/hr)	Green	Cycle Length	Capacity Loss		Capacity Loss (veh/hr)
						Start	End	
E-W	48	94	697	40	83	4393	8299	476
S-N	38	94		35	83	3321	4753	
W-E	48	94		40	83	5905	4388	
N-S	38	94		35	83	7173	6509	

After signal timing improvement in which cycle length would be decreased to 83 seconds it is expected that the capacity would increase by 161 and 218 vehicles per hour in the morning and the evening respectively.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

The study of Burapha Community Intersection with excessively long green time could be concluded as follows:

Headway between vehicles in the queue became constant from the fourth vehicles on. The saturated headways ranged from 3.07 – 3.27 seconds. Start-up lost time 937 seconds per hour in the morning and 650 seconds per hour in the evening.

In the morning Capacity loss due to start-up is 254 vehicles per hour and due to clearance is 560 vehicles per

hour. In the evening Capacity loss due to start-up is 218 vehicles per hour and due to clearance is 479 vehicles per hour.

Green time and cycle length at Barapha Community Intersection was reduced accordingly. The cycle length was reduced from 94 to 83 seconds. North-south green phase is 35 seconds long and east west green phase 40 seconds long, with 3 seconds yellow plus 2 seconds all red time Capacities gained were 161 vehicles per hour in the morning and 221 vehicles per hour in the evening.

The recommendations were:

1) Green time adjustment, increase or decrease, must consider traffic demand on all approaches so as to achieve best green efficiency.

2) Fixed-time signal in peak and off-peak period should apply different cycle length and timing. The design should be consistent with traffic demand statistics so that best capacity can be achieved.

Periodicals:

- [1] Han, Lee David, P.(2007). Short or Long—Which Is Better? Probabilistic Approach to Cycle Length Optimization, Traffic Signal Systems and Regional Transportation Systems Management.
- [2] C. J. Bester and W.L. Meyers, P.(2007). SATURATION FLOW RATES, the 26th Southern African Transport Conference.
- [3] Karan Khosla, James C. Williams, P.(2006). Saturation Flow at Signalized Intersections during Longer Green Time, Journal of the Transportation Research Board, Volume 1978 , Transportation Research Board of the National Academies, pp.61-67
- [4] Richard W. Denney, Jr., Eddie Curtis, Larry Head, P.(2009). Long Green Times and Cycles at Congested Traffic Signals, Journal of the Transportation Research Board, Volume 2128, Transportation Research Board of the National Academies, pp.1-10
- [5] Thirayoot Limanond, Suebpong Chookerd, and Natcha Roubtonglang (2009). Effects of countdown timers on queue discharge characteristics of through movement at a signalized intersection. Transportation Research Part C. 17(6): 662-671.
- [6] Kim, J-T, Courage, K G, P.(2003). Evaluation And Design Of Maximum Green Time Settings For Traffic-Actuated Control, Transportation Research Record No. 1852, p. 246-255.
- [7] Richard W. Denney Jr, Curtis, Eddie, Head, Larry Long Green Times and Cycles at Congested Traffic Signals, Journal of the Transportation Research Board , Report Numbers: 2009-2273

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอรอนงค์ แสงส่อง เกิดวันจันทร์ที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านเขาอ่างแก้ว อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และตอนปลาย จากโรงเรียนบ้านหนองพลับวิทยา อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากนั้นปี 2546 เริ่มศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะที่ทำการศึกษาระดับปริญญาตรี ได้เข้าฝึกงานสหกิจศึกษาที่บริษัทกรุงเทพชลกิจ สำนักงานบางปะกง เวลา 4 เดือน หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ในปี 2549 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรขนส่ง บริษัทกรุงเทพชลกิจ สำนักงานบางปะกง เป็นระยะเวลา 2 ปี 4 เดือน จากนั้นศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ณ สถาบันการศึกษาเดิม มีผลงานวิชาการตีพิมพ์เผยแพร่ โดยมีรายละเอียดปรากฏดังแสดงในภาคผนวก ค.

ปัจจุบัน เป็นผู้ช่วยโครงการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี