การศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

นายอานนท์ จันทรตัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

A STUDY OF EFFICIENCY OF TRAFFIC SIGNAL CONTROLS UNDER VARYING HOURLY VOLUME WITHIN A DAY

Anon Chantaratang

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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 2015

การศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(รศ. ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(อ. ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.สุธาทิพย์ ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ

_____

(อ. ดร.ศาสตราวุฒิ พลบูรณ์)
กรรมการ

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อานนท์ จันทรตัง : การศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน (A STUDY OF EFFICIENCY OF TRAFFIC SIGNAL CONTROLS UNDER VARYING HOURLY VOLUME WITHIN A DAY)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์, 96 หน้า

ในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรสำหรับทางแยกเดี่ยวจะพิจารณาเลือกรูปแบบสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับคุณลักษณะของทางแยกนั้นมากที่สุด ซึ่งต้องอาศัยการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจร ในปัจจุบันสามารถแบ่งลักษณะของสัญญาณไฟจราจรได้ 2 ลักษณะได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ และสัญญาณไฟจราจรแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร โดยจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของประสิทธิภาพตามความเหมาะสมของสภาพจราจร ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลได้แก่การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน โดยผลการศึกษาพบว่าสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบเป็นรูปแบบที่สามารถตอบสนองต่อการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันมากที่สุด รองลงมาคือสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรและสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสัญญาณไฟจราจร สัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบยังเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการจัดการจราจรบริเวณทางแยกได้ดีที่สุด ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรกับสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ โดยใช้แบบจำลองการเลือกด้วยวิธีทางสถิติแบบ Binary Logistic Regression เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรต่อไป

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ANON CHANTARATANG : A STUDY OF EFFICIENCY OF TRAFFIC SIGNAL CONTROLS UNDER VARYING HOURLY VOLUME WITHIN A DAY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATTAPHOL PUEBOOBPAPHAN, Ph.D., 96 PP.

TRAFFIC SIGNAL/ACTUATED TRAFFIC SIGNAL/ISOLATE INTERSECTION/HOURLY VOLUME

In order to install traffic signal control at isolated intersection, the signal control strategy that is the most efficient and well suits with intersection characteristics shall be considered. Currently, the traffic signal controls can be classified into two categories as fixed-time control and vehicle-actuated control. Its efficiency depends on several factors, one of which is the variation of hourly volume within a day. Therefore, this research focuses on studying the efficiency of traffic signal controls under varying hourly volume within a day. The study showed that the fully-actuated control can best response to the hourly volume within a day, followed by semi-actuated control and fixed-time control, respectively. In addition, when comparing the efficiency between signal controls, it was found that the fully-actuated control can best manage traffic through the intersection. Furthermore, this research has developed a decision support tool for the selection of traffic signal controls between semi-actuated control and fixed-time control by using Binary Logistic Regression. The related authorities can apply this model to choose for the most suitable signal control.

School of Transportation Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2015 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย อาทิเช่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐผล ภู่บุบผาพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรมสั่งสอน ชี้แนะช่วยเหลือในการทำการวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห อาจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม อาจารย์ ดร.สุธาทิพย์ ภู่บุบผาพันธ์ และอาจารย์ ดร.ศาสตราวุฒิ พลบูรณ์ ที่กรุณาให้การแนะนำ ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ พรฑิตา ถามะพันธ์ และคุณ วทัญญา นามบุรี ที่ให้ความรู้และแนะแนวทางการจำลองโปรแกรมจราจร ในระหว่างการศึกษา

คุณวันเพ็ญ สืบสาย เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสารต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท (ทุน OROG)

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง เพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอด

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และส่งเสริมทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

อานนท์ จันทรตัง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ง

บทที่

1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 คำถามวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณไฟจราจร 4

2.2 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร 5

2.2.1 การควบคุมสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ 5

2.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร 5

2.3 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร 11

2.3.1 รอบสัญญาณไฟ 11

2.3.2 เวลาล่าช้าของการเริ่มต้นและสุดท้าย 11

2.3.3 การสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่ 12

2.3.4 การเคลื่อนที่วิกฤต 13

2.3.5 การออกแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ 13

2.3.6 การออกแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 โปรแกรมจำลองจราจร 15
2.4.1 โปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาค 15
2.4.2 โปรแกรมจำลองจราจรระดับมหภาค 16
2.4.3 โปรแกรมจำลองจราจรระดับกึ่งจุลภาค 16
2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก 17
2.5.1 รูปแบบสมการการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก 18
2.5.2 ข้อตกลงเบื้องต้นและข้อจำกัด 18
2.5.3 การตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดล 19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
2.6.1 การศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร 20
2.6.2 การศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 22
3 การดำเนินการศึกษา
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 33
3.2 ข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา 35
3.2.1 ข้อมูลตัวอย่างทางแยก 35
3.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา 36
3.3 การจำลองจราจรและวิเคราะห์ผล 39
3.3.1 การจำลองจราจร 41
3.3.2 การวิเคราะห์ผล 42
3.4 การสร้างแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก 43
3.5 การสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 44

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 บทนำ 45

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจร 45

4.2.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก 46

4.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายหลัก 50

4.2.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายรอง 53

4.2.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน 57

4.2.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่า Passage Time จาก 4 วินาที เป็น 3 วินาที ต่อประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก 59

4.3 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 61

4.3.1 การกำหนดนิยามและรวบรวมตัวแปร 61

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 62

4.4 การสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 64

5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา 67

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน 67

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 68

5.2 ข้อเสนอแนะ 79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 70
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรที่ใช้ในแบบจำลอง 72
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 80
ประวัติผู้เขียน 96

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ระยะทางที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับจากเส้นหยุด 9

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร 28

2.3 การศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 30

3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 37

3.2 จังหวะสัญญาณไฟจราจรของทางแยก 40

3.3 จำนวนกรณีที่ใช้ในแบบจำลองจราจร 42

4.1 จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟที่เหมาะสม 63

4.2 ค่าสถิติ Negelkerke R Square 63

4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อสมการทำนายในการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟ 63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงปริมาณจราจรกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวแต่ละจังหวะ 6

2.2 แสดงหลักการควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร 8

2.3 แสดงการปรับเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น 10

2.4 แสดงการปรับช่องว่างระหว่างยวดยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ 11

2.5 แสดงค่า Break-Even Delay และความยาวแถวคอย บนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรสายหลักและปริมาณจราจรสายรอง 24

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 34

3.2 แสดงภาพสี่แยกสีดาทั้งโครงข่ายจากโปรแกรมจำลองจราจร Aimsun 35

3.3 แสดงการจัดการช่องจราจรสี่แยกสีดาจากโปรแกรมจำลองจราจร Aimsun 36

3.4 แสดงกราฟตัวอย่างการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน 5 กรณี 39

3.5 แสดงขั้นตอนการดำเนินการการจำลองจราจรและวิเคราะห์ผล 41

3.6 แสดงตารางตัวอย่างตัวชี้วัดประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองจราจร 43

4.1 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5 47

4.2 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.6 48

4.3 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.7 48

4.4 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.8 49

4.5 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5 50
4.7 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.6 51
4.8 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.7 52
4.9 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.8 52
4.10 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9 53
4.11 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายรองที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5 54
4.12 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายรองที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.6 55
4.13 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายรองที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.7 55
4.14 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายรองที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.8 56
4.15 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายรองที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9 56
4.16 แสดงผลต่างระหว่างเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ 58
4.17 แสดงผลต่างระหว่างเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.18 แสดงผลต่างระหว่างเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ 59
4.19 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9 60
4.20 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5 60
4.21 แสดงกราฟเครื่องมือสำหรับช่วยในการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 65
4.22 แสดงตัวอย่างการใช้กราฟเครื่องมือสำหรับช่วยในการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร 66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สัญญาณไฟจราจรเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยในการควบคุมจราจรบริเวณทางแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากปริมาณจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นและการขยายตัวของโครงข่ายถนนตามการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ส่งผลให้ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบสัญญาณไฟจราจรสำหรับทางแยกเดี่ยวที่หลากหลายเพื่อปรับใช้ให้มีความสอดคล้องกับสภาพจราจรและลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันโดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Traffic Signal) และสัญญาณไฟจราจรแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Traffic Signal) ซึ่งการพิจารณาตัดสินใจเลือกรูปแบบสัญญาณไฟจราจรนั้นจะเลือกรูปแบบที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพมากที่สุด ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรจึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจร แต่อย่างไรก็ตามมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมายที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจร เช่น ปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก ปริมาณจราจรบนถนนสายรอง สัดส่วนของปริมาณรถเลี้ยว สัดส่วนของปริมาณรถขนาดใหญ่ ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะทำการประเมินประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรในช่วงกรอบเวลาที่ไม่ยาวมากนักเช่น ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนที่มีสภาพจราจรหนาแน่นและนอกชั่วโมงเร่งด่วนที่มีปริมาณจราจรเบาบางลงมา

อย่างไรก็ตามการแปรผันของปริมาณจราจรระหว่างวันเป็นหนึ่งในปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจร เนื่องจากปริมาณจราจรมีการแปรผันอยู่ตลอดเวลา ทำให้การประเมินประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรเพียงในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนหรือนอกชั่วโมงเร่งด่วนอาจจะไม่สะท้อนถึงประสิทธิภาพโดยรวมของแต่ละรูปแบบสัญญาณไฟจราจร ดังนั้นจึงควรมีการคำนึงถึงการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันเพื่อใช้ออกแบบสัญญาณไฟจราจรให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่นเน้นที่จะศึกษาปัจจัยด้านการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจร 3 รูปแบบ ได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Traffic Signal) สัญญาณ

ไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Traffic Signal) และสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Traffic Signal) ซึ่งหากทราบถึงผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ แล้ว จะสามารถนำตัวแปรดังกล่าวไปใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพและใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการแปรผันของปริมาณจราจรระหว่างวันต่อประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรรูปแบบต่าง ๆ
2. พัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

1.3 คำถามวิจัย

1. การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันมีผลต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ อย่างไรบ้าง
2. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันไปใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ ได้อย่างไรบ้าง

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาทางแยกตัวอย่างบริเวณแยกสีคา ตั้งอยู่ในตำบลสามเมือง อำเภอสีคา จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะทางกายภาพเป็น 4 แยกเดี่ยวตัดกันระหว่างถนนหลวงหมายเลข 2 (ถนนมิตรภาพ) กับถนนเส้น 202 (ถนนนิเวศรัตน์) ถนนสายหลักมีจำนวน 4 ช่องจราจร ถนนสายรองมีจำนวน 2 ช่องจราจร
2. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ จะมาจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้เสนอขึ้นรวมทั้งหมด 3 ตัวแปร
3. จำลองรูปแบบสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Traffic Signal) สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร

(Semi-Actuated Traffic Signal) และสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Traffic Signal) โดยใช้แบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun

4. ประเมินผลที่ได้จากแบบจำลองจราจร โดยใช้ค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย (วินาที/คัน) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล

5. สร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ Logistic Regression

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบถึงผลของประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ จากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

2.ทราบถึงรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมในกรณีต่าง ๆ ภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

3.สามารถนำพารามิเตอร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันไปใช้ประกอบการพิจารณาเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรในอนาคตหรือนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเกณฑ์หรือมาตรฐานการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร การออกแบบสัญญาณไฟจราจร โปรแกรมจำลองจราจร ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก รวมถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 สัญญาณไฟจราจร (Traffic signals)

สัญญาณไฟจราจร เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ควบคุมการจราจรที่ใช้ควบคุมการจราจรจรบริเวณทางแยกเพื่อให้ยวดยานสามารถผ่านทางแยกได้อย่างคล่องตัว ลดจุดขัดแย้ง และป้องกันการเกิดอุบัติเหตุบริเวณทางแยก ปัจจุบันมีการกำหนดสีของดวงไฟเพื่อใช้เป็นเครื่องหมายบังคับจราจร 3 สี ได้แก่ สีแดงหมายถึงบังคับให้ยวดยานทุกคันหยุด สีเหลืองหมายถึงเตือนให้ลดความเร็วหรือเตรียมที่จะเคลื่อนไปข้างหน้าได้ และสีเขียวหมายถึงให้ยวดยานแล่นผ่านไปได้

ต้นกำเนิดของสัญญาณไฟจราจรแห่งแรกของโลกเกิดขึ้นที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในปี 1868 โดย เจ.พี.ไนต์ วิศวกรชาวอังกฤษ ได้สร้างสัญญาณไฟจราจรขึ้นมาครั้งแรกจากการใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงในการส่องสว่าง เพื่อใช้ควบคุมการสัญจรของรถม้าและคนเดินเท้าที่เดินผ่านไปผ่านมาบริเวณสี่แยกหน้ารัฐสภาของอังกฤษ ซึ่งในสมัยนั้นสัญญาณไฟจราจรมีเพียงไฟเขียวกับไฟแดงเท่านั้น จนกระทั่งในปี 1920 วิลเลียม พอตต์ ตำรวจจราจรเมืองดีทรอยต์ รัฐมิชิแกนได้ออกแบบไฟสัญญาณจราจรรูปแบบใหม่ขึ้นพร้อมกับเพิ่มไฟสีอำพัน (สีเหลือง) เข้าไปอีกหนึ่งสี เพื่อเป็นสัญญาณเตือนให้ผู้ใช้พาหนะระวังและชะลอตัวก่อนที่จะหยุดหรือออกตัว

ต่อมาสัญญาณไฟจราจรแบบอัตโนมัติได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย การ์แรตต์ มอร์แกน ซึ่งนำมาใช้ครั้งแรกในเมืองเคลฟแลนด์ รัฐโอไฮโอ ก่อนที่จะมีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก และวิวัฒนาการของสัญญาณไฟจราจรได้ถูกพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนถึงในปี 1928 จึงเริ่มมีการใช้สัญญาณไฟจราจรชนิดที่ระยะเวลารอบสัญญาณไฟเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณจราจร เพื่อควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกที่มีปริมาณจราจรไม่คงที่

2.2 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals Control)

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีของ Webster ในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรต่ำกว่าระดับอิ่มตัว (Undersaturation) หรือสภาพจราจรปกติ แต่ในปัจจุบันปริมาณจราจรส่วนใหญ่มีสภาพสูงกว่าระดับอิ่มตัว (Oversaturation) โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้มีความสอดคล้องกับสภาพจราจรและลักษณะทางกายภาพ โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้

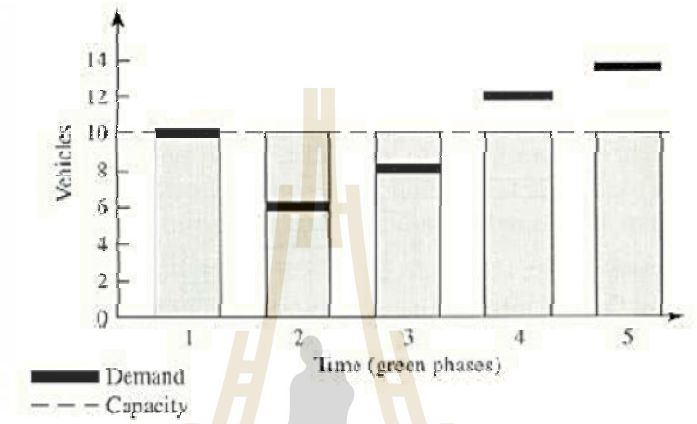
2.2.1 *การควบคุมสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed or Pre-time Control)*

เป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟที่ถูกออกแบบไว้ล่วงหน้าจากข้อมูลปริมาณจราจรเฉลี่ยในอดีต มีความยาวรอบสัญญาณไฟและช่วงระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟคงที่ ดังนั้นหากปริมาณจราจรมีการเปลี่ยนแปลง การควบคุมแบบกำหนดเวลาคงที่จะไม่สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟให้เข้ากับสภาพจราจรได้ จึงนิยมให้มีชุดการควบคุมสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่มากกว่า 1 ชุดหรือสัญญาณไฟจราจรหลายแผน (Multiple-time plan) เช่น แบ่งเป็นชุดการควบคุมในช่วงเวลาเช้า กลางวัน เย็น และหลังเที่ยงคืน เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเฉลี่ยในแต่ละช่วงของวัน ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณสัญญาณไฟจราจรคือสมการที่มาจากทฤษฎีของเวปสเตอร์ (Webster, 1969) เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวหรือทางแยกที่อยู่ห่างกันมาก การคำนวณตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกค่อนข้างคงที่และกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม (Stochastic) วัตถุประสงค์หลักการควบคุมคือทำให้ความล่าช้าที่ทางแยกให้ต่ำที่สุด (ปกาสิต จิรศักดิ์, 2549)

2.2.2 *การควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร (Actuated Control)*

เป็นระบบควบคุมสัญญาณไฟที่มีช่วงระยะเวลาของไฟเขียวไฟแดงในแต่ละขาของทางแยกเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการจราจรซึ่งมีการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร (Detectors) กับจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยปกติแล้วระยะเวลาในแต่ละเฟสของสัญญาณไฟจะเริ่มต้นจากค่าไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) และจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมียวดยานเคลื่อนผ่านเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระยะเวลาเฟสจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรทำให้การควบคุมมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสภาพจราจรในขณะนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความล่าช้าและแถวคอยบริเวณทางแยก

Roess et al. (2010) กล่าวถึงเมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟมีปริมาณไม่คงที่แต่มีระยะเวลาไฟเขียวในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟเท่ากัน ทำให้ในจังหวะสัญญาณไฟที่ 2 และ 3 ซึ่งมีปริมาณจราจรน้อย ไม่สามารถใช้ความจุจากสัญญาณไฟได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้มียวดยานตกค้างอยู่ในแถวคอยในจังหวะสัญญาณไฟที่ 4 และ 5 ทั้งหมด 6 คัน ซึ่งต่ำกว่าระดับความสามารถในการให้บริการที่ 50 คัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณจราจรกับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวแต่ละจังหวะ

ที่มา : (Roess. Prassas และคณะ, 2010)

จากปัญหาดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาระบบสัญญาณไฟจราจรที่สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ซึ่ง ทวี วิชัยเมธาวี (2545) ได้กล่าวถึงหลักการที่ใช้ควบคุม คือ การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรหรือคนเดินเท้าที่ตรวจนับได้จากอุปกรณ์ตรวจนับ โดยที่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะอยู่ภายในขอบเขตสูงสุด (Maximum Green Time) หรือต่ำสุด (Minimum Green Time) ตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และสามารถทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลงได้ การควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยว ไม่ควรใช้กับทางแยกที่มีการเชื่อมต่อกัน เพราะการควบคุมนี้จะไม่สามารถควบคุมจุดเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียว (off-set) ระหว่างทางแยกได้

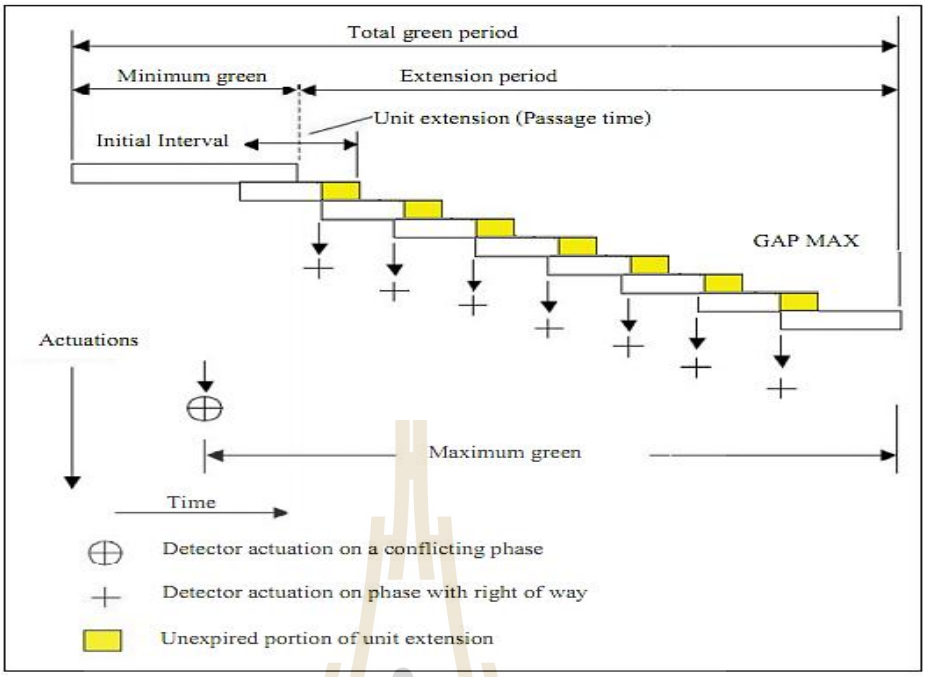
2.2.2.1 การควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuate Signal) เป็นการควบคุมที่จะให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรมากเป็นหลัก โดยมีอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจร (Detector) ติดตั้งบนถนนสายรอง และจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายรองก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับที่ติดตั้งไว้ตรวจพบยวดยานที่กำลังเข้าสู่ทางแยก ระบบถึงจะทำการ

ร้องขอสัญญาณไฟเขียวให้แก่ถนนสายรอง การควบคุมนี้มีข้อเสียในบางกรณีคือหากปริมาณจราจรบนถนนสายรองเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความล่าช้าบนถนนสายหลักสูงมาก การควบคุมนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงเฉพาะกรณีที่ถนนสายรองมีปริมาณจราจรเบาบาง หรือเมื่อต้องการให้กลุ่มของยวดยานเคลื่อนที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงในบางช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ถนนสายหลักที่เชื่อมต่อกับทางเข้า-ออก ที่พักอาศัย สำนักงาน โรงเรียน เป็นต้น

2.2.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Control) การควบคุมนี้จะมีหลักการทำงานคล้ายกับการควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรแต่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรทุกทิศทางและทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกทั้งถนนสายรองและสายหลัก ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการรองรับปริมาณจราจรมากกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร

ปฏิภาณ แก้ววิเชียร (2549) ได้กล่าวว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบควรใช้ควบคุมทางแยกเดี่ยว จะช่วยให้ความล่าช้าที่ทางแยกต่ำกว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาณจราจรเข้าใกล้ความสามารถในการให้บริการหรือระดับความอิ่มตัวเข้าใกล้ 1.0 จะทำให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมากกว่าความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่

ในขั้นตอนการควบคุม ระบบจะทำการคำนวณรอบสัญญาณไฟเพื่อกำหนดระยะเวลาไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green Time) หากในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวต่ำสุดไม่มีการตรวจพบยวดยานและไม่มีการร้องขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น ระบบจะสิ้นสุดจังหวะสัญญาณไฟปัจจุบันและเปลี่ยนไปยังจังหวะสัญญาณไฟที่กำหนดไว้ตามลำดับ แต่หากมีการตรวจพบยวดยานในช่วงระยะห่างระหว่างกันของยวดยานต่อเวลา (Gap) 1-5 วินาที ระบบจะขยายจังหวะสัญญาณไฟเขียวออกไปเรื่อย ๆ (Vehicle Extension) ภายในระยะเวลาส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Passage Time หรือ Unit-Extension) จนกระทั่งไม่มีการตรวจพบยวดยานหรือจนกว่าได้รับสัญญาณไฟเขียวสูงสุด (Maximum Green Time) ดังรูปที่ 2.2



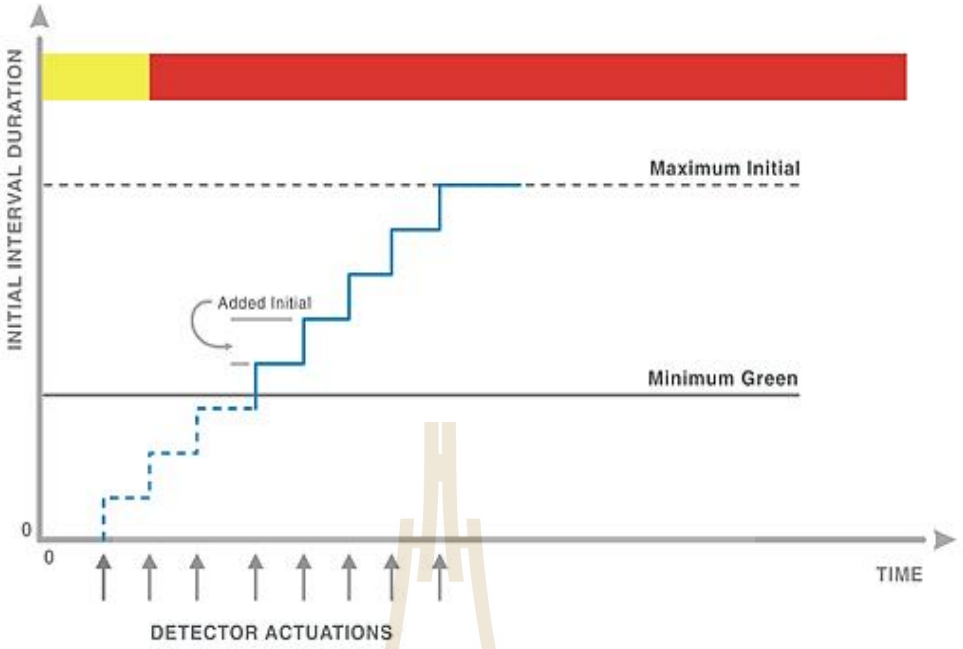
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

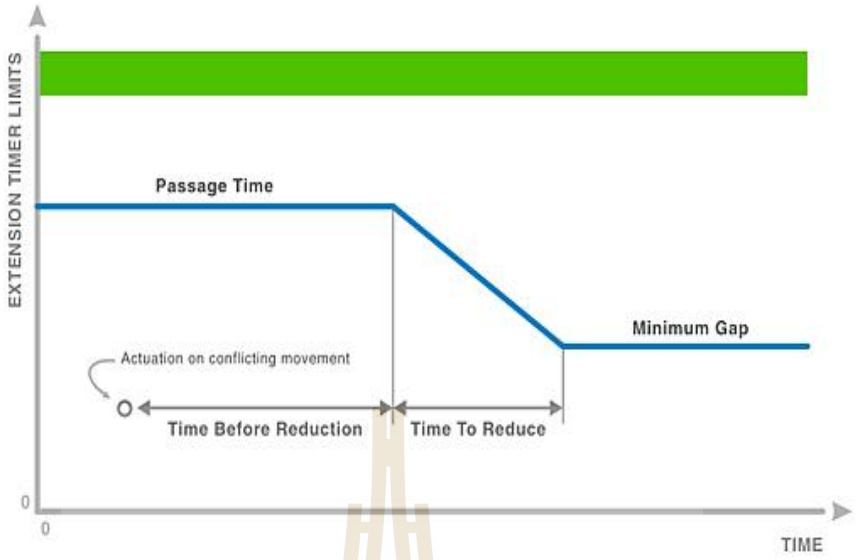
Note: Volume-density could be considered at speeds of 35 mph (56 kph) or above.

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



$$c = \sum (I + G)$$

c

I

G

Start Lag (a)

End Lag (b)

$$Start\ \ Lag\ (a) = I + e\,e' \tag{2.2}$$

$$End\ \ Lag\ (b) = f\ \ f' \tag{2.3}$$

โดยที่ I คือ เวลาระหว่างไฟเขียว (วินาที)

$e\,e'$ คือ เวลาล่าช้าของการเริ่มต้น (วินาที)

$f\ f'$ คือ เวลาล่าช้าการสิ้นสุด (วินาที)

สำหรับเวลาระหว่างไฟเขียวของการเคลื่อนที่ คือ เวลาระหว่างไฟเขียวสองเฟสที่กำลังจะเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ โดยช่วงไฟเขียวประสิทธิภาพจะเริ่ม ($F_i + a$) และเวลาสิ้นสุดคือ ($F_k + b$) เมื่อ F_i และ F_k เป็นเวลาของการเปลี่ยนเฟส ซึ่งเริ่มต้นและหยุดตามลำดับ

2.3.3 *การสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่ (Movement Lost Time)*

การสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่คือ ผลต่างระหว่าง Start Lag Time กับ End Lag Time สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.4

$$\begin{aligned} l &= a - b \\ &= I + e\,e' - f\ f' \end{aligned} \tag{2.4}$$

โดยที่ l คือ เวลาสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่ (วินาที)

$e\,e'$ คือ เวลาล่าช้าของการเริ่มต้น (วินาที)

$f\ f'$ คือ เวลาล่าช้าการสิ้นสุด (วินาที)

จากการสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่ สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Movement Lost Time กับ Display Green Time (G) และเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (g) ได้ดังสมการ 2.5

$$g + l = G + I \tag{2.5}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3.4 *การเคลื่อนที่วิกฤต (Critical Movement)*

เป็นการเคลื่อนที่ที่ใช้การคำนวณความจุและจังหวะสัญญาณไฟของทางแยกจากสมการ (2.1) การเคลื่อนที่วิกฤตได้อธิบายรอบสัญญาณไฟในรูปผลบวกเวลาไฟเขียวประสิทธิผลและเวลาที่สูญเสียไปของการเคลื่อนที่ ในขณะการเคลื่อนที่วิกฤตสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.6

$$c = \sum(g + l) \tag{2.6}$$

โดยที่ c คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)

g คือ เวลาไฟเขียวประสิทธิผลสำหรับการเคลื่อนที่วิกฤต (วินาที)

l คือ เวลาสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่วิกฤต (วินาที)

2.3.5 *เวลาสูญเสียเปล่าของทางแยก (Intersection Lost Time)*

เวลาสูญเสียเปล่าของทางแยก (L) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.7

$$L = \sum l \tag{2.7}$$

โดยที่ L คือ เวลาสูญเสียเปล่าของทางแยก (วินาที)

l คือ เวลาสูญเสียเปล่าของการเคลื่อนที่สำหรับการเคลื่อนที่วิกฤต (วินาที)

2.3.5 *การออกแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Control)*

ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม (Optimum Cycle Time) สามารถคำนวณได้จากสมการของเวปสเตอร์ (Webster,1969)

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum\left(\frac{v}{s}\right)} \tag{2.8}$$

โดยที่ C_0 คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม

L คือ ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไป (Lost time) สำหรับเฟสทั้งหมดในช่วงระยะเวลารวมของสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$\left(\frac{v}{s}\right)$ คือ อัตราส่วนของอัตราการไหลออกแบบที่อัตราการไหลอิ่มตัว สำหรับวิธีการหรือช่องทางที่สำคัญในแต่ละเฟส

2.3.6 *การออกแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร (Actuated Control)*

ในขั้นตอนแรกของการควบคุมจะกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (Minimum Green) โดยการคำนวณจากเวลาที่ยวดยานทั้งหมดที่มีได้ระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$G_{\min} = l + \left[2 \times integer\left(\frac{d}{20}\right)\right] \tag{2.9}$$

โดยที่ G_{min} คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด (วินาที)

d คือ ระยะทางระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับ (ฟุต)

20 คือ ระยะห่างระหว่างยวดยานที่จอดอยู่ในแนวแถวคอยนับจากกันชนหน้าของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (ฟุต)

l คือ เวลาที่ยวดยานคันแรกเริ่มเคลื่อนที่ภายหลังได้รับสัญญาณไฟเขียว (Start-up Time) (วินาที)

2 คือ ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาในสภาพจราจรอิ่มตัว (วินาที)

ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (Passage Time) คือ เวลาที่ยวดยานใช้เดินทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P = \frac{d}{1.47 S_{15}} \tag{2.10}$$

โดยที่ P คือ ส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)

d คือ ระยะทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด (ฟุต)

S_{15} คือ ความเร็วบนช่วงถนนที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (ไมล์ต่อชั่วโมง)

โดยปกติกำหนดให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุดเท่ากับ 1.25 ถึง 1.50 เท่าของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Roess. Prassas และ คณะ, 2010)

2.4 โปรแกรมจำลองจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองสภาพจราจรจากสถานที่จริงหรือสถานการณ์ที่สมมติขึ้นโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โปรแกรมจำลองจราจร ตัวอย่างการจำลอง เช่น การจำลองสภาพจราจรในเมือง การจำลองการควบคุมทางแยก เป็นต้น การจำลองสภาพจราจรมีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบการจราจรมีความซับซ้อนมากทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจร เมื่อเกิดอุบัติการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถสมมติให้เกิดขึ้นจริงในภาคสนามทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจรโดยรวมอย่างเป็นระบบและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต การจำลองสภาพจราจรจึงสามารถใช้ทดสอบการควบคุมจราจรรูปแบบใหม่ ๆ และทดสอบซ้ำได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การจำลองจะให้ค่าตัววัดประสิทธิภาพการจราจรโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องไปจัดเก็บข้อมูลในสนาม อย่างไรก็ดีการจำลองสภาพจราจรก็มีข้อด้อยบางประการเช่น ต้องการใช้ข้อมูลพื้นฐานจำนวนมาก ใช้เวลามากในการสร้างโครงข่ายถนนและแบบจำลองใช้เวลาและงบประมาณมากเพื่อปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง แต่เนื่องจากข้อดีที่ได้รับจากการจำลองสภาพจราจรมีมากกว่าข้อด้อย และเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว ทำให้การจำลองสภาพจราจรเพื่อวิเคราะห์และควบคุมการจราจรได้รับความนิยมเป็นอย่างมากและมีใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน (ทวี วิชัยเมธาวี 2545)

โปรแกรมจำลองการจราจรจำนวนมากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถจำแนกตามลักษณะของการจำลองสภาพจราจรได้เป็น 3 ระดับคือระดับจุลภาค (Microscopic) ระดับมหภาค (Macro-Scopic) และระดับกึ่งจุลภาค (Meso-Scopic) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 *โปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาค* มักใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของยวดยาน (Car–Following Model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane–Changing Model) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของยวดยานแต่ละคัน การขับขี่ของยวดยานคันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็ว ลดความเร็วและหยุด จะมีผลต่อการขับขี่ของยวดยานที่ขับตามมา แต่มักจะไม่มีการคำนึงถึงพฤติกรรมการขับขี่ที่ได้รับผลกระทบมาจากพฤติกรรมการขับขี่ของยวดยานข้างเคียง (ยกเว้นกรณีของการแซงหรือเปลี่ยนช่องทาง)

2.4.2 *โปรแกรมจำลองจราจรระดับมหภาค* ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และอัตราการไหล (Flow) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองกลุ่มยวดยานโดยมีสมมติฐานว่าการวิเคราะห์ค่าการจราจรหาได้จากการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรการจราจรมหภาคที่ไม่คำนึงถึงหรือพิจารณาถึงค่าการจราจรหรือพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน

2.4.3 *โปรแกรมจำลองจราจรระดับกึ่งจุลภาค* เป็นการนำเอาลักษณะการจำลองสภาพการจราจรทั้งระดับมหภาคและระดับจุลภาคมาผสมผสานกัน

เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสื่อสารและคอมพิวเตอร์ที่มีอย่างต่อเนื่องทำให้การพัฒนาโปรแกรมจำลองจราจรมีความก้าวหน้าและมีให้เลือกใช้จำนวนมาก แต่โปรแกรมที่มีความความยืดหยุ่นสูงในการนำไปประยุกต์ใช้และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องพร้อมกับได้รับการยอมรับนั้นมีอยู่ไม่มากนัก ในงานวิจัยนี้จึงยกตัวอย่างโปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาคที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลและโปรแกรมที่มีความสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองสภาพจราจรของงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรม AIMSUN, CORSIM, DRACULA, PARAMICS และVISSIM

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

2.4.3.2 โปรแกรม CORSIM (Coridor Microscopic Simulation) พัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration ใน ปี ค.ศ. 1996 เป็นโปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาคประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย FRESIM ใช้จำลองสภาพจราจรบนทางหลวง (Freeway) และ NETSIM ใช้จำลองสภาพจราจรในเมือง สามารถใช้จำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่และสัญญาณไฟแบบปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร แต่ไม่มีเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณเพื่อให้การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟดีที่สุด

2.4.3.3 โปรแกรม DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro- simulation) พัฒนาโดยสถาบันการศึกษาด้านการขนส่งของมหาวิทยาลัยลีดส์ (Institute for Transport Studies, University of Leeds) เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคใช้

จัดเส้นทางการเดินทางในเมือง (Urban Traffic Assignment Model) ที่สามารถจำลองสภาพจราจรแต่ละวันได้ต่อเนื่องกันตลอด 24 ชั่วโมง ผู้ขับขี่แต่ละคนจะเลือกเส้นทางเดินทางตามสภาพจราจรและประสบการณ์ที่เรียนรู้จากแบบจำลองย่อย (Learning Sub-Model)

2.4.3.4 โปรแกรม PARAMICS (Parallel Micro Simulation) พัฒนาขึ้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ในเอดินเบอร์ (Edinburgh Parallel Computing Center) ประเทศสก๊อตแลนด์ ปี ค.ศ. 1992 เป็นโปรแกรมจำลองจราจรระดับจุลภาคใช้จำลองสภาพจราจรที่พิจารณาการขับขี่ของยวดยานแต่ละคันในโครงข่ายถนนที่มีการจราจรแออัด สามารถแสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจนโดยใช้สี สามารถใช้ทดสอบการแนะนำเส้นทาง (Route Guidance) การเลือกเส้นทางเดินทาง (Route Choice) และสามารถตรวจวัดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจราจรได้

2.4.3.5 โปรแกรม VISSIM พัฒนาโดย PTV System Software and Consulting GMBH ประเทศสาธารณรัฐเยอรมนี เป็นโปรแกรมระดับจุลภาคที่มีความยืดหยุ่นสูงใช้สำหรับจำลองสภาพจราจรในเมืองและการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ใช้ประเมินทางเลือกด้านการจัดการจราจร สามารถรายงานค่าสถิติต่าง ๆ ได้เช่น รายละเอียดเวลาที่ใช้เดินทางและสถิติความล่าช้า สถิติความยาวแถวคอย รายละเอียดข้อมูลการจัดจังหวะควบคุมสัญญาณไฟจราจร การทำงานของอุปกรณ์ตรวจนับและการขอสัญญาณไฟเขียวจากยานพาหนะในระบบขนส่งมวลชน สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางเคลื่อนที่ได้ของยวดยานกับเวลา (Time Space Diagram) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (Speed Profile)

2.5 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis)

นำชัย (2552) การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (1 ตัวแปร) และตัวแปรอิสระ (มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ตัวแปร) โดยที่ตัวแปรตาม (Y) มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม เมื่อได้แบบแผนความสัมพันธ์ (สมการพยากรณ์) แล้วสามารถนำแบบแผนดังกล่าวไปใช้ประมาณค่ากลุ่มได้ โดยอาศัยความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ การวิเคราะห์การถอดถอยโลจิสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Binary Logistic Regression ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า (ตัวแปรทวิ) เช่น Y=1 ถ้าคนไข้มีการติดเชื้อ หรือ Y=0 ถ้าคนไข้ไม่มีการติดเชื้อ

2. Multinomial Logistic Regression ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่ามากกว่า 2 ค่า เช่น Y=0 หมายถึงไม่เป็นโรคมะเร็ง Y=1 หมายถึงการเป็นโรคมะเร็ง ... Y=4 หมายถึงการเป็นมะเร็งขั้นสุดท้าย

2.5.1 *รูปแบบสมการการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก*

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกสมการพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบการวิเคราะห์จะเป็น สมการแสดงความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ ที่สนใจ (Probability of Event)

$$\hat{Y}_i = \frac{e^u}{1+e^u} \tag{2.11}$$

เมื่อ $\hat{Y}_i$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ

โดยที่ $u = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n$ (2.12)

และสามารถอยู่ในรูปเชิงเส้น (Linear Model) ได้เป็น

$$\ln\left[\frac{\hat{Y}}{1-\hat{Y}}\right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n \tag{2.13}$$

เมื่อ β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)

X_i คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

2.5.2 *ข้อตกลงเบื้องต้นและข้อจำกัด*

ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถเป็นได้ทั้งตัวแปรเชิงคุณภาพและปริมาณโดยไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกยังมีข้อตกลงเบื้องต้นที่คล้ายการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์บางประการได้แก่

1.) ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (ไม่เกิดปัญหา Multicollinearity)

2.) หากจำนวน Case ในเหตุการณ์ที่สนใจมีน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถคำนวณพารามิเตอร์ในสมการพยากรณ์ได้

3.) ตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพจะมีข้อจำกัดแบบเดียวกันกับการวิเคราะห์สถิติไคสแควร์

4.) ข้อมูลที่เป็น Extreme Values ในตัวแปรอิสระที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณจะมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

2.5.3 *การตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดล (Goodness of Fit)*

ศิริชัย กาญจนวาสี (2554) ในการตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ประกอบไปด้วย

2.5.3.1 Log Likelihood (-2LL) พิจารณาได้จากค่าความน่าจะเป็น (Likelihood Value) ของโมเดล ซึ่งเท่ากับค่า -2 Log Likelihood (-2LL) เหตุที่คูณ Log Likelihood ด้วย -2 เพื่อให้ค่าที่ได้มีการแจกแจงคล้าย Chi-Square สำหรับทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าค่า -2LL มีค่าต่ำแสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ หากมีค่า 0 แสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างสมบูรณ์ (ค่า Likelihood เป็น 1 ดังนั้น -2LL จึงเป็น 0) ถ้าค่า -2LL มีค่าสูงแสดงถึงความไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ในการทดสอบนัยสำคัญความสอดคล้องของโมเดล ใช้ Chi-Square Test สมมุติฐานศูนย์ที่ว่า H_0 : โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

2.5.3.2 Chi-Square (i^2) การทดสอบ Model Chi-Square ที่ df = p (จำนวนตัวแปรทำนาย) เป็นการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า H_0 : สัมประสิทธิ์ถดถอยแบบโลจิสติคทุกตัวมีค่าเท่ากับ 0

$$H_0 : {}_1 = {}_2 \ldots = {}_k = 0$$
$$H_1 : \text{Not all } {}_i = 0$$

ถ้าสถิติทดสอบ Chi-Square มีนัยสำคัญ แสดงว่า ชุดของตัวแปรนำนายสามารถร่วมกันทำนายโอกาสของการเกิดเหตุการ (Y=1) ได้ด้วยความเชื่อมั่น $(1 - \sim) \times 100$ % (การแปลผลสถิติทดสอบ Chi-Square คล้ายกับสถิติทดสอบ F-Test สำหรับทดสอบสมมุติฐาน H_0 : $R^2 = 0$ ใน Regression)

สำหรับค่า R^2 สามรถคำนวณได้จากสูตร

$$R_{log\,it}^{\ 2} = \frac{-2log\,L_{NULL} - \left[2log\,L_{MODEL}\right]}{-2log\,L_{NULL}} \qquad (2.14)$$

นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความเหมาะสมของโมเดลจากความถูกต้องของการทำนายว่าสมการสามารถทำนายการเกิดเหตุการณ์จากข้อมูลจริงได้ถูกต้องร้อยละเท่าใด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 *การศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร*

Feng-Bor Lin และคณะ (1991) ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพและองค์ประกอบของการควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Control) ซึ่งในงานวิจัยได้มีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Control) กับการควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Control) ทั้งในลักษณะทางกายภาพแบบสามแยกและสี่แยก รวมทั้งการพิจารณาเฟสสัญญาณไฟที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองสภาพจราจรในการศึกษา จากนั้นนำมาพร็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้ารวมที่เพิ่มขึ้นกับเปอร์เซ็นต์อัตราการไหลในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ผลการศึกษาพบว่าความล่าช้าของการควบคุมสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์อัตราการไหลของกระแสจราจรเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการควบคุมสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ รวมไปถึงการศึกษาความแตกต่างของความล่าช้าระหว่างสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรกับแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ และพบว่าในกรณีที่ปริมาณจราจรบนถนนสายรองน้อยจะมีความแตกต่างของความล่าช้าระหว่างการควบคุม 2 รูปแบบนี้น้อยมาก

Bradley W. (1993) ได้ทำการศึกษาถึงข้อดีข้อเสียและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ สัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรและสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ โดยแบ่งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ปกติเปรียบเทียบกับแบบที่เพิ่มเวลาคนเดินข้าม ทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจร Traf-Netsim บนทางแยกเดี่ยว ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบมีความล่าช้ารวมน้อยกว่าสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร 14 เปอร์เซ็นต์ และสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่บวกเวลาคนเดินข้ามมีความล่าช้ามากกว่าสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ปกติเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังเป็นเพียงจุดเริ่มต้น ไม่สามารถสรุปผลที่แม่นยำได้เนื่องจากปริมาณข้อมูลและจำนวนตัวอย่างยังไม่เพียงพอ

ทวี วิชัยเมธาวี (2545) ศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอิ่มตัวและอิ่มตัวมาก โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS ที่มีตัวกลางติดต่อสื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) ทำการทดสอบบนถนนโครงข่ายแบบปิดที่มีลักษณะเป็นตาราง (Grid Network) มีระยะห่างระหว่างทางแยกเท่ากันจำนวน 2 โครงข่าย (ที่เกิดจากการตัดกันของถนนสายหลัก 2 สาย) โดยใช้หลักการปรับสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับข้อมูลการจราจรแบบทันกาลและป้องกันการเกิด

แถวคอยกีดขวางทางแยกต้นทาง ใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพได้แก่ จำนวนรถที่ตกข้างในโครงข่าย จำนวนรถที่ออกจากโครงข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่รถวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ผลการศึกษาพบว่า ในสภาพจราจรอิ่มตัว วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองตามปริมาณจราจรโดยใช้ระดับความอิ่มตัวสูงสุดของแต่ละสัญญาณไฟจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ และในสภาพจราจรอิ่มตัวมาก วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองตามปริมาณจราจรโดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว เป็นวิธีที่มีประสิทธิ ภาพดีกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและใช้วิธีพื้นที่ว่างหลังแถวคอย

ปฏิภาณ แก้ววิเชียร (2549) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร (Vehicle-Actuated) เพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว มีลักษณะของทางแยกเป็นถนนสายหลักตัดกับถนนสายรอง และใช้ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล เปรียบเทียบผลการศึกษาโดยใช้วิธีทางสถิติทดสอบความแตกต่างของความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยแบบคู่ (Paired Observations) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ได้ผลการศึกษาจากการพิจารณารวมทุกช่วงเวลาพบว่า ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยรวมทุกขาที่ทางแยกมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร เมื่อพิจารณาแต่ละขาบนทางแยกพบว่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายหลักมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายรองมีค่าลดลงภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร

พรฑิตา ถามะพันธ์ (2557) ศึกษาการจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนถนนทางหลวงสายหลัก ซึ่งใช้ทางแยกหน้าทางเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นกรณีศึกษา มีลักษณะทางกายภาพเป็นสามแยก ถนนสายหลักเป็นถนนหลวงเส้น 304 ราชสีมา-ปักธงชัย ตัดกับถนนสายรองถนนมหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษารูปแบบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมด้วยการ ประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองจราจร AIMSUN จำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจร 3 รูปแบบได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบคงที่หลายแผน (Multiple-Time Plan) สัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Control) และสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Full-Actuated Control) จากผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบทำให้การจัดการจราจรบริเวณทางแยกดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งวัดผลจากตัวชี้วัดประสิทธิผลเปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองสัญญาณไฟจราจรทั้ง 3 รูปแบบได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณทางแยก เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) และเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร)

สรุปผลการศึกษางานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรพบว่ามีการศึกษาในเรื่องประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรที่หลากหลายเช่น รูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ สัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ มีทั้งลักษณะการศึกษาบนทางแยกเดี่ยวและบนโครงข่ายประสานงาน โดยในบางงานวิจัยได้มีการนำตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรมาใช้ในการประเมิน ซึ่งใกล้เคียงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยจะสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรของงานวิจัยต่าง ๆ เทียบกับผลของงานวิจัยนี้ได้

2.6.2 *การศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร*

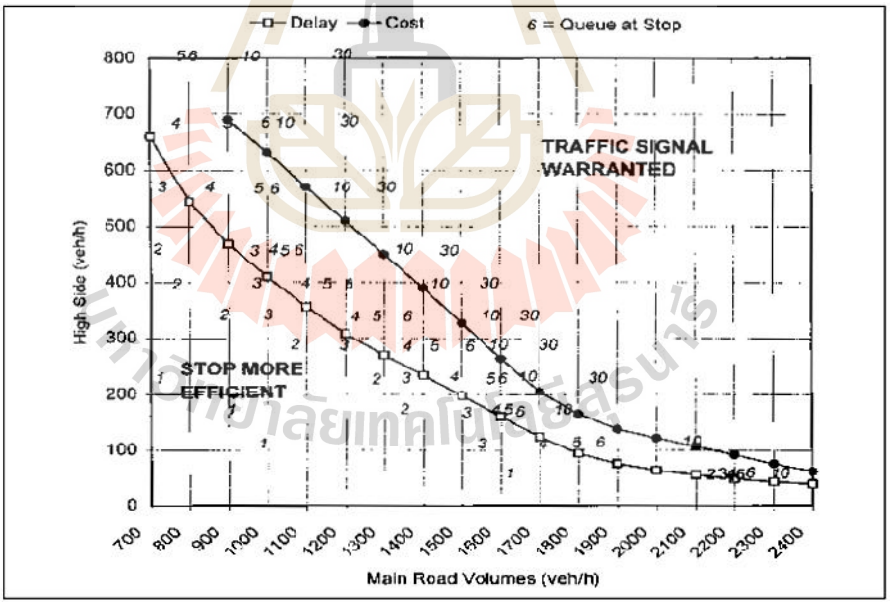
James C. และ Siamak A. (1996) ได้ศึกษาผลกระทบของการติดตั้งสัญญาณไฟและพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจว่าควรที่จะติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่บริเวรทางแยกหรือไม่ ในกรณีที่ทางแยกยังไม่เกณฑ์ของ MUTCD (Manual Uniform Traffic Control Devices) และ TxDOT ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวชี้วัดในเรื่องลักษณะทางกายภาพและปริมาณจราจรได้แก่กรณีปริมาณจราจร 172 กรณี ลักษณะทางกายภาพ 8 กรณีและรูปแบบการแปรผันของปริมาณจราจรระหว่างวัน 24 ชั่วโมงทั้งหมด 12 รูปแบบ ทำการจำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบ Two-Way Stop, All-Way Stop และ Fully-Actuated Control จำลองบนโปรแกรมจำลองจราจร Traf-Netsim ใช้ความล่าช้ารวม, ความล่าช้าเนื่องจากการหยุด และจำนวนรถที่หยุดเป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล ผลการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบ Two-Way Stop มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการจัดการจราจร รูปแบบ All-Way Stop มีประสิทธิภาพแย่ที่สุดในการจัดการจราจร ส่วน Fully-Actuated Control มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 2 รูปแบบการควบคุมข้างต้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องเงื่อนไขเกี่ยวกับการทดสอบทางแยกที่ยังไม่เข้าเกณฑ์ของ MUTCD และ TxDOT และยังต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสัญญาณไฟเพิ่มเติมต่อไป

จากงานวิจัยของ James C. และ Siamak A. (1996) พบว่ามีคล้ายคลึงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการควบคุมจราจรบริเวณทางแยก ระหว่างรูปแบบที่ไม่ติดตั้งสัญญาณไฟจราจรกับรูปแบบที่ติดตั้งสัญญาณไฟจราจร และมีตัวชี้วัดด้านปริมาณจราจรที่เหมือนกันได้แก่ รูปแบบการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน (Hourly Volume) ที่มีลักษณะการแปรผันแตกต่างกัน 12 รูปแบบ แต่จะมีความแตกต่างจากงานวิจัยนี้เล็กน้อยเกี่ยวกับการพิจารณารูปแบบการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันที่ออกมาในรูปเชิงสัดส่วน

A. Skabardonis และคณะ (1998) ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับการเลือกรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรต่าง ๆ แบบประสานงานได้แก่ รูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่แบบกึ่งตามปริมาณจราจรและแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ ซึ่งได้ศึกษาจากตัวอย่างบนถนน 14 เส้นในเมืองต่าง ๆ ของสหัฐอเมริการวม 209 ทางแยก โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจร NETSIM เพื่อประเมินผล และใช้วิธีแบ่งเกณฑ์การเลือกรูปแบบสัญญาณไฟจราจรจากตัวชี้วัด 4 ตัวได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิ่มตัวบนถนนสายรอง (V/c) ใช้เกณฑ์แบ่งที่มากกว่า 0.8 และน้อยกว่า 0.8 ปริมาณรถเลี้ยวบนถนนสายหลักใช้เกณฑ์แบ่งที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จำนวนเฟสสัญญาณไฟจราจรใช้เกณฑ์แบ่งที่ 2 เฟส, 4 เฟส และ 8 เฟส อัตราส่วนของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักต่อปริมาณจราจรบนถนนสายรอง (R) ใช้เกณฑ์แบ่งที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.3 และมากกว่า 1.3 ซึ่งหลังจากที่มีการประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรูปแบบสัญญาณไฟปัจจุบันและหลังการใช้เกณฑ์การเลือกติดตั้งสัญญาณไฟจราจรพบว่า 2 ตัวอย่างทางแยกที่นำมาประเมินสามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยทั้งหมดได้ 42.37 % และ 24.05 % ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ A. Skabardonis และคณะ (1998) มีความใกล้เคียงกับวัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ในเรื่องการพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาเลือกรูปการติดตั้งสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ แบบกึ่งตามปริมาณจราจร และแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ แต่จะแตกต่างกันในเรื่องการควบคุมที่เป็นลักษณะแบบประสานงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาทางแยกที่มีลักษณะเป็นทางแยกเดี่ยว สำหรับตัวชี้ด้านปริมาณจราจรที่น่าสนใจได้แก่ ปริมาณรถเลี้ยว และอัตราส่วนของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักต่อปริมาณจราจรบนถนนสายรอง

Paul J. Carlson (1998) ศึกษาและประเมินประสิทธิภาพเกณฑ์การพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการพิจารณาเกณฑ์ต่าง ๆ ของ TxDOT, State DOTs และ City Engineers ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ศึกษามาตรฐานด้านวิศวกรรมจราจรมาประยุกต์เข้ากับเกณฑ์ที่ใช้อยู่ของ MUTCD (Manual Uniform Traffic Control Devices) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาเกี่ยวกับผลกระทบของรถขนาดใหญ่ ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนที่มีปริมาณรถขนาดใหญ่ 20 เปอร์เซ็นต์เทียบกับปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนที่ไม่มีปริมาณรถขนาดใหญ่ โดยผลการศึกษาพบว่าค่า E_d (Elasticity) ของทั้งสองแบบมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งหมายถึงเปอร์เซ็นต์ของรถขนาดใหญ่ไม่มีผลกระทบต่อความล่าช้าของทางแยกในกรณีติดตั้งสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่


Delay
Cost
6 = Queue at Stop
TRAFFIC SIGNAL WARRANTED
STOP MORE EFFICIENT
High Side (veh/h)
Main Road Volumes (veh/h)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400

Break-Even ลากผ่านมีจำนวนแถวคอยเฉลี่ยอยู่ที่ 4 คัน ซึ่งประเมินได้ว่าหากความยาวแถวคอยเฉลี่ยที่ทางแยกมีมากกว่า 4 คัน การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบ Fully-Actuated จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมทางแยกรูปแบบ Two-Way Stop แต่หากความยาวแถวคอยเฉลี่ยน้อยกว่า 4 คัน การควบคุมทางแยกรูปแบบ Two-Way Stop จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบ Fully-Actuated ซึ่งในกรณีความยาวแถวคอยมีมากกว่า 10 คันผู้วิจัยแนะนำให้ใช้เกณฑ์จากจุด Break-Even Cost ซึ่งรายละเอียดอยู่ในงานวิจัยของ Sampson, J.D. (1992) “Warrant for Traffic Signals”

จากงานวิจัยของ Sampson, J.D. (1999) มีความคล้ายคลึงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยได้ศึกษาเครื่องมือที่ใช้สำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกลักษณะการควบคุมจราจรบริเวณทางแยก แต่จะแตกต่างกันในเรื่องรูปแบบการควบคุมจราจรที่ใช้พิจารณา อย่างไรก็ตามมีการศึกษาตัวชี้วัดด้านปริมาณจราจรที่น่าสนใจได้แก่ การแปรผันของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรองซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้โดยตรง รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประสิทธิภาพการควบคุมทางแยกระหว่างสองรูปแบบเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้ง

Dra□ en (2004) ศึกษาและวิเคราะห์เกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะติดตั้งรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ จากเกณฑ์ที่มีอยู่ของ MUTCD (Manual Uniform Traffic Control Devices) โดยใช้ Synchro Software เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการจำแนกลักษณะทางกายภาพของทางแยกออกเป็นสามแยกและสี่แยก มีจำนวนเลนที่แตกต่างกัน รวมถึงวิเคราะห์การกระจายตัวของปริมาณจราจรที่ผ่านทางแยก แบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทางได้แก่ เปอร์เซ็นต์ปริมาณรถเลี้ยวซ้าย ตรง และเลี้ยวขวา โดยใช้ความล่าช้าเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล มีการวิเคราะห์ทั้งแบบไม่มีสัญญาณไฟจราจร สัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ และสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจร โดยผลการศึกษาพบว่า ความล่าช้าของแต่ละรูปแบบสัญญาณไฟมีความแตกต่างกันจากการจำแนกลักษณะทางกายภาพและการพิจารณาการกระจายทิศทางของปริมาณจราจร จึงได้เสนอ 3 ปัจจัยที่เกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่มีอยู่ของ MUTCD ควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมได้แก่ 1.) ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรองยังไม่มีการพิจารณาการกระจายตัวของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง 2.) Warrant 2 และ 3 ซึ่งกล่าวถึงการใช้ปริมาณจราจรระหว่างวันบนถนนสายหลักและสายรอง 4 ชั่วโมง และปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนบนถนนสายหลักและสายรองในการพิจารณา ยังไม่มีเกณฑ์ที่ใช้สำหรับพิจารณารูปแบบสามแยก 3.) เกณฑ์ที่ใช้ยังค่อยข้างพิจารณาบนภาพรวมทั้งโครงข่ายไม่พิจารณาเจาะลึกลงรายละเอียดที่เฉพาะลงไป

จากงานวิจัยของ Dra□ en (2004) เป็นเพียงการศึกษาเพิ่มเติมจากเกณฑ์ที่มีอยู่ของ MUTCD โดยเน้นศึกษาไปที่การพิจารณาด้านลักษณะทางกายภาพ มีเพียงตัวชี้วัดเดียวที่เกี่ยวข้อง

กับปัจจัยด้านปริมาณจราจรคือ เปอร์เซ็นต์การกระจายของปริมาณจราจรในแต่ละทิศทาง ซึ่งส่งผลต่อความล่าช้าที่เกิดขึ้น เป็นอีกตัวชี้วัดที่น่าสนใจในการประเมินประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้

Xuesong และคณะ (2010) ศึกษาการประเมินเกณฑ์ที่จะตัดสินใจติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ ในหัวข้อการพิจารณาจากปริมาณจราจร 4 ชั่วโมง (Four-Hour-Volume Traffic Signal Warrant) ของ MUTCD (Manual Uniform Traffic Control Devices) ซึ่งผู้วิจัยได้ประยุกต์เงื่อนไขโดยใช้ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรองที่แตกต่างกัน 10 รูปแบบ จำนวนเลนที่แตกต่างกันบนถนนสายหลักและสายรอง 5 รูปแบบ เปอเซ็นต์ของรถขนาดใหญ่ 3 รูปแบบ และสัดส่วนการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยวอีก 4 รูปแบบ จากนั้นทดสอบด้วยโปรแกรมแบบจำลองสภาพจราจร CORSIM เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละเงื่อนไขและผลกระทบจากตัวชี้วัดที่สนใจ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยวทำให้เกิดความล่าช้าบนถนนสายรองที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในกรณีที่ถนนสายหลักมีจำนวนเลนมากกว่าถนนสายรอง และความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์รถขนาดใหญ่พบว่าจะมีผลกระทบเฉพาะในกรณีของทางแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจรควบคุม ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำให้มีการพิจารณารูปแบบของจำนวนเลนและการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยวเพิ่มเติมในเกณฑ์การพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่

จากงานวิจัยของ Xuesong และคณะ (2010) เป็นการประเมินเกณฑ์ที่จะตัดสินใจพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เพิ่มเติมจากของ MUTCD ซึ่งยังแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่ต้องการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจของรูปแบบสัญญาณไฟจราจร 3 รูปแบบ แต่มีตัวชี้วัดที่น่าสนใจหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับปริมาณจราจร ที่สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณารูปแบบสัญญาณไฟแบบอื่น ๆ ซึ่งจากผลการประเมินตัวชี้วัดด้านปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรอง และการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยว เป็นตัวชี้วัดที่ส่งผลต่อความล่าช้าของสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ ซึ่งในขณะเดียวกันเปอร์เซ็นต์รถขนาดใหญ่ก็อาจจะส่งผลต่อสัญญาณไฟรูปแบบอื่น ๆ

สรุปผลการศึกษางานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า ผู้วิจัยส่วนใหญ่เลือกที่จะศึกษาเกณฑ์การติดสินใจติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ โดยการศึกษาในกรณีเพิ่มเติมหรือใช้ข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ของ MUTCD (Manual Uniform Traffic Control Devices) มีเพียงงานวิจัยบางส่วนที่ศึกษาและพัฒนาเครื่องที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการควบคุมหรือรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบอื่น ๆ

แต่อย่างไรก็ตามในเรื่องของปัจจัยและรูปแบบสัญญาณไฟที่ใช้ในการศึกษายังมีการศึกษาที่ค่อนข้างจำกัด เนื่องจากการวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรค่อนข้างมีความละเอียดอ่อนและซับซ้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่น่าสนใจได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรอง ปริมาณรถเลี้ยว ปริมาณรถขนาดใหญ่ และอัตราส่วนของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักต่อปริมาณจราจรบนถนนสายรอง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปและจำแนกหัวข้อที่มีความสำคัญได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร และการศึกษาเกี่ยวกับเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อ แหล่งอ้างอิง รูปแบบสัญญาณไฟจราจร พารามิเตอร์ที่ศึกษา เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ และตัวชี้วัดประสิทธิผล ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร

แหล่งอ้างอิง (ปี)	*รูปแบบสัญญาณไฟจราจร*	*พารามิเตอร์ที่ศึกษา*	*เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์*	*ตัวชี้วัดประสิทธิผล*
Feng-Bor Lin และคณะ (1991)	- Semi-Actuated - Fully-Actuated **(Isolate)**	- ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน - ปริมาณจราจรบนถนนรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน - เปอร์เซ็นต์อัตตราการไหลอิ่มตัว - จำนวนเฟสสัญญาณไฟจราจร	N/A	- ความล่าช้าเฉลี่ย
Bradley W. (1993)	- Fixed-time - Semi-Actuated - Fully-Actuated **(Isolate)**	- ผลกระทบจากสัญญาณไฟคนเดินข้าม	TRAF-NETSIM	- ความล่าช้าเฉลี่ย
ทวี วิชัยเมธาวี (2545)	- Fixed-time - Vehicle Actuated (Special Design) - Vehicle Actuated **(Coordinate)**	- ปรับสัญญาณไฟจราจรให้สอดคล้องกับข้อมูลการจราจรแบบทันกาล	แบบจำลองจราจร PARAMICS และโปรแกรม API	- จำนวนรถที่ตกค้างที่ในโครงข่าย - จำนวนรถที่ออกจากโครงข่าย - ความเร็วเฉลี่ย - ระยะทางที่รถวิ่งบนโครงข่าย
ปฏิภาณ แก้ววิเชียร (2549)	- None Traffic Control - Vehicle Actuated **(Isolate)**	- เปรียบเทียบความแตกต่างกันของความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยแบบคู่ (Paired Observations)	N/A	- ความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง (ปี)	*รูปแบบสัญญาณไฟจราจร*	*พารามิเตอร์ที่ศึกษา*	*เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์*	*ตัวชี้วัดประสิทธิผล*
พรทิตา ถามะพันธ์ (2557)	- Fixed-time - Semi-Actuated - Fully-Actuated **(Isolate)**	- เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจร	AIMSUN	- ความล่าช้าเฉลี่ย - ความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 การศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

แหล่งอ้างอิง (ปี)	*รูปแบบสัญญาณไฟจราจร*	*พารามิเตอร์ที่ศึกษา*	*เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์*	*ตัวชี้วัดประสิทธิผล*
James C. และ Siamak A. (1996)	- Two-Way Stop - All-Way Stop - Fully-Actuated **(Isolate)**	- ลักษณะทางกายภาพ 8 ตัวอย่าง - รูปแบบการแปรผันปริมาณจราจร 12 รูปแบบ - อุบัติเหตุ	TRAF-NETSIM	- ความล่าช้าทั้งหมด - ความล่าช้าเนื่องจากการหยุด
A. Skabardonis และคณะ (1998)	- Fixed-time - Semi-Actuated - Fully-Actuated **(Coordinate)**	- อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิ่มตัวบนถนนสายรอง (V/c) - อัตราส่วนของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักต่อปริมาณจราจรบนถนนสายรอง (R) - เปอร์เซ็นต์รถเลี้ยวบนถนนสายหลัก - จำนวนเฟสสัญญาณไฟจราจร	NETSIM	- ความล่าช้าเฉลี่ย
Paul J. Carlson (1998)	- Fixed-time **(Isolate)**	- ผลกระทบของรถขนาดใหญ่ 0 %, 20%	N/A	- ความล่าช้าเฉลี่ย
Sampson, J.D. (1999)	- Two-Way Stop - Vehicle Actuated **(Isolate)**	- ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน - ปริมาณจราจรบนถนนรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน - ความยาวแถวคอยสูงสุด	SIMTRA	- ความล่าช้าเฉลี่ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 การศึกษาเกณฑ์การติดตั้งสัญญาณไฟจราจร (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง (ปี)	*รูปแบบสัญญาณไฟจราจร*	*พารามิเตอร์ที่ศึกษา*	*เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์*	*ตัวชี้วัดประสิทธิผล*
Dra□ en (2004)	- None Traffic Control - Fixed-time - Semi-Actuated - Fully-Actuated **(Isolate)**	- ลักษณะทางกายภาพ 3 แยก, 4 แยก - เปอร์เซ็นต์รถเลี้ยวซ้าย ตรง เลี้ยวขวา	Synchro Software	- ความล่าช้าเฉลี่ย
Xuesong และคณะ (2010)	- Fixed-time **(Isolate)**	- ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน - ปริมาณจราจรบนถนนรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน - รูปแบบจำนวนเลน - สัดส่วนการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยวซ้าย ตรง เลี้ยวขวา - เปอร์เซ็นต์รถขนาดใหญ่ 5 %, 10%, 20%	CORSIM	- ความล่าช้าเฉลี่ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยส่วนใหญ่เลือกใช้ได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน สัดส่วนการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยว เปอร์เซ็นต์รถขนาดใหญ่และลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษารูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน ผู้วิจัยจึงเลือกพิจาณาเฉพาะพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณจราจรเพียงอย่างเดียวซึ่งจะสรุปอยู่ในบทที่ 3

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การดำเนินการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการศึกษาประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา การจำลองจราจรและวิเคราะห์ผลของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่างๆ การสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ Logistic Regression และการสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 3.1 ดังนี้

1. ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประสิทธิภาพและเกณฑ์การติดตั้งของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่างๆ ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร โปรแกรมจำลองจราจร และทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

2. ดำเนินการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างทางแยก และการออกแบบข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองจราจร โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการนำเสนอของผู้วิจัย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

3. จำลองรูปแบบสัญญาณไฟจราจร 3 รูปแบบได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Traffic Signal) สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Traffic Signal) และสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Traffic Signal) บนทางแยกตัวอย่างทั้งหมด 375 กรณีด้วยแบบจำลองจราจรโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun

4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองจราจรโดยพิจารณาในแต่ละขาที่เข้าสู่ทางแยก

5. นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองจราจรในแต่ละกรณีมาใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรด้วยวิธีทางสถิติแบบ Logistic Regression

6. สร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรจากผลการวิเคราะแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก

7. สรุปผลการศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะ

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเภทข้อมูล	*ข้อมูลที่ใช้*	*หน่วยที่ใช้*	*แหล่งอ้างอิง*
ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมทั้งสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน	400-1600	คันต่อชั่วโมง	Feng-Bor Lin และคณะ (1991) Sampson, J.D. (1999) Xuesong และคณะ (2010)
ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน	50-500	คันต่อชั่วโมง	Feng-Bor Lin และคณะ (1991) Sampson, J.D. (1999) Xuesong และคณะ (2010)
สัดส่วนการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยว	10-40	เปอร์เซ็นต์	Dra□ en (2004) Xuesong และคณะ (2010)
เปอร์เซ็นต์ปริมาณรถขนาดใหญ่	0-20	เปอร์เซ็นต์	Paul J. Carlson (1998) Xuesong และคณะ (2010)
อัตราส่วนของปริมาณจราจรบนถนนสายหลักต่อปริมาณจราจรบนถนนสายรอง	> 1.3 < 1.3	-	A. Skabardonis (1998)

โดยผู้วิจัยได้เลือกพารามิเตอร์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งมาจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 2 ตัวแปรได้แก่

1.) ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมทั้งสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน หมายถึง ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกบนถนนสายหลักรวมกันทั้งสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน มีหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมง กำหนดค่าที่ใช้ 5 กรณี ได้แก่ 400, 800, 1200, 1600 และ 2000 คันต่อชั่วโมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.) ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน หมายถึง ปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกบนถนนสายรองเฉพาะขาที่มีปริมาณจราจรสูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน มีหน่วยเป็น คันต่อชั่วโมง กำหนดค่าที่ใช้ 5 กรณี ได้แก่ 50, 150, 250, 350 และ 450 คันต่อชั่วโมง

ซึ่งค่าที่กำหนดขึ้นมาของทั้ง 2 พารามิเตอร์จัดอยู่ในช่วงของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยของ Feng-Bor Lin และคณะ (1991), Sampson, J.D. (1999) และ Xuesong และคณะ (2010) รวมทั้งอยู่ในช่วงของข้อมูลตามปริมาณจราจรที่สำรวจได้จริงของแยกสีดา (ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมทั้งสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน 1576 คันต่อชั่วโมง, ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน 397 คันต่อชั่วโมง) เหตุผลในการเลือกสองพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ง่ายต่อการสำรวจข้อมูลเมื่อต้องการนำไปประยุกต์ใช้จริง และเป็นพารามิเตอร์ที่งานวิจัยต่าง ๆ นิยมเลือกใช้เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการแปรผันของปริมาณจราจร ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่มีในข้อมูลตัวอย่างทางแยกเช่น สัดส่วนการกระจายตัวของปริมาณรถเลี้ยวเปอร์เซ็นต์ปริมาณรถขนาดใหญ่ จะถูกกำหนดให้ใช้เป็นค่าคงที่ตามสัดส่วนปริมาณจราจรที่สำรวจได้จริงซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3

3.2.2.1) *พารามิเตอร์จากการนำเสนอ* ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้มีการนำเสนอพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายลักษณะการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันได้แก่ค่า Peak Day Factor ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรรวมในระหว่างวันที่พิจารณาเทียบกับปริมาณจราจรรวมสูงสุดที่เป็นไปได้ในระหว่างวัน (แสดงดังดังสมการที่ 3.1) โดยค่า Peak Day Factor สูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้จะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีปริมาณจราจรในระหว่างวันคงที่ทุกช่วงเวลา ซึ่งมีหลักการคล้ายกับค่า Peak Hour Factor ที่อธิบายถึงสัดส่วนระหว่างปริมาณจราจรรวมในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงเทียบกับปริมาณจราจรสูงสุดที่เป็นไปใน 1 ชั่วโมง (ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรที่ใช้ในแบบจำลองอยู่ในภาคผนวก ก)

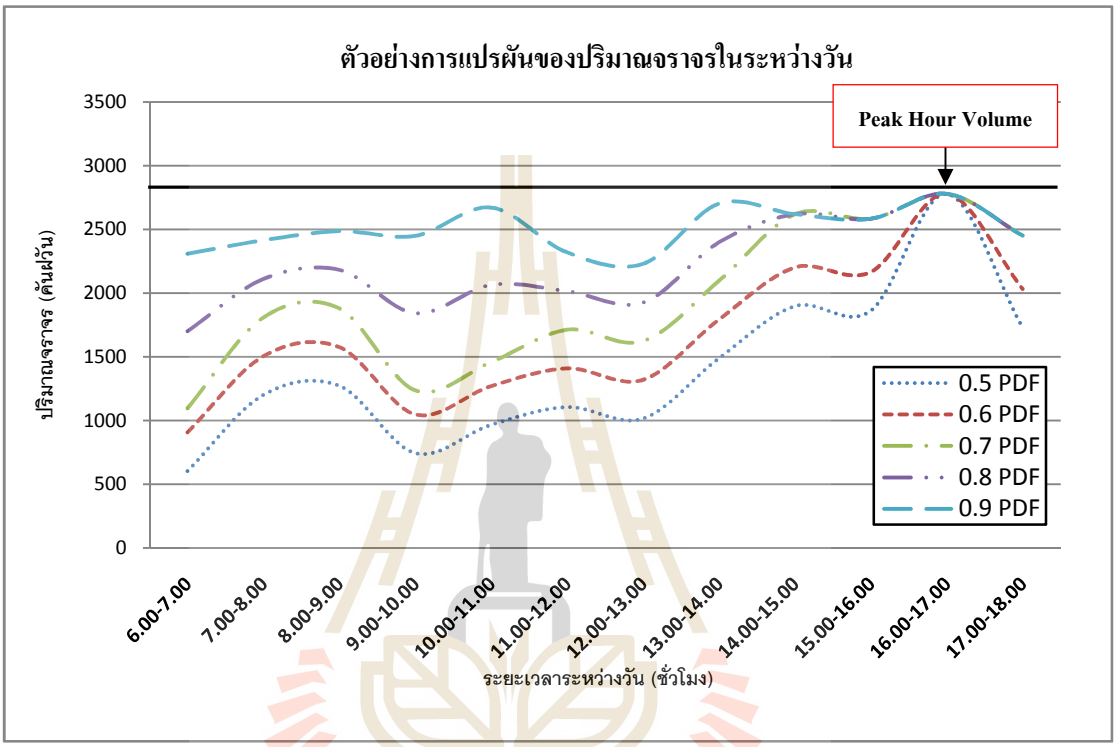
$$PDF = \frac{Daily\ \ Volume}{Max.\ Hour\ \ Volume \times N} \qquad (3.1)$$

โดยที่ *Daily Volume* คือ ปริมาณจราจรรวมระหว่างวันที่พิจารณา (คัน / วัน)

Max. Hour Volume คือ ปริมาณจราจรของชั่วโมงที่สูงสุดระหว่างวัน (คัน / ชั่วโมง)

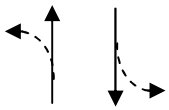
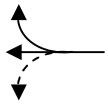
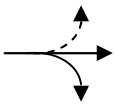
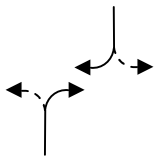
N คือ จำนวนช่วงเวลาย่อยในระหว่างวัน (ชั่วโมง)

ในการศึกษานี้ได้พิจารณาช่วงเวลาในระหว่างวันทั้งหมด 12 ชั่วโมงติดต่อกัน ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. และกำหนดรูปแบบการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันมีปริมาณจราจรช่วง



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 จังหวะสัญญาณไฟจราจรของทางแยก (แยกสีดา)

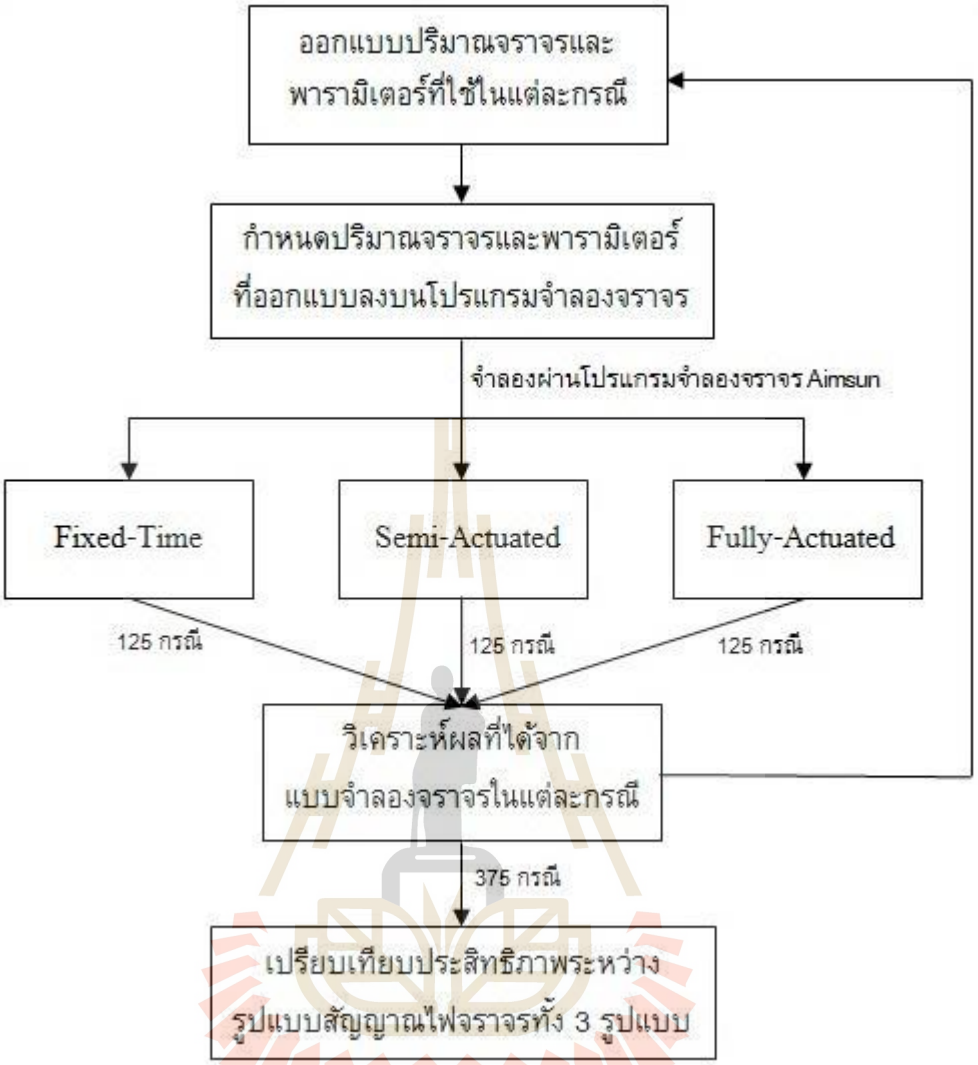
	A1 ขอนแก่น-โคราช	A2 สีดา	B1 ประทาย	B2 ขอนแก่น-โคราช
ทิศทาง (มุ่งหน้า)				

2.) *สัดส่วนปริมาณจราจรรวม* ข้อมูลสัดส่วนปริมาณจราจรของแยกสีดาที่ใช้ในการจำลองเป็นปริมาณจราจรรวมในระหว่างวันทั้งหมด 12 ชั่วโมงติดต่อกัน ตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นทุก ๆ 1 ชั่วโมง

3.) *สัดส่วนปริมาณรถเลี้ยว* ในแบบจำลองจราจรได้มีการกำหนดปริมาณรถเลี้ยวตามสัดส่วนที่สำรวจได้จริงของแยกสีดา โดยแบ่งสัดส่วนปริมาณรถเลี้ยวออกเป็น รถวิ่งตรง 80 เปอร์เซ็นต์ รถเลี้ยวซ้าย 10 เปอร์เซ็นต์ และรถเลี้ยวขวา 10 เปอร์เซ็นต์

4.) *สัดส่วนของรถแต่ละประเภท* ในแบบจำลองจราจรได้มีการกำหนดปริมาณของรถแต่ละประเภทตามสัดส่วนที่สำรวจได้จริงของแยกสีดา โดยแบ่งสัดส่วนของรถออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ส่วนบุคคล (Car) 70 เปอร์เซ็นต์, รถกระบะ (Pick-up) 10 เปอร์เซ็นต์ และรถบรรทุก (Truck) 20 เปอร์เซ็นต์

หลังจากได้ข้อมูลตัวอย่างทางแยกและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจึงทำการออกแบบปริมาณจราจรและพารามิเตอร์ในแต่ละกรณีที่จะใช้จำลองรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun และทำการวิเคราะห์ผลเพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรูปแบบสัญญาณไฟจราจรทั้ง 3 รูปแบบ โดยอธิบายขั้นตอนการดำเนินการผ่าน Flow Chart แสดงดังรูปที่ 3.5 (ตัวอย่างการออกแบบปริมาณจราจรอยู่ในภาคผนวก ก)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 จำนวนกรณีที่ใช้ในแบบจำลองจราจร

รูปแบบสัญญาณไฟจราจร	*จำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา*			*จำนวนกรณีในแบบจำลอง*
	ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักในชั่วโมงเร่งด่วน	*ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน*	**Peak Day Factor**	
Fixed-Time	5 ค่าได้แก่ 400,800, 1200,1600 และ 2000 คันต่อชั่วโมง	5 ค่าได้แก่ 50,150, 250,350 และ 450 คันต่อชั่วโมง	5 ค่าได้แก่ 0.5,0.6,0.7,0.8 และ 0.9	125
Semi-Actuated				125
Fully-Actuated				125

3.3.2 *การวิเคราะห์ผล* ตัวชี้วัดประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun มีทั้งหมด 3 ประเภทได้แก่ อัตราการไหล (flow) หน่วยเป็น คัน/ชั่วโมง ความล่าช้าเนื่องจากการหยุด (stime) หน่วยเป็น วินาที/กิโลเมตร และค่าความล่าช้าเฉลี่ย (dtime) หน่วยเป็น วินาที/กิโลเมตร แต่เนื่องจากค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองมาจากการคำนวณความแตกต่างระหว่าง Expected Travel Time เทียบกับ Travel Time จริงที่เกิดขึ้น ทำให้ผลที่ได้ไม่สะท้อนถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงไม่นำค่าความล่าช้าเฉลี่ยมาใช้พิจารณาเป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล

ส่วนผลที่ได้จากแบบจำลองจราจรมีการแบ่งข้อมูลตัวชี้วัดประสิทธิผลออกเป็นข้อมูลในแต่ละขาและแยกข้อมูลตามประเภทรถที่ใช้ในแบบจำลอง ซึ่งมีจำนวนมากและยากต่อการนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ ผลของความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนทั้งโครงข่าย (Sum) ผลของความล่าช้าเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลัก (Major) และผลของความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายรอง (Minor) ซึ่งได้มีการคำนวณความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย (คัน/วินาที) ขึ้นมาใหม่เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผลสำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรรูปแบบต่าง ๆ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.6 (วิธีการคำนวณค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยอยู่ในภาคผนวก ก)

		fix-time		semi		full	
ขา	ประเภทรถ	flow	stime	flow	stime	flow	stime
นครราชสีมา	ทั้งหมด	222.90	53.90	851.80	22.30	852.00	23.29
	car	162.20	52.75	575.40	22.06	574.30	23.04
	truck	35.70	59.48	184.50	23.05	186.00	24.16
	pick up	25.10	53.45	92.20	22.27	91.80	23.06
บัวใหญ่	ทั้งหมด	222.90	53.90	223.40	58.31	224.00	38.75
	car	162.20	52.75	161.70	57.41	162.50	38.45
	truck	35.70	59.48	36.90	62.91	36.20	40.81
	pick up	25.10	53.45	25.00	57.35	25.20	37.82
ประทาย	ทั้งหมด	277.30	45.30	276.60	51.38	277.10	36.39
	car	188.00	44.86	187.80	51.17	187.80	35.61
	truck	63.40	46.65	63.00	52.31	64.80	38.65
	pick up	25.90	45.23	25.80	50.57	24.90	36.37
ขอนแก่น	ทั้งหมด	824.90	23.36	827.80	23.12	825.50	23.85
	car	570.20	23.50	570.90	23.28	569.80	23.74
	truck	170.60	22.29	171.00	21.75	170.70	24.07
	pick up	84.40	24.58	85.60	24.79	85.10	24.20
Major		**22.91**		**22.70**		**23.57**	
Minor		**49.14**		**54.48**		**37.45**	
Sum		**28.94**		**29.99**		**26.76**	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 การสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

หลังจากสร้างแบบจำลองการถดถอยโลจิสติกและได้สมการทำนายสำหรับการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ แล้ว จึงนำสมการทำนายที่ได้มาสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร โดยใช้วิธีการแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการทำนาย เพื่อหาความน่าจะเป็นที่โอกาสในการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแต่ละประเภทมีค่าเท่ากัน ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็น (Probability) เท่ากับ 0.5 นำมาใช้เป็นตัวชี้วัดแบ่งระหว่างการตัดสินใจที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ โดยจะอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรแต่ละรูปแบบที่แปรผันไปตามปริมาณจราจรในระหว่างวัน โดยเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ สัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ สัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร และสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ การวิเคราะห์แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ Binary Logistic Model และการสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจร

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์แบบจำลองจราจรทั้งหมด 375 กรณี จากตัวแปรปริมาณจราจรรวมสองทิศทางสูงสุดบนถนนสายหลัก 5 กรณี ปริมาณจราจรทิศทางที่มากที่สุดบนถนนสายรอง 5 กรณี ค่า Peak Day Factor 5 กรณี จำลองผ่านรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยใช้ค่าเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย (วินาทีต่อคัน) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิผล (ข้อมูลผลลัพธ์ทั้งหมดจากแบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun อยู่ในภาคผนวก ข) แบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

4.2.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก

4.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายหลัก

4.2.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายรอง

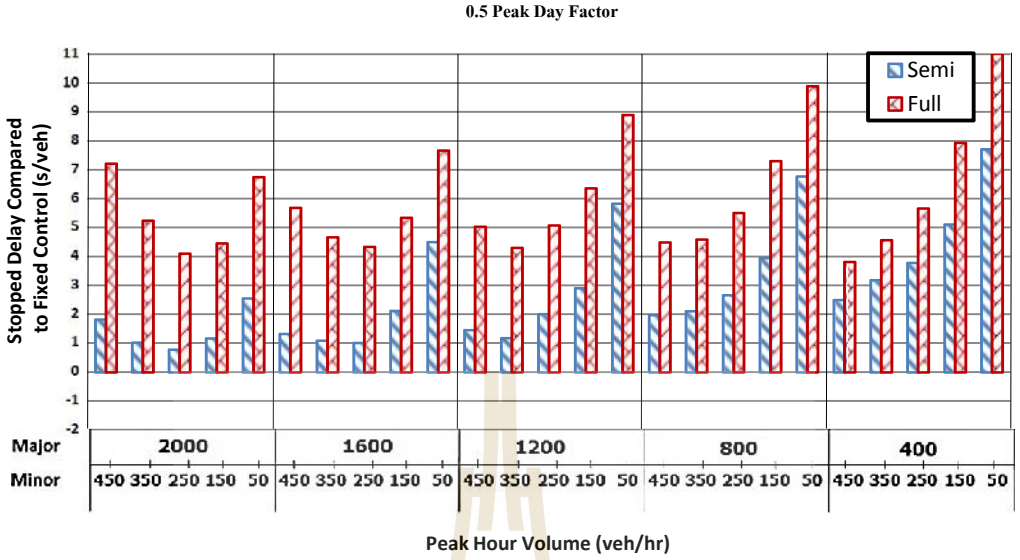
4.2.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

4.2.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่า Passage Time จาก 4 วินาที เป็น 3 วินาที ต่อประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก

4.2.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก

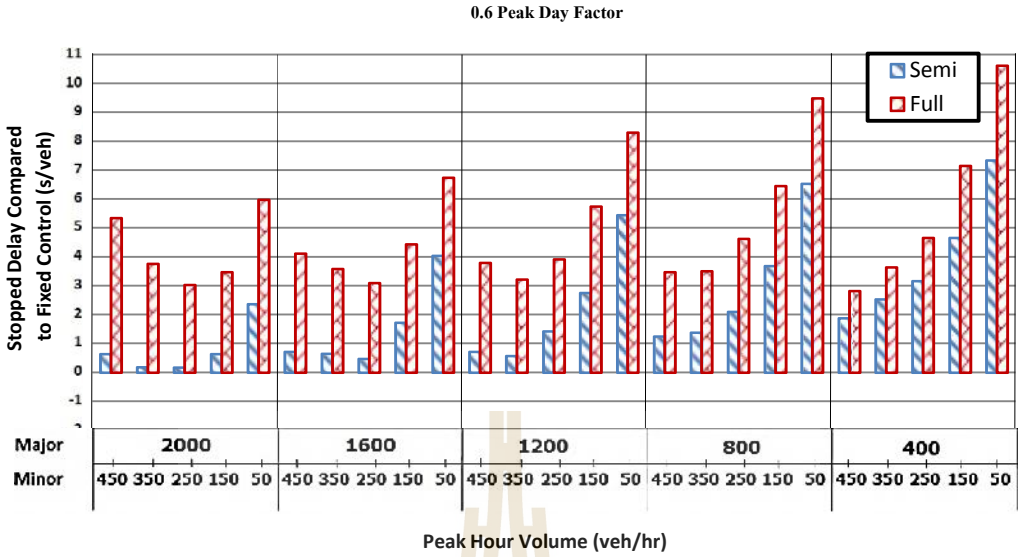
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยกกรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor ที่ 0.5 แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยกำหนดให้แกน X แสดงพารามิเตอร์ระหว่างปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนมีค่าระหว่าง 400 ถึง 2000 คันต่อชั่วโมงกับปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนมีค่าระหว่าง 50 ถึง 450 และกำหนดให้แกน Y แสดงค่าความแตกต่างของความล่าช้าเนื่องจากการหยุดของรูปแบบสัญญาณไฟ Semi-Actuated และ Fully-Actuated เปรียบเทียบกับรูปแบบสัญญาณไฟ Fixed-Time ซึ่งพิจารณาจาก $Delay_{fixed} - Delay_{semi}$ และ $Delay_{fixed} - Delay_{full}$ ซึ่งค่าบวก (+) แสดงถึงความล่าช้าของสัญญาณไฟแบบ Semi หรือ Full มีความล่าช้าเฉลี่ยน้อยกว่าสัญญาณไฟแบบ Fixed หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Fixed นั่นเอง ส่วนในกรณีที่ค่าในแกน Y เป็นลบ (-) หมายถึงสัญญาณไฟแบบ Fixed จะมีประสิทธิภาพดีกว่า และหากสัญญาณไฟจราจรแบบใดมีแท่งกราฟน้อยกว่า หรือติดลบเยอะกว่ารูปแบบอื่นก็จะหมายความว่าสัญญาณไฟรูปแบบนั้นมีประสิทธิภาพแย่ที่สุด

จากผลการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบมีแท่งกราฟเป็นบวกและสูงกว่ารูปแบบกึ่งตามปริมาณจราจรในทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาพการแปรผันจราจรที่แปรผันสูงสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบจะมีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบอื่น ๆ ในทุกกรณี สาเหตุเนื่องจากเมื่อปริมาณจราจรที่มีการแปรผันสูงมาก (ค่า PDF มีค่าน้อย) ทำให้มีความจำเป็นต้องมีการจัดการรูปแบบสัญญาณไฟอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้กรณีปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนและปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนจะมีการเปลี่ยนแปลง รูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบก็ยังคงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณี



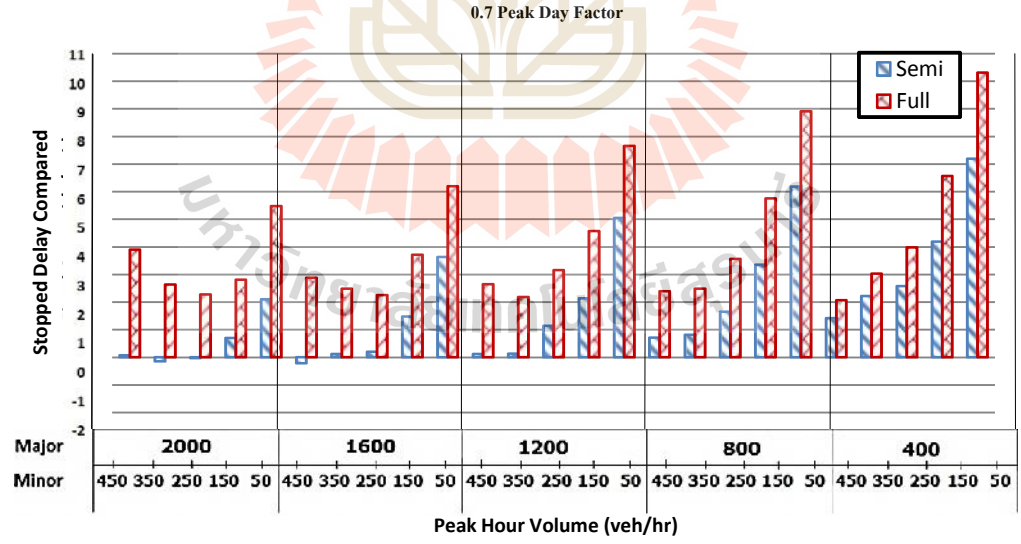
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5

และเมื่อพิจารณาสภาพการแปรผันจราจรอื่น ๆ ซึ่งจะมีความแปรผันน้อยลง (ค่า PDF เพิ่มขึ้นจาก 0.6 ไปจนถึง 0.9) ดังแสดงในรูป 4.2-4.5 ตามลำดับ พบว่าความสูงของแท่งกราฟ Full และ Semi จะน้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งในบางกรณีแท่งความสูงจะกลับทิศกลายเป็นติดลบ แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่จะเริ่มดีขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนและปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนเริ่มมีค่าสูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากเมื่อปริมาณจราจรเริ่มมีความสม่ำเสมอและมีจำนวนเพิ่มขึ้น จะยิ่งทำให้มีความสอดคล้องกับรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวได้มีการคำนวณระยะเวลาสัญญาณไฟมาจากการนำปริมาณจราจรในชั่วโมงสูงสุดมาออกแบบ (สมการของ Webster) แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของประสิทธิภาพเมื่อพิจารณาทั้งโครงข่าย รูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบก็ยังคงมีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bradley W. (1993) และ พรทิตา ถามะพันธ์ (2557) ที่เมื่อพิจารณาความล่าช้าโดยรวมของทั้งโครงข่ายทางแยกจะพบว่ารูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบจะมีประสิทธิภาพในการจัดการทางแยกได้ดีกว่าสัญญาณไฟรูปแบบอื่น ๆ



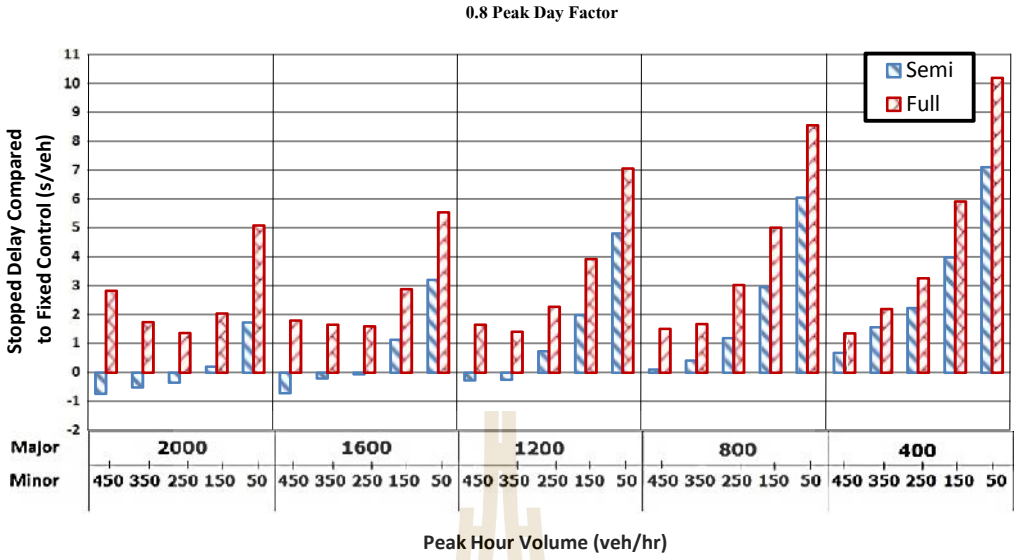
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.6

ความสูงของแท่งกราฟจะลดลงเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5 อย่างไรก็ตามจะพบว่าแท่งกราฟยังมีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าสัญญาณไฟแบบ Semi และ Full ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Fixed



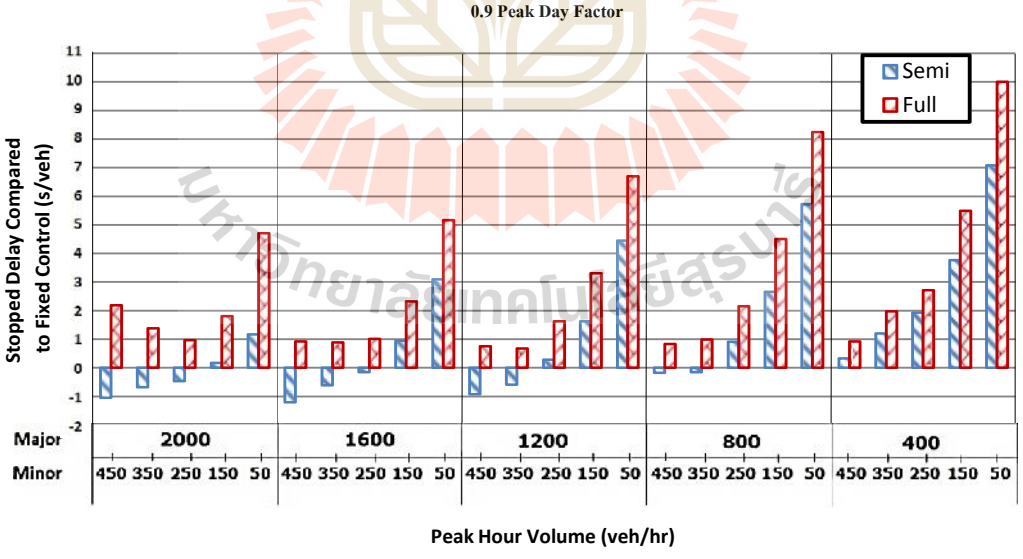
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.7

ความสูงของแท่งกราฟ Semi บางกรณีเริ่มมีค่าติดลบแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาพจราจรที่เริ่มคงที่และมีปริมาณจราจรหนาแน่น สัญญาณไฟแบบ Fixed จะเริ่มมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Semi



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.8

ความสูงของแท่งกราฟ Full และ Semi จะลดลงเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5, 0.6, และ 0.7 และในบางกรณีแท่งกราฟ Semi จะมีค่าติดลบเยอะขึ้น โดยเฉพาะภายใต้สภาพจราจรที่หนาแน่น

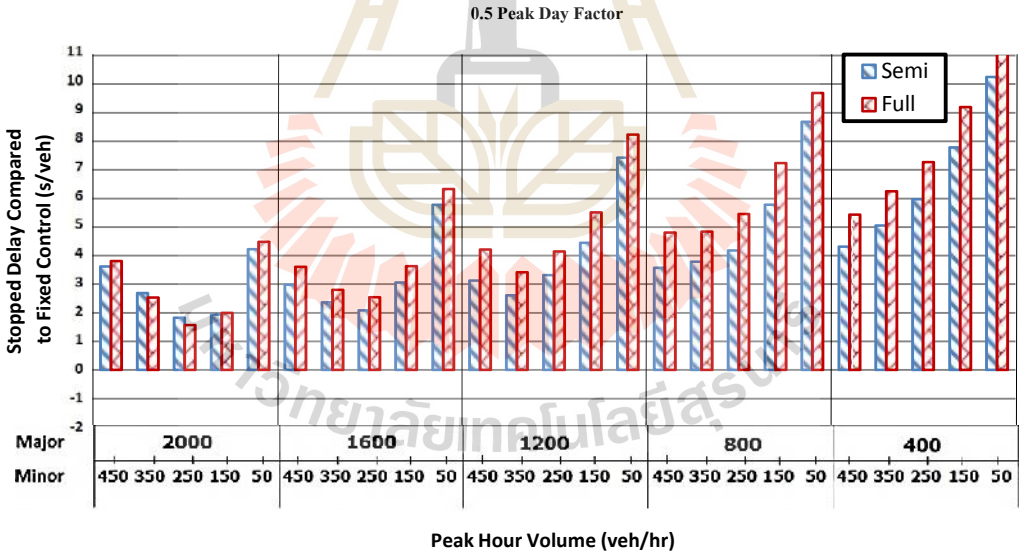


รูปที่ 4.5 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของทั้งโครงข่ายที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9

ความสูงของแท่งกราฟ Full และ Semi จะลดลงเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 ในบางกรณีแท่งกราฟ Semi จะมีค่าติดลบมากขึ้น โดยเฉพาะภายใต้สภาพจราจรที่หนาแน่น

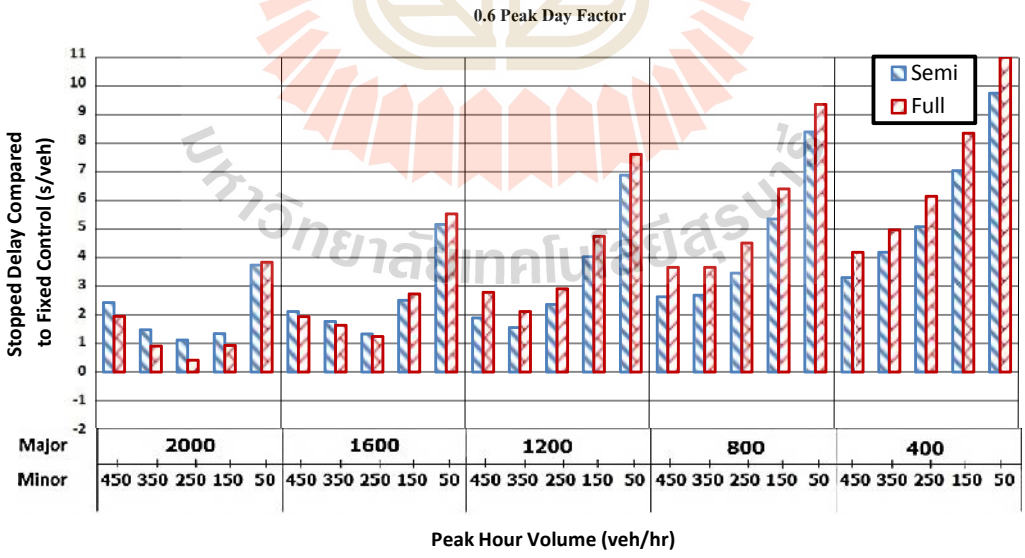
4.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายหลัก

รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายหลัก กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor ที่ 0.5 โดยแสดงผลของกราฟลักษณะเดียวกับการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยกทั้งโครงข่าย ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบมีแท่งกราฟเป็นบวกและสูงกว่ารูปแบบกึ่งตามปริมาณจราจรเกือบทุกกรณีจะมีเฉพาะบางกรณีที่รูปแบบกึ่งตามปริมาณจราจรมีแท่งกราฟสูงกว่า (กรณีที่ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนมีปริมาณสูงมาก ๆ ที่ 2000 คันต่อชั่วโมง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาพการแปรผันจราจรที่แปรผันสูง สัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบก็ยังคงเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบสัญญาณไฟแบบอื่น ๆ เกือบทุกกรณี สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยกทั้งโครงข่ายภายใต้สภาพการแปรผันจราจรที่แปรผันสูง



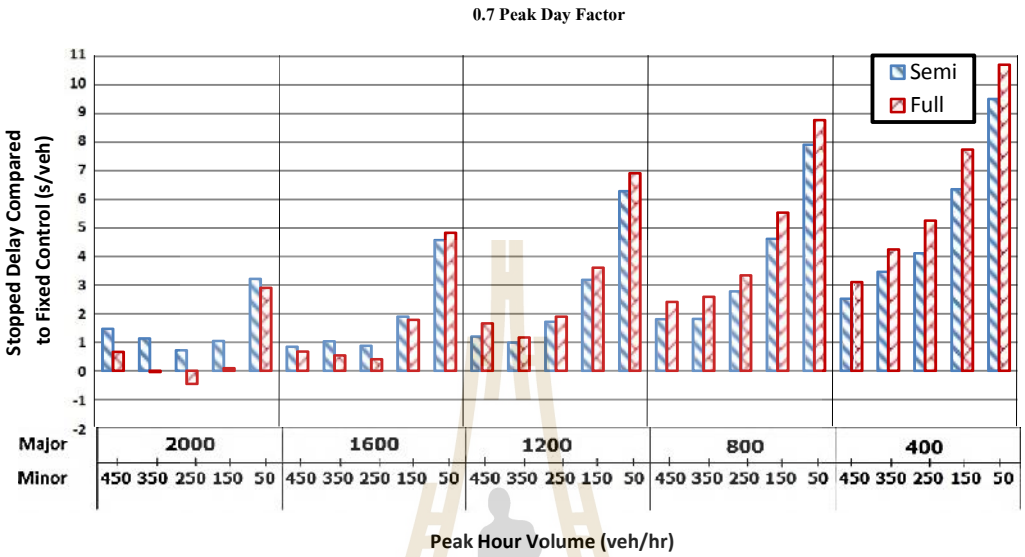
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5

และเมื่อพิจารณาสภาพการแปรผันจราจรอื่น ๆ ซึ่งจะมีความแปรผันน้อยลง (ค่า PDF เพิ่มขึ้นจาก 0.6 ไปจนถึง 0.9) ดังแสดงในรูป 4.7-4.10 ตามลำดับ พบว่าความสูงของแท่งกราฟ Full และ Semi จะน้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งแท่งความสูงกลับทิศกลายเป็นติดลบในบางกรณี แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรและแบบกำหนดเวลาคงที่จะเริ่มมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเฉพาะกรณีภายใต้สภาพการแปรผันจราจรที่แปรผันสูง (ช่วง PDF ตั้งแต่ 0.7-0.9) และในช่วงที่มีปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนสูง (ช่วง 1200-2000 คันต่อชั่วโมง) สาเหตุเนื่องจากรูปแบบสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรเป็นรูปแบบที่มีคุณลักษณะที่ให้ความสำคัญกับปริมาณจราจรบนถนนสายหลัก โดยกำหนดให้ถนนสายหลักได้รับไฟเขียวขั้นต่ำที่สามารถรองรับปริมาณจราจรในชั่วโมงสูงสุดได้ ดังนั้นเมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายหลักมีปริมาณเพิ่มขึ้นและค่อนข้างสม่ำเสมอจะยิ่งทำให้ความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายหลักมีค่าลดลง ส่วนรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่เป็นรูปแบบที่สามารถจัดการกับสภาพจราจรที่มีปริมาณสูงและต่อเนื่องสม่ำเสมอได้ดี จากการนำปริมาณจราจรในชั่วโมงสูงสุดมาออกแบบ (สมการของ Webster) ทำให้รูปแบบสัญญาณไฟทั้ง 2 รูปแบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการจัดการกับสภาพจราจรที่มีปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนสูงและต่อเนื่องสม่ำเสมอ (กรณีวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรโดยพิจารณาเฉพาะขาที่อยู่บนถนนสายหลัก)



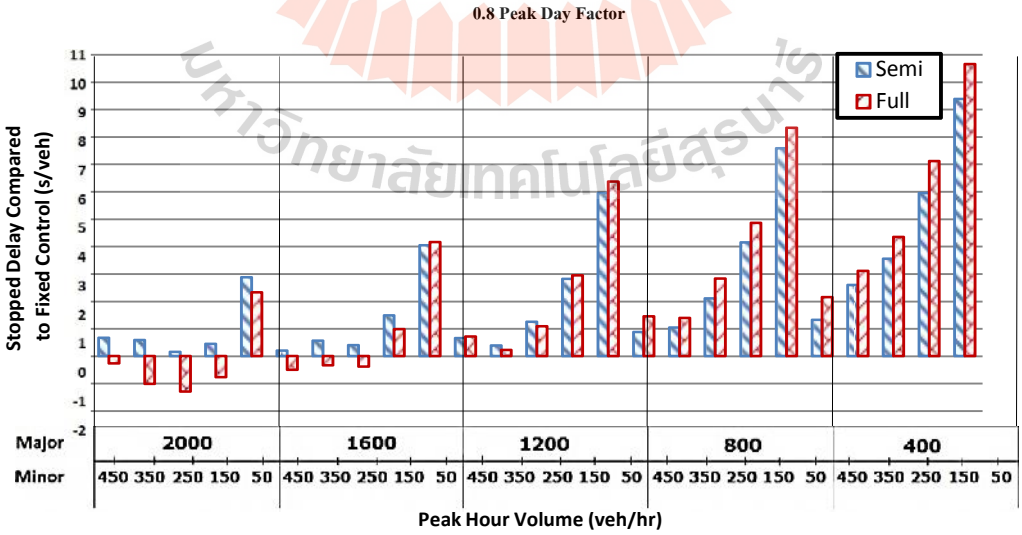
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.6

ความสูงของแท่งกราฟจะลดลงเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5 อย่างไรก็ตามจะพบว่าแท่งกราฟยังมีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าสัญญาณไฟแบบ Semi และ Full ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Fixed และในกรณีที่ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนมีค่าสูง (1600-2000 คันต่อชั่วโมง) สัญญาณไฟแบบ Semi เริ่มมีประสิทธิภาพดีกว่าสัญญาณไฟรูปแบบอื่น

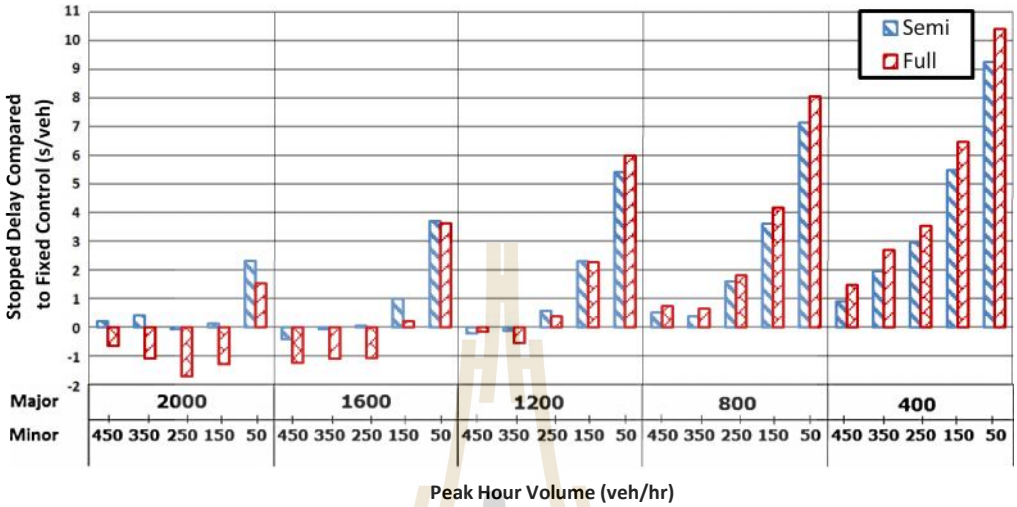


รูปที่ 4.8 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.7

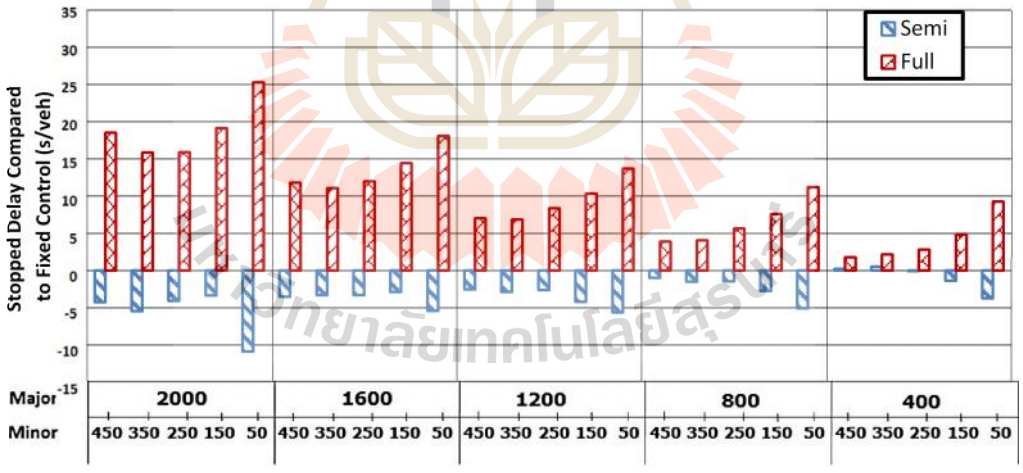
ความสูงของแท่งกราฟ Full บางกรณีเริ่มมีค่าติดลบแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาพจราจรที่เริ่มคงที่และมีปริมาณจราจรหนาแน่นสัญญาณไฟแบบ Fixed และ Semi จะเริ่มมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Full



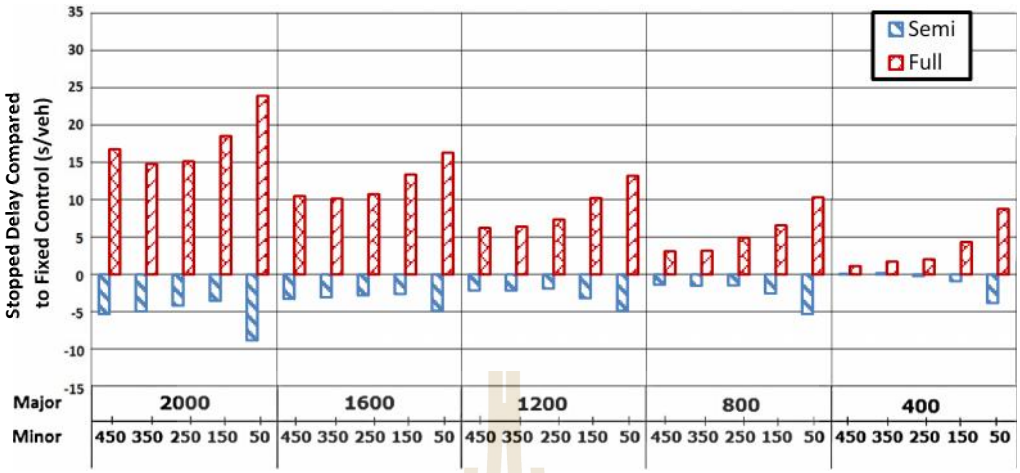
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยของถนนสายหลักที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.8



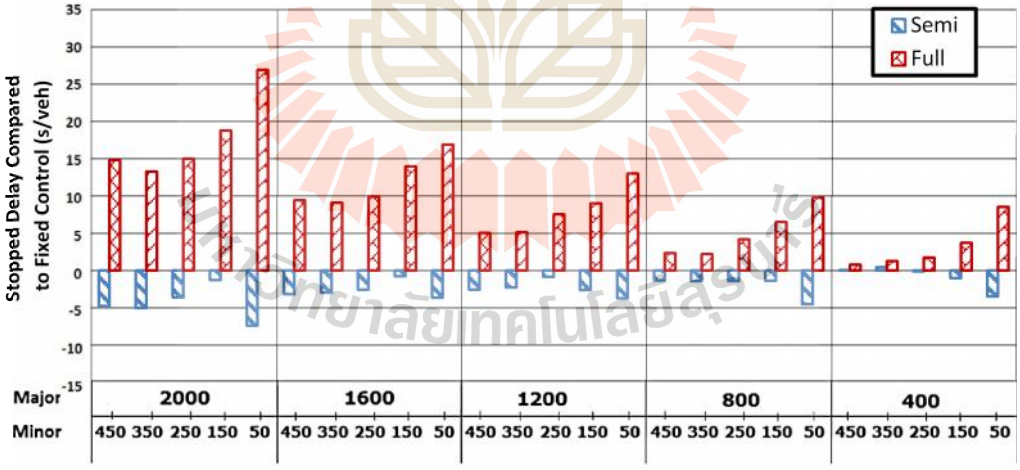
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



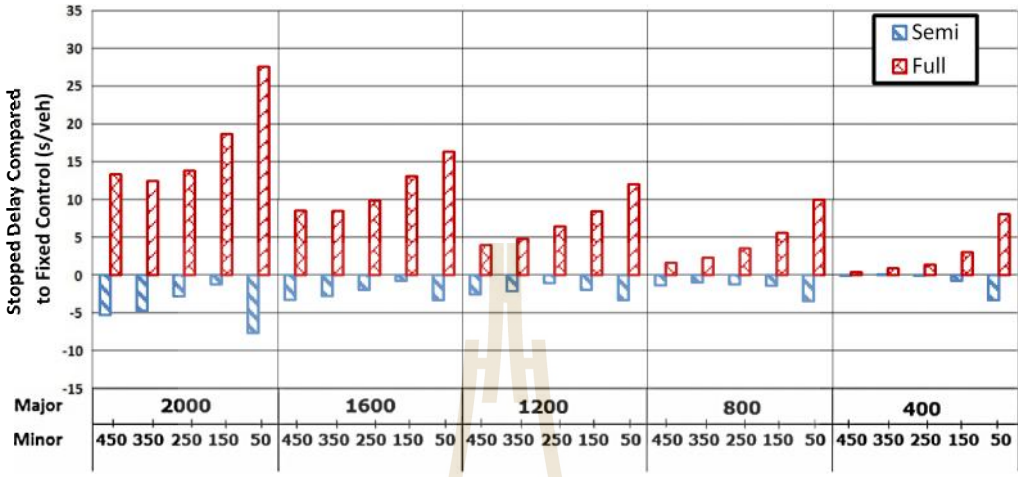
Peak Hour Volume (veh/hr)



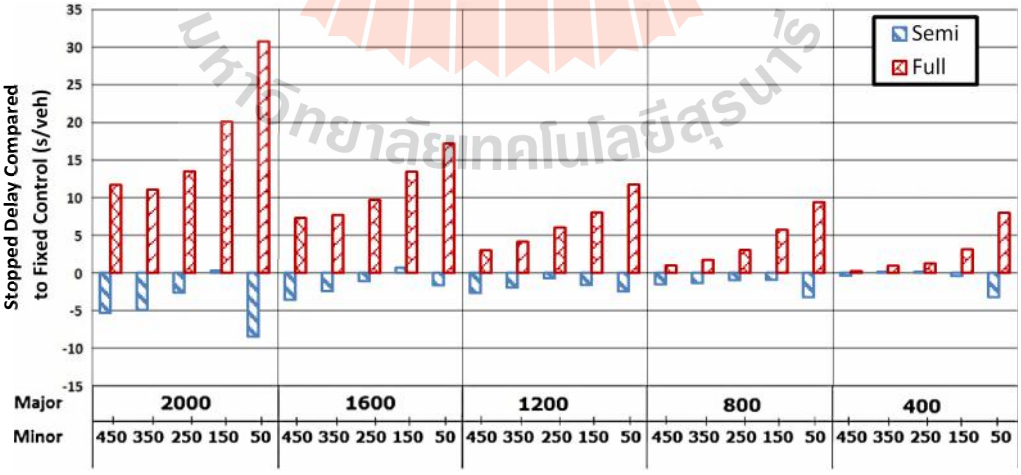
Peak Hour Volume (veh/hr)



Peak Hour Volume (veh/hr)



Peak Hour Volume (veh/hr)



Peak Hour Volume (veh/hr)

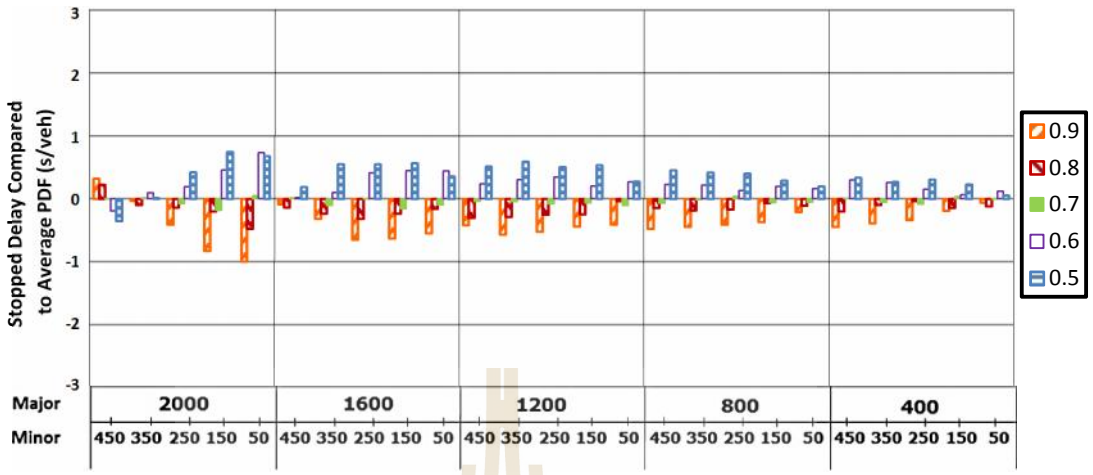
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความสูงของแท่งกราฟ Full จะลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 (ยกเว้นกรณีที่ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนเท่ากับ 2000 คันต่อชั่วโมงและปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน 50 คันต่อชั่วโมง) ส่วนแท่งกราฟ Semi เริ่มติดลบลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณี PDF = 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8

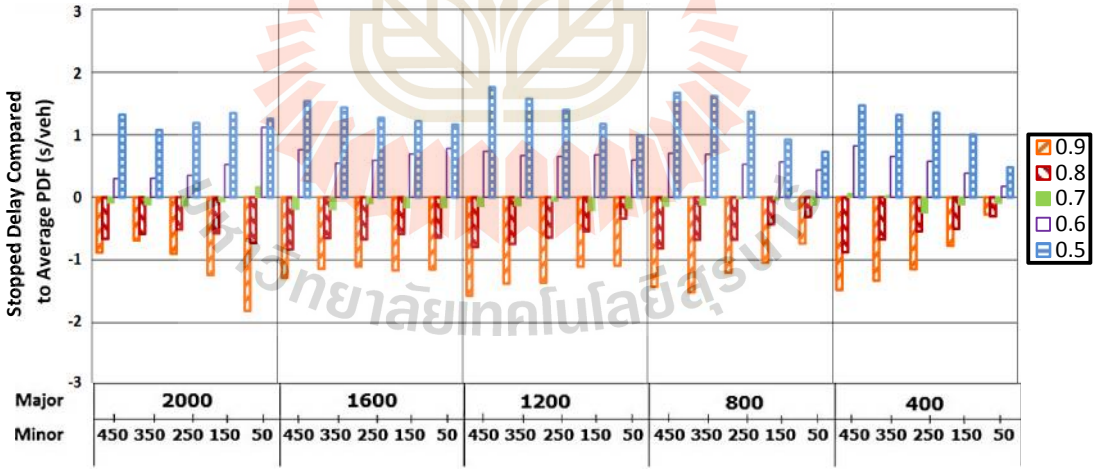
4.2.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน กำหนดให้แกน X แสดงพารามิเตอร์ระหว่างปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนกับปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน และกำหนดให้แกน Y แสดงความล่าช้าเนื่องจากการหยุดโดยดูผลต่างระหว่างค่าเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยของแต่ละค่า Peak Day Factor เทียบกับค่าเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยรวมที่ได้จากทุกค่าของ Peak Day Factor ซึ่งพิจารณาจาก $Delay_{PDF} - Delay_{PDF(Avg.)}$ โดยแสดงแยกกราฟของสัญญาณไฟแต่ละประเภทดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.18 สำหรับกรณีสัญญาณไฟแบบ Fixed, Semi และ Full ตามลำดับ

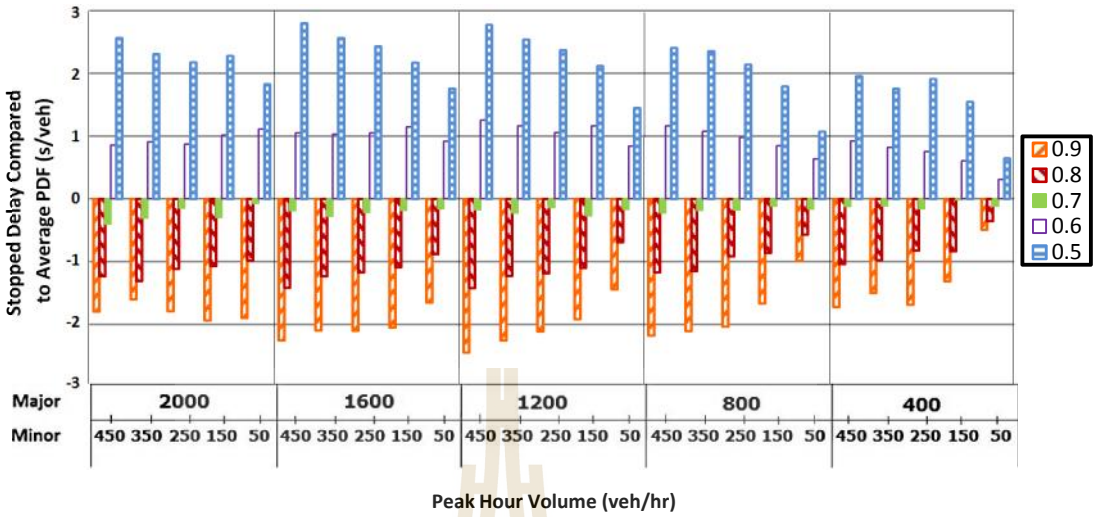
จากผลการวิเคราะห์พบว่าการแปรผันของปริมาณจราจรระหว่างวันมีผลกระทบต่อรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่น้อยที่สุด เนื่องจากมีค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดใกล้เคียงกันกับค่าเฉลี่ยมากไม่ว่าค่า PDF จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ส่วนรูปแบบสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรมีค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดแตกต่างจากค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณี Fixed จึงได้รับผลจากการแปรผันของปริมาณจราจรรองลงมา และรูปแบบสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปได้รับผลกระทบจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันมากที่สุด จากค่าเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยที่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยนมากขึ้นดัง ดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.18 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบจะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจราจรในระหว่างวันมากที่สุดเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่และแบบกึ่งตามปริมาณจราจร



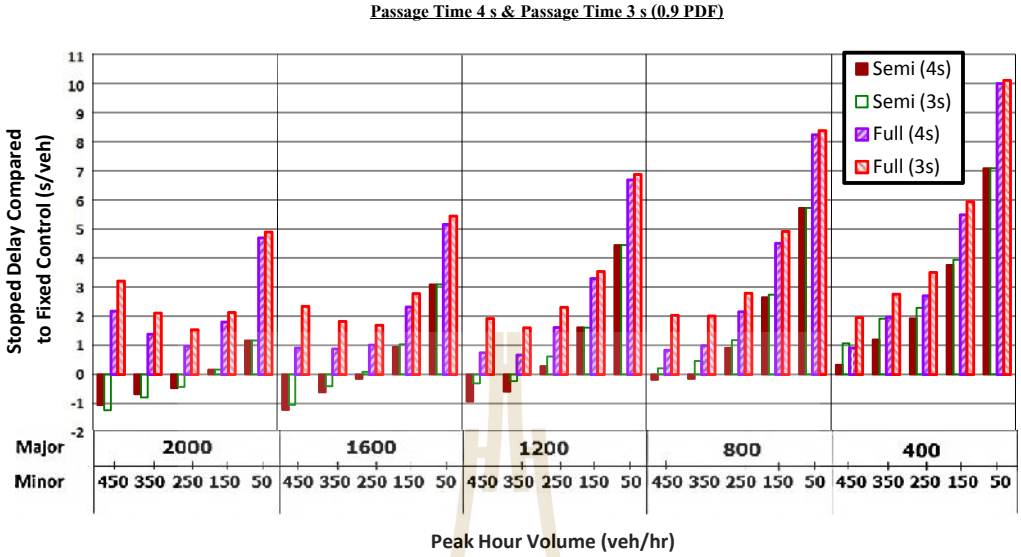
Peak Hour Volume (veh/hr)



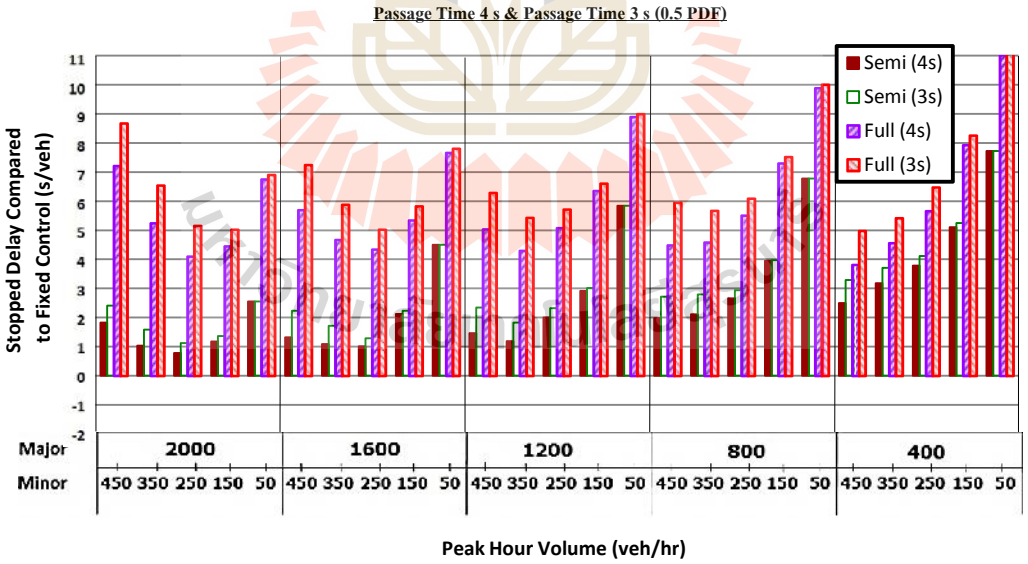
Peak Hour Volume (veh/hr)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.9



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความล่าช้าเฉลี่ยที่ลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณไฟแบบ Fixed-Time กรณีพิจารณาค่า Peak Day Factor = 0.5

4.3 แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun ซึ่งได้ออกมาในรูปของตัวชี้วัดประสิทธิผลได้แก่ ค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ย (คันต่อวินาที) ของแต่ละรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแล้ว เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟบนถนนทั้งโครงข่ายระหว่าง 3 รูปแบบพบว่า รูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบมีค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยดีกว่ารูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบอื่น ๆ แต่จากผลของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่และแบบกึ่งตามปริมาณจราจรพบความแตกต่างด้านประสิทธิภาพตามการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน ซึ่งสามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่าง 2 รูปแบบนี้ได้ ประกอบกับในปัจจุบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาติดตั้งสัญญาณไฟจราจรจรมักเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจรมากกว่าแบบตามปริมาณเต็มรูปแบบบริเวณทางแยกเดี่ยวเนื่องด้วยเหตุผลทางด้านงบประมาณ ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะสร้างแบบจำลองสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่และแบบกึ่งตามปริมาณจราจร โดยใช้วิธีทางสถิติแบบ Binary Logistic Regression

สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีทางสถิติแบบ Binary Logistic Regression ในการสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่และแบบกึ่งตามปริมาณจราจร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การกำหนดนิยามและรวบรวมตัวแปร และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 *การกำหนดนิยามและรวบรวมตัวแปร*

ตัวแปรตาม (Y) หมายถึง ค่าตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ของกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ การเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ และการเลือกรูปแบบติดตั้งสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร ซึ่งได้มาจากการประเมินประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรในแต่ละกรณี โดยการเลือกจะมาจากรูปแบบมีค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยน้อยที่สุด สามารถกำหนดค่าตัวแปรตามได้ดังนี้

Y = 0	หมายถึง	การเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่
Y = 1	หมายถึง	การเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร

ตัวแปรอิสระ (X) หมายถึง ค่าตัวแปรเชิงปริมาณที่ได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน และค่า Peak Day Factor ซึ่งจะเป็นชุดข้อมูลที่ทำให้ค่าความล่าช้าเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยน้อยที่สุดในแต่ละกรณี โดยสามารถกำหนดค่าของตัวแปรอิสระได้ดังนี้

MAJOR	หมายถึง	ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน
MINOR	หมายถึง	ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน
PDF	หมายถึง	Peak Day Factor

4.3.2 *การวิเคราะห์ข้อมูล*

การวิเคราะห์ข้อมูลจะบอกถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบสัญญาณไฟจราจรระหว่างรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่และรูปแบบสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร โดยแบบจำลอง Binary Logistic Regression จะมีลักษณะดังนี้

$$P(Y=1)=\frac{e^{u}}{1+e^{u}} \tag{3.4}$$

โดยที่ $u = \beta_0 + \beta_1 MAJOR + \beta_2 MINOR + \beta_3 PDF$ (3.5)

เมื่อ β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์

MAJOR	คือ	ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน
MINOR	คือ	ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน
PDF	คือ	Peak Day Factor

ผลการศึกษาจากการประเมินประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟจราจรจำนวน 125 กรณี แบ่งออกเป็นรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ร้อยละ 26.8 รูปแบบสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรร้อยละ 83.2 ดังตารางที่ 4.1 โดยจากการวิเคราะห์ผ่านความสัมพันธ์แบบ Logistic Regression Analysis โดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่า

ตารางที่ 4.1 จำนวนของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟที่เหมาะสม

รูปแบบสัญญาณไฟ	*จำนวน*	*ร้อยละ (%)*
Fixed-Time	21	26.8
Semi-Actuated	104	83.2
รวม	125	100

ตารางที่ 4.2 ค่าสถิติ Negelkerke R Square

-2 Log Likelihood	*Cox & Snell R Square*	*Negelkerke R Square*
33.618	0.471	0.790

จากตารางที่ 4.2 ค่า -2 Log Likelihood มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ บ่งบอกถึงสมการหรือแบบจำลองที่สร้างขึ้น มีคุณภาพหรือกลมกลืนกับข้อมูลดี ค่า Cox & Snell R Square = 0.471 มีค่าไม่เข้าใกล้ 0 บ่งบอกถึงความกลมกลืนของแบบจำลองในแง่ของการเปรียบเทียบคุณภาพของแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับแบบจำลองที่แย่ที่สุดก็คือแบบจำลองว่าง (Null Model) ที่ไม่มีตัวแปรอิสระใดๆ และค่า Negelkerke R Square = 0.790 บ่งบอกถึงตัวแปรต้นต่างๆสามารถอธิบายความแปรผันของการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรได้ร้อยละ 79

ตารางที่ 4.3 ตัวแปรที่มีผลต่อสมการทำนายในการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟ

ตัวแปร		*S.E.*	*Wald*	*df*	*Sig.*	*Exp( )*
MAJOR	-0.005	0.001	12.045	1	0.001	0.995
MINOR	-0.023	0.006	12.947	1	0.000	0.977
PDF	-27.411	7.484	13.414	1	0.000	0.000
Constant	37.152	9.478	15.366	1	0.000	1.364E+16

จะได้สมการ Logistic Regression ดังต่อไปนี้

$$Y = 37.152 - 0.005MAJOR - 0.023MINOR - 27.411PDF \qquad (4.1)$$

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.3 พบว่าตัวแปรทำนายทุกตัวมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($\sim = 0.05$) และมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ (ค่า < 0) แสดงว่าปัจจัยทางด้านปริมาณ

จราจรเหล่านี้ช่วยเพิ่มโอกาศให้เลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ ได้แก่ปัจจัยดังต่อไปนี้

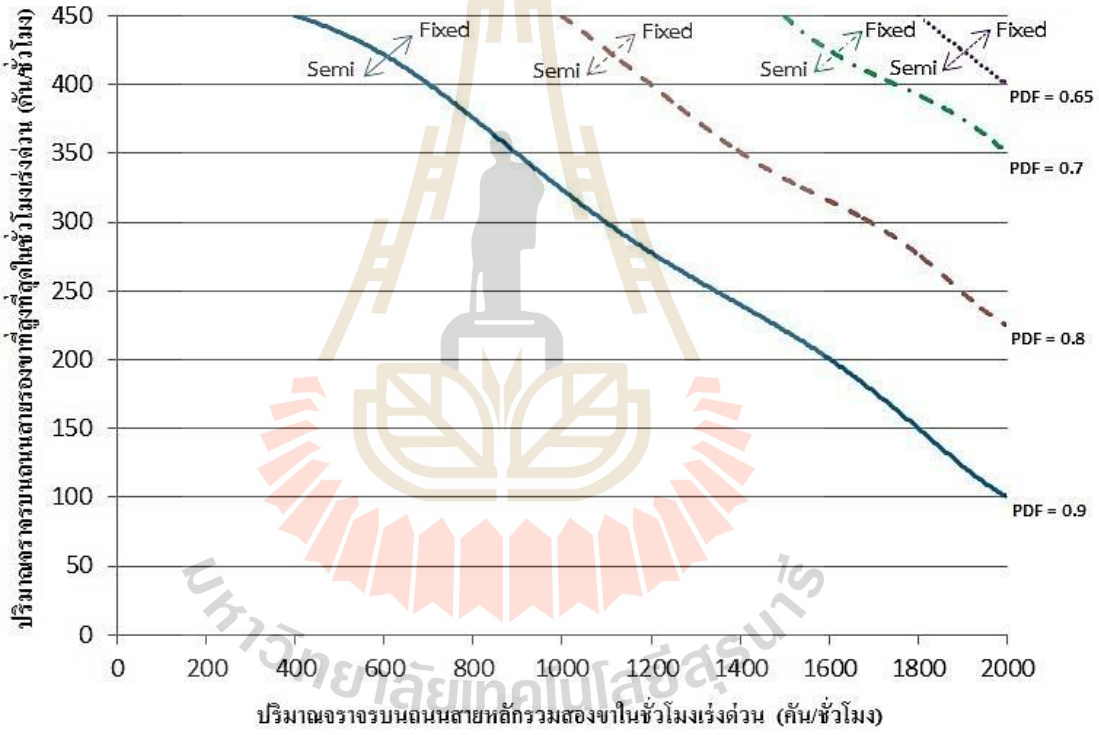
1. ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน (MAJOR) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ (= -0.005) แสดงว่าเมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โอกาสในเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

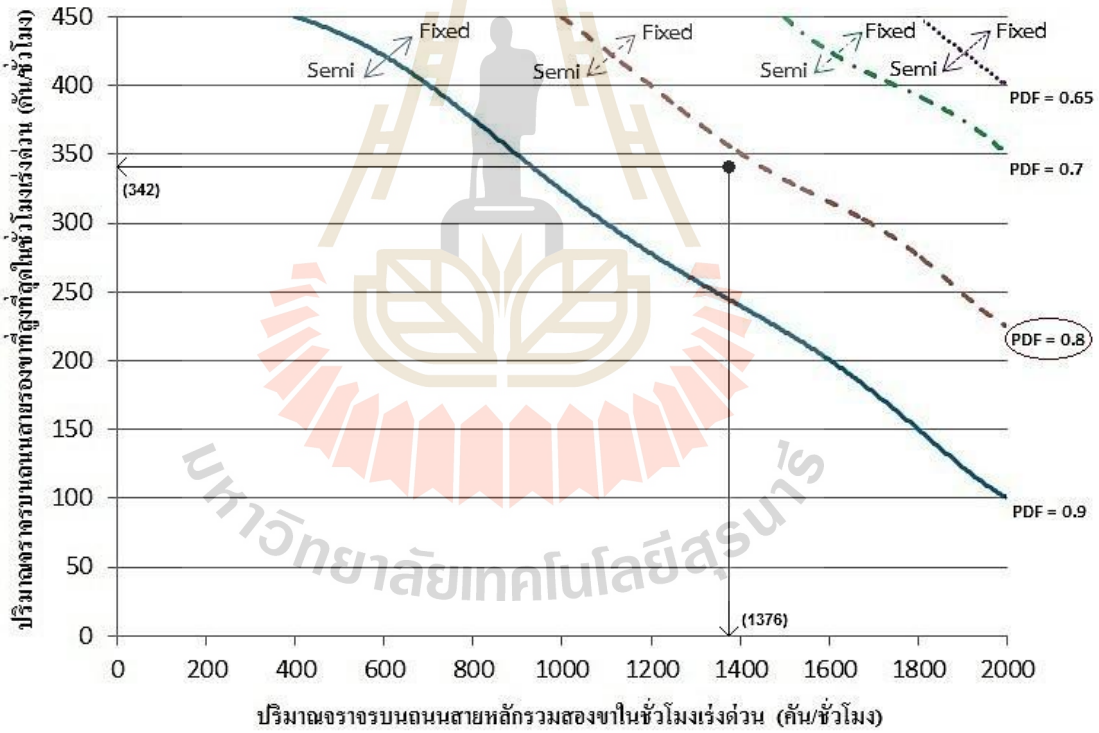
2. ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน (MINOR) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ (= -0.023) แสดงว่าเมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โอกาสในเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. Peak Day Factor (PDF) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ (= -27.411) แสดงว่าจะส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Y=0) เมื่อ Peak Day Factor มีค่าเข้าใกล้ 1 (ปริมาณจราจรมีการแปรผันน้อย) และจะส่งผลต่อการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Y=1) เมื่อ Peak Day Factor มีค่าเข้าใกล้ 0 (ปริมาณจราจรมีการแปรผันมาก)

4.4 การสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร

การสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างรูปแบบสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่กับแบบกึ่งตามปริมาณจราจร จะมาจากการนำเอาสมการทำนายที่ได้จากแบบจำลองการถดถอยโลจิสติก (Binary Logistic Regression) มาแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการแต่ละกรณี ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน (MAJOR) ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน (MINOR) และค่า Peak Day Factor (PDF) เพื่อหาความน่าจะเป็นที่รูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ (Y=0) และแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Y=1) จะมีโอกาสในการเลือกเท่ากัน ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็น (Probability) เท่ากับ 0.5 มาใช้เป็นตัวชี้วัดเพื่อแบ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างสองรูปแบบ โดยหากค่าความน่าจะเป็นมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Prob. $\leq$ 0.5) แสดงว่าควรตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (ในกรณีที่โอกาสในการเลือกมีค่าเท่ากัน Prob.= 0.5 ควรตัดสินใจเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ด้วยเหตุผลด้านเศรษฐศาสตร์) และหาก


ปริมาณจราจรบนถนนลายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน (คัน/ชั่วโมง)
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Fixed
Semi
Fixed
Semi
Fixed
Semi
Fixed
Semi
PDF = 0.65
PDF = 0.7
PDF = 0.8
PDF = 0.9
ปริมาณจราจรบนถนนลายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน (คัน/ชั่วโมง)


ปริมาณจราจรบนถนนสายรองที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน (คัน/ชั่วโมง)
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
Fixed
Semi
Fixed
Semi
Fixed
Semi
Fixed
Semi
PDF = 0.65
PDF = 0.7
PDF = 0.8
PDF = 0.9
(342)
(1376)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน (คัน/ชั่วโมง)

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะประกอบไปด้วยสรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 *สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน*

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรทั้ง 3 รูปแบบได้แก่ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ (Fixed-Time Traffic Signal) สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Actuated Traffic Signal) และสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully-Actuated Traffic Signal) ภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน โดยแบ่งผลการวิเคราะห์ตามการพิจารณาในแต่ละขาที่เข้าสู่ทางแยก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. *สัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ* จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรสรุปได้ว่าสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบเป็นรูปแบบที่สามารถจัดการจราจรบริเวณทางแยกตัวอย่างภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันได้ดีที่สุดทุกกรณีเมื่อพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยก

2. *สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร* จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรเมื่อพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยกสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีปริมาณจราจรไม่หนาแน่นและมีการแปรผันของปริมาณจราจรสูง สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพดีรองลงมาจากสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ

3. *สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่* จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรเมื่อพิจารณาทุกขาที่เข้าสู่ทางแยกสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นและการแปรผันของปริมาณจราจรต่ำ สัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพดีรองลงมาจากสัญญาณไฟจราจรแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ

สำหรับสรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรจากการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันสามารถสรุปได้ว่า สัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบเป็นรูปแบบที่สามารถตอบสนองต่อการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันมากที่สุด รองลงมาคือสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ และสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้อีกนัยหนึ่งว่าปัจจัยด้านการแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ

5.1.2 *สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร*

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรทั้ง 3 รูปแบบ จะพบว่าสัญญาณไฟแบบตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเสมอไม่ว่าการแปรผันของปริมาณจราจรจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม ดังนั้นจึงเป็นรูปแบบที่สมควรนำมาประยุกต์ใช้ อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสองรูปแบบที่เหลือจะพบว่ารูปแบบใดจะมีประสิทธิภาพดีกว่านั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจรบนถนนสายหลักและสายรองและลักษณะการแปรผันของปริมาณจราจรด้วย ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรระหว่างสัญญาณไฟแบบกำหนดเวลาคงที่กับสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจรโดยใช้วิธีสถิติแบบ Binary Logistic Regression ในการวิเคราะห์ สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรมีดังต่อไปนี้

1. *ปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วน*จะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร เมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนมีปริมาณลดลง และจะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายหลักรวมสองขาในชั่วโมงเร่งด่วนเพิ่มขึ้น

2. *ปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วน* จะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร เมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนมีปริมาณลดลง และจะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เมื่อปริมาณจราจรบนถนนสายรองขาที่สูงที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนเพิ่มขึ้น

3. *Peak Day Factor* จะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่เมื่อ Peak Day Factor มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าเมื่อค่า Peak Day Factor เพิ่มขึ้น (ปริมาณจราจรในระหว่างวันมีการแปรผันต่ำ) จะยิ่งเพิ่มโอกาสให้มีการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกำหนดเวลาคงที่ และจะส่งผลต่อโอกาสที่จะเลือกรูปแบบการติดตั้ง

สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจรเมื่อ Peak Day Factor มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่าเมื่อค่า Peak Day Factor ลดลง (ปริมาณจราจรในระหว่างวันมีการแปรผันสูง) จะยิ่งเพิ่มโอกาสให้มีการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งตามปริมาณจราจร

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรภายใต้การแปรผันของปริมาณจราจรในระหว่างวัน ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะพิจาณาเฉพาะพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของปริมาณจราจรเพียงอย่างเดียว ซึ่งถือว่ายังเป็นเพียงส่วนหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่สมบูรณ์ ดังนั้นผลที่ได้จึงอาจสะท้อนถึงประสิทธิภาพของรูปแบบสัญญาณไฟจราจรได้เฉพาะในบางกรณี โดยยังมีปัจจัยอีกหลายด้านซึ่งสามารถศึกษาประกอบการพิจารณาร่วมด้วย เช่น ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ปริมาณสัดส่วนรถเลี้ยว ปริมาณรถขนาดใหญ่ เป็นต้น เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

ทั้งนี้หากมีการพิจารณาศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม อาจมีผลต่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรูปแบบสัญญาณไฟแบบต่าง ๆ รวมถึงผลที่จะได้จากแบบจำลองการเลือกรูปแบบการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร ซึ่งยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและพัฒนาแบบจำลองต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Alexander, S., Robort, T. B., and Brian, R. G. (1998). Development and application of control strategies for signalized intersection in coordinated systems. **Transportation Research Record** 1634 (Paper No. 98-1271).

Bradley, W. Y. (1993). Fully-actuated vs. semi-actuated traffic signal systems. Yarger Engineering.

Dra□ en, C. (2004). An analysis of intersection traffic signal warrant, **Promet-Traffic-Traffico**. 2005 (17): 25-32

Feng-Bor, L. (1991). Knowledge base on semi-actuated traffic-signal control. **Journal of Transportation Engineering**. 1991 (117): 398-417

FHWA. (2009). Manual on uniform traffic control devices (2009 ed.). Federal Highway Administration.

FHWA. (2013). Traffic signal timing manual [On-line]. Available: http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter5.htm

James, C. W., Siamak, A. A. (1996). Impacts of traffic signal installation at marginally warranted intersections. **Research Report 1350-1F : FWHA/TX-94/1350-1F** (pp. 182). Federal Highway Administration.

Paul, J. C., H. Gene, H. Jr. (1998). Evaluation of potential traffic signal warrant considerations. **Report 1350-1 : TX-99/3991-1** (pp. 184). Texas Department of Transportation.

Roger, R. P., Prassas, E. S., McShane, W. R. (2011). **Traffic engineering** (4th edition). New Jersey: Pearson.

Sampson, J.D. (1999). Queue-based traffic-signal warrant : the 4Q/6Q warrant. **Institute of Transportation Engineer Journal.** 1999 (39): 30-36

Webster, F. V. (1969). Traffic signal settings. **Road research technical**. 1969 (39). London: Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory.

Xuesong, Z., Albert, G., David, S. (2010). Evaluation of design standards of four-hour-volume traffic signal warrant**. Journal of The Transportation Research Forum**. 2010 (49): 7-19

ทวี วิชัยเมธาวี. (2545). **การพัฒนาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอิ่มตัว**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นำชัย ศุภฤกษ์ชัยกุล. (2552). **การวิเคราะห์ Logistic Regression**. สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมฯ.

ปฏิภาณ แก้ววิเชียร. (2549). **การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรฑิตา ถามะพันธ์ (2557). **การจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนถนนหลวงสายหลัก กรณีสามแยกหน้าทางเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2557). **โครงการศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบสัญญาณไฟจราจรบนเส้นทางคมนาคมสายหลัก เพื่อลดการใช้พลังงานในภาคขนส่ง**. สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

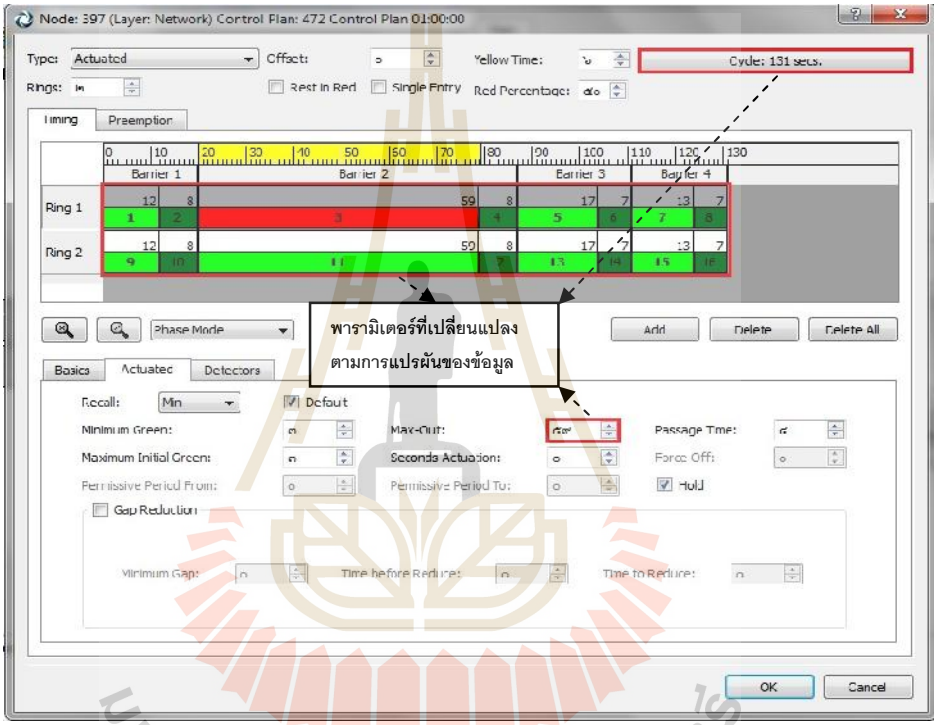
ศิริชัย กาญจนวาสี. (2554). **การวิเคราะห์พหุระดับ.** พิมพ์ครั้งที่ 5. ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรที่ใช้ในแบบจำลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรรวมระหว่างวันจากค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษา

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงที่มาของพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอขึ้นมาใหม่ซึ่งได้แก่ค่า Pack Day Factor และตัวอย่างการคำนวณปริมาณจราจรระหว่างวันเพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจะแสดงตัวอย่างการคำนวณ 1 ในกรณีที่ใช้ในการจำลองรูปแบบสัญญาณไฟจราจรได้แก่ กรณีปริมาณจราจรรวมสองทิศทางสูงสุดบนถนนสายหลักมีค่า 2000 คันต่อชั่วโมง ปริมาณจราจรทิศทางที่มากที่สุดบนถนนสายรอง 450 คันต่อชั่วโมง และค่า Peck Day Factor ที่ 0.5 PDF มีรายละเอียดดังนี้

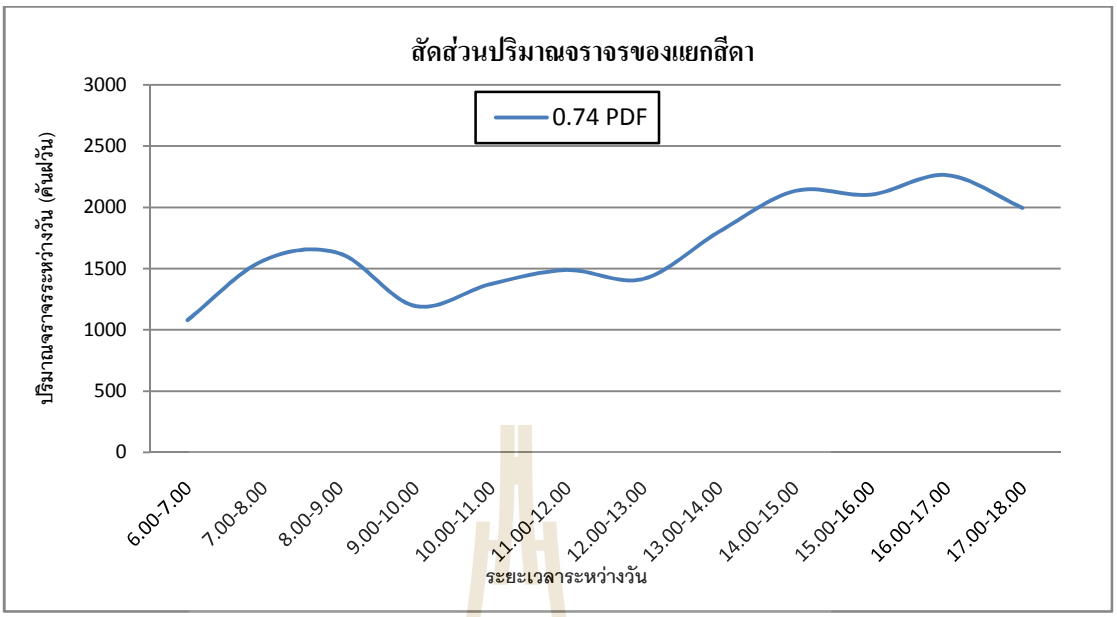
$$PDF = \frac{Daily\ \ Volume}{Max.\ Hour\ \ Volume \times N} \qquad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 ตัวแปรที่ทราบค่าได้แก่ PDF มีค่าเท่ากับ 0.5, N (จำนวนช่วงเวลาย่อยระหว่างวัน) เท่ากับ 12 ชั่วโมง และค่า Max. Hour Volume (ปริมาณจราจรของชั่วโมงที่สูงสุดระหว่างวัน) ซึ่งประกอบไปด้วยปริมาณจราจรรวมสองทิศทางสูงสุดบนถนนสายหลักมีค่า 2000 คันต่อชั่วโมง และปริมาณจราจรทิศทางที่มากที่สุดบนถนนสายรอง 450 คันต่อชั่วโมง ซึ่งยังขาดปริมาณจราจรในทิศทางตรงกันข้ามบนถนนสายรอง ผู้วิจัยจึงใช้วิธีกำหนดปริมาณจราจรในทิศทางตรงกันข้ามจากการใช้สัดส่วนของปริมาณจราจรจริงคือ 57.7 ต่อ 42.3 เปอร์เซนต์ ดังนั้นปริมาณจราจรในทิศทางตรงข้ามบนถนนสายรองในกรณีตัวอย่างนี้จะเท่ากับ 330 คันต่อชั่วโมง ดังแสดงในสมการ (ก.1)

$$Daily\ \ Volume = (2000 + (450 + 350)) \times 0.5 \times 12 \qquad (ก.1)$$

จากสมการที่ (ก.1) จะได้ปริมาณจราจรรวมระหว่างวันที่ออกแบบเท่ากับ 16,679 คันต่อวัน ซึ่งจะนำไปกระจายในแต่ละชั่วโมง โดยหลักการที่ใช้กำหนดปริมาณจราจรในแต่ละชั่วโมงจะมาจากข้อมูลสัดส่วนปริมาณจราจรจริง เพื่อให้การกระจายปริมาณจราจรระหว่างวันที่ความคล้ายคลึงกับสภาพจราจรจริงมากที่สุด แสดงดังรูปที่ ก.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

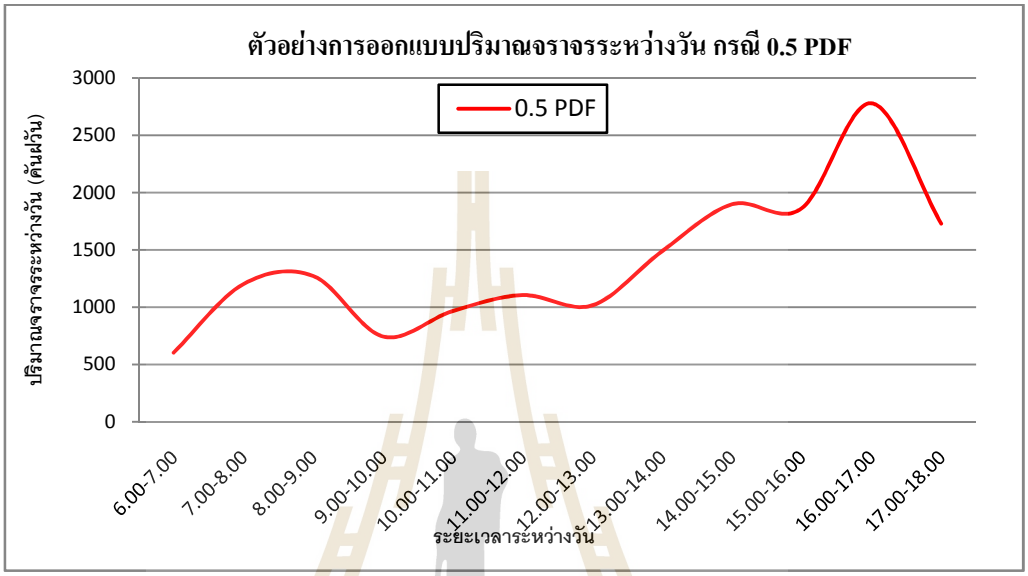


11 Hour Volume = Daily Volume (12 Hour) – Peak Hour Volume

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลาระหว่างวัน	ปริมาณจราจรแต่ละชั่วโมง	ค่าปรับแก้	ปริมาณจราจรแต่ละชั่วโมง (ปรับแก้)
6.00-7.00 น.	1326	-722	604
7.00-8.00 น.	1924	-722	1202
8.00-9.00 น.	1995	-722	1274
9.00-10.00 น.	1467	-722	746
10.00-11.00 น.	1690	-722	968
11.00-12.00 น.	1828	-722	1107
12.00-13.00 น.	1739	-722	1017
13.00-14.00 น.	2211	-722	1490
14.00-15.00 น.	2620	-722	1899
15.00-16.00 น.	2585	-722	1863
16.00-17.00 น.	2780		2780
17.00-18.00 น.	2452	-722	1730
ปริมาณรวมตามสัดส่วนจริง	24618		
ปริมาณรวมที่ออกแบบ	16679		16679
ผลต่าง	-7939		
ค่าปรับแก้	-722		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$stime(\ Major\ ) = \frac{(\ flow_{major1} \times stime_{major1}\ ) + (\ flow_{major2} \times stime_{major2}\ )}{flow_{major1} + flow_{major2}}$$

โดยที่ $stime(Major)$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายหลัก (คัน/วินาที)

$flow_{major1}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 1 (คัน/ชั่วโมง)

$flow_{major2}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 2 (คัน/ชั่วโมง)

$stime_{major1}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 1 (วินาที/กิโลเมตร)

$stime_{major2}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 2 (วินาที/กิโลเมตร)

เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายรอง (Minor)

$$stime(Minor) = \frac{(flow_{minor1} \times stime_{minor1}) + (flow_{minor2} \times stime_{minor2})}{flow_{minor1} + flow_{minor2}} \quad \text{(ก.4)}$$

โดยที่ $stime(Minor)$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนสายหลัก (คัน/วินาที)

$flow_{minor1}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 1 (คัน/ชั่วโมง)

$flow_{minor2}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 2 (คัน/ชั่วโมง)

$stime_{minor1}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 1 (วินาที/กิโลเมตร)

$stime_{minor2}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 2 (วินาที/กิโลเมตร)

เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนทั้งโครงข่าย (Sum)

$$stime(Sum) = \frac{(flow_{major1} \times stime_{major1}) + (flow_{major2} \times stime_{major2}) + (flow_{minor1} \times stime_{minor1}) + (flow_{minor2} \times stime_{minor2})}{flow_{major1} + flow_{major2} + flow_{minor1} + flow_{minor2}} \quad (ก.5)$$

โดยที่ $stime(Sum)$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดเฉลี่ยบนถนนทั้งโครงข่าย (คัน/วินาที)

$flow_{major1}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 1 (คัน/ชั่วโมง)

$flow_{major2}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 2 (คัน/ชั่วโมง)

$stime_{major1}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 1 (วินาที/กิโลเมตร)

$stime_{major2}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 2 (วินาที/กิโลเมตร)

$flow_{minor1}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 1 (คัน/ชั่วโมง)

$flow_{minor2}$ คือ อัตราการไหลของรถบนถนนเส้นสายหลักเส้นที่ 2 (คัน/ชั่วโมง)

$stime_{minor1}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 1 (วินาที/กิโลเมตร)

$stime_{minor2}$ คือ เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุดบนถนนสายหลักเส้นที่ 2 (วินาที/กิโลเมตร)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองจราจรบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายหลักกรณี PDF = 0.9

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.9	2000	450	22.91	22.70	23.57
0.9	2000	350	20.16	19.74	21.25
0.9	2000	250	16.82	16.88	18.53
0.9	2000	150	13.49	13.36	14.78
0.9	2000	50	11.43	9.12	9.90
0.9	1600	450	23.59	24.01	24.84
0.9	1600	350	20.82	20.89	21.92
0.9	1600	250	17.34	17.28	18.41
0.9	1600	150	14.37	13.38	14.16
0.9	1600	50	12.51	8.80	8.88
0.9	1200	450	24.63	24.84	24.78
0.9	1200	350	21.02	21.14	21.57
0.9	1200	250	18.12	17.55	17.74
0.9	1200	150	14.99	12.68	12.71
0.9	1200	50	13.51	8.10	7.53
0.9	800	450	24.82	24.30	24.07
0.9	800	350	21.84	21.45	21.19
0.9	800	250	18.75	17.15	16.93
0.9	800	150	15.91	12.29	11.74
0.9	800	50	14.03	6.88	5.97
0.9	400	450	24.80	23.90	23.33
0.9	400	350	22.82	20.86	20.12
0.9	400	250	20.36	17.40	16.82
0.9	400	150	17.64	12.15	11.17
0.9	400	50	14.99	5.74	4.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.2 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายหลักกรณี PDF = 0.8

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.8	2000	450	23.22	22.55	23.49
0.8	2000	350	20.29	19.71	21.30
0.8	2000	250	16.79	16.63	18.08
0.8	2000	150	13.40	12.95	14.17
0.8	2000	50	11.55	8.68	9.22
0.8	1600	450	23.78	23.58	24.27
0.8	1600	350	20.91	20.35	21.25
0.8	1600	250	17.26	16.86	17.64
0.8	1600	150	14.35	12.86	13.36
0.8	1600	50	12.37	8.32	8.21
0.8	1200	450	24.59	23.92	23.87
0.8	1200	350	20.92	20.54	20.70
0.8	1200	250	17.97	16.71	16.88
0.8	1200	150	14.87	12.05	11.92
0.8	1200	50	13.21	7.26	6.83
0.8	800	450	24.45	23.57	23.00
0.8	800	350	21.55	20.51	20.15
0.8	800	250	18.62	16.52	15.79
0.8	800	150	15.75	11.61	10.90
0.8	800	50	13.92	6.34	5.59
0.8	400	450	24.52	23.20	22.37
0.8	400	350	22.56	19.97	19.45
0.8	400	250	20.07	16.51	15.72
0.8	400	150	17.65	11.70	10.53
0.8	400	50	15.05	5.67	4.39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.3 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายหลักกรณี PDF = 0.7

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.7	2000	450	23.48	22.02	22.82
0.7	2000	350	20.41	19.28	20.46
0.7	2000	250	16.82	16.10	17.28
0.7	2000	150	13.50	12.46	13.41
0.7	2000	50	11.40	8.19	8.50
0.7	1600	450	23.79	22.95	23.12
0.7	1600	350	20.84	19.81	20.30
0.7	1600	250	17.06	16.19	16.66
0.7	1600	150	14.17	12.27	12.38
0.7	1600	50	12.35	7.78	7.53
0.7	1200	450	24.32	23.13	22.67
0.7	1200	350	20.77	19.79	19.61
0.7	1200	250	17.67	15.96	15.78
0.7	1200	150	14.70	11.52	11.09
0.7	1200	50	13.23	6.94	6.32
0.7	800	450	24.43	22.63	22.02
0.7	800	350	21.57	19.76	18.99
0.7	800	250	18.31	15.54	14.98
0.7	800	150	15.69	11.08	10.16
0.7	800	50	13.95	6.04	5.18
0.7	400	450	24.38	21.86	21.28
0.7	400	350	22.46	19.00	18.22
0.7	400	250	20.15	16.04	14.90
0.7	400	150	17.44	11.09	9.70
0.7	400	50	14.84	5.33	4.13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.4 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายหลักกรณี PDF = 0.6

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.6	2000	450	23.91	21.49	21.97
0.6	2000	350	20.35	18.87	19.44
0.6	2000	250	16.81	15.68	16.39
0.6	2000	150	13.18	11.83	12.25
0.6	2000	50	11.30	7.55	7.46
0.6	1600	450	23.95	21.83	22.01
0.6	1600	350	20.75	18.98	19.12
0.6	1600	250	16.69	15.36	15.44
0.6	1600	150	13.92	11.40	11.18
0.6	1600	50	12.11	6.95	6.58
0.6	1200	450	24.00	22.11	21.22
0.6	1200	350	20.40	18.84	18.28
0.6	1200	250	17.49	15.13	14.58
0.6	1200	150	14.53	10.49	9.78
0.6	1200	50	12.99	6.10	5.37
0.6	800	450	24.16	21.53	20.51
0.6	800	350	21.37	18.68	17.71
0.6	800	250	18.24	14.78	13.72
0.6	800	150	15.59	10.24	9.18
0.6	800	50	13.81	5.42	4.45
0.6	400	450	24.11	20.80	19.92
0.6	400	350	22.19	18.01	17.22
0.6	400	250	19.99	14.91	13.84
0.6	400	150	17.40	10.36	9.04
0.6	400	50	14.76	5.01	3.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.5 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายหลักกรณี PDF = 0.5

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.5	2000	450	24.15	20.52	20.33
0.5	2000	350	20.65	17.96	18.12
0.5	2000	250	16.69	14.86	15.12
0.5	2000	150	13.05	11.12	11.06
0.5	2000	50	11.22	7.00	6.74
0.5	1600	450	23.87	20.89	20.26
0.5	1600	350	20.38	18.01	17.57
0.5	1600	250	16.59	14.51	14.05
0.5	1600	150	13.81	10.76	10.18
0.5	1600	50	12.09	6.31	5.76
0.5	1200	450	23.91	20.79	19.70
0.5	1200	350	20.19	17.58	16.78
0.5	1200	250	17.39	14.07	13.24
0.5	1200	150	14.31	9.87	8.81
0.5	1200	50	13.04	5.62	4.81
0.5	800	450	23.86	20.28	19.06
0.5	800	350	21.14	17.36	16.30
0.5	800	250	17.92	13.74	12.46
0.5	800	150	15.46	9.68	8.22
0.5	800	50	13.69	5.01	3.99
0.5	400	450	24.04	19.73	18.61
0.5	400	350	22.18	17.13	15.94
0.5	400	250	19.75	13.78	12.48
0.5	400	150	17.27	9.49	8.07
0.5	400	50	14.76	4.51	3.34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.6 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายรองกรณี PDF = 0.9

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.9	2000	450	49.14	54.48	37.45
0.9	2000	350	45.99	50.93	34.90
0.9	2000	250	45.69	48.32	32.21
0.9	2000	150	50.39	50.10	30.26
0.9	2000	50	61.07	69.56	30.28
0.9	1600	450	41.15	44.72	33.83
0.9	1600	350	38.87	41.31	31.18
0.9	1600	250	38.48	39.56	28.77
0.9	1600	150	40.38	39.69	26.92
0.9	1600	50	41.43	43.07	24.21
0.9	1200	450	33.73	36.42	30.75
0.9	1200	350	32.68	34.64	28.53
0.9	1200	250	32.05	32.76	26.04
0.9	1200	150	32.10	33.72	24.07
0.9	1200	50	32.24	34.70	20.47
0.9	800	450	28.22	29.73	27.22
0.9	800	350	27.28	28.64	25.56
0.9	800	250	26.47	27.43	23.42
0.9	800	150	26.84	27.77	21.12
0.9	800	50	26.94	30.18	17.52
0.9	400	450	23.86	24.24	23.63
0.9	400	350	22.97	22.84	22.04
0.9	400	250	22.08	21.96	20.82
0.9	400	150	21.70	22.10	18.58
0.9	400	50	23.03	26.26	15.02

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายรองกรณี PDF = 0.8

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.8	2000	450	48.74	54.03	35.37
0.8	2000	350	45.56	50.27	33.07
0.8	2000	250	44.38	47.21	30.54
0.8	2000	150	46.60	47.84	27.89
0.8	2000	50	54.87	62.52	27.23
0.8	1600	450	40.75	44.05	32.19
0.8	1600	350	38.17	40.92	29.66
0.8	1600	250	37.06	39.03	27.19
0.8	1600	150	38.22	38.97	25.09
0.8	1600	50	38.99	42.32	22.64
0.8	1200	450	33.38	35.94	29.40
0.8	1200	350	31.87	33.99	27.09
0.8	1200	250	31.25	32.32	24.79
0.8	1200	150	31.46	33.43	22.99
0.8	1200	50	31.35	34.67	19.29
0.8	800	450	27.97	29.32	26.33
0.8	800	350	27.10	28.09	24.77
0.8	800	250	25.93	27.17	22.38
0.8	800	150	25.98	27.39	20.38
0.8	800	50	26.74	30.21	16.73
0.8	400	450	23.67	23.76	23.28
0.8	400	350	22.63	22.52	21.73
0.8	400	250	21.77	21.85	20.40
0.8	400	150	21.53	22.27	18.50
0.8	400	50	22.85	26.18	14.79

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.8 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายรองกรณี PDF = 0.7

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.7	2000	450	48.71	53.47	33.89
0.7	2000	350	44.82	49.83	31.54
0.7	2000	250	43.82	47.41	28.79
0.7	2000	150	45.75	47.05	26.96
0.7	2000	50	51.98	59.38	25.03
0.7	1600	450	40.19	43.38	30.72
0.7	1600	350	37.71	40.66	28.62
0.7	1600	250	36.26	38.85	26.36
0.7	1600	150	38.44	39.21	24.47
0.7	1600	50	38.43	42.08	21.54
0.7	1200	450	33.10	35.66	28.04
0.7	1200	350	31.49	33.74	26.35
0.7	1200	250	31.46	32.32	23.89
0.7	1200	150	31.18	33.80	22.18
0.7	1200	50	31.60	35.34	18.58
0.7	800	450	27.76	29.10	25.42
0.7	800	350	26.49	27.91	24.26
0.7	800	250	25.98	27.39	21.79
0.7	800	150	26.17	27.51	19.65
0.7	800	50	26.18	30.69	16.40
0.7	400	450	23.38	23.33	22.58
0.7	400	350	22.67	22.24	21.39
0.7	400	250	21.75	21.87	20.01
0.7	400	150	21.44	22.47	17.70
0.7	400	50	23.27	26.73	14.72

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.9 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายรองกรณี PDF = 0.6

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.6	2000	450	48.12	53.40	31.33
0.6	2000	350	44.32	49.25	29.47
0.6	2000	250	42.21	46.38	27.03
0.6	2000	150	43.32	46.86	24.76
0.6	2000	50	46.71	55.52	22.75
0.6	1600	450	39.65	42.92	29.13
0.6	1600	350	37.05	40.08	26.88
0.6	1600	250	35.51	38.29	24.71
0.6	1600	150	36.02	38.63	22.59
0.6	1600	50	36.10	40.97	19.77
0.6	1200	450	32.90	35.05	26.66
0.6	1200	350	31.10	33.25	24.69
0.6	1200	250	30.20	32.10	22.82
0.6	1200	150	30.54	33.74	20.26
0.6	1200	50	30.45	35.30	17.23
0.6	800	450	27.42	28.76	24.31
0.6	800	350	26.23	27.71	23.02
0.6	800	250	25.80	27.25	20.87
0.6	800	150	25.47	28.01	18.85
0.6	800	50	25.70	31.00	15.37
0.6	400	450	23.06	22.95	21.94
0.6	400	350	22.30	22.10	20.56
0.6	400	250	21.42	21.64	19.39
0.6	400	150	21.42	22.30	17.06
0.6	400	50	22.96	26.80	14.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.10 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนสายรองกรณี PDF = 0.5

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.5	2000	450	47.86	52.12	29.33
0.5	2000	350	43.66	49.12	27.81
0.5	2000	250	41.42	45.51	25.51
0.5	2000	150	42.23	45.56	23.08
0.5	2000	50	46.90	57.80	21.59
0.5	1600	450	39.16	42.70	27.37
0.5	1600	350	36.51	39.82	25.44
0.5	1600	250	35.43	38.76	23.47
0.5	1600	150	35.71	38.60	21.28
0.5	1600	50	36.62	42.03	18.51
0.5	1200	450	32.18	34.72	25.14
0.5	1200	350	30.65	33.52	23.78
0.5	1200	250	29.88	32.48	21.52
0.5	1200	150	29.68	33.91	19.35
0.5	1200	50	30.05	35.69	16.34
0.5	800	450	27.33	28.31	23.44
0.5	800	350	26.02	27.53	21.94
0.5	800	250	25.68	27.13	20.01
0.5	800	150	25.41	28.17	17.83
0.5	800	50	26.06	31.14	14.86
0.5	400	450	23.05	22.82	21.26
0.5	400	350	22.28	21.75	20.10
0.5	400	250	21.40	21.47	18.59
0.5	400	150	21.25	22.62	16.39
0.5	400	50	23.16	26.89	13.90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.11 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนทั้งโครงข่ายกรณี PDF = 0.9

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.9	2000	450	28.94	29.99	26.76
0.9	2000	350	25.40	26.08	24.01
0.9	2000	250	21.90	22.37	20.94
0.9	2000	150	18.82	18.65	17.01
0.9	2000	50	16.80	15.63	12.10
0.9	1600	450	28.04	29.26	27.13
0.9	1600	350	24.89	25.50	24.01
0.9	1600	250	21.44	21.59	20.42
0.9	1600	150	18.48	17.54	16.17
0.9	1600	50	15.79	12.69	10.62
0.9	1200	450	27.26	28.19	26.51
0.9	1200	350	24.06	24.65	23.39
0.9	1200	250	21.19	20.91	19.57
0.9	1200	150	18.02	16.40	14.72
0.9	1200	50	15.80	11.36	9.11
0.9	800	450	26.00	26.18	25.17
0.9	800	350	23.54	23.69	22.55
0.9	800	250	20.83	19.91	18.67
0.9	800	150	18.23	15.58	13.73
0.9	800	50	15.80	10.07	7.55
0.9	400	450	24.38	24.05	23.46
0.9	400	350	22.88	21.68	20.91
0.9	400	250	20.99	19.06	18.28
0.9	400	150	18.84	15.08	13.35
0.9	400	50	16.40	9.31	6.40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.12 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนทั้งโครงข่ายกรณี PDF = 0.8

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.8	2000	450	29.03	29.77	26.20
0.8	2000	350	25.46	25.97	23.72
0.8	2000	250	21.63	21.98	20.26
0.8	2000	150	18.19	17.98	16.14
0.8	2000	50	16.28	14.55	11.19
0.8	1600	450	28.09	28.80	26.29
0.8	1600	350	24.80	25.01	23.14
0.8	1600	250	21.10	21.16	19.49
0.8	1600	150	18.09	16.96	15.20
0.8	1600	50	15.39	12.18	9.85
0.8	1200	450	27.13	27.41	25.48
0.8	1200	350	23.77	24.02	22.36
0.8	1200	250	20.92	20.19	18.64
0.8	1200	150	17.82	15.84	13.89
0.8	1200	50	15.42	10.61	8.36
0.8	800	450	25.67	25.57	24.16
0.8	800	350	23.28	22.86	21.60
0.8	800	250	20.58	19.39	17.55
0.8	800	150	17.93	14.97	12.92
0.8	800	50	15.70	9.64	7.13
0.8	400	450	24.14	23.45	22.78
0.8	400	350	22.59	21.02	20.39
0.8	400	250	20.69	18.45	17.42
0.8	400	150	18.79	14.81	12.87
0.8	400	50	16.45	9.34	6.26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.13 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนทั้งโครงข่ายกรณี PDF = 0.7

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.7	2000	450	29.26	29.20	25.37
0.7	2000	350	25.35	25.51	22.72
0.7	2000	250	21.57	21.60	19.29
0.7	2000	150	18.18	17.48	15.37
0.7	2000	50	15.76	13.66	10.28
0.7	1600	450	27.94	28.16	25.06
0.7	1600	350	24.68	24.55	22.19
0.7	1600	250	20.79	20.59	18.54
0.7	1600	150	18.01	16.54	14.30
0.7	1600	50	15.33	11.70	9.13
0.7	1200	450	26.88	26.76	24.23
0.7	1200	350	23.54	23.41	21.35
0.7	1200	250	20.75	19.61	17.59
0.7	1200	150	17.64	15.51	13.07
0.7	1200	50	15.49	10.44	7.83
0.7	800	450	25.60	24.89	23.21
0.7	800	350	23.11	22.30	20.63
0.7	800	250	20.38	18.73	16.81
0.7	800	150	17.93	14.57	12.17
0.7	800	50	15.64	9.45	6.73
0.7	400	450	23.93	22.52	21.86
0.7	400	350	22.55	20.33	19.52
0.7	400	250	20.74	18.16	16.75
0.7	400	150	18.61	14.43	12.05
0.7	400	50	16.34	9.14	6.02

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.14 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนทั้งโครงข่ายกรณี PDF = 0.6

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.6	2000	450	29.45	28.81	24.11
0.6	2000	350	25.27	25.09	21.51
0.6	2000	250	21.30	21.12	18.27
0.6	2000	150	17.53	16.89	14.06
0.6	2000	50	15.07	12.71	9.09
0.6	1600	450	27.94	27.22	23.83
0.6	1600	350	24.47	23.81	20.88
0.6	1600	250	20.38	19.90	17.28
0.6	1600	150	17.41	15.68	12.97
0.6	1600	50	14.80	10.76	8.05
0.6	1200	450	26.60	25.88	22.80
0.6	1200	350	23.19	22.61	19.97
0.6	1200	250	20.32	18.90	16.40
0.6	1200	150	17.38	14.62	11.63
0.6	1200	50	15.12	9.67	6.82
0.6	800	450	25.30	24.05	21.83
0.6	800	350	22.88	21.49	19.37
0.6	800	250	20.29	18.18	15.66
0.6	800	150	17.67	13.98	11.21
0.6	800	50	15.43	8.90	5.93
0.6	400	450	23.64	21.76	20.82
0.6	400	350	22.24	19.70	18.59
0.6	400	250	20.50	17.34	15.84
0.6	400	150	18.58	13.93	11.43
0.6	400	50	16.21	8.87	5.60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.15 ผลจากแบบจำลองจราจรบนถนนทั้งโครงข่ายกรณี PDF = 0.5

PDF	*MAJOR (veh/hr)*	*MINOR (veh/hr)*	*Stopped Time Delay (veh/s)*		
			Fix	*Semi*	*Full*
0.5	2000	450	29.61	27.79	22.40
0.5	2000	350	25.35	24.32	20.10
0.5	2000	250	21.07	20.29	16.97
0.5	2000	150	17.25	16.07	12.79
0.5	2000	50	15.12	12.57	8.37
0.5	1600	450	27.76	26.44	22.07
0.5	1600	350	24.02	22.93	19.35
0.5	1600	250	20.23	19.22	15.89
0.5	1600	150	17.29	15.17	11.94
0.5	1600	50	14.88	10.38	7.21
0.5	1200	450	26.32	24.86	21.28
0.5	1200	350	22.90	21.71	18.59
0.5	1200	250	20.16	18.16	15.08
0.5	1200	150	17.04	14.13	10.68
0.5	1200	50	15.11	9.28	6.21
0.5	800	450	25.07	23.09	20.58
0.5	800	350	22.68	20.57	18.09
0.5	800	250	20.01	17.35	14.50
0.5	800	150	17.57	13.63	10.26
0.5	800	50	15.39	8.61	5.49
0.5	400	450	23.60	21.11	19.78
0.5	400	350	22.22	19.04	17.65
0.5	400	250	20.34	16.56	14.68
0.5	400	150	18.42	13.31	10.48
0.5	400	50	16.28	8.56	5.26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายอานนท์ จันทรตัง เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2534 ที่อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนสุขานารี อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2552 เริ่มเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะที่ทำการศึกษา ได้เข้าฝึกงานสหกิจศึกษากับบริษัท ดีเอชแอล ซัพพลายเชน (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร และในปี พ.ศ. 2556 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี