

การจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลัก กรณีสามแยกหน้า  
ทางเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นางสาวพรทิศา ถามะพันธ์

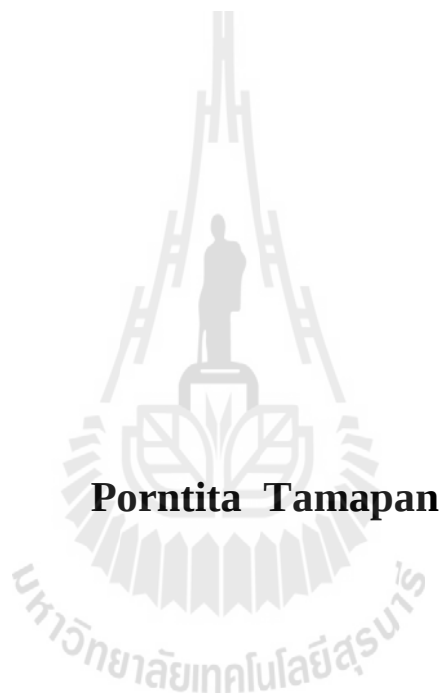
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

**TRAFFIC MANAGEMENT AT A T-INTERSECTION ON  
A MAJOR HIGHWAY : A CASE STUDY AT  
SURANAREE UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY ENTRANCE**



**Porntita Tamapan**

**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 2014**

การจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลัก กรณีสามแยกหน้าทางเข้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.ศิริศล ศิริธร)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พรทิตา ถามะพันธ์ : การจัดการจราจรบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลัก กรณี  
สามแยกหน้าทางเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (TRAFFIC MANAGEMENT  
AT A T-INTERSECTION ON A MAJOR HIGHWAY : A CASE STUDY AT  
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ENTRANCE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภูบุบผาพันธ์, 104 หน้า

บริเวณสามแยกหน้าทางเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นทั้งแยกทางเข้าและจุดกลับรถ มีจุดตัดกระแสรถจราจรและทำให้มีความไม่คล่องตัวในการจราจร กระแสจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าจะมีปริมาณจราจรในทิศทางที่ต้องการเลี้ยวขวาเข้าสู่มหาวิทยาลัยจำนวนมาก และในอนาคตมีแนวโน้มที่ปริมาณจราจรจะเพิ่มมากขึ้น จนทำให้เกิดแถวคอยที่ล้นออกจากช่องรอ-เลี้ยว บนโครงข่ายถนนมีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร เป็นสัญญาณไฟประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Pre-time Traffic Signal) จึงทำให้ไม่สอดคล้องกับปริมาณจราจรในบางช่วงเวลา การศึกษาวิจัยนี้จึงทำการศึกษารูปแบบความเหมาะสมการปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ปรับปรุงสัญญาณไฟในสภาพจราจรปัจจุบัน และปรับปรุงสัญญาณไฟหากมีการเพิ่มปริมาณจราจรในอนาคต โดยใช้รูปแบบการจำลอง 3 รูปแบบ คือ การจำลองติดตั้งสัญญาณไฟจราจรคงที่ที่เหมาะสมจากการคำนวณของปริมาณจราจรแต่ละช่วง (Multiple-time plan), การจำลองสัญญาณไฟแบบกึ่งกระตุ้น (semi- actuated control) และแบบกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) ซึ่งใช้ตัวชี้วัดประสิทธิผล ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณทางแยก, เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที), ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แยกสำหรับแต่ละตัวชี้วัดจะพบว่ารูปแบบการควบคุมจราจรที่ดีที่สุดอาจแตกต่างกัน โดยพบแนวโน้มว่าการควบคุมแบบกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) จะให้ผลที่ดีในหลายตัวชี้วัด การวิจัยนี้จึงสรุปว่าแบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) ทำให้การจัดการจราจรบริเวณทางแยกนี้มีประสิทธิภาพดีที่สุด

PORNTITA TAMAPAN : TRAFFIC MANAGEMENT AT  
A T-INTERSECTION ON A MAJOR HIGHWAY : A CASE STUDY AT  
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ENTRANCE.  
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATTAPHOL PUEBOOBPAPHAN,  
Ph.D., 104 PP.

ACTUATED SIGNAL/ T INTERSECTION/ AIMSUN/ SIMULATION/ SEMI  
ACTUATED SIGNAL/ FULL ACTUATED SIGNAL/

The T-intersection at the entrance of Suranaree University of Technology, has a number of traffic conflicts. There is a large amount of right-turn traffic entering to the campus in the morning rush hours, and the right-turn demand is often larger than the capacity of the right-turn bay, causing queue overflows into through lane and interrupts the through traffic. The existing traffic signal is operated under a Pre-time control which may not be appropriate for time varying traffic demand pattern at this intersection.

This research evaluates some control alternatives to improve traffic signal control at this intersection under two traffic scenarios: existing traffic demand and increased traffic demand (future scenario). Three control alternatives were considered in this study, namely Multiple time plan, Semi-actuated control, and Full-actuated control. Microscopic traffic simulation was employed as a tool to evaluate and compare the performance between different alternative, considering average speed, average travel time, total travel time, average delay time, and stopped delay as the performance indicators. The results show that it is not possible to indicate the best

control which can dominate all other controls when comparing each individual performance indicators. However, the full-actuated control tends to be superior to other controls as it leads to better performance in most of the indicators.



School of Transportation Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature\_\_\_\_\_

Advisor's Signature\_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และ ด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่มุขพาพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรมสั่งสอน ชี้แนะช่วยเหลือในการทำการวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการสร้างแบบจำลองตามหลักการทฤษฎีรวมถึงให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร. ศิรตล ศิริธร กรรมการที่กรุณาให้การแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับการจำลองโปรแกรมจราจร และชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

คุณสนธิณรงค์ สุอังกะ นักศึกษาคุุณภูมิตติวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความรู้และแนะแนวทางการจำลองโปรแกรมจราจร ในระหว่างการศึกษา

คุณวันเพ็ญ สืบสาย เลขานุกรมสาขาวิศวกรรมขนส่ง ที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสารต่างๆ ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษา (ทุนศักยภาพ) ในการศึกษาระดับปริญญาโท

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดูด้วยความรัก และส่งเสริมทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

พรจิตา ถามะพันธ์

# สารบัญ

หน้า

|                                                     |          |
|-----------------------------------------------------|----------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....                             | ก        |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....                          | ข        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                | ง        |
| สารบัญ.....                                         | จ        |
| สารบัญตาราง .....                                   | ช        |
| สารบัญรูป .....                                     | ซ        |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....                     | ฎ        |
| <b>บทที่</b>                                        |          |
| <b>1 บทนำ .....</b>                                 | <b>1</b> |
| 1.1 ที่มาของปัญหาการวิจัยและความสำคัญ.....          | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ .....                              | 2        |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา .....                            | 2        |
| 1.4 ขั้นตอนการศึกษา .....                           | 3        |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา.....             | 4        |
| <b>2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b> | <b>4</b> |
| 2.1 สัญญาณไฟจราจร.....                              | 4        |
| 2.2 ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร .....                   | 6        |
| 2.3 การออกแบบสัญญาณไฟ .....                         | 16       |
| 2.4 คำจำกัดความเบื้องต้นสำหรับทางแยก.....           | 18       |
| 2.5 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร.....                      | 20       |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                     | 23       |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|          |                                             |           |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>วิธีการศึกษา</b>                         | <b>31</b> |
| 3.1      | ขั้นตอนการศึกษา                             | 31        |
| 3.2      | การเลือกศึกษาทางแยก                         | 32        |
| 3.3      | การเก็บข้อมูล                               | 33        |
| 3.4      | ถอดข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์                   | 35        |
| 3.5      | สร้างแบบจำลอง                               | 36        |
| 3.6      | แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้                | 42        |
| 3.7      | รายละเอียดในการกำหนดค่าพารามิเตอร์          | 44        |
| 3.8      | การวิเคราะห์ผลแบบจำลอง                      | 52        |
| 3.9      | วิธีการคำนวณ                                | 53        |
| <b>4</b> | <b>ผลการวิจัย</b>                           | <b>56</b> |
| 4.1      | บทนำ                                        | 56        |
| 4.2      | ผลการปรับเทียบค่าแบบจำลอง                   | 56        |
| 4.3      | ผลแบบจำลอง                                  | 58        |
| 4.4      | วิเคราะห์ผลแบบจำลอง                         | 74        |
| <b>5</b> | <b>สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ</b>          | <b>76</b> |
| 5.1      | สรุปผลการศึกษา                              | 76        |
| 5.2      | ข้อเสนอแนะ                                  | 76        |
|          | รายการอ้างอิง                               | 78        |
|          | ภาคผนวก                                     |           |
|          | ภาคผนวก ก. กราฟแสดงผลของระยะห่างระหว่างขบวน | 80        |
|          | ภาคผนวก ข. ลักษณะทางกายภาพของทางแยก         | 85        |
|          | ภาคผนวก ค. ตารางความเร็วที่สำรวจ            | 88        |
|          | ภาคผนวก ง. ปริมาณจราจร                      | 91        |
|          | ประวัติผู้เขียน                             | 104       |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า                                                                        |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 3.1      | ลักษณะทางกายภาพ ทางแยก (แยกหนองปรือ)..... 34                                |
| 3.2      | จังหวะสัญญาณไฟจราจร ทางแยก(แยกหนองปรือ) ..... 34                            |
| 3.3      | เกณฑ์การคัดเลือกโปรแกรม ..... 37                                            |
| 3.4      | พารามิเตอร์ของรถยนต์ส่วนบุคคล(car)..... 38                                  |
| 3.5      | พารามิเตอร์ของรถบรรทุก(truck)..... 39                                       |
| 3.6      | แบบจำลองที่ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถบรรทุก ..... 40      |
| 3.7      | ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับเทียบแบบจำลอง ..... 42                              |
| 3.8      | จังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ของช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ..... 44                 |
| 3.9      | แบบสรุปผลของรอบสัญญาณไฟฟงที่หลายแผน(Multiple-time plan) ตามแต่ละช่วงเวลา 46 |
| 3.10     | พารามิเตอร์ของสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งกระตุ้น ..... 47                          |
| 3.11     | พารามิเตอร์ของสัญญาณไฟจราจรแบบกระตุ้นเต็มที่ ..... 50                       |
| 3.12     | ค่าจากผลแบบจำลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ ..... 52                                 |
| 4.1      | เปรียบเทียบผลการปรับเทียบแบบจำลอง..... 58                                   |
| 4.2      | ผลของแบบจำลองในสภาพปริมาณจราจรปัจจุบัน ..... 60                             |
| 4.3      | ผลของแบบจำลองในอัตราเพิ่มปริมาณจราจร (demand1) ..... 61                     |
| 4.4      | ผลของแบบจำลองในอัตราเพิ่มปริมาณจราจร (demand2) ..... 62                     |

## สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า                                                                                                              |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1    | อัตราการใช้ของปริมาณจราจรในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว..... 7                                                           |
| 2.2    | ปัญหาช่วงสัญญาณไฟเขียวไม่เพียงพอ ..... 10                                                                         |
| 2.3    | หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจร ..... 12                                                                      |
| 2.4    | การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ ..... 13                     |
| 2.5    | การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น ..... 14                                                                    |
| 2.6    | รูปแบบของอุปกรณ์ตรวจนับที่ผิวจราจร ..... 15                                                                       |
| 3.1    | ขั้นตอนการดำเนินการในการสร้างแบบจำลอง ..... 31                                                                    |
| 3.2    | ทางบริเวณทางแยกหน้าประตูมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรุ) ..... 32                                         |
| 3.3    | ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องวิดีโอในการบันทึกสภาพจราจร..... 33                                                          |
| 3.4    | กระบวนการจำลองสถานการณ์ ..... 36                                                                                  |
| 3.5    | จำลองโครงข่ายทางแยกหน้าประตูมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรุ)..... 44                                      |
| 3.6    | จังหวะสัญญาณไฟในแบบจำลองของสภาพปัจจุบัน ..... 45                                                                  |
| 3.7    | กำหนดค่าสัญญาณไฟของแบบจำลองกึ่งกระตุ้น ..... 48                                                                   |
| 3.8    | ตำแหน่งการติดตั้ง ตัวตรวจนับในแบบจำลองสัญญาณไฟกึ่งกระตุ้น ..... 49                                                |
| 3.9    | กำหนดค่าสัญญาณไฟของแบบจำลองกระตุ้นเต็มที่ ..... 51                                                                |
| 3.10   | ตำแหน่งการติดตั้ง ตัวตรวจนับในแบบจำลองสัญญาณไฟกึ่งกระตุ้น ..... 51                                                |
| 4.1    | แสดงผลแบบจำลองของความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 63 |
| 4.2    | แสดงผลแบบจำลองของความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 64          |
| 4.3    | แสดงผลแบบจำลองของความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 64          |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า                                                                                                                          |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.4    | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 65           |
| 4.5    | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 66                    |
| 4.6    | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 66                    |
| 4.7    | แสดงผลแบบจำลองของความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 67            |
| 4.8    | แสดงผลแบบจำลองของความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 67                     |
| 4.9    | แสดงผลแบบจำลองของความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 68                     |
| 4.10   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 68 |
| 4.11   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1 ..... 69         |
| 4.12   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2 ..... 69         |
| 4.13   | แสดงผลแบบจำลองของจำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 70                |
| 4.14   | แสดงผลแบบจำลองของจำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 70                         |
| 4.15   | แสดงผลแบบจำลองของจำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 71                         |
| 4.16   | แสดงผลแบบจำลองของระยะทางรวมที่รถวิ่ง(กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 71                 |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า                                                                                                        |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.17   | แสดงผลแบบจำลองของระยะทางรวมที่รถวิ่ง(กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 72        |
| 4.18   | แสดงผลแบบจำลองของระยะทางรวมที่รถวิ่ง(กิโลเมตร) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 72        |
| 4.19   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี Existing demand ..... 73 |
| 4.20   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand1..... 73          |
| 4.21   | แสดงผลแบบจำลองของเวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) ในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละวิธีจำลอง กรณี demand2..... 74          |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|                     |     |                                                                                                  |
|---------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ring                | คือ | วงรอบสัญญาณไฟ                                                                                    |
| Basic phase         | คือ | ทิศทางสัญญาณไฟจราจร                                                                              |
| Interphase          | คือ | ทิศทางสัญญาณไฟจราจรโดยไม่ได้ระบุทิศทาง เพื่อใช้เป็นตัวแทนใน<br>การจำลองสัญญาณไฟเหลืองและแดงทุกขา |
| Node                | คือ | จุด                                                                                              |
| Link                | คือ | เส้นทาง หรือเส้นทางที่ใช้ในแบบจำลอง                                                              |
| Centroid            | คือ | จุดสร้างทิศทางเดินรถ                                                                             |
| Detector            | คือ | ตัวตรวจวัด                                                                                       |
| Gmin                | คือ | เวลาไฟเขียวในขานั้นที่น้อยที่สุดที่สัญญาณไฟจะเรียกให้                                            |
| Gmax                | คือ | ไฟเขียวสูงสุดที่ยอมให้                                                                           |
| Recall              | คือ | การเรียกขอสัญญาณไฟจราจร                                                                          |
| Passage time        | คือ | เวลาส่วนเพิ่มขยายของไฟเขียวขั้นต่ำ (Gmin)                                                        |
| Max-out             | คือ | ช่วงเวลาไฟเขียวขยาย                                                                              |
| Dual entry          | คือ | เดินรถทั้งสองทิศทาง (คำสั่งจำลองในโปรแกรม)                                                       |
| Hold                | คือ | ให้คงสัญญาณไฟเขียว หากไม่มีรถมากระตุ้นขาอื่น (คำสั่งจำลองในโปรแกรม)                              |
| Max Desired Speed   | คือ | ความเร็วเฉลี่ยสูงสุด (ความเร็วออกแบบ)                                                            |
| Max Acceleration    | คือ | อัตราเร่งสูงสุด                                                                                  |
| Normal Deceleration | คือ | เวลาชะลอตัวปกติ                                                                                  |
| Max Deceleration    | คือ | เวลาชะลอตัวสูงสุด                                                                                |
| Speed Acceptance    | คือ | ความเร็วที่ยอมให้                                                                                |
| Min Distance Veh.   | คือ | ระยะห่างระหว่างรถสองคัน                                                                          |
| Give Way Time       | คือ | เวลาที่รถให้ทาง                                                                                  |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

|                    |     |                                                                                                                |
|--------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sensitivity Factor | คือ | ค่าคงที่ความไว                                                                                                 |
| Minimum Headway    | คือ | เวลาห่างระหว่างรถสองคัน                                                                                        |
| Detector           | คือ | เครื่องตรวจจับยานพาหนะ                                                                                         |
| Locking            | คือ | (คำสั่งจำลองในโปรแกรม) ใช้ควบคู่กับ detector ให้มีความจำในการ<br>นับรถที่มากระตุ้น มีการทำงานเมื่ออยู่ขณะไฟแดง |
| Non-locking        | คือ | ตัวตั้งค่าแบบเดียวกับ locking แต่ไม่มีการบันทึกข้อมูล                                                          |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของปัญหาการวิจัยและความสำคัญ

ปัจจุบันปัญหาการจราจรในประเทศไทย คือปัญหาการจราจรติดขัดซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้รถยนต์อย่างมากจนเกิดความแออัดบนโครงข่ายถนน ทวีความรุนแรงและต่อเนื่อง ส่งผลทำให้ทรัพยากรสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ และทำให้ระดับมลพิษทางอากาศและเสียงสูงขึ้น เทศบาลนครนครราชสีมาเป็นเทศบาลแห่งหนึ่งที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างมากส่งผลให้ ปริมาณจราจรปรับตัวเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา แต่การจัดการระบบจราจรนั้นยังไม่ทันสมัยและปรับตัวได้ไม่ทันต่อสภาพการจราจรในปัจจุบัน ปัจจุบันมักให้ตำรวจจราจรเป็นผู้ควบคุมผู้สัญจรผ่านไฟจราจรบริเวณทางแยก โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วน แต่เนื่องจากปริมาณเจ้าหน้าที่ที่มีจำกัดทำให้การดูแลไม่ทั่วถึง ไม่สามารถดูแลได้ตลอดทุกช่วงเวลาทำให้เกิดปัญหาจราจรตามมา ปัญหาการจราจรติดขัดจึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน แนวทางที่ใช้เพื่อบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัดสามารถทำได้หลายวิธี แต่จะใช้การควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจรเป็นหลัก เนื่องจากการควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจรเป็นวิธีการควบคุมจราจรบริเวณทางแยกที่มีการใช้งบประมาณต่ำ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์โครงการน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการจัดการแนวทางอื่น เช่น การขยายช่องจราจร การสร้างทางข้ามทางแยกและการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของถนนที่ต้องมีพื้นที่ว่างเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง เป็นต้น

บริเวณทางแยกหน้าประตูมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี(แยกหนองปรุ) เป็นทั้งแยกทางเข้าและจุดกลับรถ จึงทำให้เกิดความรุนแรงของอุบัติเหตุบ่อยครั้ง เนื่องจากมีจุดตัดกระแสจราจรมากและทำให้มีความไม่คล่องตัวในการจราจร กระแสจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าจะมีปริมาณจราจรในทิศทางที่ต้องการเลี้ยวขวาเข้าสู่มหาวิทยาลัยจำนวนมาก ทำให้เกิดแถวคอยที่เส้นออกช่องรอเลี้ยว จึงเป็นจุดที่อันตรายจุดหนึ่งที่เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ และยังกีดขวางช่องทางจราจรทิศตรงด้วย ปัจจุบันบนโครงข่ายถนน มีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจร แบบสัญญาณไฟเป็นประเภทกำหนดเวลาคงที่ (Pre-time Traffic Signal) จึงทำให้ไม่สอดคล้องกับการจราจรบางช่วงเวลา ในบางครั้งต้องอาศัยการกดเปลี่ยนสัญญาณไฟจราจรเพิ่มด้วยจากเจ้าหน้าที่ และการนำเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรมาควบคุมสัญญาณไฟจราจรไม่สามารถแก้ไขปัญหาสภาพการจราจรติดขัด เพราะขาด

ความยั่งยืนและไม่สามารถควบคุมได้ตลอดเวลา การศึกษาวิจัยนี้จึงทำการศึกษารูปแบบความเหมาะสม การจัดการจราจรหน้าประตูมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บนทางหลวง หมายเลข 304 เพื่อลดระยะเวลาความล่าช้าและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพของทางแยกดียิ่งขึ้น โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรในการหารูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสมบริเวณทางแยกนี้ กับการใช้สัญญาณไฟจราจรที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Traffic Signal), สัญญาณไฟจราจรคงที่ที่เหมาะสมจากการคำนวณของปริมาณจราจรแต่ละช่วง (Multiple-time plan) ซึ่งจะเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิผลของการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรแบบเดิม (ที่กำหนดเวลาคงที่) กับรูปแบบการจัดการจราจรแบบใหม่ (สัญญาณไฟจราจรที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร, สัญญาณไฟจราจรที่กำหนดเวลาคงที่หลายแผน) หากทราบถึงรูปแบบของการจัดการจราจรที่เหมาะสมบริเวณทางแยกนี้ จะช่วยแก้ปัญหการจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนนี้ได้ รวมถึงประสิทธิภาพในการเดินทาง

## 1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษารูปแบบการจัดการจราจร เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรในการหารูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสมบริเวณทางแยกหน้าประตู 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรุ) ประกอบด้วย

- 1.2.1 จำลองสัญญาณไฟจราจร แบบคงที่หลายแผน (Multiple-time plan)
- 1.2.2 จำลองสัญญาณไฟจราจร แบบกึ่งกระตุ้น (semi-actuated control)
- 1.2.3 จำลองสัญญาณไฟจราจร แบบกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control)

โดยวิเคราะห์ตัวชี้วัดประสิทธิผลคือ ความเร็วเฉลี่ย เวลาเดินทางเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด จำนวนคันที่หยุด จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน ระยะทางรวมที่รถวิ่ง และเวลาเดินทางทั้งหมด ศึกษาเทียบกับผลการจำลองของสภาพปัจจุบัน และกรณีเพิ่มปริมาณจราจรในอนาคต

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 พื้นที่ ที่ทำการศึกษาคือบริเวณทางแยกหน้าประตู 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรุ)
- 1.3.2 จำลองรูปแบบการจัดการจราจรรูปแบบใหม่บริเวณทางแยกนี้ ซึ่งมีรูปแบบสัญญาณไฟจราจรที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Traffic Signal) และสัญญาณไฟ

จราจรคงที่หลายแผน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรโปรแกรม Aimsun ซึ่งในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรแบบปัจจุบัน (Pre-time Traffic Signal) ที่ไม่ได้ปรับเปลี่ยนอะไร และรูปแบบใหม่ที่เหมาะสม ใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพคือ ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณทางแยก เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน ระยะทางรวมที่รถวิ่ง (กิโลเมตร) เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) โดยเลือกใช้ค่าความยาวแถวคอยสูงสุด (Maximum queue length) ของถนนแต่ละสายที่เข้าสู่ทางแยกสำหรับการปรับเทียบ(Calibration) ของแบบจำลองจราจร

- 1.3.3 จำลองรูปแบบการจัดการจราจรโดยใช้ปริมาณจราจรปัจจุบัน และเพิ่มปริมาณจราจรในสภาพจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต demand1 ให้เป็นปริมาณจราจรอัตราเพิ่มขึ้น 10% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส เป็นอัตราเพิ่มขึ้น 3% และ demand 2 ให้เป็นปริมาณจราจรอัตราเพิ่มขึ้น 20% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส เป็นอัตราเพิ่มขึ้น 6%

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจร
- 1.4.2 สืบหาข้อมูล และทำการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ปริมาณจราจร รอบสัญญาณไฟจราจร ความยาวแถวคอย ในทุกทิศทางการจราจร ของวันพฤหัสบดีที่ 14 กุมภาพันธ์ 2556 และวันอาทิตย์ที่ 17 กุมภาพันธ์ 2556 ช่วงเวลา 3 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 07:00-9:00 ,ช่วงเวลาไม่เร่งด่วน 11:00-13:00 และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น 15:00-17:00
- 1.4.3 ออกแบบวิธีการจำลองสภาพจราจรที่ใช้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรแต่ละรูปแบบที่เหมาะสม
- 1.4.4 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจรและทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของโปรแกรม เพื่อคัดเลือกโปรแกรมที่จะนำมาใช้ในการจำลองสภาพจราจร
- 1.4.5 สร้างแบบจำลองสภาพจราจรและทำการปรับเทียบแบบจำลอง
- 1.4.6 ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมจากแบบจำลองจราจร นำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้
- 1.4.7 วิเคราะห์ผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ จากการศึกษา

- 1.5.1 รูปแบบการจัดการจราจรที่เหมาะสม และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่สามารถแสดงผลเป็นกราฟฟิคได้
- 1.5.2 ทราบถึงประสิทธิภาพของรูปแบบการจัดการจราจร ที่จะนำมาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมที่สุดกับบริเวณทางแยกนี้
- 1.5.3 รูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับบริเวณทางแยกนี้ใน อนาคตของการเพิ่มปริมาณจราจร
- 1.5.4 การศึกษานี้จะให้ประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ และเป็นแบบอย่างในการแก้ไขแยกอื่นๆที่คล้ายกัน



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การควบคุมสัญญาณไฟจราจร และการจำลองพฤติกรรมจราจรโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 2.1 สัญญาณไฟจราจร (Traffic Signals)

ต้นกำเนิดไฟสัญญาณจราจรแห่งแรกบนโลกอยู่ที่ประเทศอังกฤษเมื่อปี 1868 โดยเจ.พี.ไนต์ วิศวกรชาวอังกฤษได้สร้างไฟสัญญาณจราจรขึ้นมา เพื่อใช้ควบคุมการสัญจรของรถม้าและคนเดินเท้าที่เดินผ่านไปผ่านมาริเวณสี่แยกใจกลางมหานครลอนดอนบริเวณหน้ารัฐสภาอังกฤษ ซึ่งในยุคนั้นสัญญาณไฟจราจรจะมีเฉพาะไฟเขียวกับไฟแดง จะใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงในการส่องสว่างซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการระเบิดขึ้น จนกระทั่งในปี 1920 วิลเลียม พอตต์ ตำรวจจราจรแห่งดีทรอยต์ รัฐมิชิแกนได้ออกแบบไฟสัญญาณจราจรรูปแบบใหม่ขึ้นพร้อมกับเพิ่มไฟสีอำพัน(สีเหลือง) เข้าไปอีกหนึ่งสี เพื่อเป็นสัญญาณเตือนผู้ใช้พาหนะให้ระวังและชะลอตัวก่อนที่จะหยุดหรือการออกตัว จากนั้นอีกไม่กี่ปีต่อมาไฟสัญญาณจราจรแบบอัตโนมัติก็ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย การ์เรตต์ มอร์แกน ซึ่งนำมาใช้ครั้งแรกในเมืองเคลฟแลนด์ รัฐโอไฮโอก่อนที่จะแพร่หลายไปทั่วโลกและทั้งหมดนี้ก็คือวิวัฒนาการของไฟสัญญาณจราจรที่ถูกพัฒนาต่อมาเรื่อยๆ และมีใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน ในปี 1928 เริ่มมีการใช้สัญญาณไฟจราจรชนิดที่ระยะเวลารอบสัญญาณไฟเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจรเพื่อควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกที่ปริมาณจราจรไม่คงที่

ในปัจจุบันใช้ควบคุมการจราจรบริเวณทางแยกหรือทางคนข้ามกำหนดใช้สีจากดวงไฟเป็นเครื่องหมายบังคับการจราจร โดยทั่วไปแล้วจะใช้ 3 สีคือ

|                                     |                                                               |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| สีแดง                               | หมายถึง บังคับให้ยานทุกคันหยุด                                |
| สีเหลือง                            | หมายถึง เตือนให้ลดความเร็วหรือเตรียมที่จะเคลื่อนไปข้างหน้าได้ |
| สีเขียว                             | หมายถึง ให้ยานแล่นผ่านไป                                      |
| การเลี้ยวขวาสำหรับสัญญาณไฟ มี 3 แบบ |                                                               |

Permitted right turn คือ อนุญาตให้ทำการเลี้ยวในช่วงที่มีการจราจรฝั่งตรงข้ามสวนทางมาได้ แต่รถที่เลี้ยวต้องหาช่องว่างเอง

Protected right turn คือ มีการจัดจังหวะสัญญาณไฟสำหรับให้รถเลี้ยวโดยเฉพาะในช่วงดังกล่าวจะไม่มีรถสวนกันกับการจราจรฝั่งตรงข้ามที่วิ่งตรง

Compound right turn คือ มีการจัดสัญญาณไฟแบบ Protected ให้ช่วงหนึ่ง ร่วมกับแบบ Permitted ในอีกช่วงหนึ่งของรอบสัญญาณไฟ

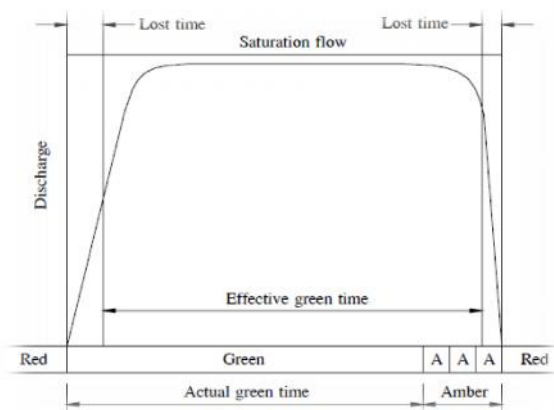
## 2.2 ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจร (Traffic Signal Control System)

การศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีขึ้นพร้อมกับการประดิษฐ์สัญญาณไฟจราจร ตั้งแต่ต้องคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีนักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ เวบสเตอร์ (Webster) ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ค้นคว้าวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพที่การจราจร แปรเปลี่ยนได้และมีการพัฒนาด้านการประมวลข้อมูลในช่วงทศวรรษที่ 70 ทำให้งานวิจัยในด้านนี้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วโดยมีใช้อุปกรณ์ตรวจจับการจราจรร่วมกับการประมวลผลผ่านการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ หรือร่วมกับแบบจำลองสภาพการจราจร (Simulation)

การควบคุมสัญญาณไฟสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของวิธีการกำหนดสัญญาณไฟในแต่ละจังหวะดังนี้

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

จังหวะสัญญาณไฟจะถูกเลือกจากรูปแบบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาก่อนในอดีต ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร การควบคุมแบบคงที่จะไม่สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร จึงควรจัดให้มีชุดการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่มากกว่า 1 ชุดหรือสัญญาณไฟจราจรหลายแผน (Multiple-time plan) เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรเฉลี่ยในแต่ละช่วงของวัน เช่น แบ่งเป็นชุดการควบคุมในช่วงเวลาเช้ากลางวัน เย็น และหลังเที่ยงคืน วิธีที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือวิธีการคำนวณด้วย สมการของเวบสเตอร์ (Webster, 1969) เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวหรือทางแยกที่อยู่ห่างกันมาก คำนวณจะตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกค่อนข้างคงที่และกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม (stochastic) วัตถุประสงค์หลักของการควบคุมคือทำให้ความล่าช้าที่ทางแยกให้ต่ำที่สุด (ปกาสิต จิรศักดิ์, 2549)



รูปที่ 2.1 อัตราการไหลของปริมาณจราจรในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว ที่มา : Garber และ Hoel, 1996

รูปที่ 2.1 เป็นภาพแสดงอัตราการไหลเริ่มต้นและเวลาสูญเสียไปทั้งช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียวที่ปรากฏทั่วไป การไหลเริ่มต้นของการจราจร (Saturation Flow Rates) และเวลาที่สูญเสียไป (Lost Time) เป็นองค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์เวลาสัญญาณไฟ โดยเวลาที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มต้นของสัญญาณไฟเขียวก่อนที่รถยนต์จะเริ่มเคลื่อนที่ผ่านทางแยก รวมกับเวลาที่สูญเสียไปในช่วงสิ้นสุดสัญญาณไฟเขียว การไหลเริ่มต้นของการจราจรเป็นอัตราการไหลสูงสุดของการจราจรที่จะสามารถผ่านทางนั้นได้ภายใต้สภาพการจราจรและทางที่เป็นอยู่ โดยสมมติว่าในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวรถยนต์ที่อยู่ในแถวคอยเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไป การไหลเริ่มต้นของการจราจรมักกล่าวเป็นคันต่อชั่วโมงเวลาไฟเขียว ในกรณีไม่มีข้อมูลอัตราการไหลเริ่มต้นของการจราจรต่อช่องทาง ให้ใช้ ค่าอัตราการไหลเริ่มต้นเท่ากับ 1800 1700 และ 1600 คันต่อชั่วโมงเวลาไฟเขียวสำหรับช่องทางตรงไป ช่องทางเลี้ยวซ้าย และช่องทางเลี้ยวขวา ตามลำดับ โดยปกติ ค่าสูญเสียมักใช้เท่ากับ 2 วินาที สำหรับกรณีทั่วไป (ปกาสิต จิรศักดิ์, 2549)

ความยาวรอบสัญญาณไฟและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟสามารถคำนวณได้ดังนี้

สมการของ เวปสเตอร์ (Webster, 1969)

$$C = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^Y Y} \quad (2.1)$$

โดยที่ C คือ ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่ดีที่สุด (วินาที)

|          |             |     |                                                                 |
|----------|-------------|-----|-----------------------------------------------------------------|
| (วินาที) | L           | คือ | ผลรวมของเวลาที่สูญเสียไป (lost time) ใน 1 รอบสัญญาณไฟ           |
|          | Y           | คือ | อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิ่มตัว (saturation flow) |
|          |             |     | ในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร                                      |
|          | $\emptyset$ | คือ | จำนวนจังหวะสัญญาณไฟ                                             |
|          | i           | คือ | ลำดับจังหวะสัญญาณไฟ                                             |

$$I_i = G_{ai} + T_i - G_{ei} \quad (2.2)$$

|        |          |     |                                                                                                                 |
|--------|----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | $I_i$    | คือ | ช่วงเวลาที่สูญเสียไปที่จังหวะสัญญาณไฟ (วินาที)                                                                  |
|        | $G_{ai}$ | คือ | ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริง (actual green time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที) |
|        | $T_i$    | คือ | ช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง (yellow time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (วินาที)                                               |
|        | $G_{ei}$ | คือ | ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวประสิทธิภาพ (effective green time) ที่จังหวะสัญญาณไฟ i (วินาที)                            |
|        |          |     |                                                                                                                 |

$$L = \sum_{i=1}^{\emptyset} I_i + R \quad (2.3)$$

|        |   |     |                                                                              |
|--------|---|-----|------------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | R | คือ | เวลาที่การจราจรทุกทิศทางได้รับสัญญาณไฟแดงใน 1 รอบสัญญาณไฟ (all-red) (วินาที) |
|--------|---|-----|------------------------------------------------------------------------------|

$$G = C - L = C - (\sum_{i=1}^{\emptyset} I_i + R) \quad (2.4)$$

|        |   |     |                                       |
|--------|---|-----|---------------------------------------|
| โดยที่ | C | คือ | ความยาวรอบสัญญาณไฟที่ใช้จริง (วินาที) |
|--------|---|-----|---------------------------------------|

G คือ ผลรวมของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงใน 1 รอบสัญญาณไฟ(วินาที)

$$G_{ai} = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_0} \times G \quad (2.5)$$

$$G_{a1} = G_{a1} + I_1 - T_i$$

$$G_{a2} = G_{a2} + I_2 - T_i$$

$$G_{a3} = G_{a3} + I_3 - T_i$$

$$G_{a0} = G_{a0} + I_0 - T_i \quad (2.6)$$

โดยที่  $G_{a1}$  คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงที่จังหวะสัญญาณไฟที่ 1 (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที)

$G_{a0}$  คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่แท้จริงที่จังหวะสัญญาณไฟ 0 (ไม่รวมช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลือง) (วินาที)

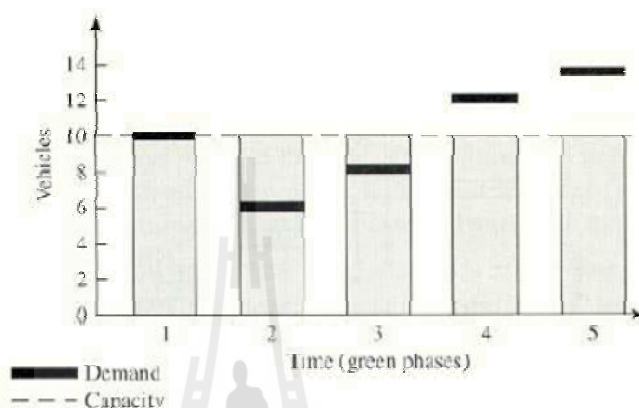
ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ความล่าช้าที่ทางแยกจะต่ำที่สุด เมื่ออัตราส่วนที่มีค่ามากที่สุดของปริมาณจราจร

ต่อปริมาณจราจรอื่นตัวของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟไม่มากกว่า 0.9 (ปณัสย์ พุกโพธิ์, 2542)

## 2.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจร (Actuated Control)

การควบคุมสัญญาณไฟกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร (Traffic Actuated Signal) ช่วงระยะเวลาของไฟเขียวไฟแดงในแต่ละขาของทางแยกจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการจราจรอัตโนมัติถ้าทิศทางใดมีขบวนมากก็จะเปิดไฟสัญญาณไฟเขียวนานกว่าทิศทางที่มีขบวนน้อยกว่าทำให้ระบบจราจรในทางแยกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลงการควบคุมแบบนี้ใช้การเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร (Detectors) และจังหวะสัญญาณไฟจราจร โดยปกติแล้วเฟสของจังหวะไฟจะเริ่มต้นจากค่าไฟเขียวต่ำสุด (Minimum Green) และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อมีรถยนต์เคลื่อนมาทับเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเฟสจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับการจราจรว่ามีมากหรือน้อย

เมื่อปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่จัดให้จังหวะสัญญาณไฟที่ 2 และ 3 คงที่ ส่งผลให้ความสามารถให้บริการใช้ไม่ได้เต็มที่ และในจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ที่ 4 และ 5 ส่งผลให้รถยนต์ค้างอยู่ในแถวคอยทั้งหมด 6 คัน ทั้งที่จำนวนรถยนต์ทั้งหมดที่เข้าสู่ทางแยกเท่ากับความสามารถให้บริการ คือ 50 คัน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปัญหาของการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่



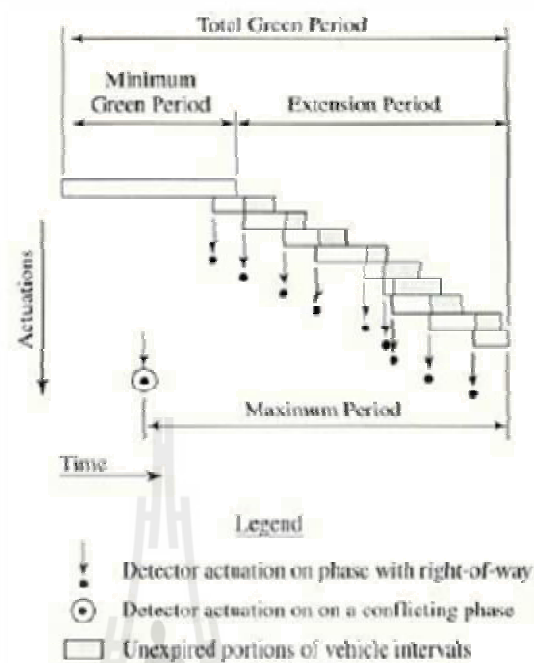
รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นปัญหาช่วงสัญญาณไฟเขียวไม่เพียงพอ (Roess, Prassas และ MCSHane, 2004)

ปัญหาดังกล่าวทำให้มีการพัฒนาวิธีควบคุมตามปริมาณจราจรที่สามารถปรับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้สอดคล้องกับปริมาณจราจรที่ตรวจวัดได้ การควบคุมที่ปรับปรุงใหม่จะให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวสอดคล้องกับปริมาณจราจรที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟ ทำให้แถวคอยและความล่าช้าลดลง หลักการที่ใช้ควบคุม คือ การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรหรือคนเดินเท้าที่ตรวจนับได้จากอุปกรณ์ตรวจนับ โดยที่ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะอยู่ภายในขอบเขตสูงสุดหรือต่ำสุดตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า การควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับทางแยกเดี่ยวไม่ควรใช้กับทางแยกที่มีการเชื่อมต่อกัน เพราะการควบคุมนี้ไม่สามารถควบคุมจุดเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว (off-set) ระหว่างทางแยก

2.2.2.1 การควบคุมสัญญาณไฟกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi-Traffic Actuate Signal) การควบคุมแบบนี้จะคล้ายกับการควบคุมแบบสัญญาณไฟกำหนดเวลาเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร ตรงที่จังหวะสัญญาณไฟจราจรจะแปรเปลี่ยนไปตามสภาพการจราจรที่วัดจากเครื่องตรวจนับปริมาณการจราจร จากนั้นก็คำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่มีความเหมาะสมที่สุดโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับบนถนนสายรองเท่านั้นและให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรมากเป็นหลัก โดยจะเปลี่ยนไปให้สัญญาณไฟเขียวแก่ถนนสายรองเมื่ออุปกรณ์ตรวจนับที่ติดตั้งไว้ตรวจพบปริมาณจราจรหรือเมื่อสัญญาณไฟเขียวบนถนนสายหลัก

สิ้นสุด การควบคุมนี้มีข้อเสียคือในบางเหตุการณ์ที่ปริมาณจราจรบนถนนสายรองมากจะทำให้ความล่าช้าบนถนนสายหลักสูงมาก การควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ถนนสายรองมีปริมาณจราจรเบาบางหรือเมื่อต้องการให้กลุ่มขบวนเคลื่อนที่ผ่านทางแยกบนถนนสายหลักที่มีปริมาณจราจรสูงในบางช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง เช่นถนนสายหลักที่เชื่อมต่อกับทางเข้า-ออกที่พักออาศัยสำนักงานโรงเรียน เป็นต้น

2.2.2.2 การควบคุมสัญญาณไฟจราจรตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Control) ภายใต้การควบคุมนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับปริมาณจราจรทุกทิศทาง และจะทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวตามปริมาณจราจรที่เข้าสู่ทางแยกการควบคุมแบบนี้ควรใช้ควบคุมทางแยกเดี่ยวจะช่วยให้ความล่าช้าที่ทางแยกต่ำกว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณจราจรเข้าใกล้ความสามารถให้บริการจะทำให้ความล่าช้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมากกว่าความล่าช้าจากการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่ ในขั้นตอนแรกของการควบคุมจะกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (minimum green) โดยการคำนวณจากรอบสัญญาณไฟเพื่อหา ระยะเวลาไฟเขียวต่ำสุด ถ้าในระหว่างช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดไม่มีการตรวจพบขบวนและมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นจะเป็นการสิ้นสุดจังหวะสัญญาณไฟปัจจุบัน แต่ถ้ามีการตรวจพบขบวนจะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว (passage time หรือ uni-textension) ต่อจากเวลาที่ตรวจพบขบวนนั้นและถ้าในระหว่างเวลาของส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมีการตรวจพบขบวนก็จะเพิ่มส่วนของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอีกครั้ง ต่อจาก เวลาที่ตรวจพบขบวนขณะนั้นทำเช่นนี้ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งไม่มีการตรวจพบขบวนหรือเมื่อช่วงเวลาไฟเขียวถึงช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด (maximum green) และมีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่นสัญญาณไฟเขียวปัจจุบันจะสิ้นสุดดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดและช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด แต่บางครั้งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวอาจยาวนานกว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุด เมื่อไม่มีการขอสัญญาณไฟเขียวจากจังหวะสัญญาณไฟอื่น ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้คือเวลาที่ขบวนใช้เดินทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด

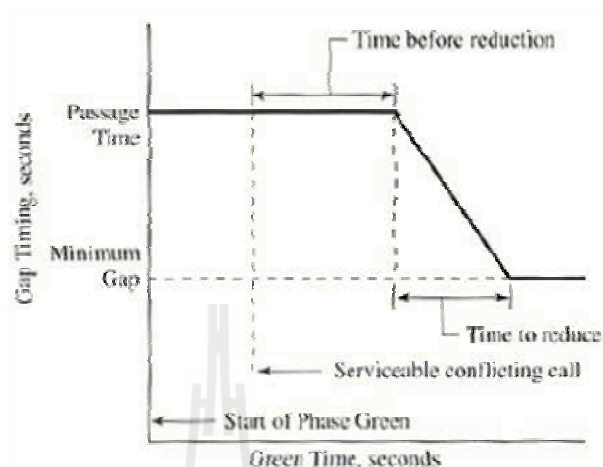


รูปที่ 2.3 หลักการควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจร (Roess, Prassas และ MCSHane, 2004)

2.2.2.3 การควบคุมโดยใช้ปริมาณจราจรและความหนาแน่นจราจร (Volume density Control) การควบคุมแบบนี้คล้ายกับการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ แต่เพิ่มความสามารถในการควบคุมโดยให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวในช่วงเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงได้ (variable initial timing) และสามารถปรับลดช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ (gap time) ทำให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีประสิทธิภาพดีขึ้น การควบคุมนี้มักใช้กับอุปกรณ์ตรวจจับแบบพื้นที่หรือแบบจุดที่ติดตั้งห่างจากทางแยกค่อนข้างมากและใช้กับถนนที่ขบวนวิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยมากกว่า 35 ไมล์ต่อชั่วโมง (มากกว่า 56 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟให้ลดลง มีแนวความคิดมาจากอุปกรณ์ตรวจจับที่มักติดตั้งไกลจากเส้นหยุดมาก ทำให้มีโอกาสมากที่จะขยายต่อส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว ส่งผลให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพ จึงให้ลดส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณ

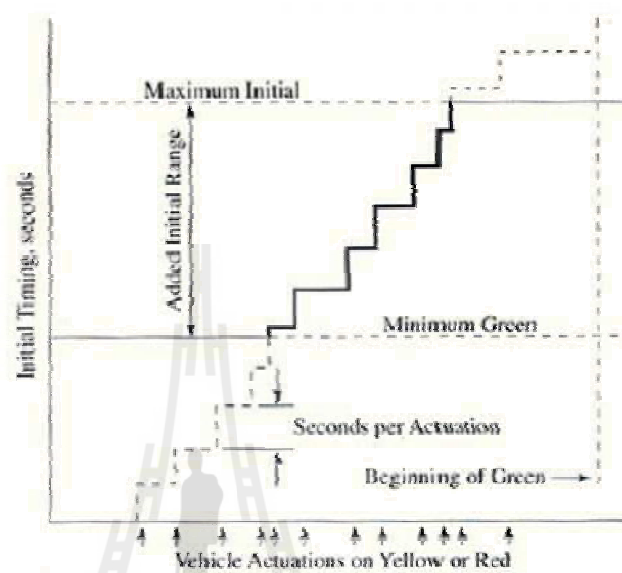
ไฟที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ ด้วยการกำหนดช่วงเวลาก่อนการลด (time before reduction) และ ช่วงเวลาที่ใช้ลด (time to reduce) การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะ สัญญาณไฟ (Roess, Prassas และ MCSHane, 2004)

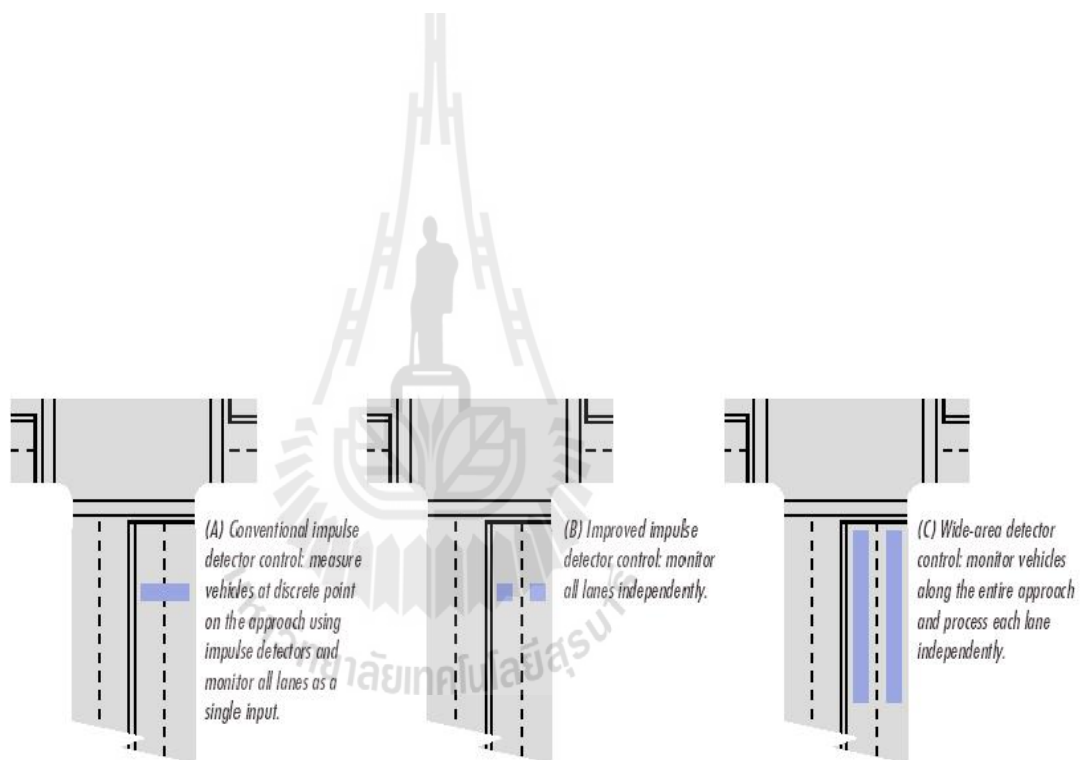
ขั้นตอนแรกของการควบคุมคือการกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวเริ่มต้นน้อยที่สุด (ต่างจากการควบคุมตามปริมาณจราจร) ให้เท่ากับ 5-8 วินาทีและจะเพิ่มส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เมื่อมีการตรวจพบขบวนในระหว่างช่วงเวลาสัญญาณไฟเหลืองหรือช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงก่อนหน้านี้ แต่ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวจะไม่เกินช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นมากที่สุดที่กำหนดไว้ซึ่งอาจกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดของการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ การให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้นสามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อแก้ไขแนวความคิดการควบคุมตามปริมาณจราจรเต็มรูปแบบที่มีข้อสมมติฐานว่าช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดเป็นเวลาที่ยวดยานที่มีได้ทั้งหมดระหว่างเส้นหยุดและอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก แต่ในความเป็นจริงความยาวแถวคอยอาจไม่ถึงอุปกรณ์ตรวจนับทำให้สูญเสียเวลาสัญญาณไฟเขียวโดยเปล่าประโยชน์การปรับช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟให้ลดลงมีแนวความคิดมาจากอุปกรณ์ตรวจนับที่ใช้มักติดตั้งไกลจากเส้นหยุดมากทำให้มีโอกาสมากที่จะขยายต่อส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวส่งผลให้การควบคุมไม่มีประสิทธิภาพจึงให้ลดส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นช่องว่างระหว่างขบวนในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่น้อยที่สุดที่ยอมรับ

ได้ด้วยการกำหนดช่วงเวลาก่อนการลด(time before reduction) และช่วงเวลาที่ใช้ลดการทำงาน (time to reduce)



รูปที่ 2.5 การปรับเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเขียวเริ่มต้น (Roess, Prassas และ MCSHane,2004)

การควบคุมสัญญาณไฟตามปริมาณจราจรที่ใช้อุปกรณ์ตรวจนับที่ผิวจราจรซึ่งมี 3 รูปแบบ คือ อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดา (conventional impulse detector) อุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุง (improved impulse detector) และอุปกรณ์ตรวจนับแบบพื้นที่กว้าง (wide-area detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีข้อสังเกต คือ การใช้อุปกรณ์ตรวจนับแบบธรรมดาคะทำให้ช่องว่างระหว่างขบวนยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้อาจน้อยกว่าค่าที่แท้จริง เพราะขบวนยานคันหน้าและคันที่ขับตามมาอาจไม่ได้อยู่ในช่องจราจรเดียวกัน ทำให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้มากเกินจริง การปรับปรุงทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจนับแบบปรับปรุงหรือแบบแยกช่องจราจร แต่จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น อย่างไรก็ตามช่องว่างระหว่างขบวนยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟที่ตรวจวัดได้ยังคงมีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง เพราะอุปกรณ์ตรวจนับจะสิ้นสุดการวัดช่องว่างระหว่างขบวนยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟ เมื่อส่วนท้ายของขบวนยานคันหลังผ่านอุปกรณ์ตรวจนับ ดังนั้นค่าช่องว่างระหว่างขบวนยานในหน่วยของเวลาที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อเปลี่ยนจังหวะ



## 2.3 การออกแบบสัญญาณไฟจราจร

2.3.1 การออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Control) ในขั้นตอนแรกของการควบคุมจะกำหนดช่วงเวลาไฟเขียวอย่างน้อยที่สุด (minimum green) โดยการคำนวณจากเวลาที่ขบวนทั้งหมดที่มีได้ระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับใช้เคลื่อนที่ผ่านทางแยก โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$G_{\min} = l + \left[ 2 \times \text{integer} \left( \frac{d}{20} \right) \right] \quad (2.7)$$

โดยที่  $G_{\min}$  คือ ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด (วินาที)  
 $d$  คือ ระยะทางระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับ (ฟุต)  
 $20$  คือ ระยะห่างระหว่างขบวนที่จอดอยู่ในแนวแถวคอยนับจากกัน  
 ชนหน้าของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (ฟุต)  
 $l$  คือ เวลาที่ขบวนคันแรกเริ่มเคลื่อนที่ภายหลังได้รับสัญญาณไฟ  
 เขียว (start-up time) (วินาที)  
 $2$  คือ ระยะห่างระหว่างยานพาหนะในหน่วยของเวลาในสภาพจราจร  
 อิ่มตัว (วินาที) ส่วนเพิ่มของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ใช้ คือ เวลาที่ขบวนใช้เดินทางจากอุปกรณ์  
 ตรวจนับถึงเส้นหยุด ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P = \frac{d}{1.47S_{15}} \quad (2.8)$$

โดยที่  $P$  คือ ส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที)  
 $d$  คือ ระยะทางจากอุปกรณ์ตรวจนับถึงเส้นหยุด (ฟุต)  
 $S_{15}$  คือ ความเร็วบนช่วงถนนที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไทล์ (ไมล์ต่อชั่วโมง)

โดยปกติกำหนดให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุดเท่ากับ 1.25 ถึง 1.50 เท่าของ  
 ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรคงที่ (Roess, Prassas และ  
 MCSHane, 2004)

## 2.3.2 การออกแบบสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ (Fix or Pre-time Control)

### ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจร

$$C_i = \frac{L}{1 - \left[ \frac{V_c}{\frac{3600}{h} \times PHF \times \left( \frac{v}{c} \right)} \right]} \quad (2.9)$$

|        |       |     |                                                      |
|--------|-------|-----|------------------------------------------------------|
| โดยที่ | $C_i$ | คือ | ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)                          |
|        | $V_c$ | คือ | ผลรวมของปริมาณจราจร ในเลนที่วิกฤต (คัน/ชั่วโมง)      |
|        | $PHF$ | คือ | ค่าตัวคูณช่วงเวลาเร่งด่วน                            |
|        | $v/c$ | คือ | อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิมตัว อยู่ที่ |

0.85-0.95

2.3.3 การออกแบบสัญญาณไฟเหลืองและไฟแดงทุกขา (Yellow and All-red Intervals) เวลาสูญเสีย (Lost time) นั้นเกิดจากเวลาสูญเสียเริ่มต้น และเวลาของไฟเหลืองรวมกับไฟแดงทุกขา จากสมการ 2.10

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (2.10)$$

|        |       |     |                                                                   |
|--------|-------|-----|-------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | $l_1$ | คือ | เวลาสูญเสียเนื่องจากการออกตัว (start-up lost time) วินาที/phase   |
|        | $l_2$ | คือ | เวลาสูญเสียเนื่องจากการผ่านทางแยก (clearance lost time) sec/phase |
|        | $e$   | คือ | ค่าปรับแก้ของผู้ขับขี่ยานยนต์                                     |
|        |       |     | กำหนดให้ เวลาสูญเสียเนื่องจากการออกตัว $l_1 = 2$ วินาที           |

จะได้  $t_L = 2 + Y - ar - 2$  ;  $e = 2$

$$t_L = Y - ar$$

จุดประสงค์ในการใช้สัญญาณไฟเหลืองก็เพื่อให้โอกาสแก่รถคันสุดท้ายที่ตัดสินใจขับผ่านทางแยกให้ผ่านไปได้อย่างปลอดภัยและรถคันแรกที่ตัดสินใจหยุดก็สามารถหยุดได้ทันก่อนที่จะข้ามเส้นหยุดคือเมื่อรถแล่นมาถึงทางแยกแล้วสัญญาณไฟเขียวหมดพอดีรถคันสุดท้ายควรจะมียะเวลานานพอเพียงที่จะแล่นผ่านทางแยกได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่คนขับรถตัดสินใจแล่นผ่านแทนที่จะหยุดรอสัญญาณไฟเขียวในครั้งต่อไป

พฤติกรรมการขับรถผ่านทางแยกสัญญาณไฟจราจรในช่วงที่มีการเปลี่ยนสัญญาณไฟจากไฟเขียวเป็นไฟเหลืองผู้ขับรถมักจะลังเลในการตัดสินใจที่จะหยุดรถหรือขับรถผ่านทางแยก การตัดสินใจขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางจากเส้นหยุดรถถ้าตัดสินใจไม่หยุดรถอาจจะทำให้เกิดการฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดงหรือถ้าตัดสินใจที่จะหยุดรถที่ทางแยกในขณะที่รถคันที่ตามหลังมาต้องการไปก็อาจจะทำให้เกิดการชนท้ายขึ้น (Elmitiny, N., et al. 2010)

สัญญาณไฟเหลือง คำนวณได้จากสมการ

$$Y = t + \frac{1.47 \times S_{85}}{2a + 64.4 \times 0.01 \times G} \quad (2.11)$$

|        |          |     |                                                         |
|--------|----------|-----|---------------------------------------------------------|
| โดยที่ | $Y$      | คือ | ช่วงเวลาไฟเหลือง (วินาที)                               |
|        | $S_{85}$ | คือ | ความเร็วบนช่วงถนนที่ 85 เปอร์เซนต์ไทด์ (ไมล์ต่อชั่วโมง) |
|        | $a$      | คือ | อัตราเร่งความเร็ว (10ฟุต/วินาที <sup>2</sup> )          |
|        | $G$      | คือ | ความลาดชัน (%)                                          |

สัญญาณไฟแดงทุกขา คำนวณได้จากสมการ

$$ar = \frac{w+L}{1.47S_{15}} \quad (2.12)$$

|        |      |     |                                               |
|--------|------|-----|-----------------------------------------------|
| โดยที่ | $ar$ | คือ | ช่วงเวลาไฟแดงทุกขา (วินาที)                   |
|        | $w$  | คือ | ความกว้างของถนนฝั่งที่ตัดกับที่พิจารณา (ฟุต)  |
|        | $L$  | คือ | ความยาวมาตรฐานของรถยนต์ อยู่ระหว่าง 18-20 ฟุต |

## 2.4 คำจำกัดความเบื้องต้นสำหรับทางแยก

2.4.1 ระยะเวลาระหว่างขบวน (Headway) ระยะห่างของช่วงเวลาระหว่างขบวนที่วิ่งติดกันมาซึ่งผ่านตำแหน่งหรือแนวอ้างอิงที่กำหนดไว้บนถนนหรือช่องจราจรโดยสังเกตจากเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงบนตัวรถคันหนึ่งวิ่งผ่านจุดที่กำหนดไว้ถึงเวลาที่ตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันบนรถคันถัดไปที่วิ่งตามกันมาผ่านจุดที่กำหนดนั้นเช่นกันตำแหน่งบนตัวรถที่นิยมใช้ในการอ้างอิง อาทิ กันชนหน้ากันชนท้ายหรือเพลาหน้าเป็นต้น

2.4.2 Dilemma Zone คือระยะปลอดภัยที่รถวิ่งเข้าทางแยกสัญญาณไฟจราจรจะตัดสินใจหยุดหรือเร่งเพื่อผ่านทางแยกขณะไฟเหลือง ซึ่งเท่ากับระยะมองเห็นปลอดภัยเพื่อหยุดรวมกับระยะหยุดโดยชะลอความเร็วด้วยอัตรา 3.3 เมตร/วินาทีหรือตัดสินใจเร่งผ่านไฟเหลืองไป การคำนวณขึ้นกับพฤติกรรมรถของบุคคลที่แตกต่างกัน เนื่องจากกรณีรถกำลังวิ่งเข้ามาสู่ทางแยกซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ตัดสินใจหยุดเพื่อข้ามเส้นหยุดหรือตัดสินใจเร่งผ่านทางแยกแต่อาจไม่พ้นทางแยกในขณะที่ไฟเขียวเปลี่ยนเป็นไฟเหลือง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรง กฎเกณฑ์การออกแบบสัญญาณไฟเหลืองจึงต้องกำหนดให้มีความยาวพอที่จะจำกัดเขตให้ได้อย่างปลอดภัย สัญญาณไฟเหลืองโดยทั่วไปจึงถูกออกแบบที่ช่วงเวลาประมาณ 3–5 วินาที หากการออกแบบสัญญาณไฟเหลืองที่น้อยกว่า 3 วินาทีจะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในกรณีที่คนขับตัดสินใจแล่นผ่านทางแยกหรือหากออกแบบสัญญาณไฟเหลืองนานเกิน 5 วินาทีจะทำให้เกิดความล่าช้าของเวลามากขึ้น

2.4.3 การขอสัญญาณไฟเขียว (Call) การให้สัญญาณไฟเขียวแก่เฟสใดเฟสหนึ่งที่ไม่อยู่ใน “Recall mode” ขึ้นกับการส่งสัญญาณขอจากเครื่องตรวจจับยานพาหนะที่เส้นหยุดเมื่อเฟสไฟในลำดับก่อนหน้ากำลังจะหมดลง เช่น อยู่ในช่วงไฟเหลืองตัวควบคุมจะตรวจสอบสัญญาณขอจากเฟสที่ตามมาหากมีการขอไฟเขียวเนื่องจากมีการตรวจพบยานพาหนะหยุดคอยที่เส้นหยุดหน่วยควบคุมจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่เฟสดังกล่าว ในโปรแกรม aimsun มีรูปแบบของ Recall ทั้งหมด 3 ตัวเลือกคือ 1. No หมายถึง หากไม่มีรถมากระตุ้นตัวตรวจนับก็จะปล่อยสัญญาณไฟเขียวไปเรื่อยๆ ไม่มีการเรียกสัญญาณ, ตัวเลือก 2. min หมายถึง เมื่อมีรถมากระตุ้นตัวตรวจนับจะให้สัญญาณไฟเขียวสำหรับเฟสนั้น แต่จะให้เป็นระยะเวลาไม่เกินค่า  $G_{min}$  หรือ  $G_{max}$  แล้วแต่กรณี, ตัวเลือก 3. max หมายถึง ให้สัญญาณไฟเขียว ไปเรื่อยๆ หากไม่มีรถมากระตุ้นตัวตรวจนับแต่จะกำหนดค่าไฟเขียวสูงสุดไว้ (Maximum Green)

2.4.4 ช่วงเวลาเริ่มต้น (Initial interval) ช่วงเวลาแรกของระยะเวลาไฟเขียวที่เหมาะสมที่จัดให้ยานพาหนะที่รอระหว่างเส้นหยุดและ ตัวตรวจนับ (Detector) ในช่วงสัญญาณไฟแดงสามารถเคลื่อนตัวออกจากบริเวณทางแยกได้หมดซึ่งเวลานี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนยานพาหนะที่แถวคอย กับระยะห่างเฉลี่ยระหว่างขบวนที่สภาวะการไหลอืดตัว (Saturated Headway) และเวลาที่สูญเสียเนื่องจากการออกตัว (Start-up lost time)

2.4.5 ช่วงระยะเวลาขยายหนึ่งหน่วย (Unit Extension) หลังจากทางเข้าทางแยกหนึ่งได้รับสัญญาณไฟเขียวเป็นระยะเวลาเท่ากับช่วงเวลาเริ่มต้นแล้ว เครื่องตรวจนับยานพาหนะ (Detector) จะเริ่มทำงานเพื่อตรวจจับยานพาหนะที่ผ่านเข้ามา แล้วส่งสัญญาณไปยังหน่วยควบคุมเพื่อขอสัญญาณไฟเขียวเพิ่มจากช่วงเวลาเริ่มต้น โดยเมื่อตรวจจับยานพาหนะได้หนึ่งครั้งหน่วย

ควบคุมจะต่อเวลาสัญญาณไฟเขียวให้เป็นเวลาเท่ากับหนึ่งหน่วยขยาย (Unit Extension) โดยประมาณเท่ากับเวลาที่รถคันหนึ่งใช้วิ่งจากตำแหน่งของเครื่องตรวจจับยานพาหนะไปถึงเส้นหยุดด้วยความเร็วที่ขีดจำกัดความเร็ว

2.4.6 ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุด (The minimum green interval) คือเวลาสั้นที่สุดสำหรับช่วงเวลาไฟเขียวระหว่างระยะการจราจรใดๆ ในการออกแบบพื้นฐานมักกำหนดให้ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดเท่ากับผลรวมของช่วงเวลาเริ่มต้นและช่วงระยะเวลาขยายหนึ่งหน่วย (Unit Extension) แต่ในบางกรณีอาจยอมให้ช่วงเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดน้อยกว่าช่วงเวลาเริ่มต้นและช่วงระยะเวลาขยายหนึ่งหน่วย (Unit Extension)

2.4.7 ช่วงเวลาไฟเขียวมากที่สุด (The maximum green interval) ช่วงระยะเวลาที่สามารถให้ไฟเขียวได้นานที่สุดที่จะทำให้เกิดการสูญเสียความล่าช้าในทุกทิศทางที่สามารถยอมรับได้ โดยปกติแล้วจะอยู่ระหว่าง 30 และ 60 วินาที ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร ถึงแม้ว่าปริมาณจราจรจะหนาแน่นมากแต่การให้สัญญาณไฟเขียวในทิศทางนั้นๆ จะสามารถให้ได้แค่ช่วงเวลาไฟเขียวมากที่สุด (The maximum green interval) เพราะทิศทางอื่นต้องได้รับสัญญาณไฟเขียวบ้าง เพื่อลดการสูญเสียความล่าช้า

2.4.8 เวลาไฟเขียวประสิทธิผล (Determination of the Effective Green Time) เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียวการจราจรจะเริ่มเคลื่อนตัวผ่านทางแยกโดยมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงอัตราการไหลสูงสุดที่การจราจรสามารถผ่านทางแยกไปได้ จนเมื่อเริ่มสัญญาณไฟเหลืองอัตราการไหลของการจราจรก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจนเป็นศูนย์หรือไม่มีปริมาณการจราจรผ่านทางแยกเลยเมื่อเริ่มสัญญาณไฟแดง

2.4.9 Dual entry หมายถึง จะกำหนดให้ลักษณะของสัญญาณไฟจราจร ไปอย่างควบคู่กัน เช่น ให้สัญญาณไฟเขียวตรงจากสามแยกไปปีกธงซ้าย ควบคู่กับ ทิศทางจากปีกธงซ้ายตรงไปสามแยกปีก

2.4.10 Hold คือ ตัวเลือกที่กำหนดให้ยังคงไฟเขียวไปเรื่อยๆ หากไม่มีรถมากระตุ้นที่เครื่องตรวจนับ

## 2.5 โปรแกรมจำลองสภาพจราจร

การจำลองสภาพจราจรเป็นการจำลองสภาพจราจรจากสถานที่จริงหรือสถานการณ์ที่ที่สมมติขึ้นโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า โปรแกรมจำลองสภาพจราจร ตัวอย่างการจำลอง เช่น การจำลองสภาพจราจรในเมือง การจำลองการควบคุมทางแยก เป็นต้น การจำลองสภาพจราจรมี ข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

เมื่อระบบการจราจรมีความซับซ้อนมากทำให้สามารถศึกษาผลกระทบต่อการจราจร เมื่อเกิดอุบัติเหตุต่างๆที่ไม่สามารถสมมติให้เกิดขึ้นจริงในภาคสนามทำให้มองเห็นสภาพจราจรและปัญหาการจราจรโดยรวมอย่างเป็นระบบและสามารถคาดการณ์ปัญหาจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต การจำลองสภาพจราจรจึงสามารถใช้ทดสอบการควบคุมจราจรรูปแบบใหม่ ๆ และทดสอบซ้ำได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้การจำลองจะให้ค่าตัววัดประสิทธิภาพการจราจรโดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องไปจัดเก็บข้อมูลในสนาม อย่างไรก็ตามการจำลองสภาพจราจรก็มี ข้อด้อยบางประการ เช่น ต้องการใช้อ้างอิงข้อมูลพื้นฐานจำนวนมาก ใช้เวลานานในการสร้างโครงข่ายถนนและแบบจำลองใช้เวลาและงบประมาณมากเพื่อปรับเทียบ (Calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง แต่เนื่องจากข้อดีที่ได้รับจากการจำลองสภาพจราจรมีมากกว่าข้อด้อย และเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในระยะยาว ทำให้การจำลองสภาพจราจร เพื่อวิเคราะห์และควบคุมการจราจรได้รับความนิยมนับเป็นอย่างมากและมีใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรจำนวนมากที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสามารถจำแนกตามลักษณะของการจำลองสภาพจราจรได้เป็น 3 ระดับ คือระดับจุลภาค (Microscopic) ระดับมหภาค (Macro-scopie) และระดับกึ่งจุลภาค (Meso-scopie) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคมักใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ตามกันของรถยนต์ (Car – Following Model) และแบบจำลองการเปลี่ยนช่องจราจร (Lane – Changing Model) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์แต่ละคัน การขับขึ้นของรถยนต์คันหน้าที่มีการเพิ่มความเร็วลดความเร็วและหยุด จะมีผลต่อการขับขึ้นของรถยนต์ที่ขับตามมา แต่จะไม่มีผลต่อการขับขึ้นของรถยนต์ที่ขับตามมาจนกว่าจะเกิดเหตุการณ์การขับขึ้นของรถยนต์คันหน้า (ยกเว้นกรณีของการแซงหรือเปลี่ยนช่องทาง)

2.5.2 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับมหภาคใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และอัตราการไหล (Flow) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้จำลองกลุ่มรถยนต์โดยมีสมมุติฐานว่าการวิเคราะห์ค่าการจราจรหาได้จากการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรการจราจรมหภาคที่ไม่คำนึงถึงหรือพิจารณาถึงค่าการจราจรหรือพฤติกรรมของยานพาหนะแต่ละคัน

2.5.3 โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับกึ่งจุลภาคเป็นการนำเอาลักษณะการจำลองสภาพการจราจรทั้งระดับมหภาคและระดับจุลภาคมารวมผสมผสานกัน

เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ที่มีอย่างต่อเนื่องทำให้การพัฒนาโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรมีความก้าวหน้าและมีให้เลือกใช้จำนวนมาก แต่โปรแกรมที่มีความความยืดหยุ่นสูงในการนำไปประยุกต์ใช้และผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง

พร้อมกับได้รับการยอมรับนั้นมีอยู่ไม่มากนัก ในงานวิจัยนี้จึงยกตัวอย่างโปรแกรมจำลองสภาพจราจร ระดับจุลภาคที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลและโปรแกรมที่มีความสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองสภาพจราจรของงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งประกอบไปด้วย โปรแกรม AIMSUN, CORSIM, DRACULA, PARAMICS และ VISSIM (Woolley, 2001)

- โปรแกรม AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) พัฒนาโดย J. Barcelo และ J.L.Ferrer ที่มหาวิทยาลัยโพลิเทคนิคในแคว้นกาตาลัน (Polytechnic University of Catalunya) เมืองบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ปี ค.ศ.1994 เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคใช้จำลองสภาพจราจรบนโครงข่ายถนนในเมืองและระหว่างเมืองสามารถประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System, ITS) ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม AIMSUN เชื่อมต่อกับระบบ SCOOT ในโครงการอุดหนุนการวิจัย DGVII (ทีวี รัชชเมธาวิ 2545)

- โปรแกรม CORSIM (corridor Microscopic simulation) พัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration ในปี ค.ศ. 1996 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย FRESIM ใช้จำลองสภาพจราจรบนทางหลวง (freeway) และ NETSIM ใช้จำลองสภาพจราจรในเมือง สามารถใช้จำลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรคงที่และสัญญาณไฟปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร แต่ไม่มีเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณเพื่อให้การควบคุมทางแยกสัญญาณไฟดีที่สุด

- โปรแกรม DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro- simulation) พัฒนาโดยสถาบันการศึกษาด้านการขนส่งของมหาวิทยาลัยลีดส์ (Institute for Transport Studies, University of Leeds) เป็นแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคใช้จัดเส้นทางการเดินทางในเมือง (urban traffic assignment model) ที่สามารถจำลองสภาพจราจรแต่ละวันได้ต่อเนื่องกันตลอด 24 ชั่วโมง ผู้ขับขี่แต่ละคนจะเลือกเส้นทางการเดินทางตามสภาพจราจรและประสบการณ์ที่เรียนรู้จากแบบจำลองย่อย (learning sub-model)

- โปรแกรม PARAMICS (Parallel Micro Simulation) พัฒนาขึ้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ในเอดินบะระ (Edinburgh Parallel Computing Center) ประเทศสกอตแลนด์ ปี ค.ศ. 1992 เป็นโปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคใช้จำลองสภาพจราจรที่พิจารณาการขับขีของยานแต่ละคันในโครงข่ายถนนที่มีการจราจรแออัด สามารถแสดงความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ได้อย่างชัดเจนโดยใช้สี สามารถใช้ทดสอบการแนะนำเส้นทาง (route guidance) การเลือกเส้นทางเดินทาง (route choice) และสามารถตรวจวัดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการจราจรได้

- โปรแกรม VISSIM พัฒนาโดย PTV System Software and Consulting GMBH ประเทศสาธารณรัฐเยอรมัน เป็นโปรแกรมระดับจุลภาคที่มีความยืดหยุ่นสูงใช้สำหรับจำลองสภาพจราจรในเมืองและการให้บริการระบบขนส่งมวลชน ใช้ประเมินทางเลือกด้านการจัดการจราจร สามารถรายงานค่าสถิติต่างๆได้เช่น รายละเอียดเวลาที่ใช้เดินทางและสถิติความล่าช้า สถิติความยาวแถวคอย รายละเอียดข้อมูลการจัดจังหวะควบคุมสัญญาณไฟจราจร การทำงานของอุปกรณ์ตรวจนับและการขอสัญญาณไฟเขียวจากยานพาหนะในระบบขนส่งมวลชน สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางเคลื่อนที่ได้ของยานกับเวลา (time space diagram) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา (speed profile)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวี วิชัยเมธาวิ 2545. ศึกษาวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่มีประสิทธิภาพสำหรับสภาพจราจรอึมตัวและอึมตัวมาก โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค PARAMICS ที่มีตัวกลางติดต่อ สื่อสารกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) ทำการทดสอบบนโครงข่ายถนนแบบปิดที่มีลักษณะเป็นตาราง (grid network) มีระยะห่างระหว่างทางแยกเท่ากัน จำนวน 2 โครงข่าย (ที่เกิดจากการตัดกันของถนนหลัก 2 สาย) หลักการของวิธีควบคุมสัญญาณไฟที่ศึกษาขึ้น คือ การปรับสัญญาณไฟให้สอดคล้องกับข้อมูลการจราจรแบบทันกาลและป้องกันการเกิดแถวคอยกีดขวางทางแยกด้านทาง ตัววัดประสิทธิภาพของการควบคุม ได้แก่ จำนวนยานที่ตกค้างในโครงข่าย จำนวนยานที่ออกจากโครงข่าย ความเร็วเฉลี่ย เวลาหยุดนิ่ง ระยะทางที่ยานวิ่งบนโครงข่ายรวม (คัน-กิโลเมตร) ระยะเวลาที่ยานใช้ในโครงข่ายรวม (คัน-ชั่วโมง) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ผลการศึกษา พบว่า ในสภาพจราจรอึมตัว วิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ระดับความอึมตัวสูงสุดของแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวเป็นวิธีควบคุมที่ให้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีควบคุมสัญญาณไฟคงที่ และวิธีควบคุมสัญญาณไฟแบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจราจรโดยใช้ดัชนีความยาวแถวคอยสูงสุดจัดแบ่งช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว ในสภาพจราจรอึมตัวมาก วิธีควบคุมนี้ก็มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นและวิธีใช้พื้นที่ว่างหลังแถวคอย

ปฏิภาณ แก้ววิเชียร 2549. ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบสัญญาณไฟจราจรซึ่งแปรเปลี่ยนตามปริมาณจราจร (Actuated Traffic Signal) เพื่อประเมินประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว ซึ่งมีลักษณะของทางแยกเป็นทางเอกตัดกับทางโท อุปกรณ์ตรวจจับปริมาณจราจรถูกติดตั้งไว้ที่ผิวจราจรห่างจากเส้นหยุด 5 เมตร โดยการประเมิน

ประสิทธิภาพก่อนและหลังการติดตั้ง จะใช้ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดด้านวิศวกรรมจราจร ตามวิธีการเก็บข้อมูลความล่าช้าจากการหยุดของ AUSTROADS (1988) เปรียบเทียบผลการศึกษาใช้วิธีทางสถิติทดสอบความแตกต่างกันของความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยแบบคู่ (Paired Observations) ที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 ได้ผลการศึกษาจากการพิจารณาทุกช่วงเวลา พบว่า ความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยรวมทุกขาที่ทางแยกมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร เมื่อพิจารณาแต่ละขาทางแยกพบว่าความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยที่ขาทางแยกในด้านทางเอกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความล่าช้าจากการหยุดเฉลี่ยที่ขาทางแยกในด้านทางโทมีค่าลดลงภายหลังการติดตั้งระบบสัญญาณไฟจราจร ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากเดิมอาจพิจารณา รอบสัญญาณไฟจราจรแต่ละช่วงเวลาในแต่ละรอบให้มากขึ้น กำหนดขอบเขตระยะเวลาไฟเขียวต่ำสุดและระยะเวลาไฟเขียวสูงสุดให้เหมาะสมกับสภาพจราจรที่ทางแยกในแต่ละช่วงเวลา และกำหนดระยะเวลาการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการจราจรในแต่ละขาทางแยกให้เหมาะสมกับความเร็วที่เข้าสู่ทางแยก

พลเทพ เลิศวรรณิช 2553. งานวิจัยนี้เสนอวิธีการออกแบบจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่สามารถพิจารณาสภาพจราจรต่ำกว่าและสูงกว่าระดับอิ่มตัว โดยวิธีการที่นำเสนอมีหลักการพิจารณาที่สำคัญคือ 1)ความสามารถในการจำลองจราจรแบบแถวคอยในแนวนอนและการล้นข้ามแยก (Horizontal queuing and spillover) 2)การหลีกเลี่ยงการล้นข้ามแยกของจราจร 3)ความสามารถในการระบายรถยนต์ออกจากทางแยก(Throughput) และ 4) ความเท่าเทียมกันของผู้ใช้ทางในแง่ของความล่าช้า(Delay Equity) เนื่องจากมีวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่ง ผู้วิจัยจึงใช้หลักการที่เรียกว่า “Multi-objective” ในการคำนวณหาจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสม จากนั้นจึงนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายจราจร 9 ทางแยก ที่มีปริมาณจราจรสูงเท่ากับอัตราการไหลอิ่มตัว โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม ทราบข้อสรุปว่า วิธีการเดิมที่พยายามระบายรถยนต์ออกจากโครงข่ายให้มากที่สุดนั้น ในบางกรณีอาจจะทำให้เกิดการล้นข้ามทางแยก ส่วนการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต ควรพัฒนาวิธีการที่คำนึงถึงคนข้ามถนน รถยนต์ฉุกเฉิน (Priority Vehicles) และทางข้ามทางรถไฟด้วย

ดร.เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช 2546. วิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองจราจรแบบจุลภาคที่สามารถวิเคราะห์และแสดงผลลัพธ์เป็นกราฟฟิคได้ และทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรในการเอื้อประโยชน์แก่รถเมล์ โดยศึกษาจากการใช้โปรแกรม NETSIM เป็นพื้นฐานในการจำลอง ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจะใช้ความยาวแถวคอย งานวิจัยนี้มีตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบ คือ ความยาวแถวคอย ความล่าช้ารวมของทางแยก และความล่าช้าเฉลี่ยของรถเมล์ ผลการศึกษาได้

เสนอระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบกระตุ้น (Actuated Controller) ที่มีการประสานกับทางกันทางรถไฟเพื่อให้สิทธิพิเศษแก่รถเมล์ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร พบว่าระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่อให้สิทธิพิเศษแก่รถเมล์สามารถลดความล่าช้าเฉลี่ยของรถเมล์ลงได้ และสามารถลดความล่าช้าโดยรวมของระบบด้วยเมื่อเทียบกับระบบปัจจุบัน

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

วุฒิไกร ไชยปัญญา และ พนกฤษณ คลังบุญครอง ทำการวิเคราะห์ทางเลือกของระบบการจัดการจราจร ณ บริเวณห้าแยก (ศาลเจ้าพ่อหลักเมือง) จังหวัดขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม PARAMICS เนื่องจากห้าแยกศาลเจ้าพ่อหลักเมืองเป็นบริเวณที่กำลังประสบกับปัญหาการจราจรติดขัดขั้นวิกฤต ผลการศึกษาสรุปว่า การวิเคราะห์ทางเลือกในการแก้ไขปัญหการจราจรทำการวิเคราะห์ ในภาพรวมทั้งโครงข่ายโดยใช้ตัวชี้วัดคือ ค่า Mean System Speed และ Mean System Delay และเฉพาะบริเวณห้าแยกๆ ที่ใช้ตัวชี้วัด คือ ความเร็วเฉลี่ย เวลาในการเดินทาง ความล่าช้า และความยาวแถวคอย พบว่า ทางเลือกที่ 3 ห้ามจอดตาม

แนวช่วงถนนที่เข้าสู่ห้าแยกๆ และปรับปรุงรอบสัญญาณไฟบริเวณห้าแยกๆ และสี่แยกประตูเมืองเป็นทางเลือกที่มี ประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงระยะสั้น 1 ปี และทางเลือกที่ 4 ก่อสร้างทางลอดบริเวณสี่แยกประตูเมืองและขยายช่องจราจรบริเวณห้าแยกๆ เป็นทางเลือกที่มี ประสิทธิภาพสูงสุดในระยะกลาง 5 ปี

กานต์ กิ่งแก้ว 2551. ใช้โปรแกรมระดับจุดภาค Paramics ในการพัฒนาแบบจำลองจราจร บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภูมิวิเคราะห์ได้แก่ โครงการอุโมงค์ลอดแยกเกษตร โครงการที่ จอดรถภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และจำลองสถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุการจราจรภายใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ คือ ความยาวแถวคอย เวลาหยุดนิ่ง ความเร็ว VKT VHT เปรียบเทียบสภาพจราจรก่อนและหลังมีโครงการ เกิดขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถนำไปประยุกต์ตรวจสอบสภาพจราจรภายใน บริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้เป็นอย่างดี เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ทดสอบมาตรการจัดการจราจร ต่างๆ ได้ตามต้องการ

ฉัตรมงคล ลิ้มแดงสกุล เสนอวิทยานิพนธ์เรื่อง ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติ ซึ่งพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ โดยหา ปริมาณความหนาแน่นของการจราจรเพื่อตัดสินใจในการกำหนดสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมที่ ทางแยกเดียว โดยโปรแกรมสัญญาณไฟจราจรนี้สามารถปรับเปลี่ยนระบบสัญญาณไฟได้ 3 ส่วน เพื่อให้สัญญาณไฟที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่สุด ส่วนที่ 1 ประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟ จราจรโดยเจ้าหน้าที่ ส่วนที่ 2 ประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่ และส่วนที่ 3 ประเภทกำหนดเวลาสัญญาณไฟจราจรเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจร โดยระบบจะมีการจัดเก็บ ข้อมูลปริมาณความหนาแน่นของการจราจรเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเดินทางของผู้ใช้ ถนน และการตั้งค่าเวลาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของเจ้าหน้าที่ ในขั้นตอนการพัฒนา ระบบ ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา Visual Basic โดยอาศัย Visual Studio.Net 2008 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา โปรแกรม ซึ่งมี Microsoft Access 2003 เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ใช้กล้อง Web Camera สำหรับ ตรวจจับยานพาหนะบนท้องถนน และใช้เทคนิคประมวลผลภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นได้นำไปทำการทดสอบซึ่งสามารถปฏิบัติงานได้ตามวัตถุประสงค์และ ขอบเขตที่ตั้งไว้ โดยผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ ด้วยเหตุผลนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า สามารถ นำระบบไปประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงได้

ฉนิศา รุ่งแจ้ง 2544. ศึกษาเรื่อง โปรแกรมการออกแบบสัญญาณไฟสำหรับทางแยกสามขา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมจำลองการไหลจากการจราจร สำหรับใช้ในการออกแบบ สัญญาณไฟจราจรสำหรับทางแยกสามขาที่เป็นทางแยกอิสระ เพื่อหาระยะเวลาสัญญาณไฟที่ เหมาะสม ซึ่งเป็นระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ส่งผลให้ความล่าช้าเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด โปรแกรม จำลองการจราจรเข้าสู่ทางแยกซึ่งมีการแจกแจงแบบสุ่ม โดยใช้การแจกแจงแบบเลขยกกำลังลบ และแบบเออร์แรง ระยะเวลาห่างกันระหว่างรถยนต์ผลจากการตรวจสอบการทำงานของ โปรแกรมจำลองการจราจรภายใต้สภาพการจราจรต่างๆ พบว่าระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่

เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับค่าระยะเวลารอบสัญญาณไฟที่ได้ตามสมการของ Webster จากการศึกษาได้พัฒนาโปรแกรมการจำลองการไหลการจราจรที่สะดวกต่อการใช้งานและแสดงผลที่เข้าใจได้ง่าย การใช้งานของโปรแกรมนี้นี้ไม่จำกัดเฉพาะเพื่อการศึกษาระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร ยังสามารถใช้ในการศึกษาผลการประเมินทางจราจรในด้านต่างๆได้ด้วยการกำหนดข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรมแตกต่างกันไป

การควบคุมสัญญาณไฟในสภาพจราจรหนาแน่น โดยคณะผู้วิจัยคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรวิศ นฤปิติ, ศาสตราจารย์ ดร.ยอดพล ธนบริบูรณ์ และนายปณัฏ์ พุกโพธิ์ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ทดสอบวิธีการควบคุมสัญญาณไฟภายใต้สภาพจราจรต่างๆกัน โดยเน้นศึกษาสภาพการจราจรหนาแน่น การทดสอบกระทำบนโครงข่ายถนน 3 ประเภท คือ ทางแยกเดี่ยว ทางสายหลัก สายเดี่ยว และโครงข่ายถนน(ตาข่าย) วิธีการควบคุมสัญญาณไฟที่นำมาทดสอบมีหลายวิธี ตั้งแต่วิธีการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ จนถึงวิธีควบคุมปรับเปลี่ยนได้โดยใช้ข้อมูลแบบทันกาล ปริมาณการจราจรที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ปริมาณการจราจรคงที่ และ ปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลงตามเวลา เปรียบเทียบตัวชี้วัดคือ ความล่าช้า แลวคอย อัตราการเผาผลาญเชื้อเพลิง และอื่นๆ วิธีการดำเนินงาน จะทำการรวบรวมวิธีควบคุมสัญญาณไฟอดีต และนำมาคัดเลือกหาวิธีการที่เหมาะสม สถานการณ์จราจรที่ทดสอบ จะมีระดับของปริมาณการจราจรเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่ระดับเบาบาง จนถึงระดับหนาแน่น โดยมีรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณจราจรคงที่ตลอดช่วงเวลา และ เปลี่ยนแปลงมีระดับสูง(Peak) ในช่วงหนึ่ง โดยในช่วงเวลาที่มีระดับปริมาณสูงนี้ อาจมีระดับปริมาณการจราจรสูงเกินความสามารถของการบริการของถนน และทำให้เกิดการติดขัด (Oversaturation) บนถนน หลังจากออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้ว จะนำวิธีการควบคุมดังกล่าวมาทดลองบนโปรแกรมจำลองสภาพจราจร คือ โปรแกรม TRANSYT และ โปรแกรม CORSIM ซึ่งผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า โปรแกรม TRANSYT (Version 8.1) ไม่สามารถจำลองสภาพการจราจรหนาแน่นได้ดีนัก ดังนั้น ผลการศึกษาจะมาจากผลของโปรแกรม CORSIM เป็นส่วนใหญ่ ผลการวิจัยพบว่า บนทางแยกเดี่ยว วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟสั้น จะทำให้เกิดความล่าช้า เวลาในแถวคอยน้อยที่สุด เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรต่ำ วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ความยาวรอบสัญญาณไฟยาว จะทำให้เกิดอัตราเผาผลาญเชื้อเพลิงต่ำ เมื่อมีระดับปริมาณการจราจรสูง แต่ทั้งนี้จะทำให้ปริมาณรถที่ผ่านทางแยกน้อยกว่า วิธีอื่นๆ บนถนนสายหลักสายเดี่ยว วิธี Negative offset ให้ผลการควบคุมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ส่วนวิธีการตั้งความยาวรอบสัญญาณไฟสั้นจะทำให้เกิดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบทันกาลแล้ว วิธี Input Volume จะให้ผลการควบคุมดีที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวชี้วัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่ ในขณะที่วิธี Available

Storage ให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยที่สุด บนโครงข่ายถนน วิธีควบคุมสัญญาณไฟโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการจราจรในอดีต ผลการควบคุมที่ดีที่สุด วิธีการควบคุมสัญญาณไฟโดยคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของกลุ่มรถยนต์ และวิธี Available Storage จะให้ผลดีเช่นกัน ในบางสถานการณ์ปริมาณจราจร จึงไม่สามารถจัดลำดับประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมสัญญาณไฟได้อย่างชัดเจน

อรอนงค์ แสงพ่อง 2553. การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อต้องการวิเคราะห์ความยาวรอบสัญญาณไฟในทางแยกที่สำรวจว่ามีความยาวรอบสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป ยาวเกินไป หรือเหมาะสมคืออยู่แล้ว โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างความจุที่สูญเสียในช่วงก่อนเริ่มต้นสัญญาณไฟเขียว และสิ้นสุดสัญญาณไฟเหลือง ความจุที่สูญเสียสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรเปลี่ยนของปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านเส้นหยุด ด้วยวิธีการอินทิเกรตหาพื้นที่จากฟังก์ชันความสัมพันธ์ของกราฟ ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้จากการตั้งกล้องวิดีโอที่บันทึกพฤติกรรมขับขี่ในการตอบสนองต่อการให้จังหวะสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษาในเขตเทศบาลเมืองนครราชสีมา โดยข้อมูลหลักที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ เวลาที่สูญเสียไปในการออกตัว อัตราการไหลอ้อมตัว ระยะห่างระหว่างรถยนต์ และความจุที่สูญเสียไปในช่วงเริ่มและช่วงปลายสัญญาณไฟเขียว จากการวิเคราะห์พบว่า ทางแยกสัญญาณไฟจราจรบริเวณ เต็กสะ และทางแยกสัญญาณไฟจราจรโรงพยาบาล ป.แพทย์ มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวสั้นเกินไป เนื่องจาก ความจุที่สูญเสียในช่วงต้น มากกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย ส่วนทางแยกชุมชนบูรพา มีการกำหนดระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยาวเกินไป เนื่องจากความจุที่สูญเสียในช่วงต้นน้อยกว่าความจุที่สูญเสียในช่วงปลาย

อาทิตย์ ศรีจำปา 2550. แบบจำลองจราจรสำหรับระบบทางด่วนเขตกรุงเทพมหานคร สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ จะใช้ โปรแกรม Paramics เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองจราจรบนระบบทางด่วนเขตกรุงเทพมหานคร โดยปรับเปลี่ยนตำแหน่งและระยะเวลาการเกิดอุบัติเหตุบนทางพิเศษ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบโดยรวมทั้งด้านการจราจรและเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่า การเกิดอุบัติเหตุจราจรบนที่จอดรถคิดขวงการจราจรบนทางพิเศษที่ระยะเวลาอุบัติเหตุจราจรแตกต่างกันคือ 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาพการจราจรบนโครงข่ายทางพิเศษ โดยกรณีเกิดอุบัติเหตุบนทางหลักความเร็วเฉลี่ยรวมทั้งระบบมีค่าลดลง 4-14% จากสภาวะการณปกติ ส่งผลกระทบให้ระยะเวลาการเดินทางบนโครงข่ายเพิ่มขึ้น 6-16% ทำให้ระยะเวลาการเดินทางบนโครงข่ายเพิ่มขึ้น 21-42% และกรณีเกิดอุบัติเหตุบนทางลงทางพิเศษความเร็วเฉลี่ยรวมทั้งระบบมีค่าลดลงจากสภาวะการณปกติ 3-6% ทำให้ระยะเวลาการเดินทางบนโครงข่ายเพิ่มขึ้น 13-34% โดยผลกระทบที่บริเวณทางแยกต่างระดับจะ

มากที่สุด รองลงมาเป็นบริเวณทางหลัก และบริเวณทางลง ตามลำดับ ส่วนตำแหน่งการเกิดเหตุที่ช่องทางที่ 2 จะส่งผลมากที่สุด รองลงมาเป็นช่องทางที่ 3 และช่องทางที่ 1 ตามลำดับ ส่วนผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์เฉพาะด้านการจราจร สำหรับกรณีที่เกิดอุบัติเหตุจราจรบนทางหลักจะสูญเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 28000-140000 บาท/ครั้ง และกรณีเกิดอุบัติเหตุจราจรบนทางแยกต่างระดับจะสูญเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 30000-150000 บาท/ครั้ง ส่วนกรณีที่เกิดอุบัติเหตุจราจรบนทางลงทางพิเศษจะสูญเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 25000-110000 บาท/ครั้ง

Steven L.Jones และคณะ 2004, ได้เปรียบเทียบโปรแกรมจำลองจราจรระหว่าง 3 โปรแกรมคือ Corsim(version4.32), Simtraffic(version5.0) และ Aimsun(version4.2) ซึ่งแต่ละโปรแกรมมีการประเมินโดยใช้ประเภทถนน ดังนี้ ถนนระหว่างรัฐ ถนนสายหลัก และถนนในเมือง ซึ่งในแต่ละโปรแกรมมีเกณฑ์การประเมินดังต่อไปนี้ ความสามารถของระบบแต่ละโปรแกรม, การรองรับการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม, ความต้องการของข้อมูล, ความถูกต้องของตัวชี้วัดในการรายงานผลและจะต้องมีประสิทธิภาพในการประเมินผลทางระบบขนส่ง, การจัดการเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น, มีช่องทางเฉพาะอำนวยความสะดวกสำหรับการเลี้ยว และมีทางเชื่อมถนน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ทั้ง 3 โปรแกรม สามารถให้การจำลองจราจรเป็นไปได้อย่างเหมาะสม ถึงแม้ว่าแต่ละโปรแกรมจะมีความสามารถและระดับของการประมวลผลแตกต่างกัน, การแก้ปัญหาและการปรับเทียบ ของ Simtraffic อาจที่จะต้องพิจารณา การจัดกลุ่มของรูปแบบที่ต้องการ

สรุปการศึกษาผลงานวิจัยในอดีต พบว่า ส่วนใหญ่เลือกรูปแบบการแก้ปัญหาบรรเทาการจราจรติดขัด จากการควบคุมโดยสัญญาณไฟจราจรเป็นหลักในการควบคุมจราจรบริเวณทางแยก เพราะค่าใช้จ่ายงบประมาณต่ำ, ใช้ระยะเวลาในการศึกษาออกแบบและวิเคราะห์โครงการน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการจัดการแนวทางอื่น การติดตั้งสัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยกจะมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมกระแสจราจรที่ตัดกันให้มีความปลอดภัยและสะดวกในการเดินทางผ่านทางแยก หากใช้จังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในการเดินทางหรือต้องใช้เวลานานในการเดินทางผ่านทางแยก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพการจราจรสูงกว่าระดับอิ่มตัวในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษารูปแบบการจัดการจราจรบริเวณทางแยกหน้าประตูมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (แยกหนองปรุ) ที่มีปัญหาแฉกคอกที่ล้นออกช่องทาง ความไม่คล่องตัวในการจราจร ความไม่สอดคล้องกับการจราจรบางช่วงเวลาของสัญญาณไฟจราจรแบบปัจจุบัน ซึ่งประยุกต์ใช้แบบจำลองจราจรโดยอาศัยโปรแกรม Aimsun ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสัญญาณไฟจราจรแบบปัจจุบันกับแบบใหม่ที่เหมาะสม จะใช้ตัวชี้วัดประสิทธิผล คือ ความเร็วเฉลี่ย เวลาเดินทางเฉลี่ย ความล่าช้าเฉลี่ย เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด จำนวนคันที่หยุด จำนวนรถที่มีอยู่ในการเดินทาง ต่อกิโลเมตร เวลาเดินทางทั้งหมด ของทั้งโครงข่ายถนนทางแยก

และใช้ แถวคอยสูงสุด(Maximum queue length) สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของ  
แบบจำลองจราจร

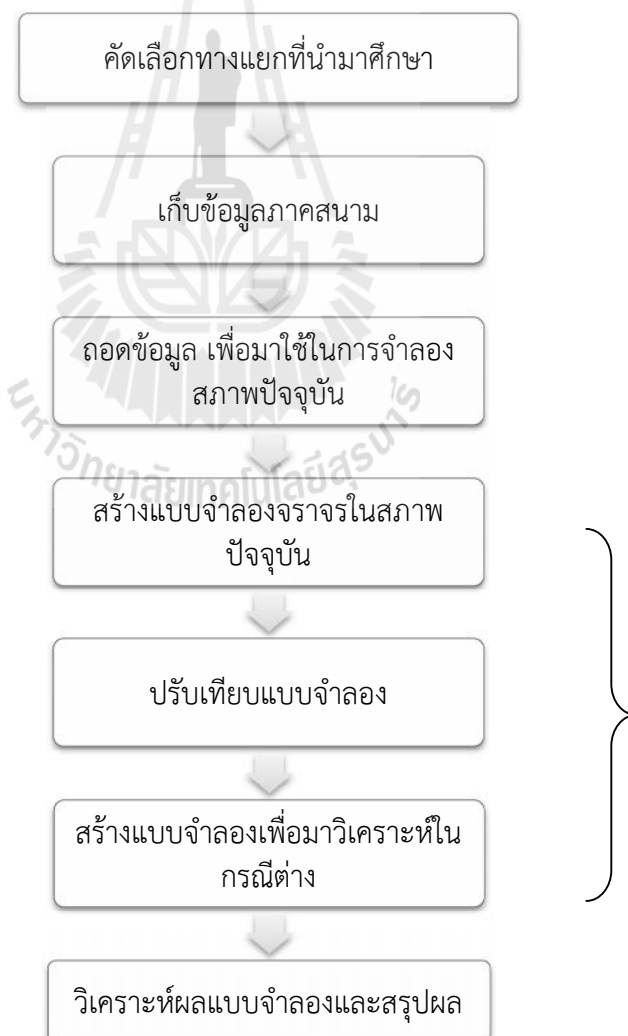


## บทที่ 3

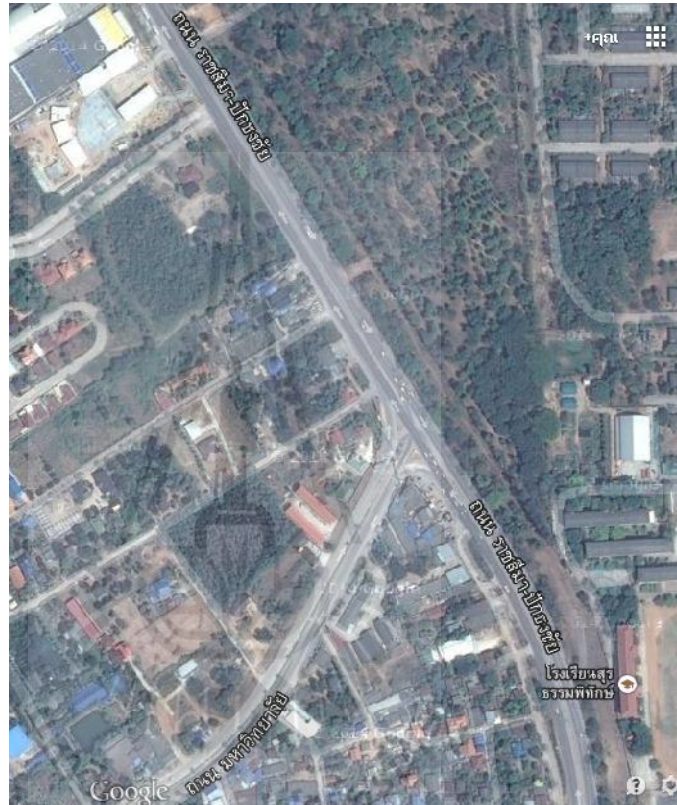
### วิธีการศึกษา

#### 3.1 ขั้นตอนการศึกษา

ในขั้นตอนของการศึกษานี้ จะทำการคัดเลือกทางแยกที่จะนำมาใช้พิจารณา คือทางแยกเดียวที่มีสัญญาณไฟจราจรที่ไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง เนื่องจากถนนสายรองมีปริมาณจราจรมากแค่บางช่วง แต่สัญญาณไฟจราจรยังคงใช้เวลาเท่าเดิมตลอดทั้งวัน เมื่อได้ทำการคัดเลือกแล้วจึงจะดำเนินการเก็บข้อมูลทางภาคสนามด้วยกล้องวิดีโอ เพื่อใช้ข้อมูลมาสร้างแบบจำลอง โดยมีการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด และวิเคราะห์ผลแบบจำลอง ขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการในการสร้างแบบจำลอง





ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพ ทางแยก (แยกหนองปรู)

|                                     | ช่องจราจร            |                   | ความกว้างไหล่ทาง (เมตร) |                   |
|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
|                                     | จำนวนช่องจราจร       | ความกว้าง (เมตร)  | เหนือ/ตะวันออกของถนน    | ใต้/ตะวันตกของถนน |
| ถนนสายหลัก<br>หมายเลขทางหลวง<br>304 | 4                    | 3                 | 2.5                     | 2.5               |
| ถนนสายรอง ถนน<br>มทส                | 4                    | 3.5               | 2.5                     | 2.5               |
|                                     | ความกว้างทางเท้า     |                   | ระยะช่องรอเลี้ยว        |                   |
|                                     | เหนือ/ตะวันออกของถนน | ใต้/ตะวันตกของถนน | ความกว้าง (เมตร)        | ความยาว (เมตร)    |
| ถนนสายหลัก<br>หมายเลขทางหลวง<br>304 | -                    | -                 | 3                       | 110               |
| ถนนสายรอง ถนน<br>มทส                | -                    | -                 | -                       | -                 |

ตารางที่ 3.2 จังหวะสัญญาณไฟจราจร ทางแยก(แยกหนองปรู)

|                       | A1  | A2 | B  |
|-----------------------|-----|----|----|
| ทิศทาง                |     |    |    |
| รอบสัญญาณไฟ (วินาที)  | 190 |    |    |
| เวลาไฟเขียว (วินาที)  | 70  | 70 | 35 |
| เวลาไฟเหลือง (วินาที) | 3   |    |    |
| ไฟแดงทุกขา (วินาที)   | 2   |    |    |

3.3.2 ข้อมูลแถวคอยสูงสุด ความยาวแถวคอยสูงสุดของแต่ละขาที่จอตรง  
สัญญาณไฟจราจรบริเวณทางแยก (ข้อมูลในภาคผนวก)

3.3.3 ข้อมูลปริมาณจราจร เป็นข้อมูลปริมาณจราจรแต่ละทิศทางที่ออกจากทางแยก โดยแยกประเภทของยานพาหนะ เวลาในการสำรวจปริมาณการจราจร ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 07:00-9:00, ช่วงเวลาไม่เร่งด่วน 11:00-13:00 และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น 15.00:17:00 ในวันที่ทำการศึกษาคือ วันพฤหัสบดีที่ 14 กุมภาพันธ์ 2556 และวันอาทิตย์ที่ 17 กุมภาพันธ์ 2556 (ข้อมูลในภาคผนวก)

### 3.4 ถอดข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์

เมื่อได้ข้อมูลการจราจรที่เก็บข้อมูลจากภาคสนามโดยการบันทึกภาพวิดีโอมาแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการถอดข้อมูลดังนี้

3.4.1 ถอดวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณจราจร (Volume) โดยการแบ่งตามประเภทรถ แบ่งเป็น 8 ประเภท คือ รถจักรยาน, รถจักรยานยนต์, รถยนต์นั่ง 4 ล้อ, รถสองแถว 4 ล้อ, รถบรรทุก 4 ล้อ, รถบัส 6 ล้อ, รถบรรทุก 6 ล้อ, รถบรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง เพื่อไปใช้ในการจำลองโปรแกรมจราจร

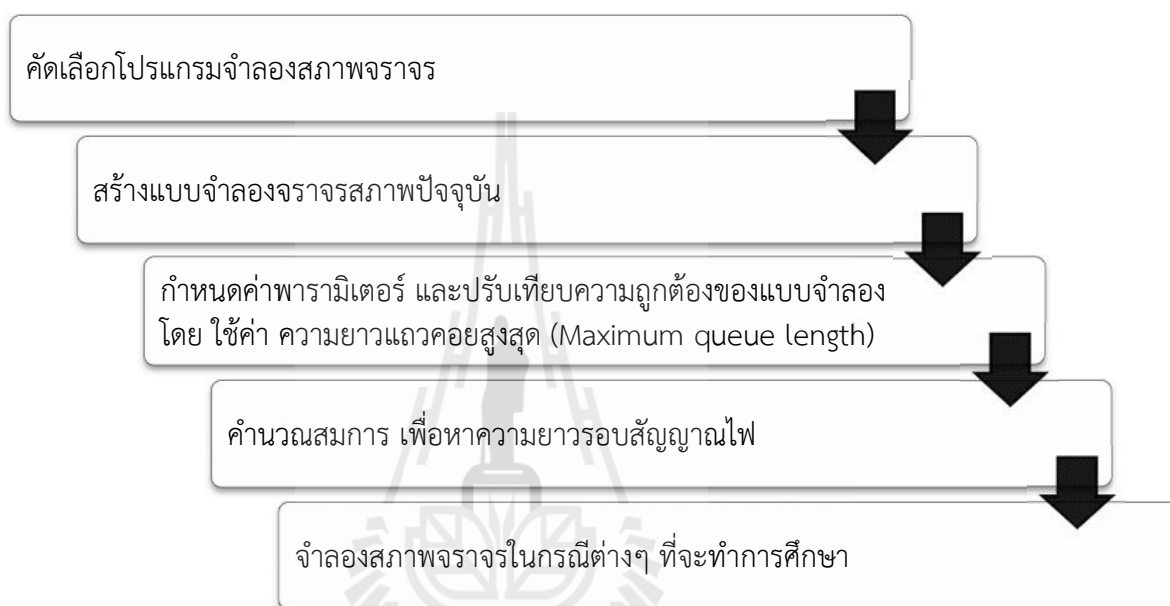
3.4.2 ถอดข้อมูลความยาวแถวคอยสูงสุด (maximum queue length) โดยแบ่งเป็นในแต่ละช่วงเวลาสำรวจ คือ 2 ชั่วโมง ที่มีแถวคอยที่เกิดขึ้นสูงสุด ในทิศทางทุกขา เพื่อไปใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองจราจรนี้ ซึ่งวิธีการถอดข้อมูลคือ ในช่วงของเวลา 2 ชั่วโมงที่สำรวจ (จะตรวจสอบจำนวนรถในช่องจราจรที่มีแถวคอยมากที่สุดเพียงช่องเดียว) ที่เลือกพิจารณาของแต่ละขา ซึ่งการพิจารณาช่องจราจรนั้น จะดูช่องจราจรทั้งหมดก่อน และนำข้อมูลเฉพาะช่องที่มากที่สุดของแต่ละขามาพิจารณา

3.4.3 ถอดข้อมูล ระยะเวลาระหว่างรถสองคันที่วิ่งตามกันมา (Time Headway) ในทิศทางเส้น 304 โดยใช้นาฬิกาจับเวลาหาเวลาที่รถแต่ละคันเคลื่อนที่ผ่านเส้นหยุด ซึ่งกำหนดเป็นจุดอ้างอิง (Reference Line) พบบ่อยครั้งว่ารถคันหน้ามักจะหยุดคร่อมเส้นหยุดขณะจอดบริเวณทางแยก (Miller, 1968) ดังนั้นในการศึกษาจึงทำการกำหนดการบันทึกเวลา เมื่อล้อหลังของรถแต่ละคันวิ่งผ่านเส้นหยุด และนำมาวิเคราะห์โดยการคิดเวลาเฉลี่ยตั้งแต่คันที่ 5 เป็นต้นไป

การใช้กล้องวิดีโอในการเก็บข้อมูลนั้นไม่เพียงแต่ช่วยแก้ไขปัญหาในการที่ไม่สามารถจับเวลาและบันทึกระยะห่างระหว่างรถยนต์ในสนามทันที แต่ยังทำให้ถูกต้องและแม่นยำกว่าและสามารถนำกลับมาดูใหม่เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

### 3.5 สร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง จะต้องมีขั้นตอนของการวางแผนระบบ ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อความถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพความจริง หลังจากการสร้างแบบจำลองแล้วจึงใช้วิธีการในการหาค่าตัวแปร เพื่อมาใช้ในแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนของการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบวนการจำลองสถานการณ์

#### 3.5.1 การคัดเลือกโปรแกรมจำลองสภาพจราจร

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรที่นำมาใช้ในงานวิจัย จะต้องผ่านหลักเกณฑ์การคัดเลือกเพื่อให้สามารถจำลองจราจรและประเมินวิธีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้ โดยโปรแกรมที่ผ่านการคัดเลือกคือ AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks) เพราะโปรแกรมนี้สามารถจัดหาได้ง่ายและมีใช้ในสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกเพื่อมาใช้วิเคราะห์จำลองจราจร ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์การคัดเลือกโปรแกรม

|                                                                                                                                                                                     |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| โปรแกรมสามารถจัดหาได้ง่ายและมีใช้ในสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี                                                                        | ✓ |
| โปรแกรมจำลองสภาพจราจรต้องเป็นโปรแกรมระดับจุลภาคและได้รับการยอมรับเพื่อให้สามารถจำลองพฤติกรรมรถการขับขี่ของยานแต่ละคันที่มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันได้ ทำให้สภาพจราจรที่จำลองขึ้นเสมือนจริง | ✓ |
| โปรแกรมสามารถจำลองการขับขี่ของยานชิดซ้าย (left hand rule) เพื่อให้การจำลองสามารถเข้าใจได้ง่าย มีความสอดคล้องกับการจราจรในประเทศไทย                                                  | ✓ |
| โปรแกรมสามารถจำลองการให้ผลแถวคอยสูงสุด (maximum queue length)                                                                                                                       | ✓ |
| โปรแกรมสามารถใช้ได้บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งจำลองการเคลื่อนที่ของยานและการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ผ่านทางหน้าจอแสดงผล เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและใช้ในการนำเสนอผลงาน     | ✓ |
| โปรแกรมสามารถใช้จำลองการควบคุมสัญญาณไฟแบบคงที่ และปรับเปลี่ยนตามสภาพจราจร                                                                                                           | ✓ |
| โปรแกรมมีตัววัดประสิทธิภาพการจราจรที่เหมาะสมและมีเอกสารประกอบครบถ้วน                                                                                                                | ✓ |

### 3.5.2 สร้างแบบจำลองสภาพปัจจุบัน

การสร้างโครงข่ายเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดของแบบจำลอง เนื่องจากการสร้างโครงข่ายที่มีความถูกต้องย่อมสามารถสะท้อนสภาพจราจรที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และทำให้ผลการศึกษาที่มีความน่าเชื่อถือสูง อย่างไรก็ตามโปรแกรม Aimsun มีศักยภาพสูงในการสร้างโครงข่ายถนนที่มีจำนวนมากและซับซ้อน การสร้างโครงข่ายนั้นจำเป็นต้องอาศัยไฟล์ AutoCAD (\*.dxf) หรือ ไฟล์รูปภาพ (\*.jpeg) ใช้เป็นพื้นหลังเพื่อกำหนดจุดอ้างอิงและเส้นทางซ้อนทับกับไฟล์ดังกล่าว ซึ่งจะทำให้โครงข่ายมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพราะทั้งนี้ข้อมูลที่จำเป็นต้องสร้างลงบนโครงข่าย ได้แก่ ข้อมูลเชิงกายภาพและเรขาคณิตของเส้นทางและข้อมูลด้านการจราจร ข้อมูลเชิงกายภาพและเรขาคณิตของเส้นทางประกอบด้วย ประเภทถนน ความกว้างช่องจราจร จำนวนช่องจราจร ทิศทางการเดินรถ รัศมีความโค้งของแนวเส้นทาง ความลาดชันของถนน ตำแหน่งเส้นหยุด ตำแหน่งของเครื่องตรวจวัด (Detector) ส่วนข้อมูลด้านการจราจรประกอบด้วย ปริมาณการจราจร จังหวะสัญญาณไฟ เฟสและทิศทางการเดินรถ เป็นต้น

การสร้างโครงข่ายถนนจำลองจะใช้โปรแกรมจำลองการจราจรในการป้อนข้อมูลโดยที่องค์ประกอบของโครงข่ายถนนจำลองจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ทิศทางเดินรถ

(centroid) ใช้กำหนดทางเดินรถของแต่ละถนน และเป็นจุดเชื่อมต่อโซน(zones) ใช้เป็นจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทาง และเส้นถนน (links) ที่เป็นเส้นตรงหรือส่วนโค้งเชื่อมที่เกิดขึ้นจากเชื่อมต่อกันระหว่างโซน โดยที่ทางแยกอาจเป็นทางแยกเอก-โท (priority intersection) หรือทางแยกสัญญาณไฟจราจรส่วนช่วงถนนที่กำหนด

### 3.5.3 ปรับเทียบแบบจำลอง และวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนแบบจำลอง

โปรแกรมจำลองสภาพจราจรเป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นและมีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ปัญหาจราจร แต่หากนำไปใช้อย่างไม่เหมาะสมหรือไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองอาจทำให้เกิดการจำลองตัวแปรคลาดเคลื่อนที่มีผลต่อการจำลองสภาพจราจร ในการวิจัยนี้เลือกตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง คือความยาวแถวคอยสูงสุด (Maximum queue length) ของถนนแต่ละสายที่เข้าสู่ทางแยก ทั้งนี้เนื่องจากค่าดังกล่าวสามารถสำรวจจากภาคสนามได้อย่างสะดวกและแม่นยำ

พารามิเตอร์ที่มีผลทำให้พฤติกรรมจราจรซับซ้อน มีความแตกต่างกัน จึงนำมาพิจารณาในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุก ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุก ที่ปรับแก้แล้วดังแสดงในตารางที่ 3.4 และ 3.5

#### รถยนต์ส่วนบุคคล

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของรถยนต์ส่วนบุคคล (car)

|                     | Mean | Deviation | Min | Max | Units            |
|---------------------|------|-----------|-----|-----|------------------|
| Length              | 4    | 0.5       | 3.4 | 4.6 | meters           |
| Width               | 2    | 0         | 2   | 2   | meters           |
| Max Desired Speed   | 90   | 10        | 80  | 120 | km/h             |
| Max Acceleration    | 3    | 0.2       | 2.6 | 3.4 | m/s <sup>2</sup> |
| Normal Deceleration | 4    | 0.25      | 3.5 | 4.5 | m/s <sup>3</sup> |
| Max Deceleration    | 6    | 0.5       | 5   | 7   | m/s <sup>4</sup> |
| Speed Acceptance    | 1.1  | 0.1       | 0.9 | 1.3 |                  |
| Min Distanc Veh     | 1    | 0.3       | 0.5 | 2   | meters           |
| Give Way Time       | 10   | 2.5       | 5   | 15  | Secs             |
| Guidande Acceptance | 75   | 10        | 65  | 90  | %                |
| Sensitivity Factor  | 1    | 0         | 1   | 1   |                  |
| Minimum Headway     | 1    | 0.3       | 0.5 | 2   | Secs             |

### รถบรรทุก

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ของรถบรรทุก(truck)

|                     | Mean | Deviation | Min | Max | Units   |
|---------------------|------|-----------|-----|-----|---------|
| Length              | 7.5  | 2         | 6   | 10  | meters  |
| Width               | 2.3  | 0.5       | 1.9 | 3   | meters  |
| Max Desired Speed   | 80   | 10        | 70  | 90  | km/h    |
| Max Acceleration    | 1    | 0.5       | 0.6 | 1.8 | $m/s^2$ |
| Normal Deceleration | 3.5  | 1         | 2.5 | 4.8 | $m/s^3$ |
| Max Deceleration    | 5    | 0.5       | 4   | 6   | $m/s^4$ |
| Speed Acceptance    | 1    | 0         | 1   | 1   |         |
| Min Distanc Veh     | 1.5  | 0.5       | 1   | 2.5 | meters  |
| Give Way Time       | 50   | 20        | 30  | 80  | Secs    |
| Guidande Acceptance | 80   | 10        | 70  | 90  | %       |
| Sensitivity Factor  | 1    | 0         | 1   | 1   |         |
| Minimum Headway     | 1.5  | 0.3       | 1   | 2.5 | Secs    |

ค่าที่ใช้ในการปรับแก้พารามิเตอร์ มีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ 1.ระยะเวลาห่างที่น้อยที่สุดของรถ 2 คัน หน่วยเป็นวินาที (Minimum Headway) 2.ระยะทางห่างระหว่างรถ 2 คัน หน่วยเป็นเมตร (Min Distance veh ) ในกรณีที่รถ 2 คันมีระยะเวลาและระยะทางห่างกัน จะมีผลทำให้เกิดความล่าช้าของระบบได้ จึงเลือกพารามิเตอร์นี้ เพื่อปรับแก้แบบจำลอง และระยะเวลากับระยะทางห่างระหว่างรถ 2 คัน สามารถปรับแก้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องที่เห็นสภาพจริงของแบบจำลองง่ายที่สุด ตัวแปรที่ 3.ความเร็วเฉลี่ย หน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Max Desired speed) ตัวแปรนี้สามารถสำรวจความเร็วทางภาคสนามเพื่อมาปรับเทียบกับแบบจำลองได้ ข้อมูลตัวเลขที่นำมาใช้ในการปรับแก้พารามิเตอร์ ดังแสดงตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แบบจำลองที่ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของรถยนต์ส่วนบุคคล(car) และรถบรรทุก(truck)

| Minimum Headway (secs)    | แบบจำลองที่ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ |      |         |       |         |
|---------------------------|----------------------------------|------|---------|-------|---------|
|                           | ปรับค่า                          | Car  |         | Truck |         |
|                           |                                  | ก่อน | ปรับแก้ | ก่อน  | ปรับแก้ |
| Minimum Headway (secs)    | mean                             | 0    | 1       | 0     | 1.5     |
|                           | Deviation                        | 0    | 0.3     | 0     | 0.3     |
|                           | min                              | 0    | 0.5     | 0     | 1       |
|                           | max                              | 0    | 2       | 0     | 2.5     |
| Max Desired speed (km/h)  | mean                             | 110  | 90      | 85    | 80      |
|                           | Deviation                        | 10   | 10      | 10    | 10      |
|                           | min                              | 80   | 80      | 70    | 70      |
|                           | max                              | 150  | 120     | 100   | 90      |
| Min Distance veh (meters) | mean                             | 1    | 1       | 1.5   | 1.5     |
|                           | Deviation                        | 0.3  | 0.3     | 0.5   | 0.5     |
|                           | min                              | 0.5  | 0.5     | 1     | 1       |
|                           | max                              | 1.5  | 2       | 2.5   | 2.5     |

จากตารางที่ 3.6 ก่อนทำการปรับแก้ ทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล(car) และรถบรรทุก(truck) นั้นจะมีค่าเดิมของโปรแกรมมาก่อนแล้วดังที่แสดงช่องก่อน เช่น ค่า Minimum Headway (secs) ก่อนปรับแก้ค่า เดิม mean คือ 0 ค่าที่ใช้ปรับแก้คือ 1 ซึ่ง 1 เป็นหนึ่งในค่าปรับแก้ที่นำมาใช้พิจารณาในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ซึ่งค่าปรับแก้หลายค่าที่พิจารณา จะประกอบไปด้วยค่าที่เปลี่ยนจากค่าเดิมก่อนปรับแก้ที่เป็นค่าคงที่ และค่าที่เปลี่ยนจากค่าเดิมก่อนปรับแก้ที่ใช้ปรับเปลี่ยน

ค่าพารามิเตอร์ใช้กำหนดคงที่ คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ค่าที่ปรับแก้เพียงค่าใดค่าหนึ่งเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง

- ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรถยนต์ส่วนบุคคล

|                         |                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Minimum Headway (secs)  | ค่าที่ใช้ ค่าต่ำสุด (min) 0.5                 |
|                         | ค่าที่ใช้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Deviation) 0.3 |
|                         | ค่าที่ใช้ ค่าสูงสุด (max) 2                   |
| Max Desired speed km/h) | ค่าที่ใช้ ค่าต่ำสุด (min) 80                  |

ค่าที่ใช้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Deviation) 10

ค่าที่ใช้ ค่าสูงสุด (max) 120

Min Distance vehicle (meters)   ค่าที่ใช้ ใช้ค่าเดิมก่อนปรับแก้จะปรับแก้เพียงค่า  
ค่าสูงสุด (max)

- ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดครบทุก

Minimum Headway (secs)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 1.5  
ค่าที่ใช้ ค่าต่ำสุด (min) 1  
ค่าที่ใช้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Deviation) 0.3  
ค่าที่ใช้ ค่าสูงสุด(max) 2.5

Max Desired speed km/h)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 80  
ค่าที่ใช้ ค่าต่ำสุด (min) 70  
ค่าที่ใช้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Deviation) 10  
ค่าที่ใช้ ค่าสูงสุด(max) 90

Min Distance vehicle (meters)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 1.5  
ค่าที่ใช้ ค่าต่ำสุด (min) 1  
ค่าที่ใช้ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Deviation) 0.5  
ค่าที่ใช้ ค่าสูงสุด(max) 2.5

ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยน คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ค่าปรับแก้มากกว่า 1 ค่า เพื่อ  
ตรวจสอบความถูกต้อง ในการหาแบบจำลองที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งมีเพียง  
ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรถยนต์ส่วนบุคคลเท่านั้นที่ทำการกำหนดเป็นตัวแปรที่ใช้ปรับเทียบ

Minimum Headway (secs)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 0.75, 1, 1.5

Max Desired speed (km/h)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 90, 100

Min Distance vehicle (meters)   ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย (mean) 1, 1.5

ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ของระยะเวลากับระยะห่างระหว่างรถสองคัน และความเร็วเฉลี่ย เหตุที่เลือกใช้ค่าดังกล่าว เพื่อให้แบบจำลองใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง เนื่องจากได้ข้อมูลการสำรวจทางภาคสนาม แบบจำลองที่ใช้ค่าปรับแก้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 12 ชุดปรับแก้ ดังแสดงตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับเทียบแบบจำลอง

| แบบจำลองชุด<br>ที่ | Minimum Headway<br>(secs) | Max Desired speed<br>( km/h) | Min Distance vehicle (meters)<br>(meters) |
|--------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|
| 1                  | 0.75                      | 90                           | 1.0                                       |
| 2                  | 0.75                      | 90                           | 1.5                                       |
| 3                  | 0.75                      | 100                          | 1.0                                       |
| 4                  | 0.75                      | 100                          | 1.5                                       |
| 5                  | 1.00                      | 90                           | 1.0                                       |
| 6                  | 1.00                      | 90                           | 1.5                                       |
| 7                  | 1.00                      | 100                          | 1.0                                       |
| 8                  | 1.00                      | 100                          | 1.5                                       |
| 9                  | 1.50                      | 90                           | 1.0                                       |
| 10                 | 1.50                      | 90                           | 1.5                                       |
| 11                 | 1.50                      | 100                          | 1.0                                       |
| 12                 | 1.50                      | 100                          | 1.5                                       |

### 3.6 แบบจำลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง

ในการศึกษางานวิจัยนี้ จะทำการสร้างแบบจำลองจราจรเพื่อนำมาวิเคราะห์ในกรณีที่แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟจราจรคงที่ที่เหมาะสมจากการคำนวณตามปริมาณจราจรแต่ละช่วง (Multiple-time plan) โดยใช้รอบสัญญาณไฟจราจร จากสมการของเวปสเตอร์ (Webster), แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟประเภทกึ่งกระตุ้น (semi-actuated control), แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) ซึ่งแต่ละแบบจำลอง จะทำการจำลองในสภาพจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต demand1 ให้เป็นปริมาณจราจรอัตราเพิ่มขึ้น 10% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส เป็นอัตราเพิ่มขึ้น 3% และ demand 2 ให้เป็นปริมาณ

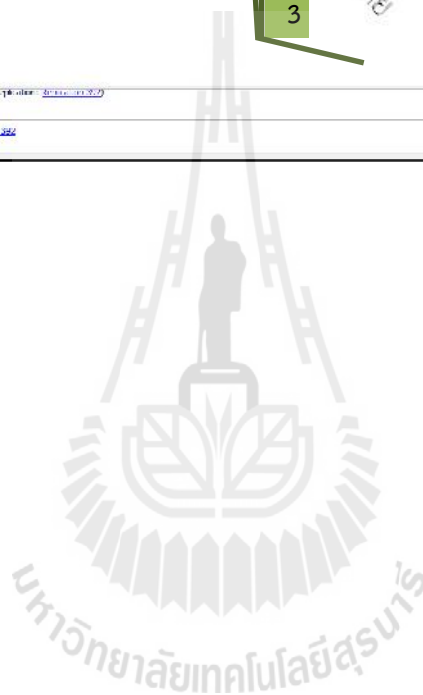
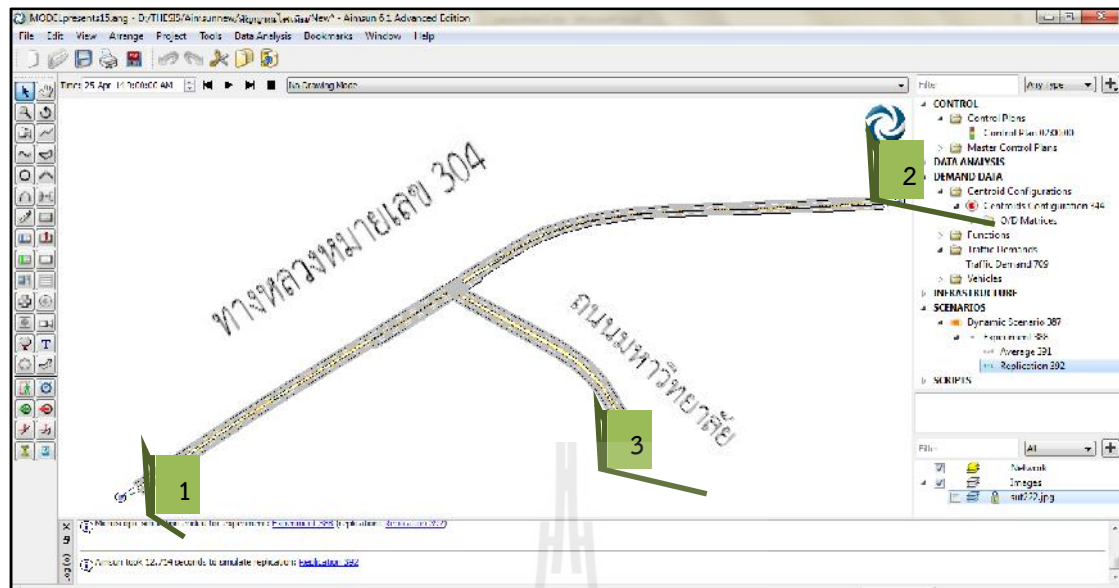
จราจรอัตราเพิ่มขึ้น 20% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส เป็นอัตราเพิ่มขึ้น 6%

ในการจำลองสภาพจราจรที่ต้องการทำการศึกษานี้ ประกอบด้วยข้อสมมติฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โครงข่ายที่ใช้ทดสอบ การจัดเส้นทางเดินทาง และวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจร ซึ่งมีการตั้ง สมมติฐานดังนี้

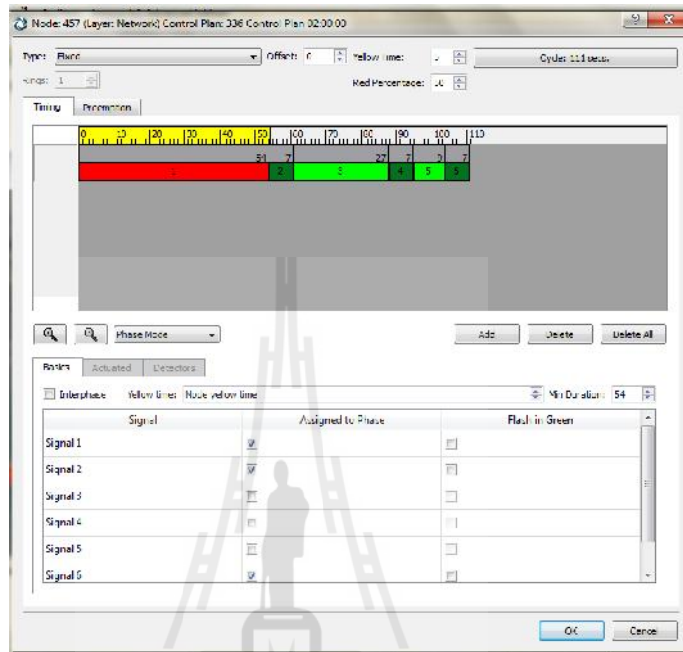
1. การจำลองโครงข่ายถนนจะใช้ระบบการจับจีแบบชิดซ้าย เพื่อให้สอดคล้องกับการจราจรในประเทศไทย
2. การจราจรในทิศทางเลี้ยวขวาคาดให้อยู่ในจังหวะสัญญาณไฟที่ไม่ขัดแย้งกับการจราจรในทิศทางตรงข้าม (protected right-turn)
3. กำหนดให้ปริมาณจราจรในโครงข่ายถนนมาจากโซนภายนอก เท่านั้น
4. กำหนดให้ทิศทางจากทางหลวงหมายเลข 304 ที่ต้องการเลี้ยวขวาจากสามแยก ปักธงชัยเข้า มทส มีช่องจราจรพิเศษ (pocket lane) ความยาว 110 เมตร
5. ประเภทยานที่ใช้ในการจำลองสภาพจราจร คือ รถยนต์ส่วนบุคคล (car) และรถบรรทุก (truck)
6. ระบบหน่วยของมาตรวัดต่างๆจะใช้ระบบเมตริกซ์ (metric) คือ ระยะทางมีหน่วยเป็น เมตร ความเร็วมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที<sup>2</sup> ความหนาแน่นจราจรมีหน่วยเป็นคันต่อกิโลเมตร
7. ประเภทของถนนที่ใช้ในการศึกษา คือ ถนนสายหลักและสายรองในเมือง และผู้ขับขี่ส่วนมากมีความคุ้นเคยกับเส้นทางโครงข่ายถนนเป็นอย่างดี

#### 3.6.1 การสร้างโครงข่าย

โครงข่ายถนนที่สร้าง ในโปรแกรมจำลองสภาพจราจร ประกอบไปด้วย link ของทางหลวงหมายเลข 304 และ ถนนมหาวิทยาลัย ตัดกันระหว่างทางเอกและโท ตามลำดับ ทิศทางการเดินรถของโปรแกรมจำลองสภาพจราจรนี้ให้ ทิศทาง 3 ทิศทาง คือ หมายเลข 1.รถที่มาจากสามแยกปักหรือกองบิน หมายเลข 2. รถที่มาจากปักธงชัย และ หมายเลข 3. รถที่มาจากมหาวิทยาลัยฯ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



| ทิศทาง                | A1  | A2 | B |
|-----------------------|-----|----|---|
| รอบสัญญาณไฟ (วินาที)  | 111 |    |   |
| เวลาไฟเขียว (วินาที)  | 54  | 27 | 9 |
| เวลาไฟเหลือง (วินาที) | 5   |    |   |
| ไฟแดงทุกขา (วินาที)   | 2   |    |   |



แบบสรุปผลของรอบสัญญาณไฟแดงที่หลายแผน (Multiple-time plan) ตามแต่ละช่วงเวลา แสดงผลแบ่งตามทิศสัญญาณไฟจราจร ซึ่งได้จากการคำนวณสัญญาณไฟตามสมการของเวปสเตอร์ แตกต่างกันตามปริมาณจราจรที่สำรวจ แบ่งเป็น 2 วันคือ วันธรรมดา และวันหยุด แต่ละวันจะสำรวจ 3 ช่วงเวลา ดังแสดงตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แบบสรุปผลของรอบสัญญาณไฟแดงที่หลายแผน(Multiple-time plan) ตามแต่ละ ช่วงเวลา

|              |             | phase<br>A1 | yellow | all-<br>red | phase<br>A2 | yellow | all-red | phase<br>B | yellow | all-<br>red |
|--------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|--------|---------|------------|--------|-------------|
| วัน<br>ทำงาน | 07.00-09.00 | 99          | 5      | 2           | 56          | 5      | 2       | 22         | 5      | 2           |
|              | 11.00-13.00 | 40          | 5      | 2           | 19          | 5      | 2       | 3          | 5      | 2           |
|              | 15.00-17.00 | 54          | 5      | 2           | 27          | 5      | 2       | 9          | 5      | 2           |
| วันหยุด      | 07.00-09.00 | 22          | 5      | 2           | 7           | 5      | 2       | 4          | 5      | 2           |
|              | 11.00-13.00 | 31          | 5      | 2           | 5           | 5      | 2       | 4          | 5      | 2           |
|              | 15.00-17.00 | 27          | 5      | 2           | 9           | 5      | 2       | 5          | 5      | 2           |

### 3.7.2 แบบกิ่งกระดุน

พารามิเตอร์เกี่ยวกับจังหวะสัญญาณไฟ.

- ring มี 2 ring
- Basic phase มี 5 ได้แก่

หมายเลข 1 กำหนดสัญญาณไฟจราจรให้ทิศทางจากกองบินเลี้ยวขวาเข้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หมายเลข 3 กำหนดสัญญาณไฟจราจรทิศทางจากปึกธงชัยตรงไปกองบิน และจากปึกธงชัยเลี้ยวซ้ายเข้า มทส

หมายเลข 5 กำหนดสัญญาณไฟจราจรทิศทางจาก มทสเลี้ยวขวาไปปึกธงชัย

หมายเลข 7 กำหนดสัญญาณไฟจราจรทิศทางกองบินตรงไปปึกธงชัย

หมายเลข 9 กำหนดสัญญาณไฟจราจรทิศทาง มทส เลี้ยวซ้ายไปกองบิน

- Interphase มี 5 phase ได้แก่ หมายเลข 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยไม่ได้ระบุทิศทาง เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการจำลองสัญญาณไฟเหลืองและแดงทุกขา

### พารามิเตอร์เกี่ยวกับสัญญาณไฟแบบกึ่งกระตุ้น

ในการจำลองของโปรแกรม จะกำหนดการตั้งค่า ของแต่ละพารามิเตอร์ซึ่งได้จากการคำนวณรอบสัญญาณไฟจราจร และการเลือกคำสั่งที่มีผลการจำลองต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 พารามิเตอร์ของสัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งกระตุ้น

| Ring            | 1  |     |     | 2   |     |
|-----------------|----|-----|-----|-----|-----|
| basic phase No. | 1  | 3   | 5   | 7   | 9   |
| interphase No.  | 2  | 4   | 6   | 8   | 10  |
| Recall          | no | Min | no  | Min | no  |
| Min Green       | 5  | 68  | 5   | 42  | 5   |
| Max-out         | 35 | 68  | 11  | 110 | 11  |
| Passage time    | 3  | 3   | 3   | 3   | 3   |
| Dual entry      |    | yes | yes | yes | yes |
| Hold            |    | yes |     | yes |     |
| Detector No.    | 1  |     | 5   |     |     |

แบบกึ่งกระตุ้นจะนำค่า  $G_{min}$  ที่ได้จากการคำนวณ ไปใส่ในโปรแกรม จำลองเป็นช่อง Max-out ในถนนสายรอง โดย Ring1 จะควบคุมสัญญาณไฟในถนนสายรอง และ Ring2 จะควบคุมสัญญาณไฟในถนนสายหลัก ในการตั้ง Recall ของเครื่องตรวจจับ (detector) กำหนดเป็นคำสั่ง Min ในสายรองและ No ในสายหลัก ซึ่งในสายหลัก หมายถึง ถ้าไม่มีรถมากระตุ้นในสายรอง รถในทางสายหลักก็ยังคงวิ่งได้เรื่อยๆ (จะทำเครื่องหมายเลือกในปุ่ม hold ไว้ ใน ring2 ที่ควบคุมสายหลัก เพื่อให้คงสัญญาณไฟเขียว) แต่จะไม่เกินค่า  $G_{min}$  ที่คำนวณได้ ระบุค่าไว้ใน Max-out ซึ่งเป็นค่ากำหนดไว้สูงสุดที่ให้กับสำหรับสายรอง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ในสายรองเลือก Recall ของเครื่องตรวจจับ (detector) กำหนดเป็นคำสั่ง Min ไว้เพื่อให้เครื่องตรวจจับพบรถที่จอดรอ ในการร้องขอสัญญาณไฟเขียวขึ้นค่า

Node: 457 (Layer: Network) Control Plan: 236 Control Plan: 02:00:00

Type: **Actuated** Offset: 0 Yellow Time: 5 Cycle: 135 sec.

Rings: 2 ☐ Rect in Red ☐ Single Entry Rec. Percentage: 50

**Timing** **Preemption**

|        | Barrier 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Barrier 2 |  |  |
|--------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------|--|--|
| Ring 1 |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |           |  |  |
| Ring 2 |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |           |  |  |

**Phase Mode**

**Classics** **Actuated** **Detectors**

Recall: **No** ☐ Default

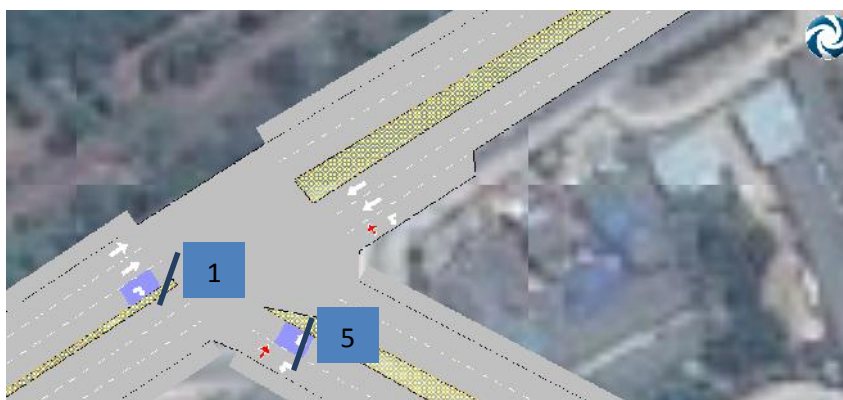
Minimum Green: 5 Max Out: 35 Passage Time: 3

Maximum Initial Green: 10 Seconds Activation: 0 Full RT: 0

Permissive Period from: 0 Permissive Period to: 0 ☐ Hold

☐ Gap Reduction

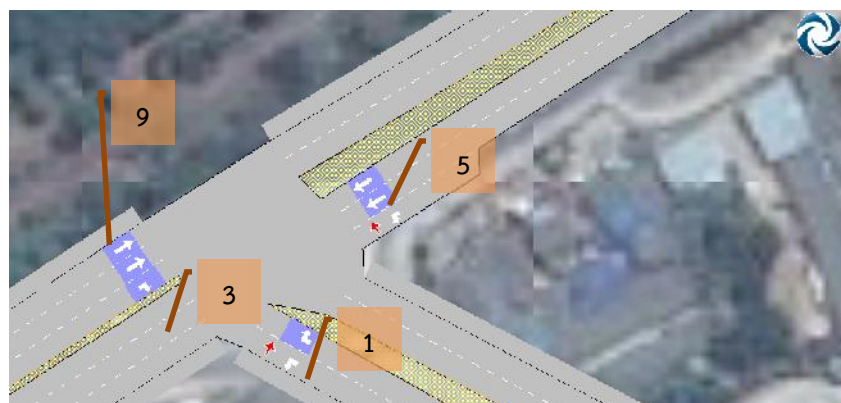
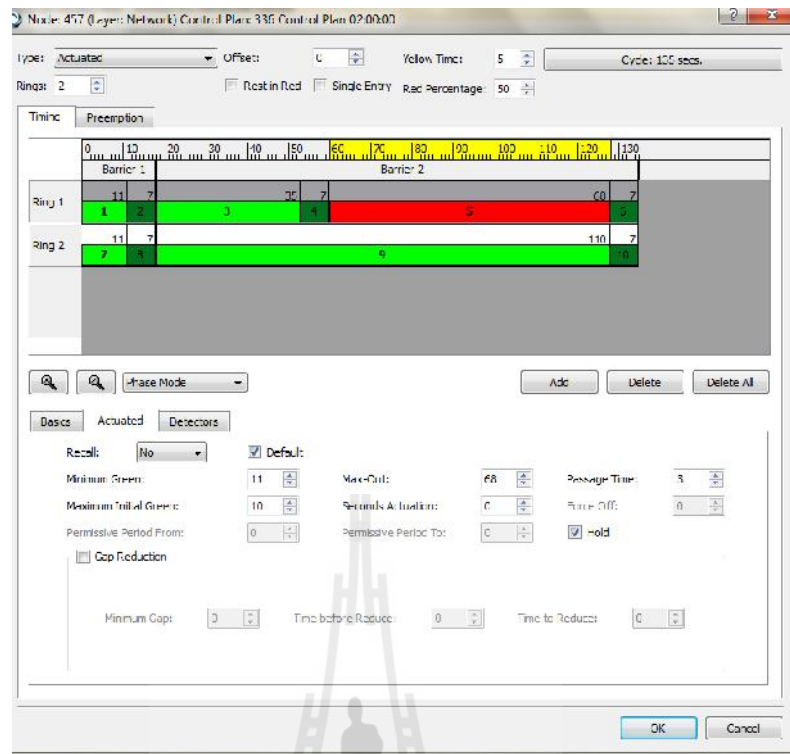
Minimum Gap: 0 Time before Reduce: 0 Time to Reduce: 0



ตารางที่ 3.11 พารามิเตอร์ของสัญญาณไฟจราจรแบบกระตุ้นเต็มที่

| Ring            | 1   |    |     | 2   |     |
|-----------------|-----|----|-----|-----|-----|
| basic phase No. | 1   | 3  | 5   | 7   | 9   |
| interphase No.  | 2   | 4  | 6   | 8   | 10  |
| Recall          | no  | no | no  | no  | Min |
| Min Green       | 5   | 11 | 11  | 5   | 42  |
| Max-out         | 11  | 35 | 68  | 11  | 110 |
| Passage time    | 3   | 3  | 3   | 3   | 3   |
| Dual entry      | yes |    | yes | yes | yes |
| Hold            |     |    | yes |     | yes |
| detectors no.   | 1   | 3  | 5   |     | 9   |

แบบกระตุ้นเต็มที่ รถในทางสายหลักยังคงวิ่งได้เรื่อยๆ (จะทำเครื่องหมายเลือกในปุ่ม hold ไว้ ใน ring2 ที่ควบคุมสายหลัก เพื่อให้คงสัญญาณไฟเขียว) และตั้ง Recall เป็น คำสั่ง Min, ในถนนสายรอง โดย Ring1 จะควบคุมสัญญาณไฟในถนนสายรอง ตั้ง Recall เป็น คำสั่ง No ค่าที่คำนวณได้ เป็นค่า Gmax จะนำไปใช้ในโปรแกรมจำลองระบบในช่วง Max-out หมายถึง เมื่อมีรถมากระตุ้นในสายรอง แล้วจะกำหนดให้สัญญาณไฟเขียวในสายรองที่ร้องขอ แต่จะไม่เกินค่า max-out ที่คำนวณได้ แล้วจึงปรับเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟเขียวในถนนสายหลักเช่นเดิม โดยค่า minimum green จะกำหนดค่าเป็น 11 เนื่องจากค่าที่กำหนดขั้นต่ำในการให้รถในกระแสจราจรผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



### 3.8 วิเคราะห์ผลแบบจำลองจราจร

การศึกษานี้จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจร นำมาจำลองในโปรแกรมจำลองสภาพจราจร เพื่อทำการวิเคราะห์และจะใช้ ค่าจากผลแบบจำลอง แสดงในตารางที่ 3.12 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.12 ค่าจากผลแบบจำลองเพื่อนำมาวิเคราะห์

|            |                          |                                               |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| speed      | mean speed(km/h)         | ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)             |
| ttime      | mean travel time(sec/km) | เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร)           |
| dtime      | mean delay time(sec/km)  | ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร)            |
| stime      | mean stop time(sec/km)   | เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) |
| nstops     | number of stops per veh. | จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน                |
| travel     | total number of km       | จำนวนรถที่มีอยู่ในการเดินทาง ต่อ กิโลเมตร     |
| traveltime | total travel time(sec)   | เวลาเดินทางทั้งหมด(วินาที)                    |

โดยตัวเลขแรกเริ่มของการนำผลแบบจำลองมาใช้วิเคราะห์ จะใช้การสร้างตัวเลขสุ่ม ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมรถที่ขยับขยับ การเคลื่อนที่ตามกันของขบวนรถ การเปลี่ยนช่องจราจร การเลือกเส้นทางการเดินทางและการปล่อยขบวนรถเข้าสู่โครงข่าย การศึกษานี้จะใช้วิธีจำลองสภาพจราจร 10 ครั้ง โดยใช้ค่า Random seed number ที่แตกต่างกัน แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยไปใช้วิเคราะห์ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (07.00-09.00) ช่วงเวลาไม่เร่งด่วน และช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (15.00-17.00) ซึ่งในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้านั้น มีเจ้าหน้าที่มาควบคุมระบบสัญญาณไฟ ทำให้มีความแปรผันของข้อมูลจึงใช้ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นเป็นหลักในการออกแบบสัญญาณไฟที่ใช้จำลองแบบกระตุ้น

### 3.9 วิธีการคำนวณ

#### 3.9.1. สมการเวปสเตอร์ (Webster)

|         | Ring1                                                                             | Ring2                                                                              |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| phaseA1 |  |  |
| phaseA2 |  |  |
| phaseB  |  |  |

จากสมการ 2.11 หา ช่วงเวลาไฟเหลือง (วินาที)

$$Y = t + \frac{1.47 \times S_{85}}{2a + 64.4 \times 0.01 \times G}$$

|          |        |                                                                            |
|----------|--------|----------------------------------------------------------------------------|
| $S_{85}$ | ค่า    | PhaseA1 ใช้ 58.97, PhaseA2 ใช้ 58.97, PhaseB ใช้ 47.81 (ไม่ลัดต่อ<br>ข้าม) |
| $a$      | คือ    | อัตราเร่งความเร็ว ใช้ 10 ฟุต/วินาที <sup>2</sup>                           |
| $G$      | ใช้ค่า | 0 (%)                                                                      |

จากสมการ 2.12 หา ช่วงเวลาไฟแดงทุกขา (วินาที)

$$ar = \frac{w+L}{1.47S_{15}}$$

|     |     |                                                       |
|-----|-----|-------------------------------------------------------|
| $w$ | ค่า | PhaseA1 และ PhaseA2 ใช้ 45.92, PhaseB ใช้ 55.76 (ฟุต) |
| $L$ | คือ | ความยาวของถนนที่ผ่านทางแยก จะกำหนดเป็น 20 ft.         |

จาก สมการที่ 2.1 หา ความยาวรอบสัญญาณไฟจราจรที่ดีที่สุด (วินาที)

$$C = \frac{1.5L+5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$$

- L ใช้ ค่า ช่วงเวลาไฟเหลือง (วินาที) ที่  $PhaseA1+A2+B+$  ช่วงเวลาไฟแดงทุก  
ขา (วินาที) = ประมาณ 21 วินาที
- Y คือ อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิ่มตัว (saturation flow)  
ในแต่ละจังหวะสัญญาณไฟจราจร

3.9.2 วิธีการคำนวณหาความยาวรอบสัญญาณไฟ แบบกึ่งกระตุ้น และกระตุ้น  
เต็มที่

จากสมการ 2.7 หา ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่น้อยที่สุด (วินาที)

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

l ใช้ 3 (วินาที)

กำหนดให้  $G_{min}$  คือ 5 วินาทีเป็นเวลาขั้นต่ำที่รถ 1 คันจะสามารถผ่านทางแยกไปได้

$$G_{min} = 5.0 = 3 + \left[ 2 \times \text{integer} \left( \frac{d}{20} \right) \right]$$

$$\frac{5-3}{2} = \left[ \text{integer} \left( \frac{d}{20} \right) \right]$$

d คือ ระยะทางระหว่างเส้นหยุดกับอุปกรณ์ตรวจนับ (ฟุต) มีค่าระหว่าง 0.1 ถึง  
25 ฟุต

จากสมการ 2.8 หา ส่วนเพิ่มของเวลาสัญญาณไฟเขียว (วินาที) (passage time)

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

d ใช้ 25 (ฟุต)

$S_{15}$  คือ PhaseA1 ใช้ 34.93, PhaseA2 ใช้ 34.93, PhaseB ใช้ 24.89 (ไมล์ต่อ  
ชั่วโมง)

จากสมการ 2.9 หา ความยาวรอบสัญญาณไฟ (วินาที)

$$C_i = \frac{L}{1 - \left[ \frac{V_c}{\frac{3600}{h} \times PHF \times \left(\frac{v}{c}\right)} \right]}$$

|     |     |                                                                |
|-----|-----|----------------------------------------------------------------|
| L   | คือ | (lost time) ใน 1 รอบสัญญาณไฟ (วินาที) ใช้ 21 วินาที            |
| PHF | คือ | ค่าตัวคูณช่วงเวลาเร่งด่วนซึ่ง แต่ละช่วงก็จะแตกต่างกัน          |
| v/c | คือ | อัตราส่วนของปริมาณจราจรต่อปริมาณการไหลอิมตัว อยู่ที่ 0.85-0.95 |

จากสมการ 2.5 และ 2.6 จะคำนวณค่าสัญญาณไฟเขียว

$$G_{ai} = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_\emptyset} \times G$$

$$G_{a1} = G_{a1} + I_1 - \tau_i$$

$$G_{a2} = G_{a2} + I_2 - \tau_i$$

$$G_{a3} = G_{a3} + I_3 - \tau_i$$

$$G_{a\emptyset} = G_{a\emptyset} + I_\emptyset - \tau_i$$

ซึ่งสัญญาณไฟแบบกึ่งกระตุ้นและแบบกระตุ้นเต็มที่จะใช้วิธีการคำนวณที่เหมือนกัน แต่จะต่างกันที่ค่าที่ใช้ในการกำหนด โดยกำหนดให้ช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวมากที่สุดเท่ากับ 1.20 เท่าของช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่คำนวณจากการควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรคงที่

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษาจากแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun (ตัวอย่างข้อมูลผลลัพธ์การวิเคราะห์สภาพจราจรของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun อยู่ในภาคผนวก) และรายละเอียดการวิเคราะห์สภาพจราจรของแต่ละทางแยกในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าและเย็น และช่วงไม่เร่งด่วน โดยการทำงานวิจัยนี้ใช้การปรับปรุงรอบเวลาสัญญาณไฟแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจรจากปริมาณจราจรปัจจุบันที่สำรวจได้ ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2556 และใช้ปริมาณจราจรโดยการพยากรณ์ปริมาณจราจรที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะทำให้การสร้างแบบจำลองจราจรเพื่อนำมาวิเคราะห์ในกรณีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมจากการคำนวณตามปริมาณจราจรแต่ละช่วง (Multiple-time plan) แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟประเภทกึ่งกระตุ้น (semi-actuated control), แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) การวิเคราะห์สภาพการจราจรของโปรแกรม Aimsun นี้จะวิเคราะห์สภาพการจราจรแบบเป็นทางแยกเดี่ยว

#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าแบบจำลอง

พารามิเตอร์ที่มีผลทำให้ระยะห่างระหว่างยานพาหนะ มีความแตกต่างกัน ที่นำมาพิจารณาในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรถยนต์ส่วนบุคคล และรถบรรทุก(truck) จะใช้ค่า ความยาวแถวคอยสูงสุด (Maximum queue length) มาใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้อง แบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีทั้งหมด 12 ชุด จากตารางที่ 3.7

4.2.1 เกณฑ์วัดผลความถูกต้องของ แบบจำลอง พิจารณาหาแบบจำลองที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยวัดจากผลการเปรียบเทียบ ของค่า Root Mean Squared Error (RMSE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง Mean Squared Error (MSE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

**Mean Absolute Percentage Error (MAPE)**

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right| \quad (2.13)$$

|        |       |     |                                                    |
|--------|-------|-----|----------------------------------------------------|
| โดยที่ | $X_t$ | คือ | ค่าที่สำรวจได้จริง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย)   |
|        | $F_t$ | คือ | ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย) |
|        | $n$   | คือ | จำนวนแบบจำลอง (ในที่นี้ $n=20$ )                   |

**Mean Squared Error (MSE)**

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - F_t)^2}{n} \quad (2.14)$$

|        |       |     |                                                    |
|--------|-------|-----|----------------------------------------------------|
| โดยที่ | $X_t$ | คือ | ค่าที่สำรวจได้จริง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย)   |
|        | $F_t$ | คือ | ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย) |
|        | $n$   | คือ | จำนวนแบบจำลอง (ในที่นี้ $n=20$ )                   |

**Root Mean Squared Error (RMSE)**

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - F_t)^2} \quad (2.15)$$

|        |       |     |                                                    |
|--------|-------|-----|----------------------------------------------------|
| โดยที่ | $X_t$ | คือ | ค่าที่สำรวจได้จริง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย)   |
|        | $F_t$ | คือ | ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (ในที่นี้คือค่าความยาวแถวคอย) |
|        | $n$   | คือ | จำนวนแบบจำลอง (ในที่นี้ $n=20$ )                   |

จะได้ผลแบบจำลอง 12 ชุดดังแสดงในตารางที่ 4.1 นี้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบ ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง

| แบบจำลอง | MAPE  | RMSE | MSE  |
|----------|-------|------|------|
| 1        | 0.217 | 2.71 | 7.35 |
| 2        | 0.221 | 1.92 | 3.70 |
| 3        | 0.175 | 2.21 | 4.90 |
| 4        | 0.148 | 2.16 | 4.65 |
| 5        | 0.090 | 1.52 | 2.30 |
| 6        | 0.177 | 1.97 | 3.90 |
| 7        | 0.179 | 1.83 | 3.35 |
| 8        | 0.163 | 1.69 | 2.85 |
| 9        | 0.199 | 2.76 | 7.60 |
| 10       | 0.147 | 1.84 | 3.40 |
| 11       | 0.177 | 2.70 | 7.30 |
| 12       | 0.115 | 1.58 | 2.50 |

ผลแบบจำลองได้ค่าพารามิเตอร์ ในแบบจำลองที่ 5 ซึ่งมีค่าดังนี้

Minimum Headway (secs) ค่าที่ใช้ค่าเฉลี่ย 1.0

Max Desired speed km/h) ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย 90

Min Distance vehicle (meters) ค่าที่ใช้ ค่าเฉลี่ย 1.0

จะมี ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด กำลังสอง ค่า MSE ยิ่งน้อยหมายถึง การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อน กำลังสองเฉลี่ย น้อยที่สุด ส่วนค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสมบูรณ์ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) อยู่ในกลุ่มที่น้อย ซึ่งค่า MAPE ยิ่งน้อย หมายถึง การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำ เช่นกัน จึงเลือก แบบจำลองชุดที่ 5 ในการมาจำลองสภาพจราจรในกรณีต่างๆที่ต้องการศึกษา

#### 4.3 ผลแบบจำลอง

ในผลของแบบจำลอง ที่ได้ออกมา นั้น จะวิเคราะห์วันพฤหัสบดี และวันอาทิตย์ ซึ่งวันพฤหัสบดี ในช่วงเช้าเป็นช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 7.00-9.00 ช่วงเร่งด่วนเย็นคือวันพฤหัสบดี เวลา

15.00-17.00 นอกเหนือจากนี้ เป็นช่วงเวลาไม่เร่งด่วนคือ ช่วงเวลาไม่เร่งด่วนกลางวันได้แก่ ช่วงเวลา 11.00-13.00 ของวันพฤหัสบดีและวันอาทิตย์ ส่วนวันอาทิตย์ เวลา 7.00-9.00 เป็นช่วงไม่เร่งด่วนเช้า และ วันอาทิตย์ 15.00-17.00 เป็นช่วงเวลาไม่เร่งด่วนเย็น

ผลที่ได้ของแบบจำลอง จะมีผลออกมาดังนี้

|            |                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Speed      | : mean speed (km/h) ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)                   |
| Ttime      | : mean travel time (sec/km) เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร)         |
| Dtime      | : mean delay time (sec/km) ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร)           |
| Stime      | : mean stop time (sec/km) เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) |
| Nstops     | : number of stops per veh. จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน               |
| Travel     | : total number of km ระยะทางรวมที่รถวิ่ง (กิโลเมตร)                     |
| Traveltime | : total travel time (sec) เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที)                   |

ผลที่ได้จากการจำลอง จะมีทั้งหมด 3 แบบจำลอง ศึกษาเทียบกับผลการจำลองของสภาพปัจจุบัน และกรณีหากเพิ่มปริมาณจราจรในอนาคต

4.3.1 ผลแบบจำลอง จากการจำลอง สัญญาณไฟแดงที่ ซึ่งใช้ปริมาณจราจรในการคำนวณหารอบสัญญาณไฟที่เหมาะสม โดยแบ่งช่วงเวลา ออกเป็น ช่วงเร่งด่วนเช้า เร่งด่วนเย็น ช่วงไม่เร่งด่วนตอนกลางวันในวันธรรมดา และช่วงไม่เร่งด่วน เช้า กลางวัน และเย็น

4.3.2 ผลแบบจำลอง ของแบบจำลองรอบสัญญาณไฟที่ปรับเปลี่ยนตามปริมาณจราจร(semi-ac)

#### ผลแบบจำลองโดยสรุป

- กรณี ปริมาณจราจรปัจจุบัน (Existing demand) ดำรงในปี 2556 ได้ผลแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของแบบจำลองในสภาพปริมาณจราจรปัจจุบัน (Existing demand)

| signal control   |            | พท7.00-9.00 | พท11.00-13.00 | พท15.00-17.00 | อ1.7.00-9.01 | อ1.11.00-13.01 | อ1.15.00-17.01 |
|------------------|------------|-------------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| สัญญาณไฟปัจจุบัน | speed      | 40.9        | 43.3          | 42.0          | 44.3         | 44.4           | 43.5           |
|                  | ttime      | 100.8       | 93.1          | 97.2          | 91.5         | 90.6           | 94.8           |
|                  | dtime      | 34.6        | 26.9          | 31.0          | 25.3         | 24.1           | 28.4           |
|                  | stime      | 30.8        | 23.7          | 27.6          | 22.9         | 21.7           | 25.9           |
|                  | nstops     | 0.6         | 0.5           | 0.6           | 0.5          | 0.5            | 0.5            |
|                  | travel     | 7233.8      | 5684.0        | 5795.3        | 1473.8       | 2190.7         | 2107.2         |
|                  | traveltime | 725166.8    | 527651.9      | 561334.8      | 134613.5     | 198875.2       | 198955.1       |
| Pre-time         | speed      | 40.3        | 43.5          | 42.1          | 44.7         | 45.1           | 44.8           |
|                  | ttime      | 118.3       | 93.9          | 98.4          | 91.4         | 89.5           | 91.2           |
|                  | dtime      | 52.1        | 27.6          | 32.2          | 25.0         | 23.2           | 24.8           |
|                  | stime      | 47.6        | 24.4          | 28.8          | 22.5         | 20.7           | 22.3           |
|                  | nstops     | 1.1         | 0.6           | 0.7           | 0.5          | 0.5            | 0.5            |
|                  | travel     | 7,240.7     | 5617.3        | 5692.3        | 1557.5       | 2319.0         | 2109.6         |
|                  | traveltime | 825,221.1   | 519955.7      | 552066.8      | 140800.9     | 206049.5       | 190126.3       |
| semi-actuated    | speed      | 42.0        | 46.9          | 44.2          | 48.7         | 49.7           | 48.4           |
|                  | ttime      | 110.5       | 87.7          | 97.1          | 84.2         | 79.8           | 85.2           |
|                  | dtime      | 44.3        | 21.5          | 30.9          | 17.8         | 13.5           | 18.8           |
|                  | stime      | 40.5        | 19.0          | 27.9          | 16.2         | 11.9           | 17.1           |
|                  | nstops     | 0.8         | 0.4           | 0.6           | 0.4          | 0.4            | 0.4            |
|                  | travel     | 7,257.0     | 5636.7        | 5704.6        | 1557.6       | 2318.2         | 2109.9         |
|                  | traveltime | 770,462.8   | 479636.6      | 536479.3      | 127130.3     | 180895.2       | 174145.8       |
| full-actuated    | speed      | 43.1        | 47.2          | 44.7          | 49.0         | 49.5           | 48.4           |
|                  | ttime      | 91.9        | 81.7          | 87.8          | 78.7         | 76.8           | 79.8           |
|                  | dtime      | 25.7        | 15.4          | 21.6          | 12.2         | 10.6           | 13.4           |
|                  | stime      | 21.8        | 12.7          | 18.3          | 10.5         | 8.7            | 11.4           |
|                  | nstops     | 0.7         | 0.5           | 0.6           | 0.4          | 0.4            | 0.4            |
|                  | travel     | 7,265.6     | 5638.7        | 5706.6        | 1557.7       | 2318.3         | 2109.7         |
|                  | traveltime | 658,299.2   | 453061.8      | 493481.7      | 120437.8     | 175931.4       | 165481.0       |

- กรณี เพิ่มปริมาณจราจร demand1 เป็นการเพิ่มปริมาณจราจร ในอัตราเพิ่มขึ้น 10% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส จะเป็นอัตราเพิ่มขึ้น 3% ได้ผล

### แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

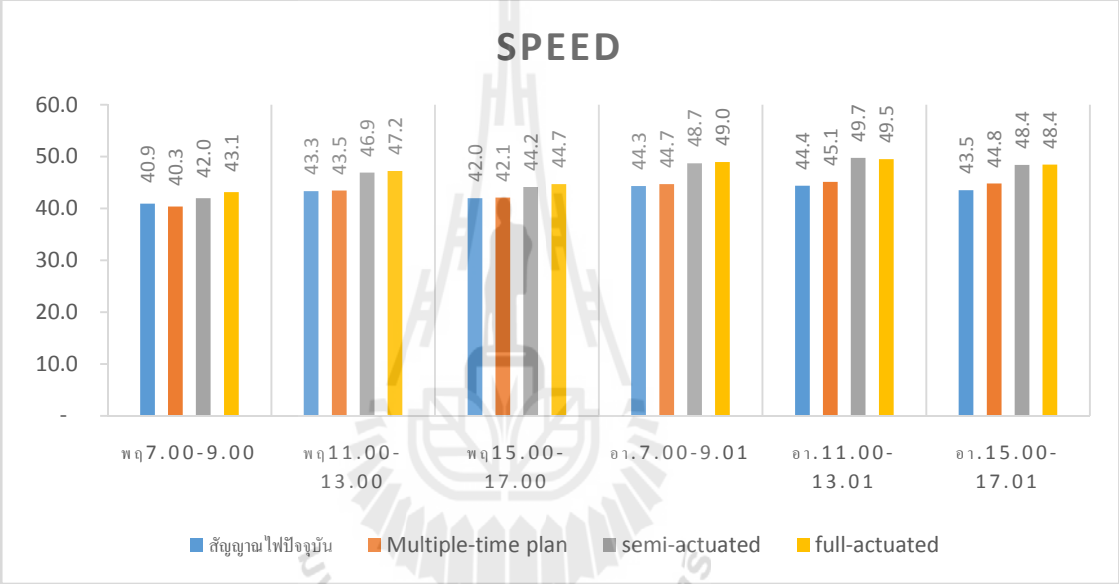
ตารางที่ 4.3 ผลของแบบจำลองในอัตราเพิ่มปริมาณจราจร (demand1)

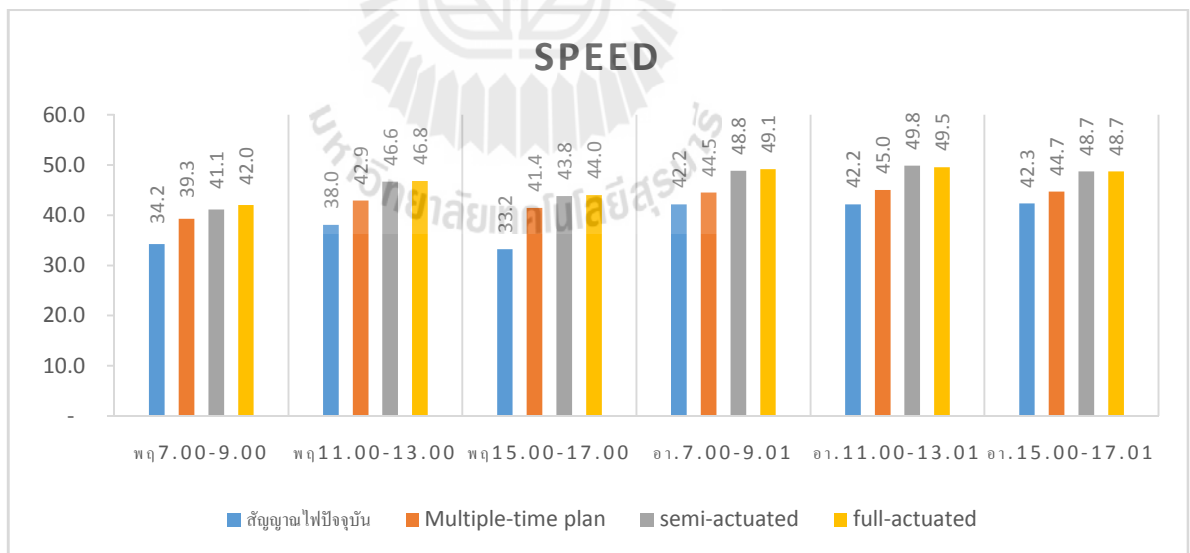
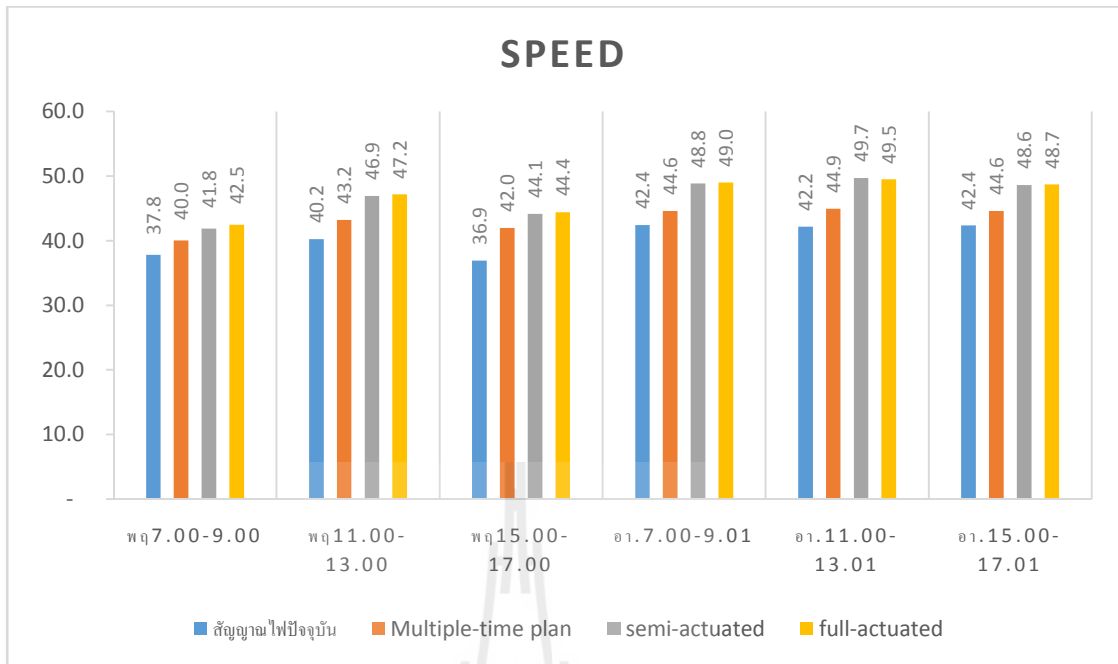
| signal control       |            | พท7.00-9.00 | พท11.00-13.00 | พท15.00-17.00 | อท.7.00-9.01 | อท.11.00-13.01 | อท.15.00-17.01 |
|----------------------|------------|-------------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| สัญญาณไฟ<br>ปัจจุบัน | speed      | 37.8        | 40.2          | 36.9          | 42.4         | 42.2           | 42.4           |
|                      | ttime      | 112.5       | 102.8         | 123.3         | 97.4         | 97.7           | 97.4           |
|                      | dtime      | 46.3        | 36.5          | 57.1          | 31.0         | 31.4           | 31.0           |
|                      | stime      | 41.6        | 32.7          | 52.6          | 28.1         | 28.4           | 28.1           |
|                      | nstops     | 0.9         | 0.7           | 0.9           | 0.6          | 0.6            | 0.6            |
|                      | travel     | 7,822.8     | 6083.9        | 6205.7        | 1687.5       | 2490.9         | 2297.0         |
|                      | traveltime | 874,926.8   | 622864.4      | 769198.1      | 164013.5     | 243416.0       | 223023.5       |
| Pre-time             | speed      | 40.0        | 43.2          | 42.0          | 44.6         | 44.9           | 44.6           |
|                      | ttime      | 116.8       | 94.3          | 98.6          | 91.6         | 89.8           | 91.5           |
|                      | dtime      | 50.6        | 28.1          | 32.3          | 25.2         | 23.4           | 25.2           |
|                      | stime      | 46.0        | 24.7          | 28.8          | 22.7         | 20.8           | 22.6           |
|                      | nstops     | 1.0         | 0.6           | 0.7           | 0.5          | 0.5            | 0.5            |
|                      | travel     | 7,794.1     | 6074.9        | 6185.7        | 1688.4       | 2491.4         | 2297.7         |
|                      | traveltime | 879,024.0   | 565154.4      | 600918.6      | 152941.8     | 222180.7       | 207890.8       |
| semi-actuated        | speed      | 41.8        | 46.9          | 44.1          | 48.8         | 49.7           | 48.6           |
|                      | ttime      | 108.9       | 87.4          | 96.5          | 83.3         | 79.6           | 84.0           |
|                      | dtime      | 42.7        | 21.2          | 30.3          | 16.9         | 13.3           | 17.7           |
|                      | stime      | 38.8        | 18.6          | 27.3          | 15.3         | 11.6           | 15.9           |
|                      | nstops     | 0.7         | 0.4           | 0.6           | 0.4          | 0.3            | 0.4            |
|                      | travel     | 7,820.3     | 6100.3        | 6200.9        | 1687.3       | 2489.9         | 2298.4         |
|                      | traveltime | 821,101.7   | 517601.5      | 580400.6      | 136477.6     | 193911.0       | 187472.6       |
| full-actuated        | speed      | 42.5        | 47.2          | 44.4          | 49.0         | 49.5           | 48.7           |
|                      | ttime      | 93.9        | 81.6          | 88.3          | 78.4         | 76.8           | 79.1           |
|                      | dtime      | 27.6        | 15.4          | 22.1          | 12.0         | 10.5           | 12.7           |
|                      | stime      | 23.7        | 12.6          | 18.7          | 10.2         | 8.5            | 10.8           |
|                      | nstops     | 0.7         | 0.5           | 0.6           | 0.4          | 0.4            | 0.4            |
|                      | travel     | 7,824.7     | 6102.6        | 6200.9        | 1688.5       | 2490.9         | 2298.2         |
|                      | traveltime | 724,107.7   | 490621.2      | 539812.7      | 130277.4     | 188940.1       | 178825.6       |

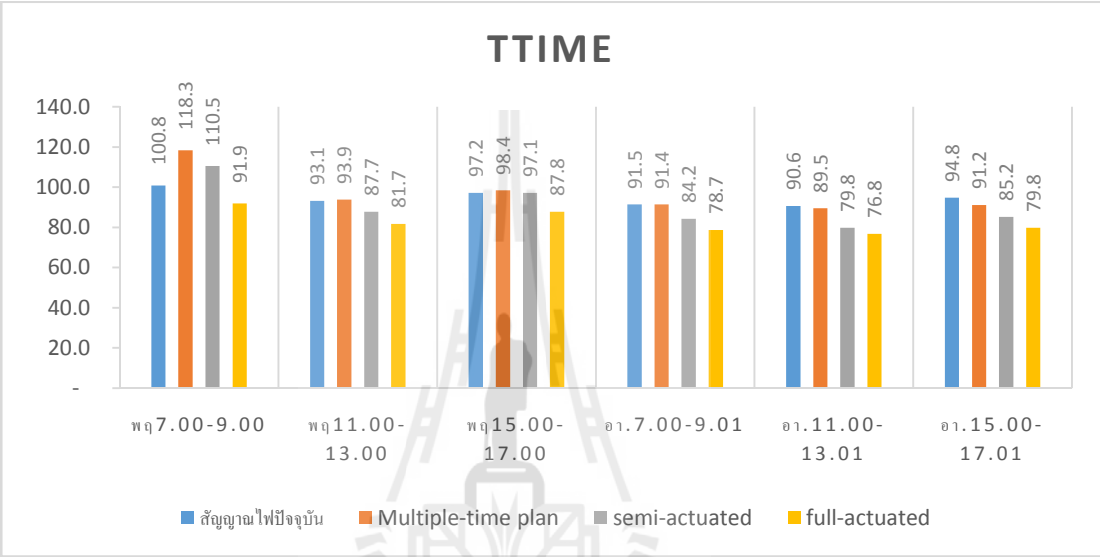
- กรณี เพิ่มปริมาณจราจร demand2 เป็นการเพิ่มปริมาณจราจร ในอัตราเพิ่มขึ้น 20% ของปริมาณจราจรถนน เส้น 304 และทิศทางเลี้ยวขวาเข้า มทส จะเป็นอัตราเพิ่มขึ้น 6% ได้ผลแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

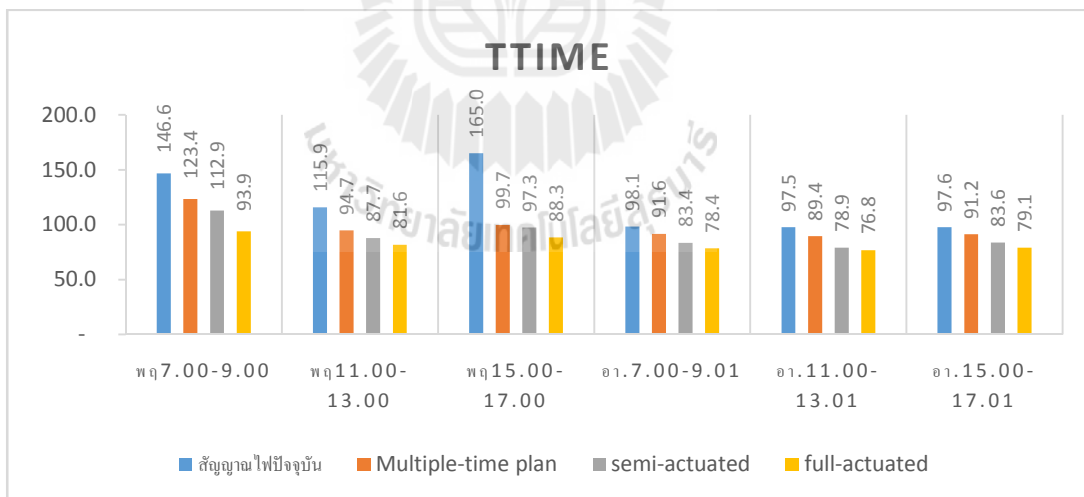
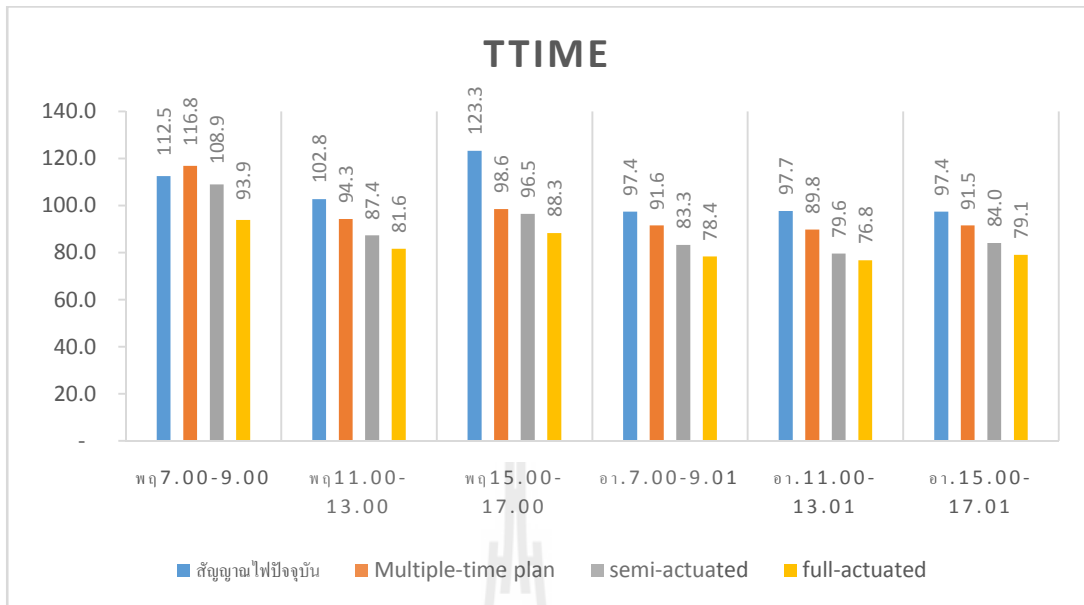
ตารางที่ 4.4 ผลของแบบจำลองในอัตราเพิ่มปริมาณจราจร (demand2)

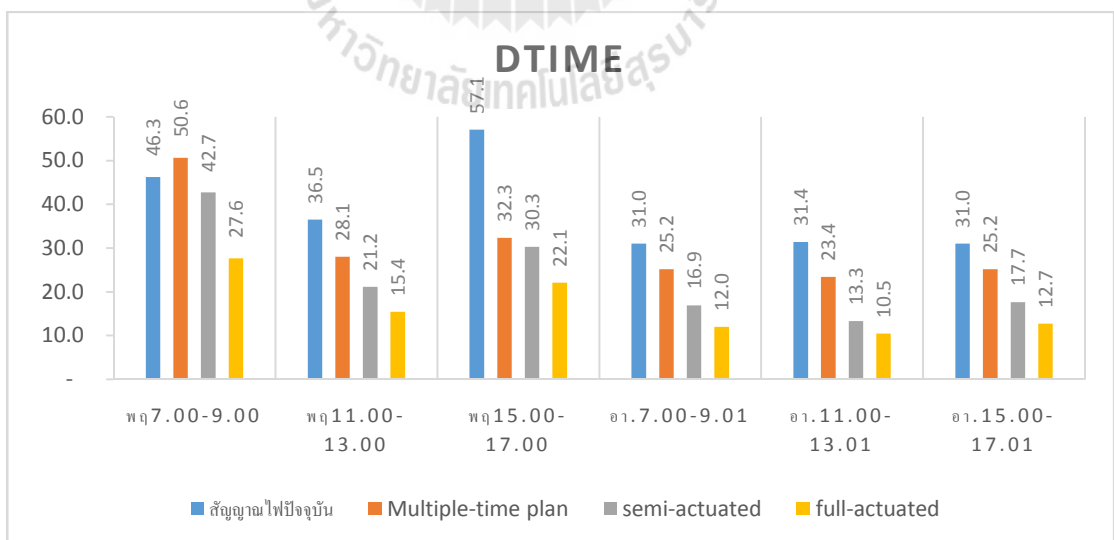
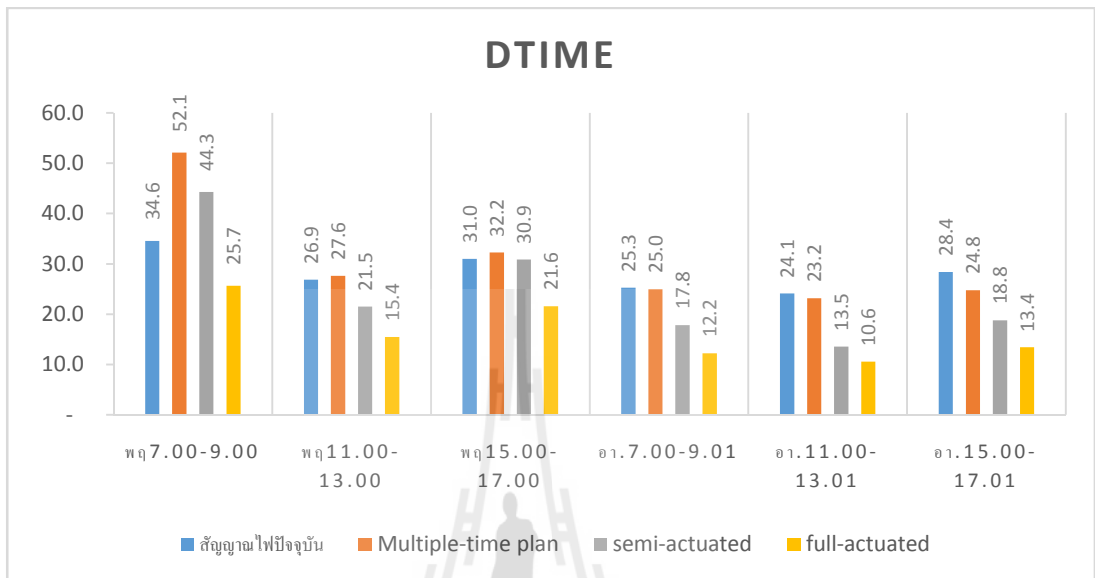
| signal control   |            | พท7.00-9.00 | พท11.00-13.00 | พท15.00-17.00 | อท.7.00-9.01 | อท.11.00-13.01 | อท.15.00-17.01 |
|------------------|------------|-------------|---------------|---------------|--------------|----------------|----------------|
| สัญญาณไฟปัจจุบัน | speed      | 34.2        | 38.0          | 33.2          | 42.2         | 42.2           | 42.3           |
|                  | ttime      | 146.6       | 115.9         | 165.0         | 98.1         | 97.5           | 97.6           |
|                  | dtime      | 80.4        | 49.6          | 98.8          | 31.8         | 31.3           | 31.3           |
|                  | stime      | 74.6        | 45.2          | 93.0          | 28.8         | 28.2           | 28.3           |
|                  | nstops     | 1.1         | 0.8           | 1.2           | 0.6          | 0.6            | 0.6            |
|                  | travel     | 8,255.8     | 6583.9        | 6598.1        | 1818.0       | 2731.9         | 2453.4         |
|                  | traveltime | 1,215,999.4 | 763064.6      | 1105147.2     | 177836.5     | 266542.3       | 238628.2       |
| Pre-time         | speed      | 39.3        | 42.9          | 41.4          | 44.5         | 45.0           | 44.7           |
|                  | ttime      | 123.4       | 94.7          | 99.7          | 91.6         | 89.4           | 91.2           |
|                  | dtime      | 57.1        | 28.5          | 33.5          | 25.2         | 23.1           | 24.9           |
|                  | stime      | 52.1        | 25.0          | 29.8          | 22.7         | 20.5           | 22.3           |
|                  | nstops     | 1.2         | 0.6           | 0.7           | 0.5          | 0.5            | 0.5            |
|                  | travel     | 8,325.2     | 6596.9        | 6626.4        | 1819.0       | 2733.0         | 2454.1         |
|                  | traveltime | 985,619.2   | 616633.1      | 651848.6      | 164728.8     | 242757.5       | 221141.1       |
| semi-actuated    | speed      | 41.1        | 46.6          | 43.8          | 48.8         | 49.8           | 48.7           |
|                  | ttime      | 112.9       | 87.7          | 97.3          | 83.4         | 78.9           | 83.6           |
|                  | dtime      | 46.7        | 21.5          | 31.1          | 17.0         | 12.7           | 17.3           |
|                  | stime      | 42.5        | 18.8          | 27.9          | 15.4         | 11.0           | 15.6           |
|                  | nstops     | 0.8         | 0.4           | 0.6           | 0.4          | 0.3            | 0.4            |
|                  | travel     | 8,359.4     | 6621.7        | 6638.7        | 1818.5       | 2732.1         | 2455.8         |
|                  | traveltime | 907,543.6   | 564833.5      | 626563.4      | 147199.3     | 211204.8       | 199378.3       |
| full-actuated    | speed      | 42.0        | 46.8          | 44.0          | 49.1         | 49.5           | 48.7           |
|                  | ttime      | 95.2        | 82.3          | 89.2          | 78.2         | 76.5           | 79.0           |
|                  | dtime      | 29.0        | 16.1          | 23.1          | 11.8         | 10.2           | 12.7           |
|                  | stime      | 24.9        | 13.1          | 19.5          | 10.0         | 8.3            | 10.7           |
|                  | nstops     | 0.7         | 0.5           | 0.7           | 0.4          | 0.4            | 0.4            |
|                  | travel     | 8,353.8     | 6627.9        | 6642.2        | 1818.4       | 2733.0         | 2453.4         |
|                  | traveltime | 784,285.8   | 537511.6      | 584539.9      | 139814.0     | 206658.7       | 190680.6       |

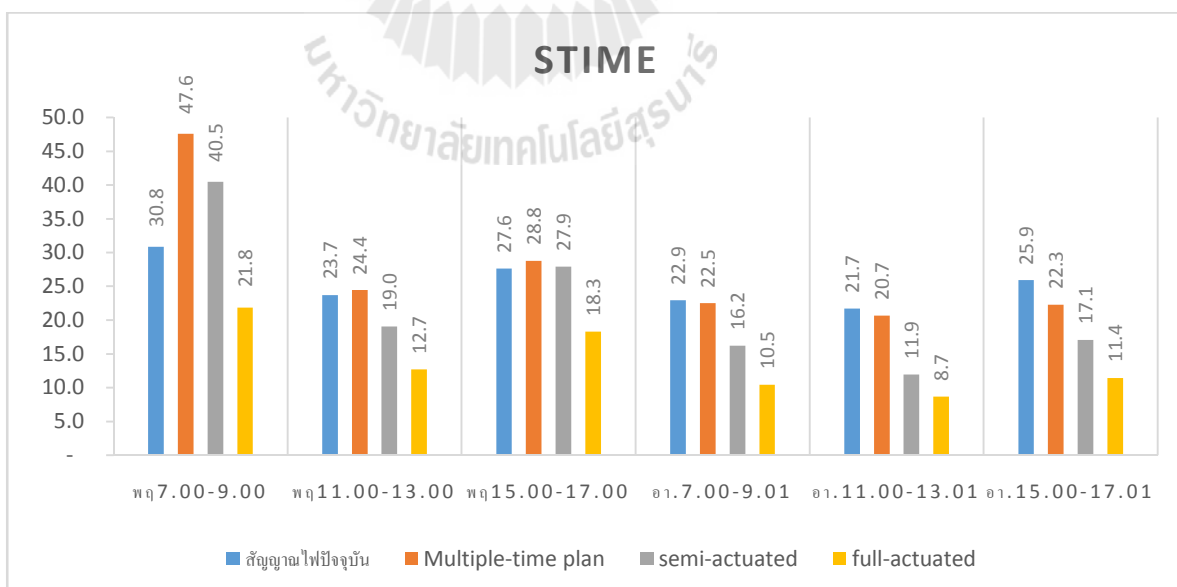
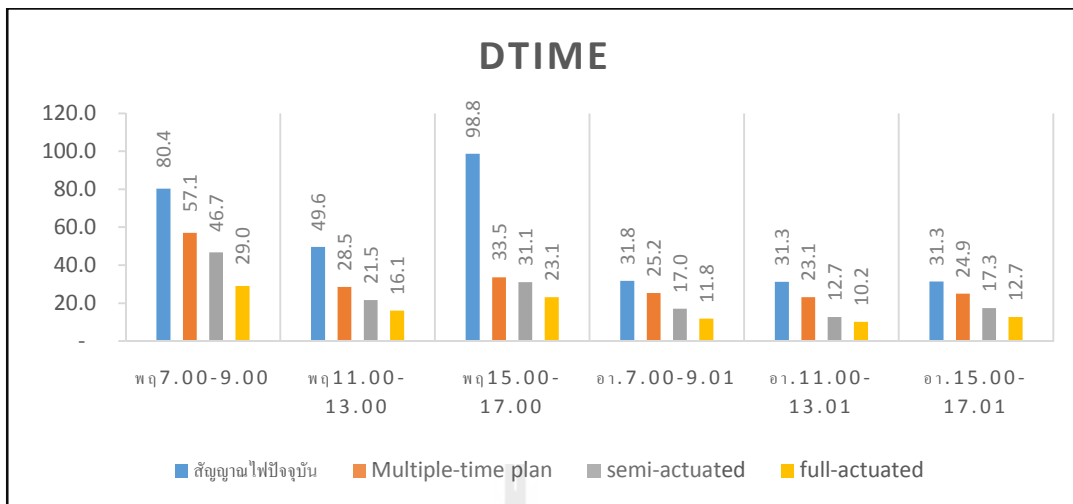


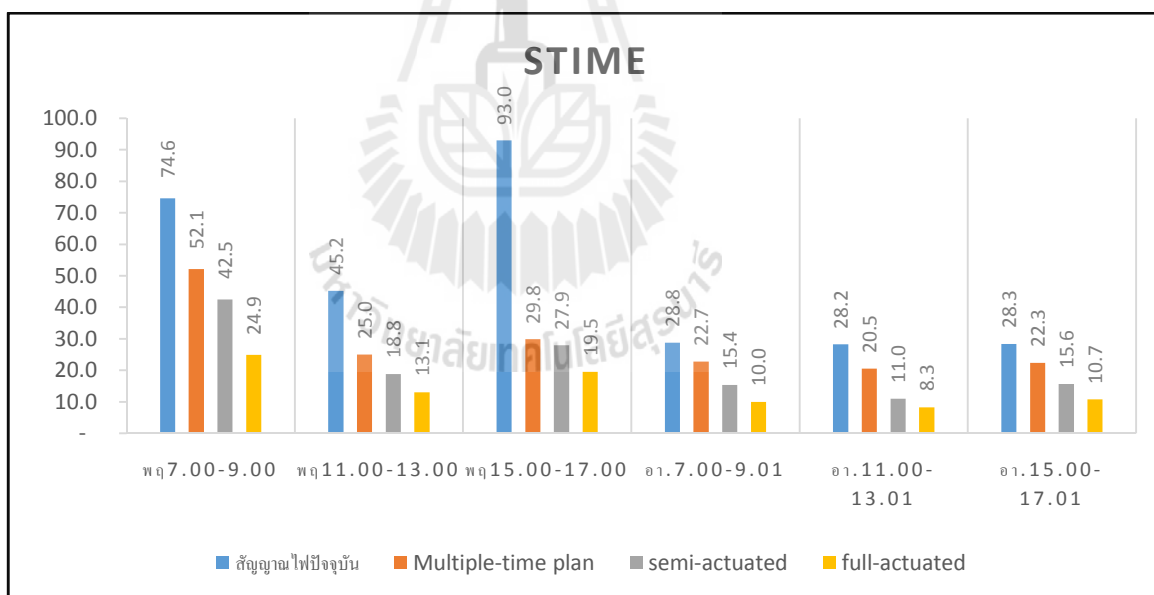
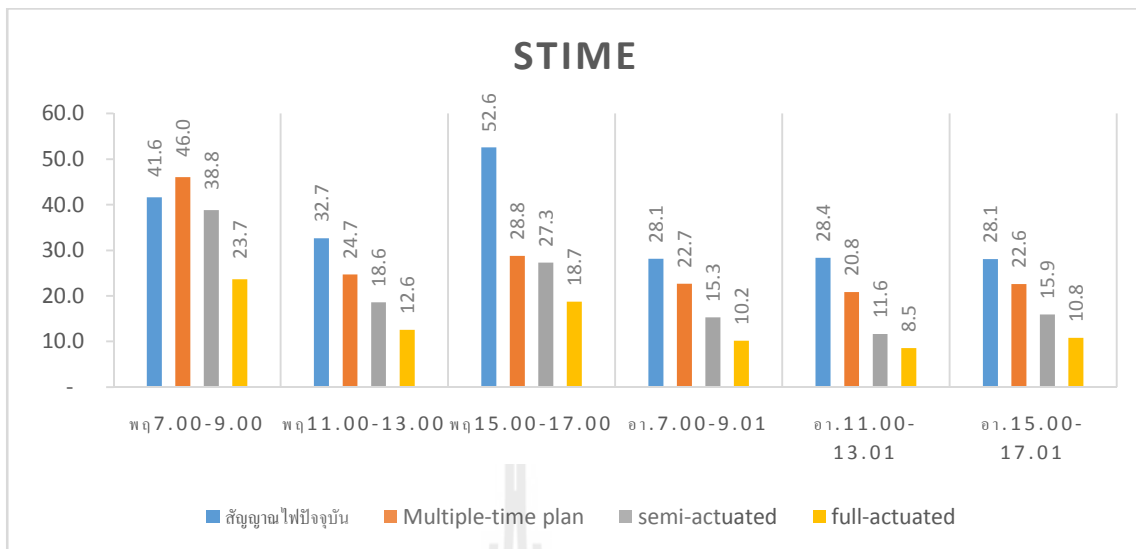


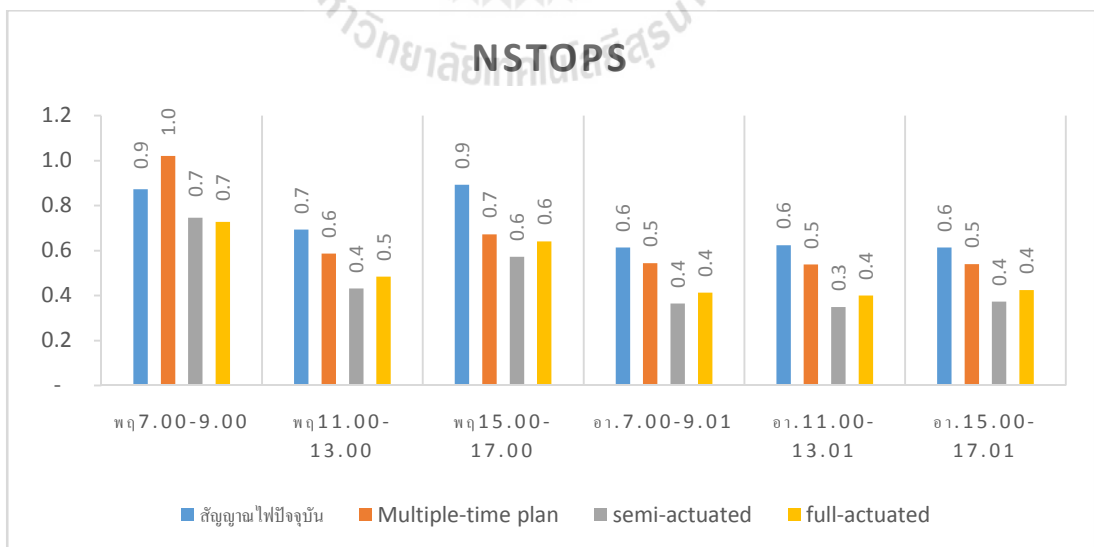
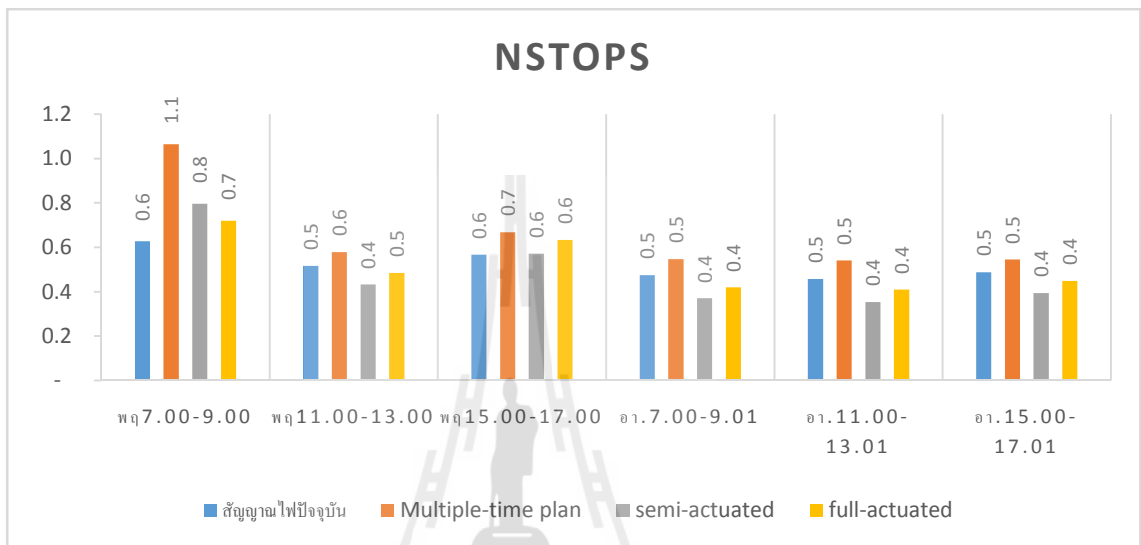


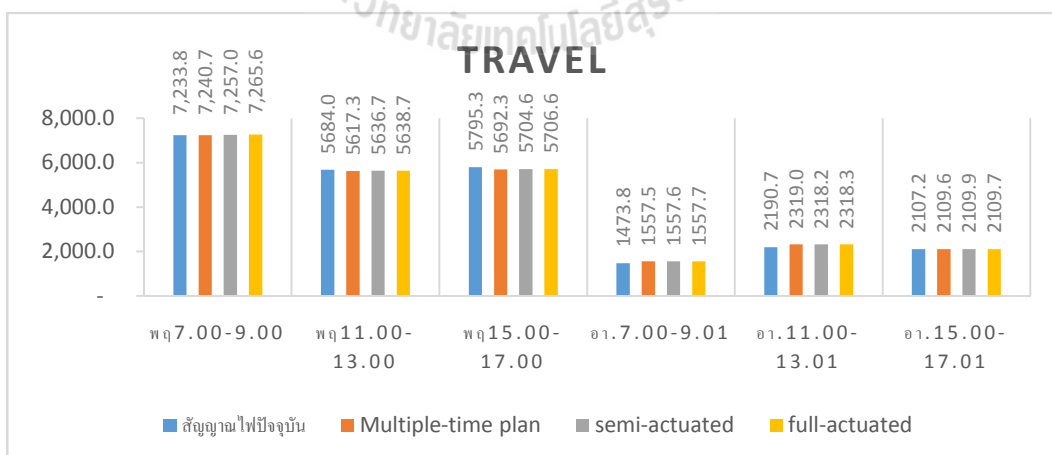
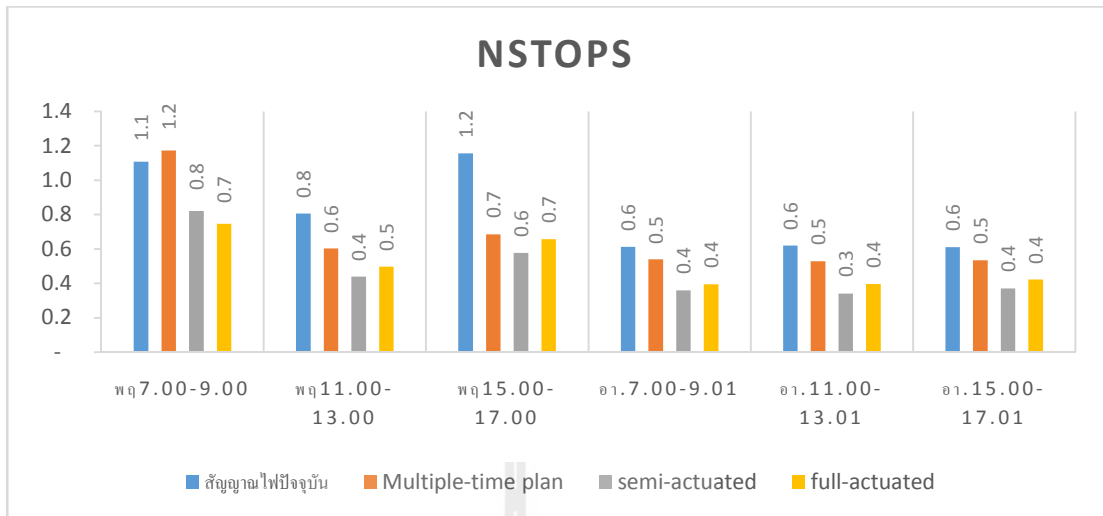


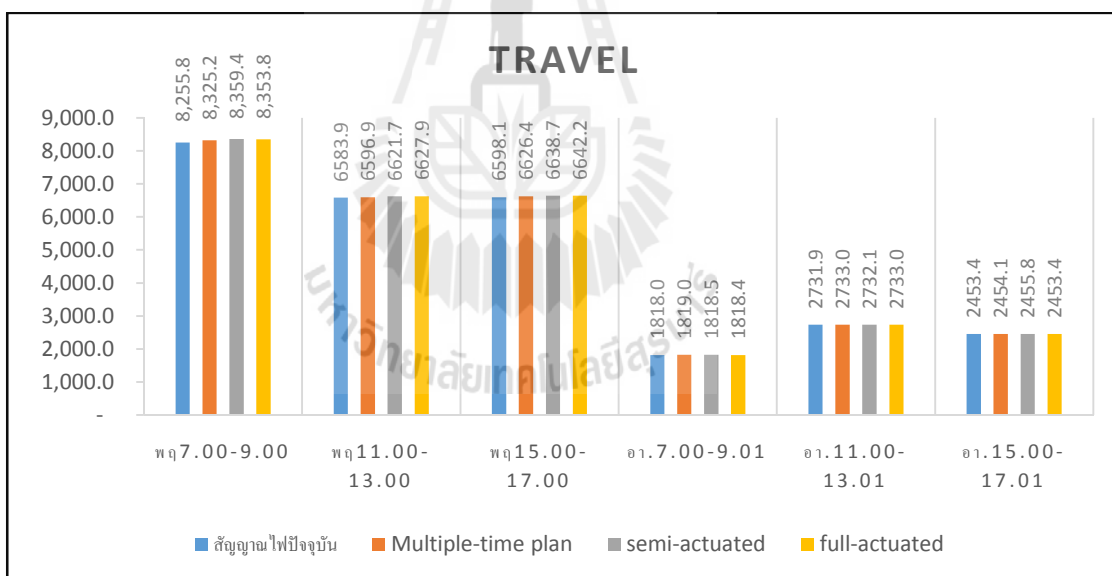
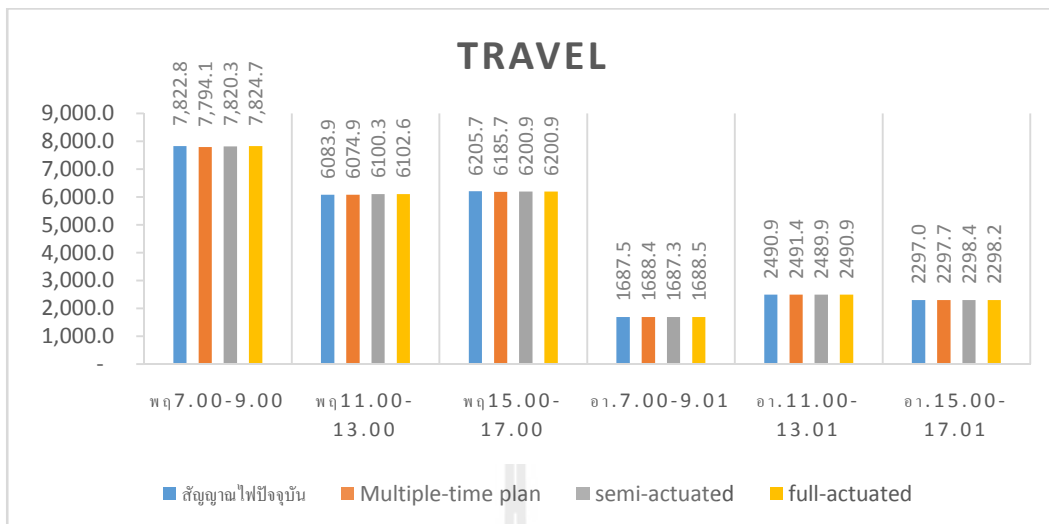


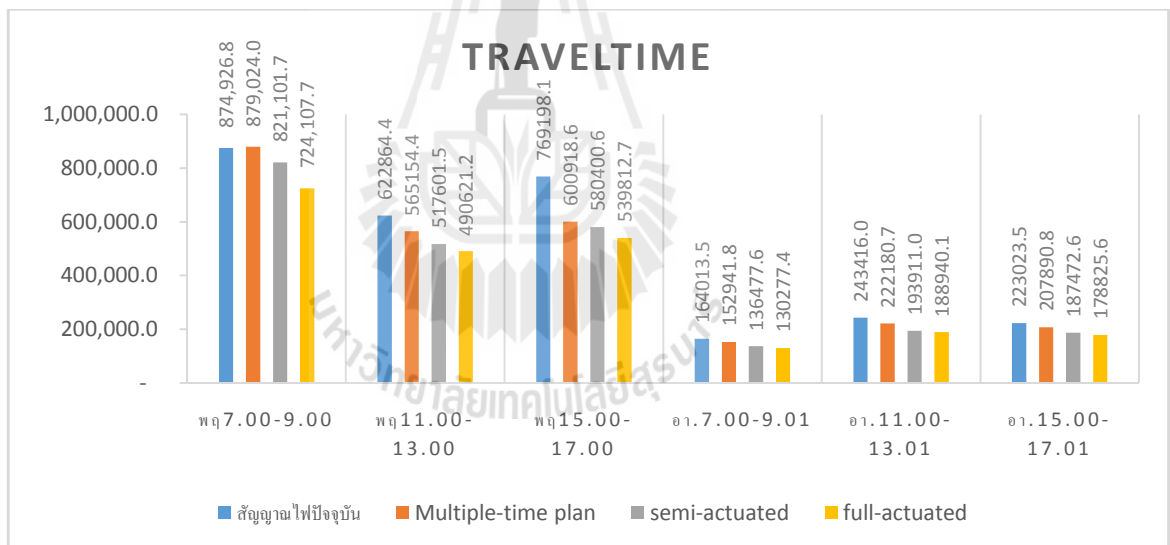
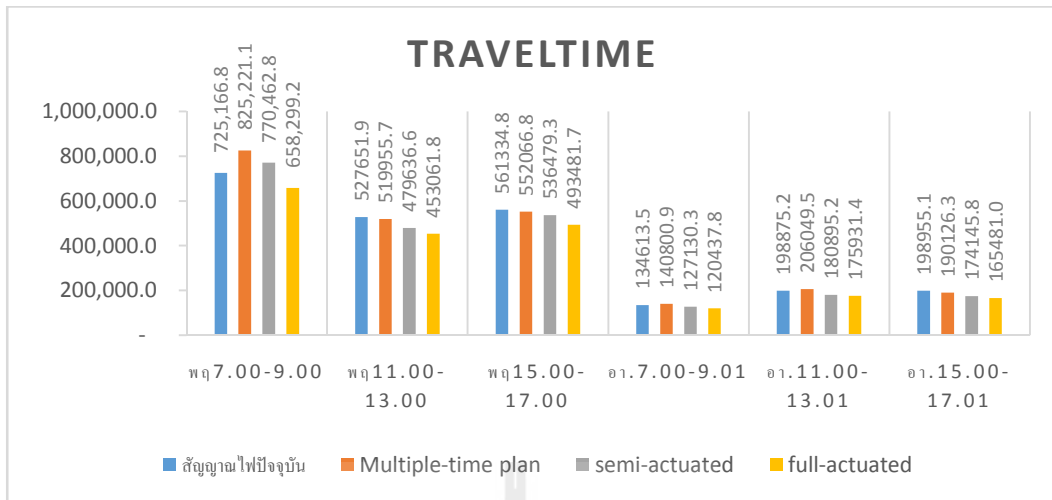


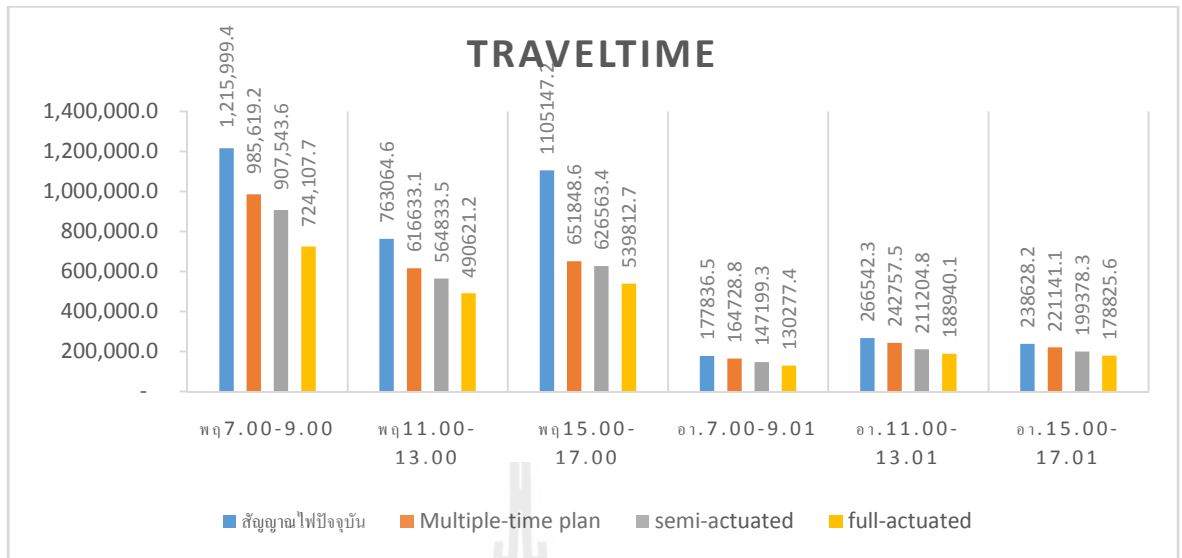












จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน มีผลเกี่ยวเนื่องจากเวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด เพราะหากจำนวนครั้งที่หยุดน้อย ก็จะทำให้ ทั้งเวลาที่สูญเสีย ความล่าช้า และเวลาเดินทางรวม จะลดน้อยลงด้วย ซึ่งพบว่าในแบบจำลองกึ่งกระตุ้นให้ค่าที่น้อยที่สุด กล่าวคือ สัญญาณไฟจราจรแบบกึ่งกระตุ้น(semi-actuated) มีประสิทธิภาพที่ทำให้รถมีการหยุดที่น้อยกว่าสัญญาณไฟจราจรแบบอื่นๆ ที่จำลอง

ระยะทางรวมที่รถวิ่ง (กิโลเมตร) พบว่า ในช่วงเวลาไม่เร่งด่วน แบบจำลองของสัญญาณไฟจราจรแบบคงที่โดยใช้รอบสัญญาณไฟจากการคำนวณตามปริมาณจราจรของแต่ละช่วง ให้ค่าระยะทางรวมที่รถวิ่งมากที่สุด จะเห็นได้ชัดในกรณีที่เพิ่มปริมาณจราจร2(demand2) และในช่วงเวลาเร่งด่วนวันพฤหัสบดีเช้า 7.00-9.00 ให้ค่าระยะทางโดยรวมที่มากที่สุดของทุกช่วงเวลา ในปริมาณจราจรปัจจุบัน(สำรวจปี2556) และการเพิ่มปริมาณจราจรในอนาคต(demand1) จะได้ค่าระยะทางรวมที่รถวิ่งของแต่วันที่จำลองไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสรุปโดยรวมได้ว่า ระยะทางรวมที่รถวิ่งนั้น ของแบบจำลองของสัญญาณไฟจราจรคงที่โดยใช้รอบสัญญาณไฟจากการคำนวณตามปริมาณจราจรของแต่ละช่วง ให้ค่าระยะทางรวมที่รถวิ่งมากที่สุด

เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที) จากแบบจำลองทุกแบบจำลองและแบบจำลองที่ปรับเปลี่ยนปริมาณจราจรนั้น พบว่า ของแบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) ให้ผลเวลาเดินทางทั้งหมดน้อยที่สุด

ผลสรุปโดยรวมจะพบว่าแบบจำลองสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่(full-actuated) จะให้ผลประสิทธิภาพตัวชี้วัดที่ดีกว่าแบบจำลองสัญญาณไฟแบบอื่นๆ โดยตัวชี้วัดตามผลที่ได้เมื่อใช้ความเร็วที่มาก แสดงว่าความล่าช้าเฉลี่ย, เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด, จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคัน จะมีค่าตรงกันข้ามคือ ผลค่าน้อย ซึ่งผลแบบจำลองที่ได้ออกมา นั้นสมเหตุสมผลตามหลักความเป็นจริง

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในบทสรุปผลการศึกษาจะประกอบไปด้วย ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สภาพจราจรในปัจจุบันและปริมาณจราจรจากการพยากรณ์ปริมาณจราจรที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยปรับปรุงรอบสัญญาณไฟจราจรจากการคำนวณ เพื่อนำมาจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Aimsun แบ่งเป็นรูปแบบการจำลอง 3 กรณี คือ 1.แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟจราจรคงที่หลายแผนที่เหมาะสม จากการคำนวณตามปริมาณจราจรแต่ละช่วง (Multiple-time plan), 2. แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟประเภทกึ่งกระตุ้น (semi-actuated control), และ 3. แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control)

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลแบบจำลองทั้งหมดเปรียบเทียบกับผลแบบจำลองของสภาพจราจรปัจจุบันโดยที่ยังไม่ใช้รูปแบบจราจรใดๆ ได้ผลที่ทำให้สามารถวิเคราะห์เลือกแบบจำลองเพื่อใช้จัดการจราจรบริเวณสามแยกหน้าทางข้ามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แบ่งตามผลของตัวชี้วัด ได้แก่ ความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณทางแยก, เวลาเดินทางเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), เวลาเดินทางทั้งหมด (วินาที), ความล่าช้าเฉลี่ย (วินาที/กิโลเมตร), เวลาสูญเสียเนื่องจากการหยุด (วินาที/กิโลเมตร) ได้แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) จำนวนครั้งที่หยุดต่อรถหนึ่งคันได้แบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟประเภทกึ่งกระตุ้น (semi-actuated control) ระยะทางรวมที่รถวิ่ง (กิโลเมตร) ได้แบบจำลองจราจรของสัญญาณไฟคงที่โดยใช้รอบสัญญาณไฟจากการคำนวณตามปริมาณจราจรของแต่ละช่วง (Multiple-time plan) แต่หากเปรียบเทียบผลแบบจำลองทั้งหมดของตัวชี้วัดทุกตัวจาก 3 กรณี คือ ปริมาณจราจรปัจจุบัน และการเพิ่มปริมาณจราจร 1 และ 2 ซึ่งในการเพิ่มปริมาณจราจร 2 (demand2) จะเห็นผลชัดเจนที่สุด จะได้ผลของแบบจำลองติดตั้งสัญญาณไฟกระตุ้นเต็มที่ (full-actuated control) ที่ทำให้การจัดการจราจรบริเวณทางแยกนี้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ใช้สำรวจปริมาณจราจรเป็นข้อมูลปี 2556 ซึ่งมีการเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ แต่สภาพการจราจรย่อมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี การเก็บข้อมูลควรปรับปรุงให้มีความทันสมัย

(update) ตลอดเวลาเพื่อการวิเคราะห์ สภาพการจราจรอย่างถูกต้องและเหมาะสมเพื่อพัฒนาระบบการควบคุมที่เหมาะสมต่อไป

จากการศึกษาวิจัย พบว่าโปรแกรมจำลองสภาพการจราจรควรใช้โปรแกรมที่มีการนำเทคโนโลยีอุปกรณ์ควบคุมการจราจรที่ทันสมัยมาพัฒนาควบคุมจราจรที่เหมาะสม ระดับการวิเคราะห์สูงขึ้น เพื่อความถูกต้องของการแสดงผลลัพธ์ข้อมูล เช่น โปรแกรม Paramics และ TRANSYT เป็นต้น และการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์เกี่ยวกับเรื่องควบคุมการเชื่อมต่อสัญญาณไฟจราจรที่บริเวณทางแยก และจุดตัดถนน เช่น การจัดการระบบควบคุมและปฏิบัติงานด้านจราจร เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมสภาพการจราจรให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร จะสามารถช่วยลดปริมาณมลพิษและการเผาผลาญเชื้อเพลิงที่สูญเสีย และลดการสูญเสียเวลา ไปได้มากกว่านี้

การวิจัยนี้ ไม่ได้คำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ หากมีการอ้างอิงค่าใช้จ่าย กับแบบจำลอง อาจมีผลในการวิเคราะห์การตัดสินใจเลือกแบบจำลองอื่น ในการจัดการจราจรต่อไป



## รายการอ้างอิง

Roger P. Roess, Elena S. Prassas, William R. McShane 2004. **Traffic Engineering (Third Edition)**, Actuated Signal Control and Detection (Chapter 20)

Manual Aimsun 6.1 TSS-Transport Simulation System Jan 2010, Users Manual, **Microsimulator and Mesosimulator.**

ทวี วิชัยเมธาวี 2545. การพัฒนาวิธีควบคุมสัญญาณไฟจราจรในสภาพจราจรอึมตัว สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปฎิภาณ แก้ววิเชียร 2549. การศึกษาการควบคุมสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกเดี่ยว กรณีศึกษา จังหวัด ขอนแก่น สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พลเทพ เลิศวรรณิช 2553. การออกแบบสัญญาณไฟจราจรบนทางหลวง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ประเทศไทย

ดร.เทอดศักดิ์ ร่องวิริยะพานิช 2546. แบบจำลองจราจรแบบจุลภาคเพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจรเพื่ออำนวยความสะดวกแก่รถเมล์ ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

กมล ปุ่นศิริ 2542. การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SIDRA ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรในเมืองหาดใหญ่และเมืองอุบลราชธานี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (ขนส่ง) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ฉนิศา รุ่งแจ้ง 2544. โปรแกรมออกแบบสัญญาณไฟสำหรับทางแยกสามขา วิศวกรรมโยธา ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิวกิจ เสรีรัตนสกุล 2550. การพัฒนาระบบควบคุมการจราจรที่เหมาะสม กรณีศึกษาจังหวัด นครราชสีมา สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อรอนงค์ แสงผ่อง 2553. การศึกษาความยาวจังหวะสัญญาณไฟเขียวที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความจุที่สูญเสียช่วงเริ่มและจบจังหวะสัญญาณไฟ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นันทนา บัวคง 2548. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลอึมตัว ณ ทางแยกสัญญาณไฟจราจร ในกรุงเทพมหานคร ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Cheng D. 2003. **Modification of Webster's Minimum Delay Cycle Length Equation Based on HCM 2000 Transportation Research Board.**

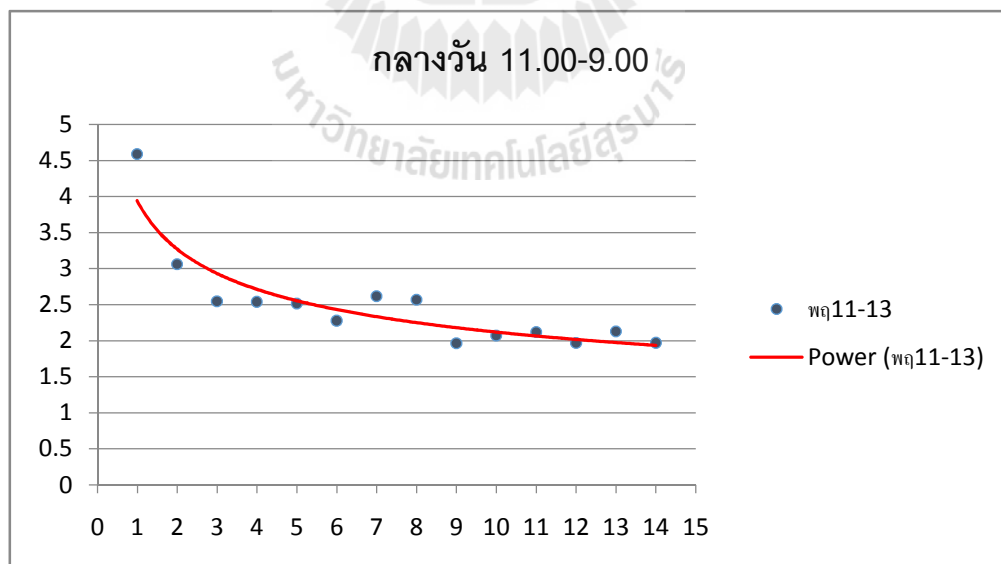
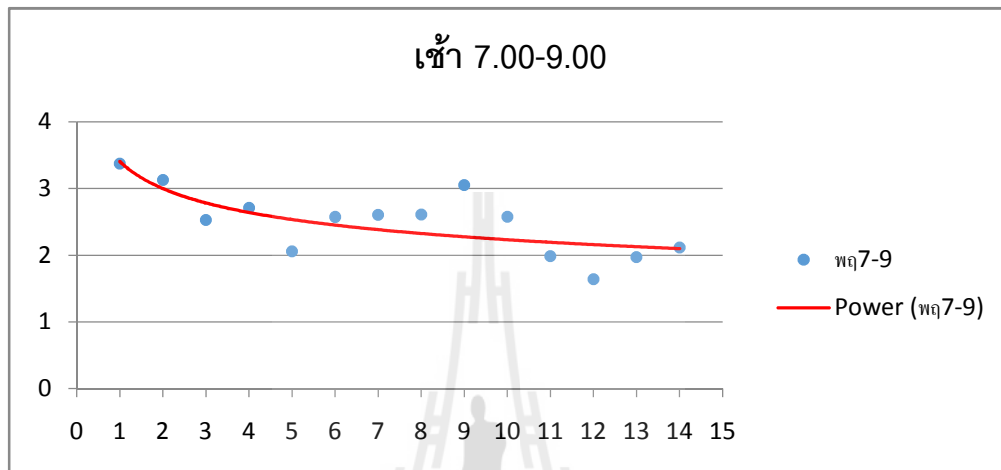
Richard W., Denney J., Eddie E., and Larry H. 2009. **Long Green Times and Cycles at Congested Traffic signals Journal of the Transportation Research Board.**



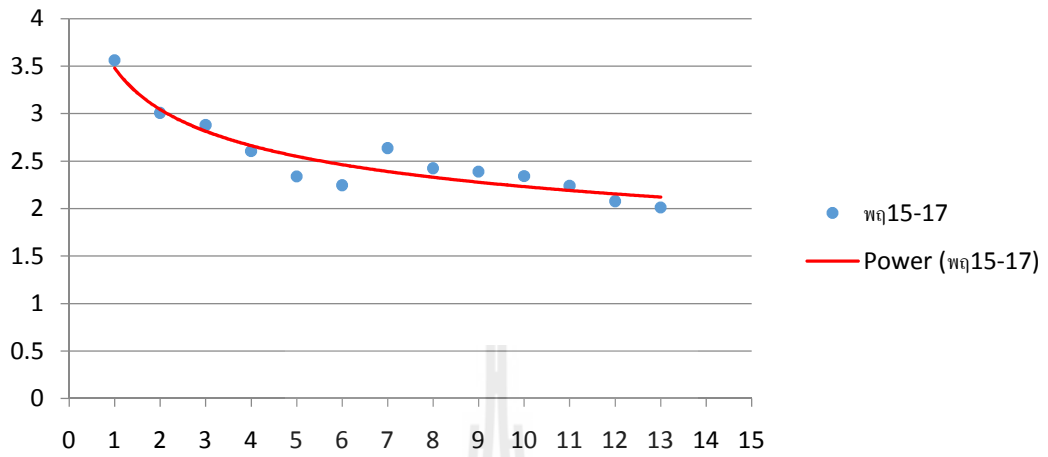
ภาคผนวก ก

กราฟแสดงผลของ ระยะห่างระหว่างยวดยาน

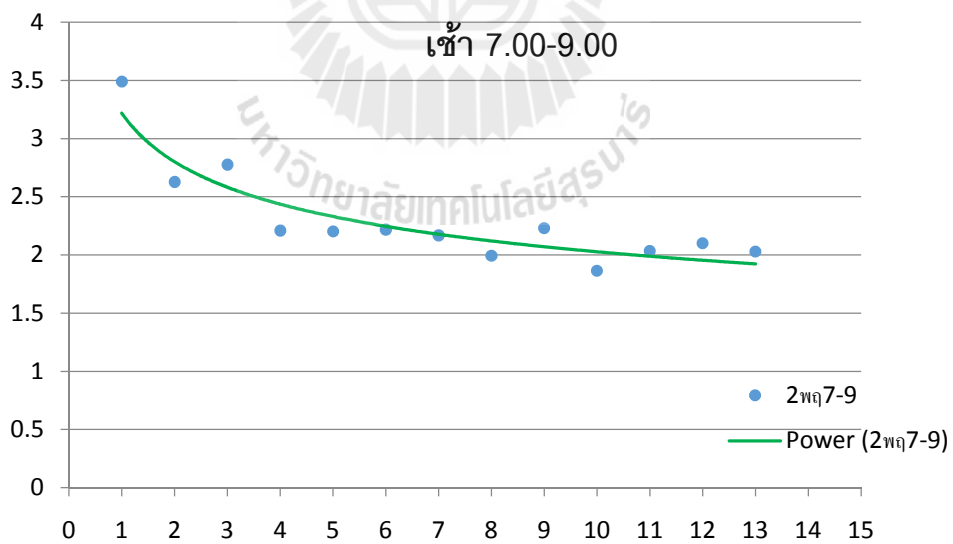
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

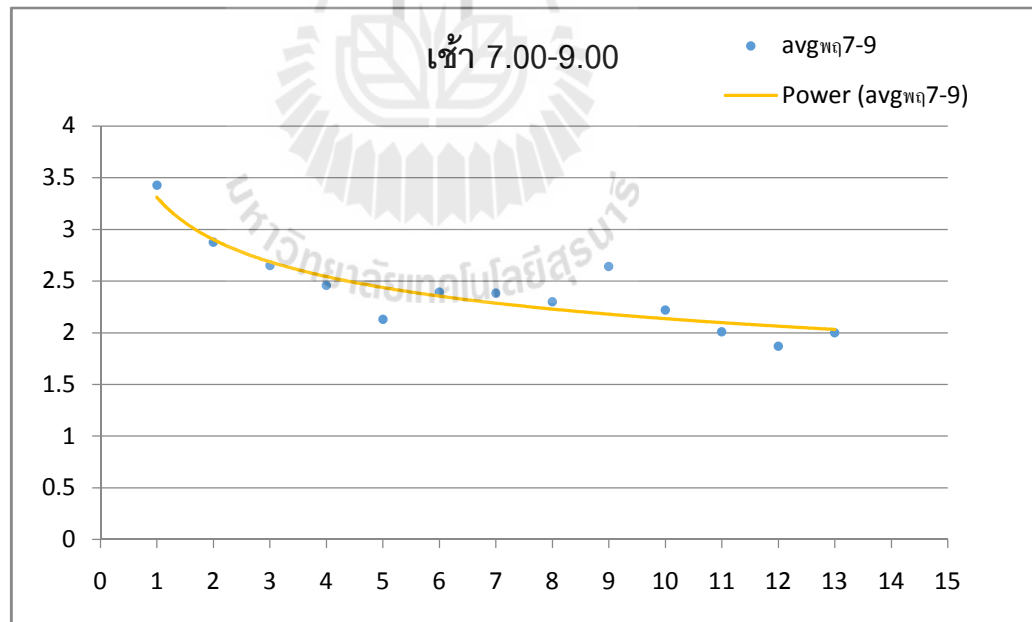
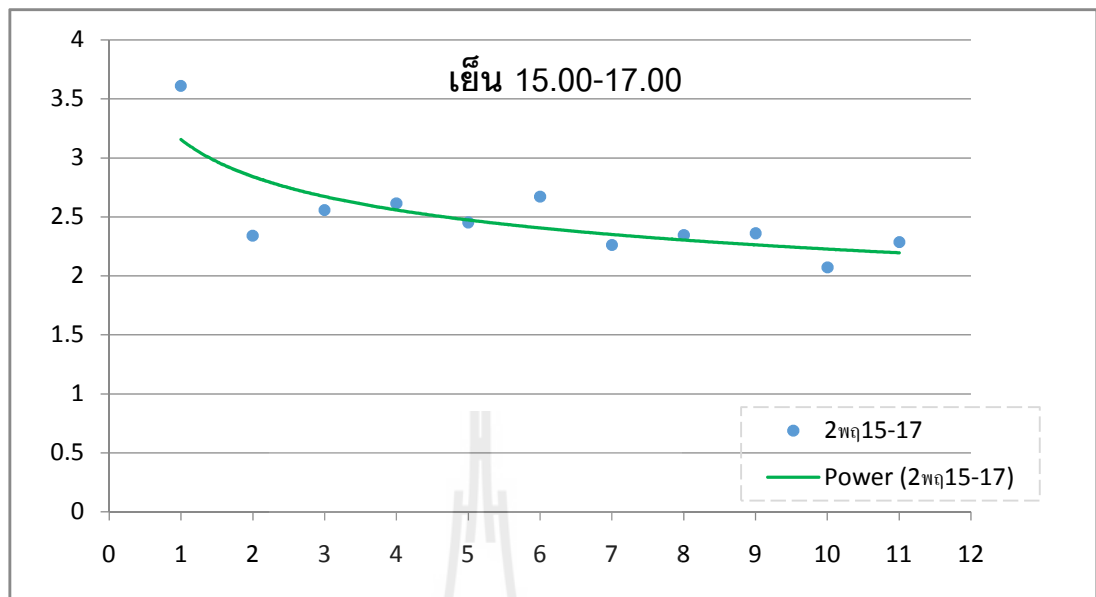


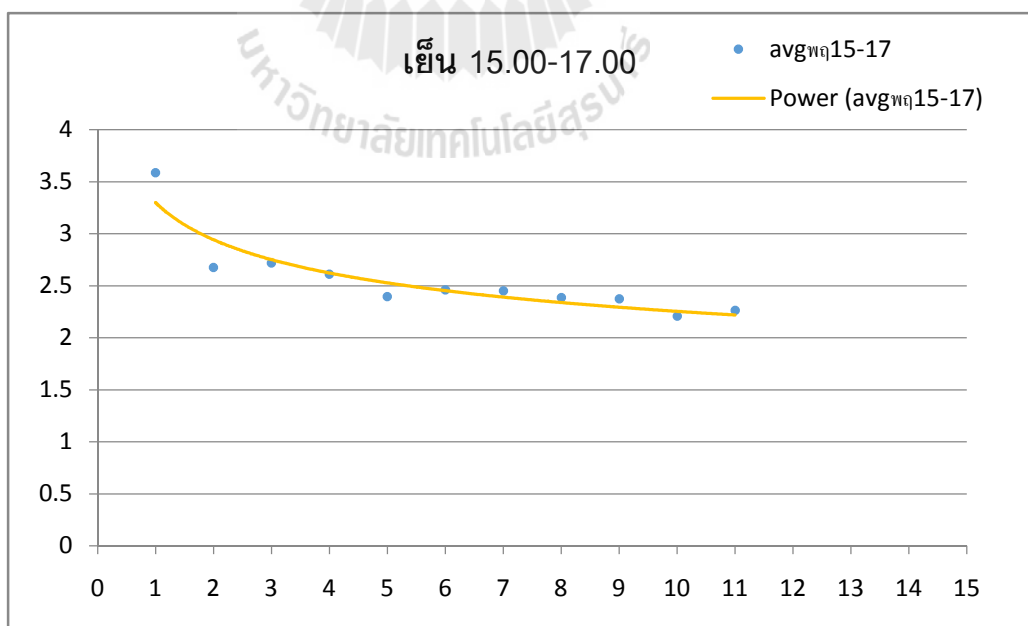
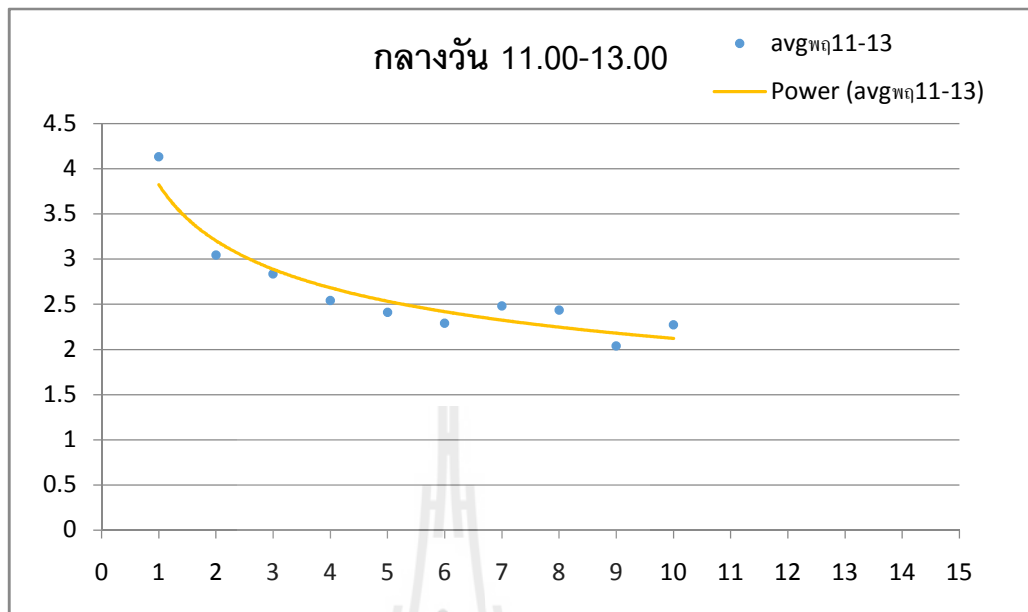
เย็น 15.00-17.00



เช้า 7.00-9.00









ทางแยก

ข้อมูลเบื้องต้น

ชื่อทางแยก หนองปรุ (มทส)

บริเวณทางแยกมีทางคู่ขนานหรือไม่ ☐ มี ☒ ไม่มี

|                                             | ช่องจราจร          |                     | ความกว้างไหล่ทาง (เมตร)                                                                                                                                                                                                                                                                              |                           | ความกว้างทางเท้า             |                           | ช่องทางรอลีี้ยว     |                       | ลักษณะ<br>ผิวจราจร | เกาะกลาง   |                     |
|---------------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|------------|---------------------|
|                                             | จำนวน<br>ช่องจราจร | ความกว้าง<br>(เมตร) | เหนือ/<br>ตะวันออก<br>ของถนน                                                                                                                                                                                                                                                                         | ใต้/<br>ตะวันตก<br>ของถนน | เหนือ/<br>ตะวันออก<br>ของถนน | ใต้/<br>ตะวันตก<br>ของถนน | ความกว้าง<br>(เมตร) | ความ<br>ยาว<br>(เมตร) |                    | ประเภ<br>ท | ความกว้าง<br>(เมตร) |
| ถนนสายหลัก<br>หมายเลขทาง<br>หลวง<br>304     | 4                  | 3                   | 2.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2.5                       | -                            | -                         | 3                   | 110                   | 2                  | 3          | 1.5                 |
| ถนนสายรอง 1<br>หมายเลขทาง<br>หลวง<br>ถนนมทส | 4                  | 3.5                 | <div> <div>หมายเหตุ</div> <div>ลักษณะผิวจราจร</div> <div> <div>1.คอนกรีต</div> <div>2.แอสฟัลท์</div> <div>3.อื่น ๆ (ระบุ)</div> </div> <div>ประเภทเกาะกลางถนน</div> <div> <div>1.แบบเกาะสี่</div> <div>2.แบบยก</div> <div>3.แบบกดเป็นร่อง</div> <div>4.แบบเป็นราวหรือแบบกำแพงกัน</div> </div> </div> |                           |                              |                           |                     |                       | 1                  | 2          | 4.5                 |



ภาคผนวก ค

ตารางความเร็วที่สำรวจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### Free Flow Speed

ถนนมหาวิทยาลัย

| รถยนต์ |                |                  |                   |                    |       |                |                  |               |                |
|--------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|-------|----------------|------------------|---------------|----------------|
| จำนวน  | ระยะทาง<br>(m) | เวลา<br>(วินาที) | ความเร็ว<br>(m/s) | ความเร็ว<br>(km/h) | จำนวน | ระยะทาง<br>(m) | เวลา<br>(วินาที) | ความเร็ว(m/s) | ความเร็ว(km/h) |
| 1      | 50             | 3.04             | 16.45             | 59                 | 16    | 50             | 2.49             | 20.08         | 72             |
| 2      | 50             | 3.38             | 14.79             | 53                 | 17    | 50             | 3.12             | 16.03         | 58             |
| 3      | 50             | 2.63             | 19.01             | 68                 | 18    | 50             | 2.14             | 23.36         | 84             |
| 4      | 50             | 2.56             | 19.53             | 70                 | 19    | 50             | 2.34             | 21.37         | 77             |
| 5      | 50             | 2.67             | 18.73             | 67                 | 20    | 50             | 2.40             | 20.83         | 75             |
| 6      | 50             | 3.01             | 16.61             | 60                 | 21    | 50             | 3.01             | 16.61         | 60             |
| 7      | 50             | 3.54             | 14.12             | 51                 | 22    | 50             | 3.30             | 15.15         | 55             |
| 8      | 50             | 3.47             | 14.41             | 52                 | 23    | 50             | 2.54             | 19.69         | 71             |
| 9      | 50             | 3.23             | 15.48             | 56                 | 24    | 50             | 2.34             | 21.37         | 77             |
| 10     | 50             | 2.34             | 21.37             | 77                 | 25    | 50             | 2.21             | 22.62         | 81             |
| 11     | 50             | 2.43             | 20.58             | 74                 | 26    | 50             | 3.02             | 16.56         | 60             |
| 12     | 50             | 3.02             | 16.56             | 60                 | 27    | 50             | 2.09             | 23.90         | 86             |
| 13     | 50             | 3.41             | 14.66             | 53                 | 28    | 50             | 3.08             | 16.23         | 58             |
| 14     | 50             | 2.23             | 22.42             | 81                 | 29    | 50             | 2.67             | 18.73         | 67             |
| 15     | 50             | 2.35             | 21.28             | 77                 | 30    | 50             | 3.38             | 14.79         | 53             |
| รวม    |                |                  |                   |                    |       | 1500           | 83.44            | 553.32        | 1991.94        |
| เฉลี่ย |                |                  |                   |                    |       | 50             | 2.7814           | 18.44387523   | 66.39795081    |

| รถจักรยานยนต์ |                |              |                   |                    |       |            |                  |               |                |
|---------------|----------------|--------------|-------------------|--------------------|-------|------------|------------------|---------------|----------------|
| จำนวน         | ระยะทาง<br>(m) | เวลา(วินาที) | ความเร็ว<br>(m/s) | ความเร็ว<br>(km/h) | จำนวน | ระยะทาง(m) | เวลา<br>(วินาที) | ความเร็ว(m/s) | ความเร็ว(km/h) |
| 1             | 50             | 4.56         | 10.96             | 39                 | 6     | 50         | 4.98             | 10.04         | 36             |
| 2             | 50             | 4.35         | 11.49             | 41                 | 7     | 50         | 3.59             | 13.93         | 50             |
| 3             | 50             | 3.89         | 12.85             | 46                 | 8     | 50         | 3.91             | 12.79         | 46             |
| 4             | 50             | 4.03         | 12.41             | 45                 | 9     | 50         | 4.52             | 11.06         | 40             |
| 5             | 50             | 3.59         | 13.93             | 50                 | 10    | 50         | 4.31             | 11.60         | 42             |
| รวม           |                |              |                   |                    |       | 500.00     | 41.73            | 121.07        | 436            |
| เฉลี่ย        |                |              |                   |                    |       | 50         | 4.173            | 12.10654961   | 43.58357859    |

### ทางหลวงหมายเลข 304

| รถยนต์ |                 |                  |                   |                    |
|--------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| จำนวน  | ระยะทาง<br>ก(m) | เวลา<br>(วินาที) | ความเร็ว<br>(m/s) | ความเร็ว<br>(km/h) |
| 1      | 50              | 2.05             | 24.39             | 88                 |
| 2      | 50              | 1.93             | 25.91             | 93                 |
| 3      | 50              | 2.12             | 23.58             | 85                 |
| 4      | 50              | 1.52             | 32.89             | 118                |
| 5      | 50              | 1.68             | 29.76             | 107                |
| 6      | 50              | 1.57             | 31.85             | 115                |
| 7      | 50              | 2.43             | 20.58             | 74                 |
| 8      | 50              | 2.31             | 21.65             | 78                 |
| 9      | 50              | 1.76             | 28.41             | 102                |
| 10     | 50              | 2.08             | 24.04             | 87                 |
| 11     | 50              | 1.79             | 27.93             | 101                |
| 12     | 50              | 2.57             | 19.46             | 70                 |
| 13     | 50              | 2.30             | 21.74             | 78                 |
| 14     | 50              | 1.73             | 28.90             | 104                |
| 15     | 50              | 2.45             | 20.41             | 73                 |
| 16     | 50              | 2.11             | 23.70             | 85                 |
| 17     | 50              | 2.18             | 22.94             | 83                 |
| 18     | 50              | 1.90             | 26.32             | 95                 |
| 19     | 50              | 2.28             | 21.93             | 79                 |
| 20     | 50              | 2.17             | 23.04             | 83                 |
| 21     | 50              | 2.21             | 22.62             | 81                 |
| 22     | 50              | 3.01             | 16.61             | 60                 |
| 23     | 50              | 2.14             | 23.36             | 84                 |
| 24     | 50              | 1.42             | 35.21             | 127                |
| 25     | 50              | 1.35             | 37.04             | 133                |
| 26     | 50              | 2.41             | 20.75             | 75                 |
| 27     | 50              | 1.73             | 28.90             | 104                |
| 28     | 50              | 1.78             | 28.09             | 101                |
| 29     | 50              | 2.35             | 21.28             | 77                 |
| 30     | 50              | 1.86             | 26.88             | 97                 |

รวม 1500 61.19 760.1565056 2736.56342

เฉลี่ย 50 2.039666667 25.33855019 91.21878067

| รถบรรทุก |                 |                  |                   |                    |
|----------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|
| จำนวน    | ระยะทาง<br>ก(m) | เวลา<br>(วินาที) | ความเร็ว<br>(m/s) | ความเร็ว<br>(km/h) |
| 1        | 50              | 3.54             | 14.12             | 51                 |
| 2        | 50              | 2.45             | 20.41             | 73                 |
| 3        | 50              | 2.67             | 18.73             | 67                 |
| 4        | 50              | 4.01             | 12.47             | 45                 |
| 5        | 50              | 3.78             | 13.23             | 48                 |
| 6        | 50              | 3.59             | 13.93             | 50                 |
| 7        | 50              | 4.04             | 12.38             | 45                 |
| 8        | 50              | 4.25             | 11.76             | 42                 |
| 9        | 50              | 3.54             | 14.12             | 51                 |
| 10       | 50              | 4.25             | 11.76             | 42                 |
| 11       | 50              | 4.65             | 10.75             | 39                 |
| 12       | 50              | 3.67             | 13.62             | 49                 |
| 13       | 50              | 4.01             | 12.47             | 45                 |
| 14       | 50              | 4.21             | 11.88             | 43                 |
| 15       | 50              | 3.43             | 14.58             | 52                 |
| 16       | 50              | 4.53             | 11.04             | 40                 |
| 17       | 50              | 3.56             | 14.04             | 51                 |
| 18       | 50              | 3.67             | 13.62             | 49                 |
| 19       | 50              | 3.83             | 13.05             | 47                 |
| 20       | 50              | 3.21             | 15.58             | 56                 |
| 21       | 50              | 3.45             | 14.49             | 52                 |
| 22       | 50              | 3.54             | 14.12             | 51                 |
| 23       | 50              | 4.02             | 12.44             | 45                 |
| 24       | 50              | 3.32             | 15.06             | 54                 |
| 25       | 50              | 3.62             | 13.81             | 50                 |
| 26       | 50              | 3.41             | 14.66             | 53                 |
| 27       | 50              | 3.23             | 15.48             | 56                 |
| 28       | 50              | 3.13             | 15.97             | 58                 |
| 29       | 50              | 4.32             | 11.57             | 42                 |
| 30       | 50              | 3.08             | 16.23             | 58                 |

รวม 1500 110.01 417.4019199 1502.64691

เฉลี่ย 50 3.667 13.91339733 50.0882303 9



ทิศทาง จาก มหาวิทยาลัยฯ เลี้ยวซ้ายไป สามแยกปึก

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์   | รถยนต์นั่ง 4 ล้อ | รถจักรยานยนต์ | รถบรรทุก 6 ล้อ | รถปิคอัพ และ รถบรรทุก 4 ล้อ | รถสองแถว 4 ล้อ | รถบรรทุก 10 ล้อ | รถแทรกเตอร์ และรถพ่วง |
|-------------|-----------|-----------------|------------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Time        |           | รถสามล้อเครื่อง | รถโฟล์ค          | รถจักรยานยนต์ |                |                             | รถตู้          |                 |                       |
| 7:00-7:15   | 0         | 10              | 30               | 1             | 0              | 20                          | 6              | 0               | 0                     |
| 7:15-7:30   | 0         | 10              | 30               | 0             | 0              | 17                          | 5              | 0               | 0                     |
| 7:30-7:45   | 0         | 17              | 77               | 1             | 1              | 30                          | 7              | 0               | 0                     |
| 7:45-8:00   | 0         | 27              | 95               | 0             | 0              | 45                          | 6              | 0               | 0                     |
| 8:00-8:15   | 0         | 18              | 92               | 1             | 0              | 35                          | 5              | 0               | 0                     |
| 8:15-8:30   | 0         | 11              | 51               | 0             | 0              | 28                          | 3              | 0               | 0                     |
| 8:30-8:45   | 1         | 12              | 43               | 0             | 0              | 30                          | 3              | 0               | 0                     |
| 8:45-9:00   | 0         | 6               | 26               | 0             | 0              | 12                          | 1              | 0               | 0                     |
| 11:00-11:15 | 0         | 4               | 25               | 0             | 2              | 15                          | 2              | 0               | 0                     |
| 11:15-11:30 | 0         | 9               | 32               | 0             | 1              | 17                          | 3              | 0               | 0                     |
| 11:30-11:45 | 0         | 11              | 25               | 0             | 1              | 12                          | 4              | 0               | 0                     |
| 11:45-12:00 | 0         | 5               | 33               | 1             | 0              | 19                          | 2              | 0               | 0                     |
| 12:00-12:15 | 0         | 3               | 16               | 0             | 1              | 23                          | 2              | 1               | 0                     |
| 12:15-12:30 | 0         | 10              | 24               | 0             | 0              | 18                          | 3              | 0               | 0                     |
| 12:30-12:45 | 0         | 7               | 17               | 0             | 1              | 21                          | 3              | 0               | 0                     |
| 12:45-13:00 | 1         | 4               | 15               | 0             | 0              | 19                          | 0              | 0               | 0                     |
| 15:00-15:15 | 1         | 12              | 27               | 2             | 0              | 17                          | 2              | 0               | 0                     |
| 15:15-15:30 | 0         | 12              | 50               | 1             | 0              | 21                          | 5              | 0               | 0                     |
| 15:30-15:45 | 0         | 12              | 27               | 0             | 0              | 14                          | 4              | 0               | 0                     |
| 15:45-16:00 | 0         | 11              | 29               | 0             | 0              | 20                          | 3              | 0               | 0                     |
| 16:00-16:15 | 1         | 22              | 33               | 0             | 0              | 28                          | 5              | 0               | 0                     |
| 16:15-16:30 | 2         | 18              | 37               | 2             | 0              | 43                          | 4              | 0               | 0                     |
| 16:30-16:45 | 0         | 23              | 56               | 0             | 1              | 32                          | 3              | 0               | 0                     |
| 16:45-17:00 | 0         | 33              | 45               | 1             | 0              | 18                          | 2              | 0               | 0                     |

หมายเหตุ สํารวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก มหาวิทยาลัยฯ เลี้ยวขวาไป ปักธงชัย

| Time        | รถจักรยายน | รถจักรยายนยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถจักรยานยนต์<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิคอัพ<br>และ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 7:00-7:15   | 0          | 10                                | 20                             | 1                                | 0                 | 10                                   | 2                                   | 0                  | 0                            |
| 7:15-7:30   | 0          | 6                                 | 13                             | 0                                | 0                 | 10                                   | 1                                   | 0                  | 0                            |
| 7:30-7:45   | 0          | 13                                | 55                             | 0                                | 1                 | 25                                   | 5                                   | 0                  | 0                            |
| 7:45-8:00   | 0          | 0                                 | 35                             | 0                                | 0                 | 30                                   | 2                                   | 0                  | 0                            |
| 8:00-8:15   | 0          | 8                                 | 30                             | 0                                | 0                 | 25                                   | 1                                   | 0                  | 0                            |
| 8:15-8:30   | 0          | 2                                 | 17                             | 0                                | 0                 | 13                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 8:30-8:45   | 0          | 4                                 | 13                             | 0                                | 1                 | 7                                    | 3                                   | 0                  | 0                            |
| 8:45-9:00   | 0          | 1                                 | 4                              | 0                                | 0                 | 4                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 11:00-11:15 | 0          | 3                                 | 6                              | 0                                | 1                 | 4                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 11:15-11:30 | 0          | 2                                 | 2                              | 0                                | 0                 | 2                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 11:30-11:45 | 0          | 2                                 | 2                              | 0                                | 0                 | 3                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 11:45-12:00 | 0          | 6                                 | 1                              | 0                                | 1                 | 5                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 12:00-12:15 | 0          | 1                                 | 6                              | 1                                | 2                 | 5                                    | 1                                   | 0                  | 0                            |
| 12:15-12:30 | 0          | 2                                 | 5                              | 0                                | 0                 | 4                                    | 0                                   | 1                  | 0                            |
| 12:30-12:45 | 0          | 4                                 | 4                              | 0                                | 0                 | 5                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 12:45-13:00 | 0          | 2                                 | 4                              | 0                                | 0                 | 4                                    | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 15:00-15:15 | 0          | 9                                 | 8                              | 0                                | 0                 | 15                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 15:15-15:30 | 0          | 7                                 | 11                             | 0                                | 0                 | 14                                   | 1                                   | 0                  | 0                            |
| 15:30-15:45 | 0          | 5                                 | 12                             | 0                                | 0                 | 17                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 15:45-16:00 | 0          | 7                                 | 9                              | 0                                | 0                 | 19                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 16:00-16:15 | 0          | 6                                 | 12                             | 0                                | 0                 | 16                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 16:15-16:30 | 0          | 7                                 | 11                             | 0                                | 0                 | 15                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 16:30-16:45 | 0          | 6                                 | 9                              | 1                                | 0                 | 11                                   | 0                                   | 0                  | 0                            |
| 16:45-17:00 | 0          | 8                                 | 6                              | 2                                | 0                 | 16                                   | 1                                   | 0                  | 0                            |

หมายเหตุ สำรวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

## ทิศทางจาก สามแยกปึก ตรงไป ปักธงชัย

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์   | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ | รถจักรยาน<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิกอัพ<br>และ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว<br>4 ล้อ<br>ซูบารุและ<br>รถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรก<br>เตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|-----------------|---------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Time        |           | รถสามล้อเครื่อง | รถโฟล์ค             |                              |                   |                                      |                                         |                    |                                  |
| 7:00-7:15   | 1         | 40              | 71                  | 5                            | 6                 | 51                                   | 15                                      | 4                  | 8                                |
| 7:15-7:30   | 0         | 82              | 153                 | 8                            | 10                | 134                                  | 25                                      | 5                  | 13                               |
| 7:30-7:45   | 0         | 115             | 166                 | 13                           | 11                | 144                                  | 30                                      | 6                  | 12                               |
| 7:45-8:00   | 0         | 122             | 154                 | 7                            | 13                | 166                                  | 23                                      | 7                  | 15                               |
| 8:00-8:15   | 0         | 113             | 132                 | 5                            | 17                | 134                                  | 20                                      | 6                  | 13                               |
| 8:15-8:30   | 0         | 99              | 149                 | 15                           | 11                | 133                                  | 16                                      | 4                  | 17                               |
| 8:30-8:45   | 0         | 105             | 115                 | 6                            | 13                | 112                                  | 13                                      | 3                  | 11                               |
| 8:45-9:00   | 0         | 102             | 94                  | 4                            | 12                | 105                                  | 15                                      | 5                  | 9                                |
| 11:00-11:15 | 0         | 32              | 70                  | 4                            | 8                 | 67                                   | 14                                      | 7                  | 10                               |
| 11:15-11:30 | 0         | 60              | 113                 | 5                            | 10                | 114                                  | 18                                      | 6                  | 7                                |
| 11:30-11:45 | 0         | 79              | 111                 | 6                            | 11                | 128                                  | 13                                      | 7                  | 11                               |
| 11:45-12:00 | 0         | 79              | 127                 | 8                            | 11                | 114                                  | 21                                      | 8                  | 13                               |
| 12:00-12:15 | 0         | 73              | 137                 | 4                            | 13                | 145                                  | 18                                      | 6                  | 11                               |
| 12:15-12:30 | 0         | 67              | 99                  | 9                            | 11                | 117                                  | 13                                      | 6                  | 14                               |
| 12:30-12:45 | 0         | 65              | 100                 | 5                            | 9                 | 138                                  | 14                                      | 4                  | 11                               |
| 12:45-13:00 | 0         | 66              | 110                 | 3                            | 10                | 113                                  | 13                                      | 4                  | 8                                |
| 15:00-15:15 | 0         | 24              | 68                  | 2                            | 9                 | 88                                   | 13                                      | 10                 | 12                               |
| 15:15-15:30 | 0         | 39              | 72                  | 2                            | 10                | 94                                   | 11                                      | 6                  | 10                               |
| 15:30-15:45 | 0         | 43              | 96                  | 3                            | 11                | 111                                  | 11                                      | 8                  | 10                               |
| 15:45-16:00 | 0         | 45              | 99                  | 5                            | 13                | 124                                  | 12                                      | 8                  | 11                               |
| 16:00-16:15 | 0         | 32              | 66                  | 3                            | 5                 | 93                                   | 5                                       | 5                  | 8                                |
| 16:15-16:30 | 0         | 33              | 75                  | 3                            | 6                 | 100                                  | 10                                      | 7                  | 10                               |
| 16:30-16:45 | 1         | 65              | 85                  | 3                            | 5                 | 124                                  | 13                                      | 4                  | 10                               |
| 16:45-17:00 | 1         | 58              | 126                 | 1                            | 8                 | 121                                  | 12                                      | 3                  | 6                                |

หมายเหตุ สํารวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก สามแยกปึก เลี้ยวขวาไป ปักธงชัย

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถบัส<br>ขนาด<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก<br>6 ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถพ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Time        |           |                                  |                                |                                  |                   |                                  |                                     |                    |                          |
| 7:00-7:15   | 0         | 10                               | 36                             | 0                                | 2                 | 25                               | 6                                   | 0                  | 0                        |
| 7:15-7:30   | 0         | 12                               | 65                             | 0                                | 0                 | 30                               | 5                                   | 0                  | 0                        |
| 7:30-7:45   | 0         | 11                               | 71                             | 0                                | 1                 | 31                               | 6                                   | 0                  | 0                        |
| 7:45-8:00   | 0         | 17                               | 78                             | 1                                | 2                 | 40                               | 7                                   | 0                  | 0                        |
| 8:00-8:15   | 0         | 14                               | 81                             | 0                                | 3                 | 55                               | 6                                   | 0                  | 0                        |
| 8:15-8:30   | 0         | 9                                | 61                             | 0                                | 0                 | 29                               | 8                                   | 1                  | 0                        |
| 8:30-8:45   | 0         | 10                               | 59                             | 0                                | 1                 | 39                               | 5                                   | 0                  | 0                        |
| 8:45-9:00   | 0         | 7                                | 46                             | 0                                | 2                 | 29                               | 5                                   | 0                  | 0                        |
| 11:00-11:15 | 0         | 6                                | 24                             | 0                                | 0                 | 17                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 11:15-11:30 | 0         | 1                                | 39                             | 0                                | 2                 | 19                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 11:30-11:45 | 0         | 18                               | 26                             | 0                                | 1                 | 19                               | 7                                   | 0                  | 0                        |
| 11:45-12:00 | 0         | 20                               | 28                             | 0                                | 0                 | 35                               | 5                                   | 0                  | 0                        |
| 12:00-12:15 | 0         | 22                               | 45                             | 0                                | 0                 | 36                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 12:15-12:30 | 0         | 29                               | 39                             | 0                                | 0                 | 39                               | 7                                   | 0                  | 0                        |
| 12:30-12:45 | 0         | 11                               | 36                             | 0                                | 0                 | 33                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 12:45-13:00 | 0         | 24                               | 24                             | 0                                | 1                 | 32                               | 3                                   | 1                  | 0                        |
| 15:00-15:15 | 0         | 16                               | 24                             | 0                                | 0                 | 21                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 15:15-15:30 | 0         | 16                               | 38                             | 0                                | 1                 | 29                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 15:30-15:45 | 0         | 9                                | 30                             | 0                                | 0                 | 31                               | 5                                   | 0                  | 0                        |
| 15:45-16:00 | 0         | 31                               | 56                             | 0                                | 0                 | 36                               | 8                                   | 0                  | 0                        |
| 16:00-16:15 | 0         | 26                               | 57                             | 0                                | 1                 | 36                               | 8                                   | 0                  | 0                        |
| 16:15-16:30 | 4         | 19                               | 48                             | 0                                | 2                 | 18                               | 7                                   | 0                  | 0                        |
| 16:30-16:45 | 3         | 20                               | 41                             | 1                                | 2                 | 35                               | 7                                   | 0                  | 0                        |
| 16:45-17:00 | 0         | 11                               | 31                             | 2                                | 0                 | 33                               | 2                                   | 0                  | 1                        |

หมายเหตุ ดำรวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก ปักธงชัย ตรงไป สามแยกปัก

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ<br>รถโฟล์ก | รถจักรยาน<br>กลางและใหญ่ | รถบรรทุก<br>6 ล้อ | รถปิคอัพ<br>และ<br>รถบรรทุก<br>4 ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรก<br>เตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Time        |           |                                  |                                |                          |                   |                                      |                                     |                    |                                  |
| 7:00-7:15   | 1         | 76                               | 116                            | 5                        | 7                 | 98                                   | 13                                  | 1                  | 9                                |
| 7:15-7:30   | 0         | 84                               | 112                            | 6                        | 8                 | 88                                   | 27                                  | 0                  | 19                               |
| 7:30-7:45   | 0         | 125                              | 134                            | 2                        | 5                 | 91                                   | 15                                  | 5                  | 7                                |
| 7:45-8:00   | 0         | 127                              | 117                            | 6                        | 10                | 122                                  | 9                                   | 0                  | 16                               |
| 8:00-8:15   | 0         | 89                               | 111                            | 3                        | 14                | 119                                  | 14                                  | 7                  | 9                                |
| 8:15-8:30   | 0         | 97                               | 132                            | 4                        | 12                | 103                                  | 15                                  | 5                  | 14                               |
| 8:30-8:45   | 1         | 87                               | 107                            | 7                        | 10                | 99                                   | 11                                  | 6                  | 12                               |
| 8:45-9:00   | 0         | 91                               | 98                             | 6                        | 14                | 101                                  | 15                                  | 5                  | 10                               |
| 11:00-11:15 | 0         | 47                               | 67                             | 7                        | 3                 | 88                                   | 13                                  | 4                  | 15                               |
| 11:15-11:30 | 0         | 56                               | 73                             | 5                        | 3                 | 91                                   | 11                                  | 5                  | 8                                |
| 11:30-11:45 | 0         | 88                               | 91                             | 8                        | 4                 | 104                                  | 14                                  | 7                  | 13                               |
| 11:45-12:00 | 1         | 85                               | 88                             | 4                        | 3                 | 111                                  | 17                                  | 6                  | 9                                |
| 12:00-12:15 | 0         | 93                               | 94                             | 8                        | 6                 | 130                                  | 13                                  | 10                 | 9                                |
| 12:15-12:30 | 0         | 115                              | 103                            | 7                        | 5                 | 102                                  | 15                                  | 8                  | 14                               |
| 12:30-12:45 | 0         | 106                              | 115                            | 5                        | 4                 | 117                                  | 14                                  | 11                 | 12                               |
| 12:45-13:00 | 0         | 98                               | 102                            | 7                        | 10                | 98                                   | 13                                  | 8                  | 15                               |
| 15:00-15:15 | 0         | 72                               | 88                             | 6                        | 11                | 90                                   | 15                                  | 4                  | 12                               |
| 15:15-15:30 | 0         | 63                               | 113                            | 5                        | 9                 | 101                                  | 17                                  | 5                  | 15                               |
| 15:30-15:45 | 0         | 89                               | 123                            | 7                        | 5                 | 111                                  | 19                                  | 3                  | 7                                |
| 15:45-16:00 | 0         | 117                              | 134                            | 7                        | 7                 | 124                                  | 18                                  | 4                  | 10                               |
| 16:00-16:15 | 0         | 129                              | 130                            | 6                        | 8                 | 120                                  | 12                                  | 6                  | 9                                |
| 16:15-16:30 | 0         | 112                              | 105                            | 7                        | 7                 | 97                                   | 19                                  | 5                  | 11                               |
| 16:30-16:45 | 0         | 99                               | 98                             | 5                        | 5                 | 95                                   | 12                                  | 4                  | 14                               |
| 16:45-17:00 | 0         | 86                               | 100                            | 3                        | 8                 | 87                                   | 15                                  | 7                  | 9                                |

หมายเหตุ สํารวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจากปึกธงชัย เลี้ยวซ้ายเข้า มหาวิทยาลัยฯ

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์   | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ | รถจักรยาน   | รถบรรทุก<br>6 ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว<br>4 ล้อ  | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|-----------------|---------------------|-------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| Time        |           | รถสามล้อเครื่อง | รถโฟล์ค             | กลางและใหญ่ |                   |                                  | ซูบารุและ<br>รถตู้ |                    |                              |
| 7:00-7:15   | 0         | 15              | 33                  | 0           | 1                 | 15                               | 5                  | 0                  | 0                            |
| 7:15-7:30   | 0         | 10              | 31                  | 2           | 1                 | 14                               | 3                  | 0                  | 0                            |
| 7:30-7:45   | 0         | 13              | 32                  | 1           | 0                 | 19                               | 4                  | 0                  | 0                            |
| 7:45-8:00   | 0         | 9               | 37                  | 0           | 0                 | 26                               | 1                  | 0                  | 0                            |
| 8:00-8:15   | 0         | 12              | 34                  | 1           | 2                 | 20                               | 3                  | 0                  | 0                            |
| 8:15-8:30   | 0         | 14              | 33                  | 0           | 0                 | 25                               | 2                  | 0                  | 0                            |
| 8:30-8:45   | 0         | 10              | 27                  | 0           | 0                 | 27                               | 5                  | 0                  | 0                            |
| 8:45-9:00   | 0         | 16              | 31                  | 2           | 2                 | 22                               | 4                  | 0                  | 0                            |
| 11:00-11:15 | 0         | 6               | 2                   | 0           | 1                 | 10                               | 0                  | 0                  | 0                            |
| 11:15-11:30 | 0         | 6               | 10                  | 0           | 1                 | 7                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 11:30-11:45 | 0         | 8               | 8                   | 0           | 0                 | 9                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 11:45-12:00 | 0         | 8               | 4                   | 0           | 1                 | 14                               | 1                  | 0                  | 0                            |
| 12:00-12:15 | 0         | 2               | 6                   | 0           | 3                 | 9                                | 2                  | 0                  | 0                            |
| 12:15-12:30 | 0         | 3               | 12                  | 0           | 1                 | 7                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 12:30-12:45 | 0         | 4               | 10                  | 0           | 1                 | 7                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 12:45-13:00 | 0         | 5               | 9                   | 0           | 0                 | 9                                | 1                  | 0                  | 0                            |
| 15:00-15:15 | 0         | 7               | 7                   | 1           | 1                 | 6                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 15:15-15:30 | 0         | 5               | 5                   | 0           | 1                 | 7                                | 1                  | 0                  | 0                            |
| 15:30-15:45 | 1         | 11              | 8                   | 0           | 0                 | 9                                | 2                  | 0                  | 0                            |
| 15:45-16:00 | 0         | 16              | 15                  | 2           | 2                 | 16                               | 1                  | 0                  | 0                            |
| 16:00-16:15 | 2         | 11              | 10                  | 0           | 0                 | 8                                | 0                  | 0                  | 0                            |
| 16:15-16:30 | 0         | 6               | 9                   | 0           | 0                 | 10                               | 2                  | 0                  | 0                            |
| 16:30-16:45 | 0         | 9               | 11                  | 1           | 0                 | 5                                | 1                  | 0                  | 0                            |
| 16:45-17:00 | 0         | 6               | 10                  | 0           | 1                 | 7                                | 0                  | 0                  | 0                            |

หมายเหตุ สํารวจ วันพฤหัสบดี ที่ 21 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทาง จาก มหาวิทยาลัยฯ เลี้ยวซ้ายไป สามแยกปัก

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์   | รถยนต์นั่ง<br>4 ล้อ | รถบัส<br>ขนาด<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว<br>4 ล้อ<br>ซูบารุและ<br>รถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถพ่วง |
|-------------|-----------|-----------------|---------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Time        |           | รถสามล้อเครื่อง | รถโฟล์ค             |                                  |                   |                                  |                                         |                    |                          |
| 7:00-7:15   | 0         | 3               | 4                   | 0                                | 0                 | 2                                | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 7:15-7:30   | 1         | 2               | 8                   | 0                                | 0                 | 6                                | 0                                       | 0                  | 0                        |
| 7:30-7:45   | 1         | 7               | 7                   | 0                                | 0                 | 8                                | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 7:45-8:00   | 0         | 5               | 11                  | 0                                | 0                 | 8                                | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 8:00-8:15   | 0         | 5               | 9                   | 0                                | 0                 | 5                                | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 8:15-8:30   | 0         | 2               | 7                   | 0                                | 0                 | 2                                | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 8:30-8:45   | 0         | 4               | 4                   | 0                                | 0                 | 7                                | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 8:45-9:00   | 0         | 4               | 8                   | 0                                | 0                 | 3                                | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 11:00-11:15 | 0         | 10              | 14                  | 0                                | 0                 | 10                               | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 11:15-11:30 | 0         | 9               | 12                  | 1                                | 0                 | 17                               | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 11:30-11:45 | 0         | 8               | 19                  | 0                                | 0                 | 11                               | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 11:45-12:00 | 0         | 6               | 12                  | 0                                | 0                 | 11                               | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 12:00-12:15 | 0         | 5               | 15                  | 0                                | 0                 | 15                               | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 12:15-12:30 | 0         | 7               | 17                  | 0                                | 0                 | 10                               | 0                                       | 0                  | 0                        |
| 12:30-12:45 | 0         | 6               | 14                  | 0                                | 0                 | 10                               | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 12:45-13:00 | 0         | 3               | 15                  | 0                                | 0                 | 7                                | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 15:00-15:15 | 0         | 6               | 8                   | 0                                | 0                 | 8                                | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 15:15-15:30 | 0         | 4               | 5                   | 0                                | 0                 | 9                                | 1                                       | 0                  | 0                        |
| 15:30-15:45 | 0         | 11              | 4                   | 0                                | 0                 | 11                               | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 15:45-16:00 | 0         | 4               | 6                   | 0                                | 0                 | 7                                | 2                                       | 0                  | 0                        |
| 16:00-16:15 | 0         | 5               | 9                   | 0                                | 0                 | 11                               | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 16:15-16:30 | 0         | 7               | 7                   | 0                                | 0                 | 7                                | 3                                       | 0                  | 0                        |
| 16:30-16:45 | 0         | 11              | 9                   | 0                                | 0                 | 9                                | 4                                       | 1                  | 0                        |
| 16:45-17:00 | 0         | 10              | 14                  | 0                                | 0                 | 10                               | 1                                       | 0                  | 0                        |

หมายเหตุ สำรวจ วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก มหาวิทยาลัยฯ เลี้ยวขวาไป ปักธงชัย

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถจักรยาน<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรก<br>เตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| Time        |           |                                  |                                |                              |                   |                                  |                                     |                    |                                  |
| 7:00-7:15   | 0         | 2                                | 2                              | 0                            | 0                 | 2                                | 1                                   | 0                  | 0                                |
| 7:15-7:30   | 0         | 1                                | 5                              | 1                            | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 7:30-7:45   | 0         | 0                                | 2                              | 0                            | 0                 | 4                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 7:45-8:00   | 0         | 0                                | 6                              | 0                            | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 8:00-8:15   | 0         | 0                                | 8                              | 0                            | 0                 | 4                                | 2                                   | 0                  | 0                                |
| 8:15-8:30   | 0         | 1                                | 2                              | 0                            | 0                 | 4                                | 1                                   | 0                  | 0                                |
| 8:30-8:45   | 0         | 3                                | 1                              | 0                            | 0                 | 1                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 8:45-9:00   | 0         | 1                                | 2                              | 0                            | 0                 | 1                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 11:00-11:15 | 0         | 3                                | 6                              | 0                            | 1                 | 4                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 11:15-11:30 | 0         | 2                                | 2                              | 0                            | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 11:30-11:45 | 0         | 2                                | 2                              | 0                            | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 11:45-12:00 | 0         | 6                                | 1                              | 0                            | 1                 | 5                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 12:00-12:15 | 0         | 1                                | 6                              | 1                            | 2                 | 5                                | 1                                   | 0                  | 0                                |
| 12:15-12:30 | 0         | 2                                | 5                              | 0                            | 0                 | 4                                | 0                                   | 1                  | 0                                |
| 12:30-12:45 | 0         | 4                                | 4                              | 0                            | 0                 | 5                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 12:45-13:00 | 0         | 2                                | 4                              | 0                            | 0                 | 4                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 15:00-15:15 | 0         | 1                                | 2                              | 0                            | 0                 | 4                                | 1                                   | 0                  | 0                                |
| 15:15-15:30 | 0         | 4                                | 5                              | 0                            | 0                 | 1                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 15:30-15:45 | 0         | 6                                | 2                              | 0                            | 0                 | 2                                | 1                                   | 0                  | 0                                |
| 15:45-16:00 | 0         | 4                                | 7                              | 0                            | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 16:00-16:15 | 0         | 8                                | 4                              | 0                            | 0                 | 5                                | 2                                   | 0                  | 0                                |
| 16:15-16:30 | 0         | 2                                | 3                              | 0                            | 0                 | 5                                | 3                                   | 0                  | 0                                |
| 16:30-16:45 | 0         | 3                                | 8                              | 0                            | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                                |
| 16:45-17:00 | 0         | 2                                | 5                              | 0                            | 0                 | 1                                | 2                                   | 0                  | 0                                |

หมายเหตุ ดำรง วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

## ทิศทางจาก สามแยกปึก ตรงไป ปักธงชัย

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง 4<br>ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถจักรยาน<br>กลางและใหญ่ | รถบรรทุก<br>6 ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| Time        |           |                                  |                                |                          |                   |                                  |                                     |                    |                              |
| 7:00-7:15   | 0         | 19                               | 19                             | 4                        | 2                 | 22                               | 2                                   | 1                  | 2                            |
| 7:15-7:30   | 1         | 21                               | 24                             | 2                        | 1                 | 28                               | 3                                   | 3                  | 7                            |
| 7:30-7:45   | 0         | 11                               | 18                             | 0                        | 4                 | 30                               | 4                                   | 1                  | 4                            |
| 7:45-8:00   | 0         | 5                                | 16                             | 2                        | 3                 | 32                               | 1                                   | 3                  | 2                            |
| 8:00-8:15   | 0         | 5                                | 10                             | 0                        | 2                 | 17                               | 1                                   | 1                  | 2                            |
| 8:15-8:30   | 0         | 6                                | 11                             | 1                        | 2                 | 17                               | 3                                   | 2                  | 4                            |
| 8:30-8:45   | 1         | 28                               | 38                             | 3                        | 3                 | 40                               | 2                                   | 2                  | 5                            |
| 8:45-9:00   | 0         | 7                                | 11                             | 2                        | 1                 | 20                               | 2                                   | 1                  | 2                            |
| 11:00-11:15 | 0         | 17                               | 31                             | 5                        | 5                 | 32                               | 3                                   | 3                  | 8                            |
| 11:15-11:30 | 0         | 30                               | 53                             | 2                        | 2                 | 41                               | 4                                   | 2                  | 0                            |
| 11:30-11:45 | 1         | 32                               | 52                             | 2                        | 5                 | 46                               | 2                                   | 2                  | 4                            |
| 11:45-12:00 | 0         | 25                               | 41                             | 1                        | 3                 | 35                               | 3                                   | 1                  | 5                            |
| 12:00-12:15 | 0         | 19                               | 22                             | 1                        | 4                 | 45                               | 6                                   | 4                  | 3                            |
| 12:15-12:30 | 0         | 17                               | 35                             | 2                        | 3                 | 41                               | 4                                   | 2                  | 4                            |
| 12:30-12:45 | 0         | 11                               | 30                             | 2                        | 9                 | 37                               | 5                                   | 4                  | 6                            |
| 12:45-13:00 | 0         | 10                               | 16                             | 3                        | 4                 | 27                               | 3                                   | 3                  | 2                            |
| 15:00-15:15 | 0         | 17                               | 22                             | 1                        | 3                 | 38                               | 4                                   | 2                  | 5                            |
| 15:15-15:30 | 0         | 16                               | 28                             | 2                        | 3                 | 40                               | 5                                   | 2                  | 5                            |
| 15:30-15:45 | 0         | 16                               | 26                             | 3                        | 1                 | 37                               | 4                                   | 1                  | 8                            |
| 15:45-16:00 | 0         | 20                               | 25                             | 2                        | 5                 | 48                               | 3                                   | 2                  | 5                            |
| 16:00-16:15 | 0         | 16                               | 34                             | 2                        | 3                 | 35                               | 4                                   | 1                  | 4                            |
| 16:15-16:30 | 0         | 18                               | 35                             | 1                        | 3                 | 48                               | 1                                   | 2                  | 5                            |
| 16:30-16:45 | 0         | 16                               | 25                             | 1                        | 4                 | 38                               | 7                                   | 1                  | 3                            |
| 16:45-17:00 | 0         | 18                               | 39                             | 1                        | 1                 | 39                               | 6                                   | 1                  | 4                            |

หมายเหตุ สํารวจ วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก สามแยกปึก เลี้ยวขวาไป ปักธงชัย

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง<br>4 ล้อ<br>รถโฟล์ค<br>รถตู้ | รถโดยสาร<br>กลางและ<br>ใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิกอัพและ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถพ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Time        |           |                                  |                                         |                             |                   |                                  |                                     |                    |                          |
| 7:00-7:15   | 0         | 2                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 7:15-7:30   | 1         | 1                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 7:30-7:45   | 0         | 1                                | 6                                       | 0                           | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 7:45-8:00   | 0         | 1                                | 5                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:00-8:15   | 0         | 2                                | 8                                       | 0                           | 0                 | 4                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 8:15-8:30   | 0         | 3                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:30-8:45   | 0         | 0                                | 6                                       | 0                           | 0                 | 5                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:45-9:00   | 0         | 1                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 4                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 11:00-11:15 | 0         | 0                                | 2                                       | 0                           | 0                 | 0                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 11:15-11:30 | 0         | 1                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 11:30-11:45 | 0         | 0                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 4                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 11:45-12:00 | 0         | 2                                | 2                                       | 0                           | 0                 | 1                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 12:00-12:15 | 0         | 2                                | 3                                       | 0                           | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 12:15-12:30 | 0         | 1                                | 1                                       | 0                           | 0                 | 3                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 12:30-12:45 | 0         | 0                                | 1                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 12:45-13:00 | 0         | 0                                | 4                                       | 0                           | 0                 | 2                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:00-15:15 | 0         | 2                                | 10                                      | 0                           | 1                 | 7                                | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:15-15:30 | 0         | 1                                | 5                                       | 0                           | 0                 | 5                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 15:30-15:45 | 0         | 4                                | 7                                       | 0                           | 0                 | 5                                | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 15:45-16:00 | 0         | 3                                | 11                                      | 0                           | 0                 | 3                                | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 16:00-16:15 | 0         | 4                                | 7                                       | 1                           | 1                 | 11                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 16:15-16:30 | 0         | 1                                | 8                                       | 0                           | 0                 | 10                               | 3                                   | 0                  | 0                        |
| 16:30-16:45 | 0         | 1                                | 14                                      | 0                           | 1                 | 9                                | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 16:45-17:00 | 0         | 3                                | 10                                      | 0                           | 0                 | 8                                | 3                                   | 0                  | 0                        |

หมายเหตุ สํารวจ วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางจาก ปักธงชัย ตรงไป สามแยกปัก

| Time        | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง<br>4 ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถจักรยาน<br>กลางและใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิคอัพ<br>และ<br>รถบรรทุก 4<br>ล้อ | รถสองแถว<br>4 ล้อ<br>ซูบารุและ<br>รถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถ<br>พ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 7:00-7:15   | 0         | 15                               | 21                             | 1                        | 2                 | 10                                   | 3                                       | 1                  | 1                            |
| 7:15-7:30   | 0         | 27                               | 32                             | 5                        | 3                 | 39                                   | 10                                      | 2                  | 5                            |
| 7:30-7:45   | 0         | 21                               | 34                             | 1                        | 5                 | 39                                   | 5                                       | 1                  | 5                            |
| 7:45-8:00   | 0         | 20                               | 21                             | 2                        | 5                 | 42                                   | 3                                       | 4                  | 5                            |
| 8:00-8:15   | 0         | 12                               | 24                             | 1                        | 4                 | 53                                   | 3                                       | 1                  | 6                            |
| 8:15-8:30   | 0         | 15                               | 22                             | 1                        | 5                 | 33                                   | 2                                       | 1                  | 4                            |
| 8:30-8:45   | 0         | 14                               | 39                             | 4                        | 3                 | 43                                   | 2                                       | 2                  | 9                            |
| 8:45-9:00   | 0         | 9                                | 26                             | 1                        | 1                 | 27                                   | 2                                       | 1                  | 5                            |
| 11:00-11:15 | 0         | 33                               | 54                             | 3                        | 2                 | 43                                   | 10                                      | 2                  | 4                            |
| 11:15-11:30 | 0         | 49                               | 58                             | 5                        | 3                 | 46                                   | 11                                      | 1                  | 6                            |
| 11:30-11:45 | 0         | 46                               | 62                             | 1                        | 1                 | 64                                   | 7                                       | 1                  | 7                            |
| 11:45-12:00 | 0         | 52                               | 47                             | 1                        | 3                 | 62                                   | 2                                       | 2                  | 7                            |
| 12:00-12:15 | 0         | 40                               | 41                             | 1                        | 8                 | 56                                   | 3                                       | 3                  | 6                            |
| 12:15-12:30 | 0         | 26                               | 45                             | 2                        | 9                 | 53                                   | 3                                       | 2                  | 4                            |
| 12:30-12:45 | 0         | 19                               | 26                             | 1                        | 5                 | 59                                   | 3                                       | 3                  | 7                            |
| 12:45-13:00 | 0         | 15                               | 35                             | 2                        | 4                 | 36                                   | 3                                       | 1                  | 7                            |
| 15:00-15:15 | 0         | 7                                | 25                             | 1                        | 4                 | 40                                   | 3                                       | 1                  | 5                            |
| 15:15-15:30 | 0         | 11                               | 28                             | 3                        | 7                 | 41                                   | 5                                       | 1                  | 4                            |
| 15:30-15:45 | 0         | 12                               | 37                             | 1                        | 4                 | 41                                   | 6                                       | 3                  | 4                            |
| 15:45-16:00 | 0         | 17                               | 27                             | 1                        | 5                 | 51                                   | 5                                       | 4                  | 6                            |
| 16:00-16:15 | 0         | 23                               | 40                             | 2                        | 4                 | 52                                   | 1                                       | 2                  | 4                            |
| 16:15-16:30 | 1         | 25                               | 39                             | 2                        | 4                 | 47                                   | 5                                       | 3                  | 5                            |
| 16:30-16:45 | 1         | 24                               | 52                             | 2                        | 4                 | 58                                   | 4                                       | 3                  | 6                            |
| 16:45-17:00 | 0         | 28                               | 56                             | 2                        | 5                 | 50                                   | 3                                       | 3                  | 6                            |

หมายเหตุ สํารวจ วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

ทิศทางการปฏิกิริยาของเชื้อไวรัสเข้าสู่ มหาวิทยาลัยฯ

|             | รถจักรยาน | รถจักรยานยนต์<br>รถสามล้อเครื่อง | รถยนต์นั่ง<br>4 ล้อ<br>รถโฟล์ค | รถโดยสารขนาด<br>กลางและใหญ่ | รถบรรทุก 6<br>ล้อ | รถปิคอัพ<br>และ<br>รถบรรทุก<br>4 ล้อ | รถสองแถว 4<br>ล้อ<br>ซูบารุและรถตู้ | รถบรรทุก<br>10 ล้อ | รถแทรกเตอร์<br>และรถพ่วง |
|-------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Time        |           |                                  |                                |                             |                   |                                      |                                     |                    |                          |
| 7:00-7:15   | 0         | 1                                | 2                              | 0                           | 0                 | 3                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 7:15-7:30   | 0         | 2                                | 5                              | 1                           | 0                 | 2                                    | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 7:30-7:45   | 1         | 7                                | 9                              | 0                           | 0                 | 5                                    | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 7:45-8:00   | 0         | 4                                | 5                              | 0                           | 0                 | 9                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:00-8:15   | 0         | 4                                | 5                              | 0                           | 1                 | 6                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:15-8:30   | 0         | 7                                | 7                              | 0                           | 0                 | 6                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 8:30-8:45   | 0         | 5                                | 4                              | 0                           | 0                 | 4                                    | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 8:45-9:00   | 0         | 9                                | 6                              | 0                           | 0                 | 3                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 11:00-11:15 | 0         | 4                                | 9                              | 0                           | 0                 | 6                                    | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 11:15-11:30 | 0         | 4                                | 6                              | 0                           | 0                 | 6                                    | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 11:30-11:45 | 0         | 3                                | 4                              | 0                           | 0                 | 4                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 11:45-12:00 | 0         | 7                                | 6                              | 0                           | 0                 | 8                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 12:00-12:15 | 0         | 5                                | 9                              | 0                           | 2                 | 7                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 12:15-12:30 | 0         | 2                                | 5                              | 0                           | 0                 | 4                                    | 0                                   | 1                  | 0                        |
| 12:30-12:45 | 0         | 3                                | 1                              | 0                           | 0                 | 4                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 12:45-13:00 | 0         | 9                                | 7                              | 0                           | 0                 | 9                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:00-15:15 | 0         | 4                                | 9                              | 0                           | 1                 | 8                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:15-15:30 | 0         | 2                                | 4                              | 0                           | 2                 | 7                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:30-15:45 | 1         | 6                                | 4                              | 0                           | 1                 | 9                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 15:45-16:00 | 0         | 5                                | 6                              | 0                           | 1                 | 8                                    | 1                                   | 0                  | 0                        |
| 16:00-16:15 | 0         | 7                                | 8                              | 0                           | 1                 | 7                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 16:15-16:30 | 0         | 8                                | 5                              | 0                           | 0                 | 9                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |
| 16:30-16:45 | 0         | 4                                | 7                              | 0                           | 0                 | 7                                    | 2                                   | 0                  | 0                        |
| 16:45-17:00 | 0         | 5                                | 5                              | 0                           | 1                 | 6                                    | 0                                   | 0                  | 0                        |

หมายเหตุ สํารวจ วันอาทิตย์ ที่ 24 กุมภาพันธ์ 2556

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวพรทิตา งามะพันธ์ เกิดวันพฤหัสบดี ที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2531 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษา ที่โรงเรียนอนุบาลสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จากนั้น ปี 2549 เริ่มศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะที่ทำการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้เข้า ฝึกงานสหกิจศึกษา กับบริษัท พีซีบีเค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด จังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นเวลา 4 เดือน หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ในปี 2554 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ณ สถาบันการศึกษาเดิม ปัจจุบัน เป็นผู้ช่วยโครงการวิจัย สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

