การประมาณความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรโดย ใช้ข้อมูลแถบสีแสดงสภาพจราจรจาก Google Maps

นายพงศ์พัฒน์ จอดนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศกรรมโยธา ขนส่ง และทรัพยากรธรณี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

ESTIMATION OF QUEUE LENGTHS AT A SIGNALIZED INTERSECTION USING GOOGLE MAPS' COLOR-CODED TRAFFIC INFORMATION

Pongpat Jodnok

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Civil, Transportation and Geo-Resources Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

การประมาณความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร โดยใช้ข้อมูลแถบสีแสดงสภาพจราจรจาก Google Maps

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ร.อ. ดร.สุทธิพงษ์ มีใย)
ประธานกรรมการ

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

(อ. ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม)
กรรมการ

(อ. ดร.สุธาทิพย์ ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ

(อ. ดร.ศิรดล ศิริธร)
กรรมการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พงศ์พัฒน์ จอดนอก : การประมาณความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ข้อมูลแถบสีแสดงสภาพจราจรจาก Google Maps (ESTIMATION OF QUEUE LENGTHS AT A SIGNALIZED INTERSECTION USING GOOGLE MAPS' COLOR-CODED TRAFFIC INFORMATION) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์, 77 หน้า.

ปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณทางแยกไฟสัญญาณจราจรเป็นปัญหาที่พบเจอได้บ่อยในเขตเมือง บ่อยครั้งพบว่ารถฉุกเฉินเช่นรถพยาบาลต้องติดอยู่ในแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟส่งผลให้การเดินทางรับส่งผู้ป่วยเป็นไปอย่างล่าช้าและอาจเป็นสาเหตุของการสูญเสียตามมา งานวิจัยฉบับนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบไฟสัญญาณจราจรอัจฉริยะเพื่อให้สิทธิพิเศษในการผ่านทางแก่รถฉุกเฉิน โดยมุ่งเน้นพัฒนาวิธีการในการตรวจวัดความยาวของแถวคอยแบบแปรผันตามเวลาบริเวณทางแยกที่มีไฟสัญญาณจราจรซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญส่วนหนึ่งในการดำเนินการของระบบ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้วิธีการวิเคราะห์ความยาวแถวคอยด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดจราจร แต่ทางแยกส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังไม่มีการติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางใหม่เพื่อใช้ในกรณีที่บริเวณทางแยกไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดจราจร โดยอาศัยข้อมูลแถบสีจาก Google Maps ในการประมาณค่าระยะความยาวแถวคอยโดยแบ่งแบบจำลองออกตามเงื่อนไขหลายกรณี ได้แก่ การใช้ข้อมูลจากแถบสีของ Google Maps ในการสร้างแบบจำลองซึ่งมีกรณีใช้หกแถบแรกหรือกรณีใช้สามแถบแรก การพิจารณาตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ยหรือค่าสูงสุดของความยาวแถวคอยจากทุกช่องจราจร การพิจารณาสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาที่เป็นสัญญาณไฟแดงหรือทั้งช่วงที่เป็นสัญญาณไฟแดงและไฟเขียว การพิจารณาลักษณะทางกายภาพของทิศทางฝั่งที่สร้างแบบจำลองว่ามีหรือไม่มีทางแยกก่อนหน้า และการพิจารณาแยกสร้างแบบจำลองตามช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน ผ่านวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธีได้แก่ วิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ อัลกอริทึมการพยากรณ์แบบการสุ่มป่าไม้ (Random Forest) และวิธีการใช้ค่าเฉลี่ยของความยาวแถวคอยในอดีตในกรณีต่าง ๆ มาใช้ในการพยากรณ์ จากการศึกษาพบว่า แบบจำลองโดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณและ Random Forest จะสามารถประมาณค่าแนวโน้มความยาวแถวคอยที่เกิดขึ้นจริงได้ดีในระดับหนึ่งและมีความสัมพันธ์กันมากขึ้นเมื่อแบ่งตามทิศทางที่มีหรือไม่มีทางแยกสัญญาณไฟก่อนหน้าและช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน โดยพบว่าวิธี Random Forest Model สามารถพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยได้ดีที่สุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ โดยเป็นการใช้ข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงและใช้ข้อมูลแถบสีจำนวนสามแถบแรก

สาขาวิชา วิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PONGPAT JODNOK : ESTIMATION OF QUEUE LENGTHS AT A SIGNALIZED INTERSECTION USING GOOGLE MAPS' COLOR-CODED TRAFFIC INFORMATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. RATTAPHOL PUEBOOBPAPHAN, Ph.D., 77 PP.

QUEUE LENGTH/GOOGLE MAPS/RANDOM FOREST/SIGNALIZED INTERSECTION

Traffic jam, at a signalized intersection, is a common problem in urban areas that emergency vehicles such as ambulances are usually stuck in a queue. Thus, emergency medical transportation may be impeded leading to unnecessary damage or death. This research aims to develop an intelligent traffic signal system that prioritizes emergency vehicles. The main focus is developing a method for measuring the queue length at a signalized intersection, which is an integral part of the system's operation. In the past, most of research analyzed the queue lengths by using traffic detectors, but they have rarely been installed and used in Thailand. In this research, we present a new approach to estimate the queue length that does not need a traffic detector, instead it utilized color-coded traffic data from Google Maps to predict the queue length, to create the model which are based on different conditions. Several models were considered and developed in this research. The first attempt was by using different number of color bands from Google Maps: i.e., the first six bands and the first three bands from stop line. Secondly, two types of dependent variables (queue length) were considered: i.e., the average queue length or the maximum queue length across all lanes. Thirdly, the models were distinguished by whether it was developed using data during red signal periods only or both red and green signal periods. Fourthly, model separation was

further considered whether the approach has or doesn't have an adjacent signalized intersection prior to arriving the subject intersection. Lastly, the models were differentiated based on whether the analysis period is in the peak or off-peak period. Three methods were considered in this research: i.e., Multiple Linear Regression (MLR), Random Forest (RF), and using an average of the past queue length data for prediction (MEAN). The study found that the MLR and RF provide better prediction of the actual queue length trend particularly when approach characteristics (has or doesn't have adjacent signalized intersection) and analysis period (peak or off-peak) were taken into consideration. Among the three methods, the RF model that used only data from red period and the first three color bands yields the best performance in predicting the queue lengths.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Transportation Engineering

Academic Year 2021

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตา อบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียนและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก ดร.สุทธิพงษ์ มีใย ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำคำปรึกษาชี้แนะแนวทางการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.ณัฐภรณ์ เจริญธรรม อาจารย์ ดร.สุธาทิพย์ ภู่บุบผาพันธ์ อาจารย์ ดร.ศิรดล ศิริธร กรรมการ ที่กรุณาให้การแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

นางสาวมณฑิรา ภมรมงคลชัย นายณัฐกฤษฎิ์ เหล่าเจริญ นายวิมล หล้าพรหม และเพื่อน ๆ ที่ร่วมเรียนระดับปริญญาโทที่คอยให้กำลังใจ และให้คำปรึกษามาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายสุวัฒน์ จอดนอก นางหนูรัตน์ จอดนอก บิดา-มารดา และครอบครัว ที่ให้การอุปการะ อบรม เลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

พงศ์พัฒน์ จอดนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฌ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 คำถามงานวิจัย 2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา 3
2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีด้านการจราจร 4
2.1.1 ทฤษฎีแถวคอย (Queueing Theory) 4
2.1.2 การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave Analysis) 5
2.1.3 กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot) 6
2.1.4 แผนภูมิเวลากับระยะทาง (Time-Space Diagram) 8
2.2 โปรแกรมและแบบจำลองการพยากรณ์ 8
2.2.1 Linear Regression Model 9
2.2.2 Random Forest Model 10
2.2.3 การวัดความผิดพลาดของการพยากรณ์ 12
2.3 ข้อมูลจาก Google Maps 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.4.1 การประมาณระยะแถวคอยในอดีต 13
2.4.2 การใช้ Google Map ในงานด้านขนส่ง 23
2.5 สรุปแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 24
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 26
3.1 บริเวณพื้นที่ศึกษา 26
3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูล 27
3.2.1 การเก็บข้อมูลจาก Google Maps 27
3.2.2 การเก็บข้อมูลระยะความยาวแถวคอยจริง 29
3.2.3 ปริมาณจราจร (Traffic Volume) 31
3.3 การสร้างแบบจำลอง 31
3.3.1 ข้อมูลและตัวแปร 31
3.3.2 การแบ่งกรณีในการสร้างแบบจำลอง (Case Study) 33
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 39
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้น 39
4.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์ 41
4.2.1 วิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) 45
4.2.2 วิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max) 47
4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าแถวคอยจริงกับแถวคอยที่ได้จากแบบจำลอง 50
5 สรุปผลการศึกษา 57
5.1 สรุปผลการประมาณค่าระยะความยาวแถวคอยจาก Google Maps 57
5.2 ข้อเสนอแนะ 59
รายการอ้างอิง 60
ภาคผนวก 62
ประวัติผู้เขียน 77

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ 18
3.1 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลจาก Google Maps 28
3.2 ตัวอย่างแบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลระยะความยาวแถวคอยจริง 30
3.3 แสดงตัวแปร (X) ระยะความยาวจาก Google Maps 32
3.4 แสดงตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง 33
4.1 แสดงค่าทางสถิติเบื้องต้นของระยะความยาวแถวคอยจริง 40
4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลอง 41

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 คลื่นกระแทก (Shockwave) 6
2.2 กราฟปริมาณจราจรสะสม 7
2.3 แผนภูมิเวลากับระยะทาง 8
2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างค่า Y_i ที่เกิดขึ้นจริงและ **Y** ที่ได้จากค่าประมาณ 10
2.5 การทำงานของ Decision Tree ใน Random Forest 11
2.6 แถบสีบน Google Map 13
2.7 กราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือน 14
2.8 การเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้น ณ เวลา t_1 และ t_2 15
2.9 การประมาณแถวคอยกรณีที่ความยาวแถวคอยล้นเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยพิจารณาจุด Breakpoint 17
2.10 การหาจุด Breakpoint A, B และ C ที่วัดได้จาก Occupancy Time 17
2.11 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอย ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร 22
2.12 แผนภาพเวลากับระยะทางที่เกิดขึ้น 23
3.1 บริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา 26
3.2 โปรแกรม Auto Screen Capture และ Auto Refresh 28
3.3 แสดงความยาวแถบสีบน Google Maps 28
3.4 ตัวอย่างแผนที่แสดงระยะความยาว (ทิศทางขาเข้าเมืองนครราชสีมา) 29
3.5 ระยะความยาวแถวคอยกรณีมีรถบางส่วนเคลื่อนที่ได้ 30
3.6 การแบ่งกรณีศึกษาของข้อมูล 34
3.7 แสดงการแบ่งช่วงเวลาเร่งด่วนโดยใช้ปริมาณจราจรแยกวันธรรมดาและวันหยุด 35
3.8 แสดงกรณีในการศึกษาทั้งหมด 37
4.1 แสดงแผนภาพเศษเหลือ (Residuals Plot) 43
4.2 แสดงค่าระหว่าง Residuals และ Order 44
4.3 แสดงค่า Coefficients กรณีตัวแปรอิสระแถบสีทั้งหมด (X11-X63) และตัวแปรตาม (Y_Avg) 46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 แสดงค่า Coefficients กรณีตัวแปรอิสระสามแถบสีแรก (X11-X33) และตัวแปรตาม (Y_Max) 49
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแถวคอยจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้ตามช่วงเวลาของแต่ละวิธีที่ดีที่สุดของตัวแปรตาม Y_Avg ที่เกิดในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดงเท่านั้น 53
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแถวคอยจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้ตามช่วงเวลาของแต่ละวิธีที่ดีที่สุดของตัวแปรตาม Y_Max ที่เกิดในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดงเท่านั้น 54
4.7 แสดงผลการพยากรณ์ของแบบจำลอง 56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สภาพการจราจรติดขัดบนท้องถนนในปัจจุบันอาจเป็นปัญหาที่หลายคนเคยพบเจอ เช่นเดียวกับรถฉุกเฉิน (Emergency Vehicle) ที่ต้องเดินทางเพื่อรับส่งผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาแบบเร่งด่วนแต่ต้องติดอยู่บริเวณทางแยกไฟสัญญาณจราจรเป็นเวลานาน ทำให้เกิดความล่าช้าในการให้ความช่วยเหลืออาจส่งผลกระทบร้ายแรงถึงชีวิตของผู้ป่วยได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาหาแนวทางของการลดความล่าช้าบริเวณทางแยกไฟสัญญาณจราจรของรถฉุกเฉิน ซึ่งในอนาคตอาจจะต้องมีเทคโนโลยีที่เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตู้ควบคุมไฟสัญญาณจราจร เมื่อทราบว่ารถฉุกเฉินกำลังเดินทางเข้ามาใกล้ทางแยกแล้วให้สามารถปรับเปลี่ยนไฟสัญญาณจราจรโดยอัตโนมัติเพื่อเปิดสัญญาณไฟเขียวปล่อยให้รถที่หยุดรออยู่ก่อนหน้าจนเกิดเป็นแถวคอยบริเวณทางแยกสามารถเดินทางต่อไปได้ เพื่อรองรับการเดินทางของรถฉุกเฉินให้สามารถเดินทางผ่านไปได้โดยไม่ต้องหยุดรถ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงระยะความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกในขณะที่ทราบว่ารถฉุกเฉินกำลังจะมาถึง จึงเป็นที่มาการศึกษาของงานวิจัยฉบับนี้ที่ต้องการจะประมาณระยะความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกไฟสัญญาณจราจร และจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้มีวิธีการประมาณระยะความยาวแถวคอยที่เป็นที่นิยมคือ การประมาณระยะแถวคอยโดยใช้ Detector ร่วมกับทฤษฎี LWR Shockwave Theory (Lighthill MJ, Whitham GB, 1955) ซึ่งทฤษฎีนี้มีการพัฒนาให้สามารถใช้งานกับทางแยกได้เหมาะสมมากขึ้นแต่ในภายหลังพบว่าการประมาณระยะความยาวแถวคอยโดยใช้ Detector ไม่สามารถประมาณระยะความยาวแถวคอยที่มีแถวคอยยาวเกินกว่าจุดติดตั้ง Detector ได้อย่างแม่นยำทำให้มีงานศึกษาที่พยายามยืนยันว่าการประมาณระยะความยาวแถวคอยมีความแม่นยำเมื่อใช้ Loop Detector (Henry X. LIU, Xinkai WU, Wenteng MA, et al., 2009) แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังไม่มีการติดตั้ง Detector ที่บริเวณทางแยกเนื่องจากมีต้นทุนในการติดตั้งค่อนข้างสูง

ดังนั้นจึงต้องหาแนวทางที่สามารถใช้ในการประมาณระยะความยาวแถวคอยได้อย่างมีประสิทธิภาพและผู้ใช้งานเข้าถึงง่าย ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าระยะความยาวและลักษณะสีของแถบสีที่แสดงบน Google Maps อาจจะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สามารถใช้ประมาณระยะความยาวแถวคอยได้โดยอาศัยการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวแถวคอยกับลักษณะความยาวแถบสีของ Google

Maps ผ่านการสร้างแบบจำลอง (Model) ในการประมาณระยะความยาวแถวคอย และเพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากขึ้นจึงต้องมีการศึกษาในหลายช่วงเวลาและมีความหลากหลายของสภาพการจราจรที่แตกต่างกันด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการประมาณระยะความยาวแถวคอยจากข้อมูลแถบสีแสดงสภาพจราจรจาก Google Maps

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลในการประมาณระยะความยาวแถวคอยโดยใช้ข้อมูลแถบสีจาก Google Maps โดยมีปัจจัยที่พิจารณา ดังนี้

- ช่วงเวลาเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วน
- ลักษณะของทางแยก เช่น ทางแยกเดี่ยว หรือทางแยกที่มีทางแยกอื่นอยู่ในระยะใกล้เคียงในทิศทางก่อนถึงบริเวณแยกที่พิจารณา

1.3 คำถามงานวิจัย

1.3.1 ข้อมูลแถบสีใน Google Maps มีความสัมพันธ์กับแถวคอยแบบ Real-time หรือไม่อย่างไร

1.3.2 จะสามารถระบุค่าความยาวของแถวคอยจริงบนถนนที่มีหลายช่องจราจรได้อย่างไร ที่จะเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

1.3.3 จะสามารถถอดข้อมูลจาก Google Maps เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองได้อย่างไร

1.3.4 จะสร้างตัวแปรในชุดข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาแบบจำลองโดยเทคนิค Machine Learning ได้อย่างไร

1.3.5 จำนวนชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibrate และ Validate)

1.3.6 ในกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง จะใช้วิธีการใดในการ Calibrate และ Validate แบบจำลอง

1.3.7 จะประเมินค่าความแม่นยำของแบบจำลองได้อย่างไร

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 การประมาณระยะความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรจะวิเคราะห์จากระยะความยาวและลักษณะสีของแถบสีแสดงสภาพจราจรที่ปรากฏบน Google Maps

1.4.2 การสร้างแบบจำลองโดยอาศัยเทคนิค Machine Learning ได้แก่ Linear Regression Model (LRM) และ Random Forest Model (RFM) ในการหาความสัมพันธ์และเรียนรู้พฤติกรรมของแถบสีบน Google Maps เพื่อการประมาณระยะความยาวแถวคอย

1.4.3 พื้นที่การศึกษา ได้แก่ ทางแยกโรงพยาบาลกรุงเทพ-ราชสีมา ซึ่งเป็นทางแยกสัญญาณไฟจราจรบนถนนเส้นหลักของเมืองนครราชสีมาใกล้กับห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประมาณระยะความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรได้ ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่งโดยใช้ข้อมูลแถบสีแสดงสภาพจราจรจาก Google Maps ให้ผลลัพธ์อย่างถูกต้องเหมาะสมและเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาตู้ควบคุมสัญญาณไฟจราจรให้สามารถรองรับการเดินทางของรถฉุกเฉินได้ในอนาคต

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

เนื่องจากข้อกำกัดเรื่องเวลาและงบประมาณ ในการศึกษาจึงไม่สามารถศึกษาทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่มีปัจจัยและกายภาพที่แตกต่างกันได้หลายกรณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีด้านการจราจร

ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจรที่สามารถประยุกต์ใช้ในการหาความยาวแถวคอยนั้น ประกอบไปด้วย 3 ทฤษฎีหลักๆ ได้แก่ การใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot) การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave Analysis) และการใช้แผนภาพเวลากับระยะทาง (Time-Space diagram) โดยในแต่ละทฤษฎีต่างก็มีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้อมูลจราจรที่ได้มา และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา (ณพล ศรีศักดา, 2556)

2.1.1 ทฤษฎีแถวคอย (Queueing Theory)

ทฤษฎีแถวคอยได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดย A.K. Erlang ในปี ค.ศ. 1909 ซึ่งเป็นวิศวกรด้านโทรศัพท์เพื่อแก้ปัญหาการรอคอยของผู้ใช้โทรศัพท์ที่กรุงโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ค หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองก็ได้เป็นที่ยอมรับ และมีการพัฒนามากขึ้นเพื่อใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ รวมทั้งในงานวิศวกรรมจราจร เช่น ในปี ค.ศ. 1936 อดัมส์ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาของความล่าช้าซึ่งเกิดกับคนเดินเท้าที่บริเวณทางแยกที่ไม่มีไฟสัญญาณรอเพื่อที่จะข้ามถนน แทนเนอร์ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องคนเดินเท้าในปี ค.ศ. 1951 อีดีล์ได้คำนวณหาความล่าช้าที่เกิดขึ้นที่ด่านเก็บเงินในปี ค.ศ. 1954 และในปีเดียวกันนั้น มอสโควิทซ์ก็ได้เสนอผลการศึกษาที่ได้จากข้อมูลในสนามเกี่ยวกับเรื่องของการรอช่วงเวลาที่ปลอดภัยสำหรับรถที่จะข้ามทางแยก (1909 อ้างถึงใน ชวเลข วณิชเวทิน, 2530)

ทฤษฎีแถวคอยอาศัยกฎเกณฑ์ของความน่าจะเป็นเข้ามาช่วย และองค์ประกอบที่จำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาในการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ ได้แก่

1) คุณลักษณะของรูปแบบการมาใช้บริการของลูกค้า (Arrival Pattern Characteristics)

1.1) อัตราเฉลี่ยของการมาใช้บริการ

1.2) รูปแบบของการกระจายทางสถิติของช่วงเวลาระหว่างใช้บริการ

2) คุณลักษณะของการให้บริการ

2.1) ระยะเวลาเฉลี่ยของการของการบริการลูกค้า และรูปแบบของการกระจายทางสถิติของระยะเวลาในการบริการลูกค้า

2.2) จำนวนลูกค้าที่สามารถให้บริการได้ในเวลาเดียวกัน หรือจำนวนช่องบริการที่มี

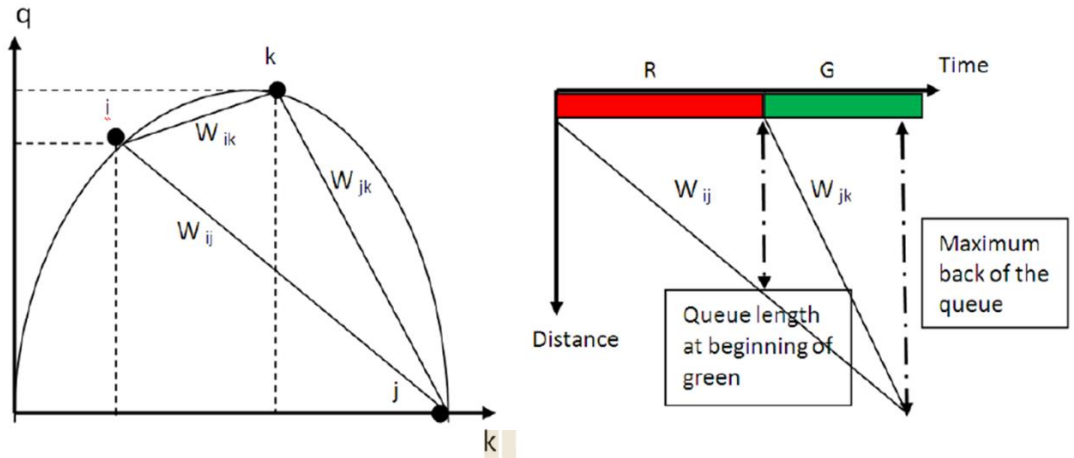
3) คุณลักษณะของการเลือกให้บริการ ซึ่งอาจเป็นแบบมาก่อนได้รับบริการก่อน หรือแบบบริการลูกค้าสำคัญก่อน ฯลฯ

2.1.2 การวิเคราะห์คลื่นกระแทก (Shockwave Analysis)

วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร (Traffic Volume; q) กับความหนาแน่น (Density; k) โดยสมมติให้ค่าการจราจรบนช่วงถนนหนึ่งช่วง เป็นไปตามความสัมพันธ์แบบสถานะ (State) ของค่าการจราจร (ปริมาณจราจร, q; ความเร็ว, v; ความหนาแน่น, k) และหากมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพการไหลของการจราจรหรือสถานะแล้ว จะเกิดรอยต่อหรือขอบของสภาพการจราจรที่แตกต่างกัน เรียกว่า คลื่นกระแทก (Shockwave) ดังแสดงในรูปที่ 1 การลากเส้นเชื่อมตำแหน่งทั้งสองจุด (เช่นจากตำแหน่ง i ไป j) เส้นกราฟจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงสถานะของการจราจรจาก i ไป j ซึ่งจะก่อให้เกิดคลื่นกระแทกที่มีอัตราเร็ว w_{ij} ค่าของอัตราเร็วของคลื่นกระแทกสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) ในกรณีของการวิเคราะห์ทางแยกสัญญาณไฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของการจราจรเป็นคู่ ๆ ได้แก่ คลื่นกระแทก ij และคลื่นกระแทก jk ดังแสดงในรูปที่ 1 และสามารถหาความยาวแถวคอยโดยการลากเส้น Shockwave ลงจากกราฟ q-k เดียวกัน แล้วนำค่าคลื่นกระแทกที่ได้มาลากบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางดังรูปที่ 2.1

(นายณพล ศรีศักดา, 2555)

$$shockwave\ (w_{ij}) = \frac{\Delta q}{\Delta k} = \frac{q_i - q_j}{k_i - k_j} \quad (2.1)$$

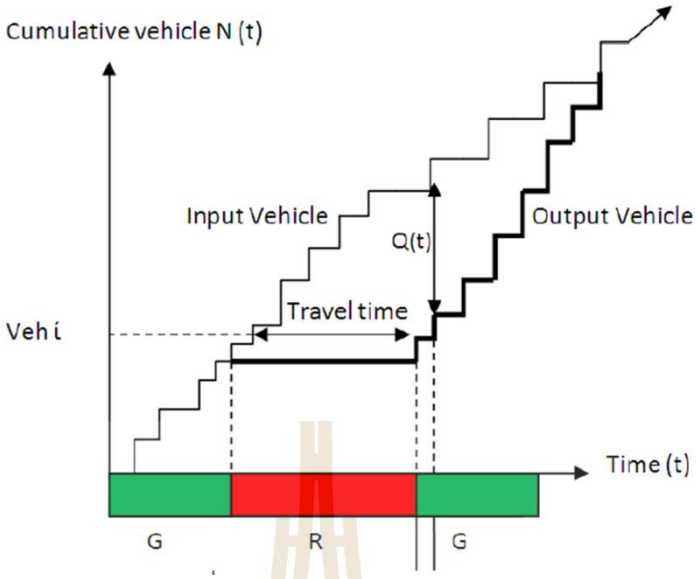


รูปที่ 2.1 คลื่นกระแทก (Shockwave)

2.1.3 กราฟปริมาณการจราจรสะสม (Cumulative Plot)

กราฟปริมาณจราจรสะสม (Cumulative Plot) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถที่นับได้ N(t) กับเวลาที่ผ่านไป t การพิจารณาสภาพจราจร ณ ทางแยกที่มีสัญญาณไฟ มีทั้งการเปิดสัญญาณไฟเขียวสลับกับไฟแดงอยู่สม่ำเสมอ ดังนั้น จะมีปริมาณจราจรที่เข้าและออกจากช่วงถนนตามจังหวะการเปิดปิดสัญญาณไฟ การหาความยาวแถวคอยสามารถทำได้โดยการนับจำนวนสะสมของรถที่เข้าสู่ทางแยก (Input) และออกจากทางแยก (Output) เมื่อเส้นกราฟของปริมาณรถเข้าสูงกว่าปริมาณรถออกจะถือว่ามีรถคงค้างอยู่ระหว่างช่วงถนนที่นับรถเข้าและออกจากทางแยก และถือว่ารถเหล่านั้น จะสะสมเป็นแถวคอย (Queue Length) ณ ทางแยก และ ความยาวแถวคอยสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างปริมาณรถเข้ากับปริมาณรถออก ณ เวลา t นั้น ๆ โดยจะต้องมีการปรับเวลาที่นับ ณ ตำแหน่งเข้าสู่ทางแยก (Time Lag) เพื่อให้เป็นเวลาที่รถเคลื่อนตัวไปถึงตำแหน่งเดียวกันที่รถออกจากทางแยก ดังแสดงในสมการที่ (2.2) และรูปที่ 2.2 (นายณพล ศรีศักดา, 2555)

$$\text{Queue Length}(t) = \text{Input}(t) - \text{Output}(t - t_{lag}) + \text{Source}(t - t_{lag}) - \text{Sink}(t - t_{lag}) + \text{Residual} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 กราฟปริมาณจราจรสะสม

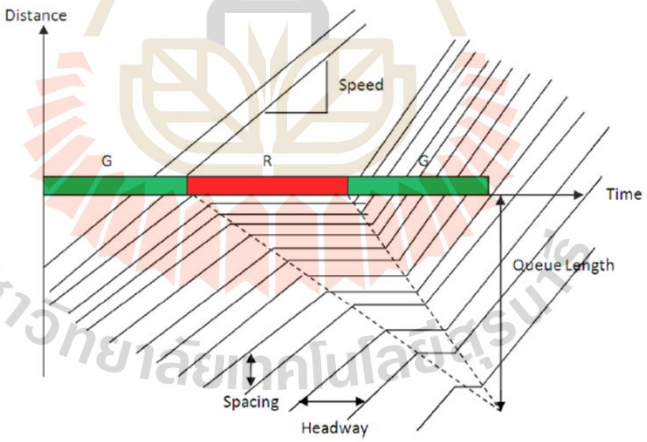
จากสมการที่ (2.2) จะเห็นได้ว่าเวลาในขณะที่รถเข้ากับรถออก ไม่ใช่เวลาเดียวกัน เนื่องจากระยะทางระหว่างตำแหน่งรถเข้ากับรถออก ห่างกันพอสมควร ดังนั้น จึงต้องพิจารณาที่รถเคลื่อนที่จากตำแหน่งเข้าไปตำแหน่งออกซึ่งเรียกว่า Time Lag ในที่นี้ จะให้เวลาที่รถออกจากทางแยกเป็นเวลา t ดังนั้น เวลา ณ จุดเข้าก็จะต้องเอาเวลา t มาลบกับ Time Lag อย่างไรก็ดีการพิจารณาเฉพาะตำแหน่งรถเข้ากับรถออกถือว่ายังไม่เพียงพอ เนื่องจากมีปัจจัยบางอย่างเข้ามารบกวน ไม่ว่าจะเป็นการที่มีรถเข้ามาจากซอย (Source) รถออกไปยังซอย (Sink) ที่อยู่บนช่วงถนนนั้น และจำนวนรถที่ติดค้างสะสมอยู่ (Residual) นอกจากนี้ในตอนเริ่มต้นของการเก็บข้อมูล ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในสมการที่ (2.2) เช่น การเปลี่ยนช่องจราจร หรือ การแซงของรถ รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของการสะสมแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟโดยใช้กราฟปริมาณการจราจรสะสม ให้ปริมาณรถเข้าสู่ทางแยกซึ่งแสดงโดยเส้นกราฟ Input (ปรับเวลาแล้ว) และ ปริมาณรถที่ออกจากทางแยกซึ่งแสดงโดยกราฟ Output เมื่อช่วงเวลาสัญญาณไฟแดง R ซึ่งไม่มีรถออกจากทางแยก เส้นกราฟ Input จะอยู่เหนือเส้นกราฟ Output และเกิดเป็นแถวคอยที่มีความยาว Q(t)

ข้อดีของวิธี Cumulative Plot คือ ไม่ต้องเก็บข้อมูลจราจรที่มาก เพียงแค่นับจำนวนปริมาณจราจรของรถที่เข้าและออกจากทางแยกสัญญาณไฟ นั้น แต่ปัญหาของการวิเคราะห์ Cumulative plot คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างรถเข้ากับรถออกได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอะไรขึ้นบ้างบนช่วงถนน เช่น การแซง หรือ พฤติกรรมการหยุดของรถ

อย่างไรก็ดีการใช้กราฟปริมาณจราจรสะสมควรจะอยู่ในเงื่อนไขในทฤษฎีแถวคอยในรูปแบบใครมาก่อนได้สิทธิ์ก่อน (First In First Out; FIFO) แต่ในสภาพจราจรตามความเป็นจริงนั้นอาจจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่กำหนดไว้เนื่องด้วยสาเหตุมาจากการเปลี่ยนช่องจราจรและการแซงเป็นต้น ดังนั้นการหาความยาวแถวคอยในวิธีนี้ ควรพิจารณาการเปลี่ยนช่องจราจรและการแซงของรถแต่ละคัน

2.1.4 แผนภูมิเวลากับระยะทาง (Time-Space Diagram)

แผนภูมิเวลากับระยะทาง (Time-Space Diagram) เป็นแผนภูมิที่อธิบายถึงการเคลื่อนตัวของจราจรด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (Time) กับ ระยะทาง (Distance) ดังรูปที่ 2.3 วิธีการนี้เป็นการศึกษาตำแหน่งของยานพาหนะในกระแสจราจร ณ เวลาใด ๆ โดยเส้นกราฟที่แสดงถึงตำแหน่งที่เปลี่ยนไปในแต่ละจุดของเวลา หรือที่เรียกว่าเส้น Trajectory ซึ่งรถหนึ่งคันจะแทนด้วย Trajectory หนึ่งเส้น โดยค่าความชันของ Trajectory คือ อัตราเร็วของรถแต่ละคัน ณ ขณะใด ๆ การหาความยาวแถวคอยในวิธีนี้ ทำได้โดยการดูเส้นกราฟในรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ แผนภูมิเวลากับระยะทาง ยังสามารถทราบถึงระยะ Headway และ Spacing ของรถแต่ละคัน ณ เวลาใด ๆ ได้อีกด้วย (นายณพล ศรีศักดา, 2555)



รูปที่ 2.3 แผนภูมิเวลากับระยะทาง

2.2 โปรแกรมและแบบจำลองการพยากรณ์

โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่โปรแกรม R ซึ่งเป็น Open Source Software ที่นิยมใช้คำนวณทางสถิติ เนื่องจากโปรแกรม R ค่อนข้างมีความยืดหยุ่นในการใช้งานจึงสามารถใช้สร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ค่าต่าง ๆ ได้ เช่น การสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear

Regression Model) และ การสร้างแบบจำลอง Random Forest Model ในการพยากรณ์ของระยะความยาวแถวคอยของการศึกษาในครั้งนี้

2.2.1 Linear Regression Model

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีที่ใช้เทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรอิสระ ในกรณีที่ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในสมการการถดถอยเป็นแบบเชิงเส้นจะเรียกวิธีนี้ว่าการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตามและตัวแปรอิสระอย่างละ 1 ตัว โดยมีสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายดังสมการ (2.3)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \tag{2.3}$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม; x คือ ตัวแปรอิสระ; β_0 และ β_1 คือ สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย; ε คือ ค่าความผิดพลาดสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจึงต้องทำการประมาณค่า ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าคือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method)

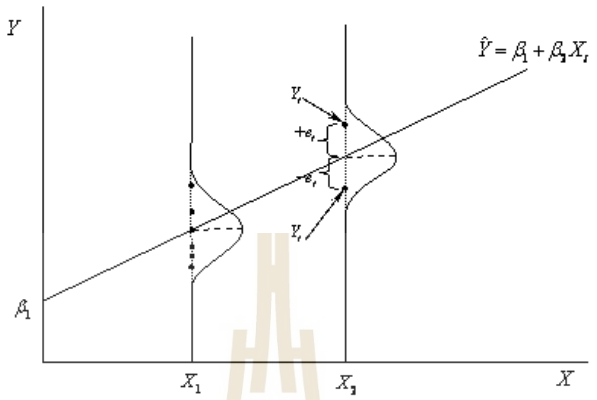
2) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตาม 1 ตัวและตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งสมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_n x_n + \varepsilon \tag{2.4}$$

โดยที่ $x_1, x_2, \ldots, x_n$ คือ ตัวแปรอิสระ; $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_n$ คือ สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย การประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณนั้นนิยมใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดเช่นกัน การวิเคราะห์การถดถอยมีสมมติฐานพื้นฐาน 4 ข้อ คือ

1) ประชากรของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (Zero mean) ในการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้งขึ้นมาค่าของ X_1 และ X_2 จะให้ค่าตัวแปรตามใด ๆ (Y_i) ที่สอดคล้องกับแต่ละตัวแปรอิสระนั้น ๆ (X_i) หลายค่าที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม ($\hat{Y}$) ที่ได้จากการประมาณ ส่งผลให้มีค่าความผิดพลาด (ε) ต่าง ๆ มากมายตามไปด้วย กล่าวคือ ถ้า Y_i มากกว่า $\hat{Y}$ ค่าความผิดพลาด (ε_i) จะมีค่าเป็นบวกและถ้า Y_i น้อยกว่า $\hat{Y}$ ค่าความผิดพลาด (ε_i) จะมีค่าเป็นลบ แต่

เมื่อนำค่า ε_i ที่เกิดขึ้นทั้งหมดมารวมกันสำหรับแต่ละ X_i แล้วเฉลี่ยผลที่ได้จะต้องมีค่าเท่ากับ 0 ดังแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างค่า Y_i ที่เกิดขึ้นจริงและ $\hat{Y}$ ที่ได้จากค่าประมาณ

2) ประชากรของค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ (Homoskedasticity) หมายความว่าตัวรบกวนแต่ละตัวจะมีความแปรปรวนเป็นค่าคงที่และเท่ากัน ณ แต่ละค่าของ X ที่กำหนดให้ โดยเท่ากับค่าคงที่ ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ^2) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

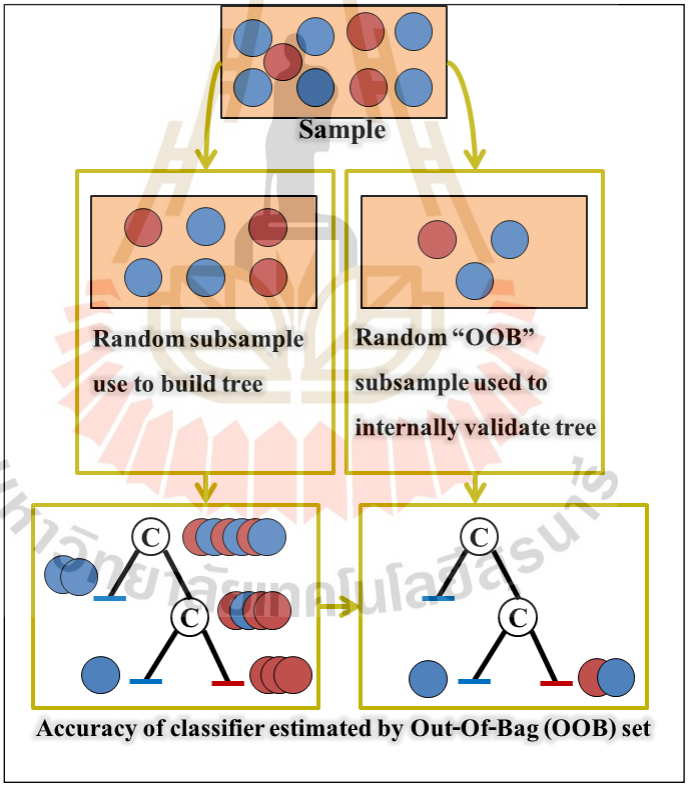
3) ประชากรของค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ข้อสมมตินี้มีความจำเป็นอย่างมากในการวินิจฉัยทางสถิติเกี่ยวกับค่าประมาณของพารามิเตอร์ กล่าวคือค่าต่าง ๆ ของค่าความผิดพลาด (ε_i) สำหรับแต่ละ X_i ที่เกิดขึ้นจะต้องมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติรูปทรงระฆังคว่ำ โดยมีส่วนโค้งทั้งสองข้างมีลักษณะสมมาตรกัน

4) ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน (Nonautoregressive) หมายความว่า ความแปรปรวนร่วม (Covariance) คู่ใด ๆ ระหว่างค่าความผิดพลาดของ X แต่ละตัวจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ ค่าต่าง ๆ ของค่าความผิดพลาดในช่วงเวลาหนึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดในช่วงเวลาอื่น หรือเป็นอิสระต่อกัน หรือความผันแปรใดที่เกิดขึ้นในค่าความผิดพลาดใด ๆ จะต้องไม่มีผลกระทบต่อความแปรผันที่เกิดขึ้นของค่าความผิดพลาดตัวอื่น ๆ ตามมา (Bowerman, O'Connell, &Koehler, 2005)

2.2.2 Random Forest Model

เทคนิค Random Forest เป็นเทคนิคการสุ่มเลือกข้อมูลและคุณลักษณะ Decision Tree ซึ่งถูกสร้างจากการนำข้อมูลไปสุ่มเลือกตัวอย่างแบบเลือกแล้วใส่กลับ (Sampling with

Replacement) แล้วนำมาสร้างเป็น Tree ซึ่งจะมีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่จะไม่ถูกเลือก ข้อมูลส่วนนี้เรียกว่า Out-of-Bag (OOB) จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบ Decision Tree ซึ่งเรียกวิธีดังกล่าวว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้อย่างอิสระจาก Decision Tree ในแต่ละต้นถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวต ผลโหวตที่มากที่สุดจะใช้ระบุสถานะของคลาสดังรูปที่ 2.5 เทคนิค Random Forest ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบ เพื่อประมาณความผิดพลาดเพราะข้อมูล OOB นั้นถูกนำมาใช้ทดสอบ Decision Tree แล้วนั้นเอง โดย Decision Tree แต่ละแบบจำลองใน Random Forest ถือว่าเป็น weak learner คือ model ที่ยังไม่มีความแม่นยำมาก แต่เมื่อนำเอาแต่ละ Decision Tree มาทำการพยากรณ์ร่วมกันก็จะได้แบบจำลองรวมที่มีประสิทธิภาพ และแม่นยำมากกว่า Decision Tree ที่ทำการพยากรณ์แบบเดี่ยว ๆ โดยวิธีการวิเคราะห์แบบ Random Forest ใช้ได้ทั้งกับปัญหา classification และ regression (Breiman, 2001)



รูปที่ 2.5 การทำงานของ Decision Tree ใน Random Forest

2.2.3 การวัดความผิดพลาดของการพยากรณ์

MSE (Mean Square Error) คือ การวัดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยโดยลงโทษ (Penalty) ค่าความผิดพลาดที่มีค่ามาก อีกทั้งรวมผลทั้งการพยากรณ์เกินจริง (Over forecast) และค่าพยากรณ์ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (Under forecast) คำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2}{n} \tag{2.5}$$

โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของอนุกรม ณ เวลา t

e_t คือ ค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ ณ เวลา t

n คือ ค่าจำนวนข้อมูลในช่วงที่สนใจ

RMSE (Root Mean Square Error) คือ Loss Function ที่จะนำค่า MSE มาใส่ Square Root จึงทำให้มีคุณสมบัติที่คล้ายกับค่า MSE แต่ต่างกันตรงที่ หน่วยของค่า Error จะไม่มีเลขยกกำลังสอง จึงทำให้อ่านค่าได้ง่ายกว่า เนื่องจากหน่วยของ RMSE นั้นมีหน่วยเดียวกันกับค่าที่แบบจำลองพยากรณ์ไว้ดังสมการที่ (2.6)

$$RMSE = \sqrt{MSE} \tag{2.6}$$

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) คือ การวัดความผิดพลาดที่เป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ความหมายได้ง่าย อีกทั้งรวมผลพยากรณ์ทั้งเกินจริงและต่ำกว่าค่าจริง คำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left|e_t / Y_t\right|}{n} \times 100 \tag{2.7}$$

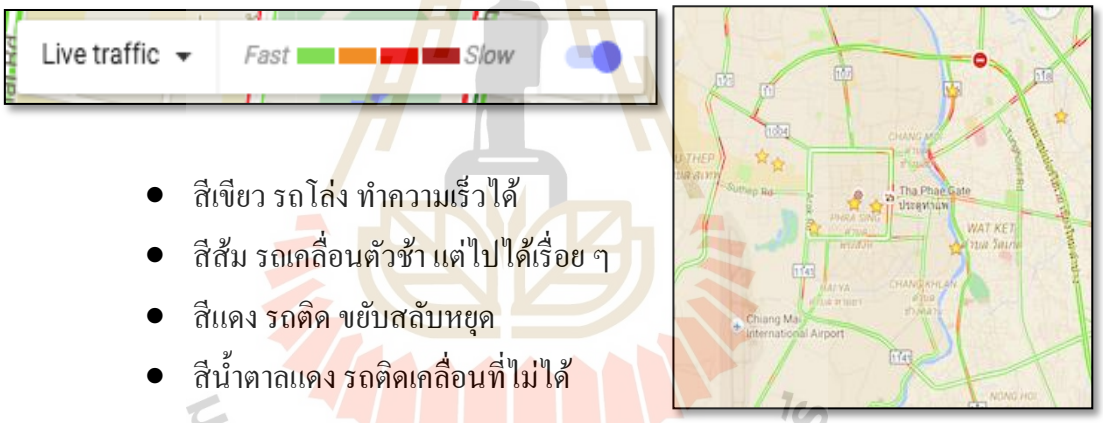
โดยที่ Y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

e_t คือ ค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ ณ เวลา t

n คือ ค่าจำนวนข้อมูลในช่วงที่สนใจ

2.3 ข้อมูลจาก Google Maps

การแสดงข้อมูลจราจรแบบเรียลไทม์ของ Google Maps ในประเทศไทยมีความแม่นยำมากขึ้นเนื่องจากทาง Google นำข้อมูลจากผู้ใช้งาน Android และ iOS ที่เปิดใช้งาน Google Maps และยินยอมแชร์ตำแหน่งเวลากำลังใช้งาน ทำให้สมาร์ทโฟนที่ใช้อยู่นี้จะส่งข้อมูลแบบไม่ระบุตัวตน (anonymous data) กลับไปบอกทาง Google ว่ากำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าใด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับโทรศัพท์เครื่องอื่น ๆ ที่อยู่บนถนนเดียวกันและบริเวณรอบ ๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง แล้วจะประมวลผลข้อมูลเหล่านี้จนเห็นภาพรวมของการจราจรทั้งหมด แล้วแสดงผลในรูปเส้นแถบสีดังแสดงในรูปที่ 2.6 (อภิรักษ์ บุตรละ, 2553)



- สีเขียว รถโล่ง ทำความเร็วได้
- สีส้ม รถเคลื่อนตัวช้า แต่ไปได้เรื่อย ๆ
- สีแดง รถติด ขยับสลับหยุด
- สีน้ำตาลแดง รถติดเคลื่อนที่ไม่ได้

รูปที่ 2.6 แถบสีบน Google Map

2.4 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

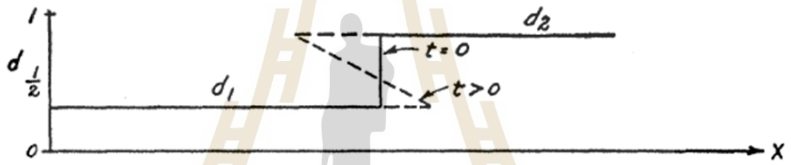
2.4.1 การประมาณระยะแถวคอยในอดีต

Richards (1956) ได้พัฒนาทฤษฎีการไหลของกระแสจราจร โดยการนำยานพาหนะมาแทนที่ด้วยของไหล ซึ่งได้พิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น และความเร็ว จากนั้น ได้สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น ดังสมการที่ (2.8) ซึ่งมาจากรูปแบบฟังก์ชันการกระจายแบบต่อเนื่อง

$$V = a\,(D_{max} - D) \tag{2.8}$$

โดยที่ V คือ ความเร็ว
D คือ ความหนาแน่น
a คือ ค่าคงที่

โดยที่ค่า a คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วอิสระที่ความหนาแน่นเป็นศูนย์ (Free Flow Speed) กับ ความหนาแน่นที่มากที่สุด (Jam density) ตามแบบจำลองของ Greenshield เมื่อความหนาแน่นหรือความเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น การเคลื่อนตัวของรถแต่ละคันสามารถแสดงได้โดยกราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือน (Shearing motion graph) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟการเคลื่อนที่แบบเฉือน (ที่มา: Richard, 1956: 45)

จากรูปที่ 2.7 รถแล่นไปตามระยะทางตามแกน x เมื่อความหนาแน่นเปลี่ยนจาก d_1 เป็น d_2 และจะเกิดคลื่นคลื่นกระแทก (Shockwave, U) ที่เป็นเส้นประกราฟดังกล่าวก็สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (2.9)

$$d_1(V_1 - U) = d_2\,(V_2 - U) \tag{2.9}$$

โดยที่ d_1 และ d_2 คือ ความหนาแน่นจากสถานะการจราจร 1 ไป 2
V_1 และ V_2 คือ ความเร็วจากสถานะการจราจร 1 ไป 2
U คือ คลื่นกระแทก

Ping et al. (2008) ได้พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างการคำนวณเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมกับการวิเคราะห์คลื่นกระแทก แม้ว่าจะคำนวณในกรณีของรถที่เข้าสู่ช่วงถนนที่เป็นคอขวด แต่การคำนวณก็สามารถใช้กับแถวคอยที่เกิดขึ้นในกรณีที่รถติดสัญญาณ

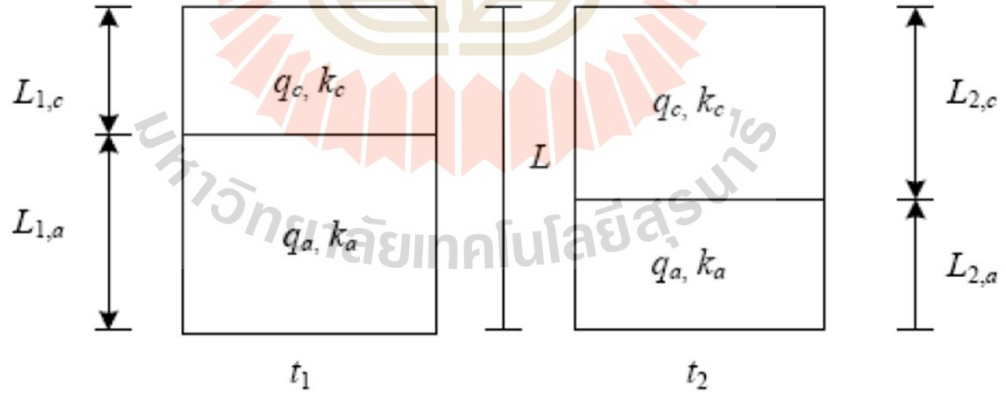
ไฟแดงตรงทางแยกได้ ในงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์ข้อขัดแย้งในวิจัยของ Nam และ Drew (1998) ที่อธิบายไว้ว่า การคำนวณของทั้ง 2 วิธี จะให้ผลลัพธ์ที่ไม่เท่ากัน จากค่าของตัวประกอบที่เกิดขึ้นจากการคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกดังสมการที่ (2.10)

$$\frac{k_c}{k_c - k_a} \tag{2.10}$$

โดยที่ k_c คือ ความหนาแน่นที่รถพ้นจากเขตคอขวด

K_a คือ ความหนาแน่นก่อนที่รถเข้าสู่เขตคอขวด

ทางผู้วิจัยได้พิสูจน์การคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกให้สามารถได้ผลลัพธ์ที่เท่ากับการคำนวณโดยใช้กราฟปริมาณสะสม หรือที่เรียกว่า Input-Output Model การพิสูจน์เริ่มจากการใช้กฎการอนุรักษ์ (Mass conservation) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้นจากการหาปริมาณจราจร q และ ความหนาแน่น k ณ สองเวลา t_1 และ t_2 ในช่วงระยะทาง L หนึ่งดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของแถวคอยที่เกิดขึ้น ณ เวลา t_1 และ t_2 (ที่มา: Ping et al., 2008: 147)

จากนั้น วาดแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจรกับเวลา และ ระยะทางกับเวลา เพื่อแสดงแถวคอยที่เกิดขึ้นทั้งกรณีที่ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และการวิเคราะห์คลื่น

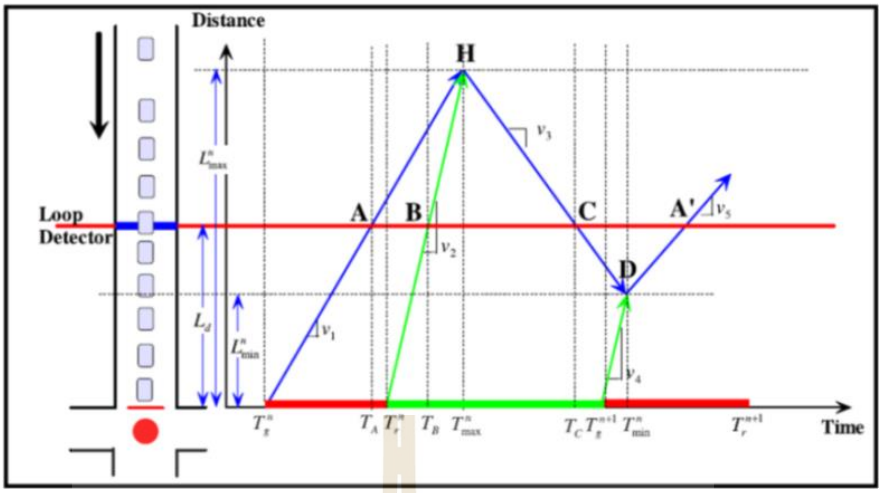
กระแทกตามลำดับ จนสามารถสร้างสมการแสดงแถวคอย N ที่เกิดขึ้นทั้งกรณีที่ใช้กราฟปริมาณจราจรสะสม และการวิเคราะห์คลื่นกระแทกดังสมการที่ (2.11) และ (2.12) ตามลำดับ

$$N = (q_a - q_c)t \tag{2.11}$$

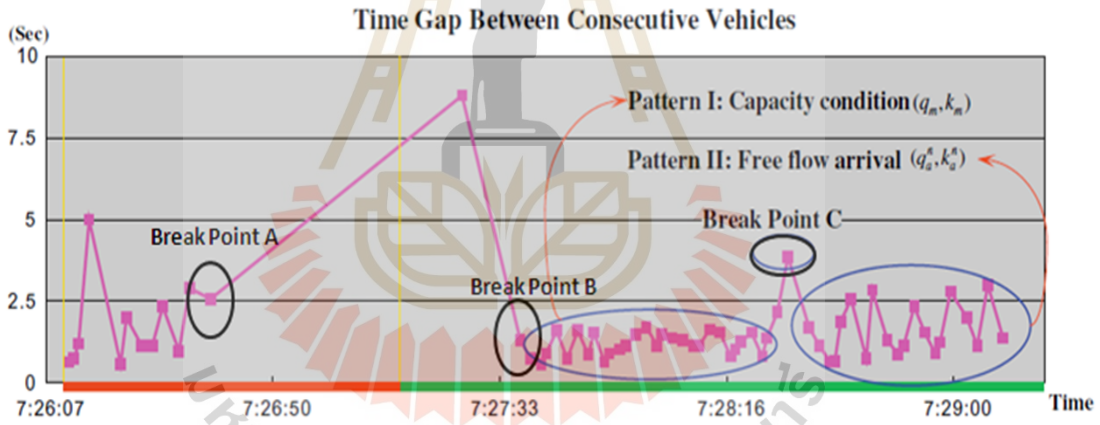
$$N = k_c(l_{2,c} - l_{1,c}) - k_a(l_{2,c} - l_{1,c}) \tag{2.12}$$

จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) พบว่า สมการที่ (2.11) เป็นสมการเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธี Input-Output ส่วนสมการที่ (2.12) เป็นสมการเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทก โดยจะสังเกตได้ว่าพจน์ของ ทางผู้วิจัยเรียกว่า “Baseline factor” เป็นตัวที่สามารถปรับแก้ให้การคำนวณโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกสามารถมีค่าเท่ากับการคำนวณโดยใช้วิธี Input-Output ได้ แต่ถึงอย่างไรก็ดีก็พบว่าการคำนวณนี้สามารถคำนวณได้อย่างถูกต้องแม่นยาได้เฉพาะในกรณีที่สภาพการจราจรอยู่ในสภาวะที่เป็น Under saturation เพราะถ้าเป็นกรณีที่เป็น Over saturation จะมีแถวคอยที่ค้างสะสมอยู่ในรอบที่ผ่านมา ซึ่งทำให้การคำนวณเกิดความผิดพลาดได้

Liu et al. (2009) ได้ศึกษาวิจัยวิธีการประมาณแถวคอย ณ เวลาจริง ในกรณีที่มีการจราจรติดขัดบริเวณทางแยกซึ่งความยาวแถวคอยยาวล้นระยะเครื่องตรวจวัดการจราจรออกไป เนื่องจากการหาแถวคอยโดยใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก นั้น จะให้ผลดีก็ต่อเมื่อแถวคอยเกิดขึ้นในระยะที่อุปกรณ์สามารถจับได้ เท่านั้น หากแถวคอยมีความยาวมากกว่านี้จะไม่สามารถทำได้ ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงมีสมมติฐานที่ว่าการตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยวัด Occupancy time สามารถช่วยประมาณความยาวแถวคอยได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ Occupancy time ซึ่งเป็นการวัดเวลาระหว่างรถสองคันที่เข้าสู่เครื่องตรวจนับ โดยใช้ความยาวหนึ่งช่วงถนนซึ่งส่วนปลายของช่วงทั้งสองด้านเป็นสามแยกที่มีสัญญาณไฟ ทิศทางของถนนที่ศึกษามี 2 ช่องจราจร จากนั้น ติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุด 400 ฟุต เป็นพื้นที่ศึกษา การศึกษาเริ่มต้นจากการหาคลื่นกระแทก ในแต่ละรอบสัญญาณไฟ ค่า Occupancy time ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดการจราจรจะช่วยกำหนดจุด Break points ได้ดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 การประมาณแถวคอยกรณีที่ความยาวแถวคอยล้นเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยพิจารณาจุด Breakpoint (ที่มา: Liu et al., 2008: 416)



รูปที่ 2.10 การหาจุด Breakpoint A, B และ C ที่วัดได้จาก Occupancy Time (ที่มา: Liu et al., 2008: 417)

จุด Breakpoint A คือจุดที่ค่า Occupancy Time เริ่มห่างกันมากขึ้นจากการที่รถเริ่มหยุดเนื่องจากติดสัญญาณไฟแดง จุด Breakpoint B คือจุดที่ค่าOccupancy Time เริ่มกลับมาถี่ขึ้นอีกครั้งเนื่องจากรถเริ่มเคลื่อนที่เนื่องมาจากการได้รับสัญญาณไฟเขียว จุด Breakpoint C คือจุดที่ค่า

Occupancy Time เริ่มมีค่ามากขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเป็นรถที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการได้รับสัญญาณไฟแดงและไม่ได้ติดอยู่แถวคอย

เมื่อท้ายแถวคอยล้นตำแหน่งของเครื่องตรวจที่จะวัดได้ สิ่งสำคัญที่ต้องทราบ คือ จุด Breakpoint C ซึ่งเป็นจุดที่เป็นช่วงกลุ่มรถที่ไม่ได้ติดแถวคอย ณ เวลา T_c จากนั้นนำเวลานี้ไปแทนค่าในแบบจำลองสมการในการหาความยาวแถวคอย (L_{max}) และเวลาที่มากที่สุดในการเกิดแถวคอย (T_{max}) ซึ่งพิสูจน์มาจากการเกิดคลื่นกระแทก ซึ่งตัวอย่างแบบจำลองสมการเพื่อหาความยาวแถวคอย และเวลาที่มากที่สุดในการเกิดแถวคอยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.13) และ (2.14)

$$L_{max}^{n} = L_d + (T_C - T_B)/(\frac{1}{\gamma_2} + \frac{1}{\gamma_3}) \quad (2.13)$$

$$T_{max}^{n} = T_B + (L_{max}^{n} - L_d)/\gamma_2 \quad (2.14)$$

โดยที่ γ คือ ความเร็วคลื่นกระแทก

L_d คือ ระยะระหว่างแยกสัญญาณไฟถึงตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร

T_B, T_C คือ เวลาที่รถเริ่มเคลื่อนตัว และ เวลาที่รถที่ไม่ได้ติดแถวคอยแล่นผ่านตามลำดับ

ผลการวิจัย พบว่า แบบจาลองดังสมการที่ (2.13) และ (2.14) จะให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด แต่เก็บข้อมูลค่อนข้างยาก โดยเฉพาะความเร็วของรถแต่ละคัน ทำให้มีการสร้างแบบจำลองขยายเพิ่มขึ้นมาเพื่อช่วยให้เก็บข้อมูลให้ง่ายขึ้นเช่นจำนวนรถที่เข้ามา หรือ ความหนาแน่น เพียงแต่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่า ตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟจากสมการที่ (2.15) และ (2.16)

ตารางที่ 2.1 ผลของค่า MAPE ที่ได้จากการหาแถวคอยที่มากที่สุดในแต่ละรอบสัญญาณไฟ

Date	July 23rd, 2008 (%)	October 29st, 2008 (%)	December 10st, 2008 (%)	Average (%)
MAPE	12.89	9.34	22.03	14.93

(ที่มา: Liu et al., 2008: 426)

จากตารางที่ 2.1 ได้การคำนวณความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า Mean Average Percentage Error (MAPE) เฉลี่ยอยู่ประมาณ 15% อย่างไรก็ดี ควรจะมีการพิจารณาในกรณีที่เกิด

Over saturation ที่อาจทำให้การคำนวณในแบบจาลองเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น ความยาวของยานพาหนะชนิดต่าง ๆ เหตุการณ์บางอย่างที่ไม่คาดคิด ที่ทำให้ไม่สามารถระบุจุด Breakpoint C ได้ หรือ ความผิดพลาดของตัวเครื่องตรวจนับ เช่น เกิดความเสียหายเนื่องจากอุบัติเหตุ เพื่อที่จะได้การประมาณแถวคอยที่ใกล้เคียงมากขึ้น

Wu et al. (2010) ได้ศึกษาเพิ่มเติมการประมาณแถวคอยต่อจากงานวิจัยของ Liu et al. (2009) โดยเพิ่มในส่วนของการหา Over saturated index (OSI) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟ โดยประยุกต์ใช้หลักการของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก และสร้างตัว Over saturated index ขึ้นมาซึ่งเป็นการบ่งบอกว่ามีรถที่ติดค้างจากแถวคอยในรอบที่ผ่านมามากน้อยแค่ไหนค่า index ที่คิดมานี้จะสามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงสัญญาณไฟ และสามารถแบ่งกรณีการประมาณแถวคอยซึ่งมีผลต่อการประมาณแถวคอยที่ใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ช่วงถนน 2 ช่วง โดยส่วนปลายของช่วงทั้งสองด้านเป็นสามแยกที่มีสัญญาณไฟ ตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุด 400 ฟุต จากนั้น พิจารณาการประมาณแถวคอยและหา Over Saturated index ดังสมการที่ (2.17) โดยค่า Over saturated index ที่ได้นั้น แบ่งได้เป็นสองกรณีคือการเกิดแถวคอยที่ติดค้างอยู่ และการเกิดแถวคอยล้นออกจากช่วงถนน สมการที่ (2.17) จะเป็นตัวอย่างการคำนวณค่า Index (The oversaturation severity index in temporal dimension; T-OSI) ในกรณีที่แถวคอยติดค้างอยู่

$$\text{T-OSI} = \frac{\text{unusable green time}}{\text{total available green time}} \times 100\% = \frac{L_{\min}^{n}/l_{\text{jam}} \cdot h}{G} \times 100\% \qquad (2.17)$$

โดยที่ L_{min}^{n} คือ แถวคอยที่ตกค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา

I_{jam} คือ ความยาวของรถที่จอดในแถวคอยโดยรวมไปถึงระยะช่องว่าง ของรถแต่ละคัน

h คือ ระยะ Headway

ค่า Over saturated index ที่ได้มา นั้น สามารถเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟได้ และ สามารถจำแนกว่าการที่แถวคอยล้นออกมาจากเครื่องตรวจนับมาจากการเข้ามาของรถที่มากหรือจากการที่แถวคอยติดยาวกันมาจากไฟแดง อย่างไรก็ดีควรมีการแสดงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการสังเกตว่าใกล้เคียงมากขึ้นหรือไม่ และในอนาคตอาจจะมีการใช้แผนที่ในการระบุตัว Index ที่เกิดขึ้นด้วย

Shama et al. (2007) ได้ศึกษาวิธีการประมาณแถวคอยและความล่าช้า โดยทำการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีคือ Input-output กับ Hybrid วิธี Input-output จะใช้ข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรเฉพาะรถที่เข้าสู่ทางแยก แต่วิธี Hybrid จะใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดตรงรถที่ออกทางแยกเพิ่มเข้าไปด้วย แล้วนำมาหาแถวคอยกับความล่าช้าโดยใช้วิธีกราฟปริมาณการจราจรสะสม โดยมีข้อสมมติฐานเบื้องต้นคือวิธี Hybrid น่าจะช่วยให้การหาแถวคอยและความล่าช้ามีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการสังเกตมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลการจราจรหลายตัวในการพิจารณาไม่ว่าจะเป็นปริมาณจราจร ข้อมูลสัญญาณไฟ ข้อมูลตัวแปรคงที่ (Parameter) ค่า Arrival shift Start-up lost time Storage capacity และ Saturation headway พื้นที่ศึกษาได้ใช้บริเวณสี่แยกสัญญาณไฟ และ วัดแถวคอยและความล่าช้าในสองทิศทางจราจร การหาแถวคอยและความล่าช้าจะใช้ทั้งวิธี Input-output กับ Hybrid ทั้งช่วงที่มีปริมาณจราจรสูง และต่ำ ผลการวิจัยพบว่าวิธี Input-output จะให้ผลใกล้เคียงกว่า Hybrid โดยตรวจสอบจากค่า R Square และ Root Mean Square Error (RMSE) แต่เมื่อพิจารณาในสภาพจราจรที่มีปริมาณจราจรสูงวิธี Input-output จะใกล้เคียงน้อยลง แต่วิธี Hybrid จะใกล้เคียงมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณจราจรสูง วิธี Hybrid จะช่วยให้มีความใกล้เคียงมากขึ้น แต่น่าจะมีการพิจารณาการใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทกเข้าไปด้วย และควรจะวิจารณ์ถึงความคลาดเคลื่อนของ hybrid เพิ่มเติม

Chang et al. (2000) ได้ประมาณแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรเพื่อใช้สำหรับการควบคุมจราจร ณ เวลาจริง โดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรนับปริมาณรถที่เข้ามา และวัด Occupancy มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมาณแถวคอยโดยไม่ต้องพิจารณาการวิเคราะห์คลื่นกระแทก (การประมาณแถวคอยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลปริมาณจราจรที่เข้ามากับ Occupancy ก็สามารถนามาสร้างแบบจาลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อประมาณแถวคอยได้) งานวิจัยนี้ ได้ตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรไว้ที่ระยะกึ่งกลางช่วงถนน แล้วตรวจวัดปริมาณจราจร กับ Occupancy จากนั้น นับปริมาณรถที่ผ่านเครื่องตรวจวัดการจราจรสาหรับรถที่อยู่ในกรณีต่อไปนี้

1) รถคันแรกที่เข้าสู่แถวคอยโดยที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มรถ
2) รถคันแรกของกลุ่มรถที่เข้าสู่แถวคอย
3) รถคันสุดท้ายของกลุ่มรถที่เข้าสู่แถวคอย

ตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้แบบจาลองสภาพการจราจรที่เรียกว่า WATSim พบว่า เกิดความคลาดเคลื่อนที่แปรผันตามระยะทาง แต่ความคลาดเคลื่อนนั้น ได้ถูกจำกัด อีกทั้งยังไม่เกิด Bias แต่อย่างไรก็ดี ควรจะมีอธิบายการเกิดความคลาดเคลื่อน และหลักการของ WATSim ในบทความให้มากกว่านี้ เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

Geroliminis (2009) ได้เสนอวิธีการที่จะคาดการณ์เวลาที่แถวคอยจะล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจร เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมามีข้อจากัดในการหาแถวคอยที่ล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจร และ เครื่องตรวจวัดการจราจรไม่สามารถวัดความเร็วได้โดยตรง โดยในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ทำการระบุการเพิ่มของแถวคอย (Growing Queue) จากนั้น หาความหนาแน่นขณะที่แถวคอยเริ่มยาวมาถึงเครื่องตรวจวัดการจราจร ซึ่งเป็นค่าวิกฤต (Critical value of occupancy) และหาความหนาแน่นที่รถเริ่มเคลื่อนตัวอีกครั้งที่ตัวเครื่องตรวจวัด (Blocking occupancy) ดังสมการที่ (2.18) และ (2.19)

$$\overline{O}_{cr} = \frac{L_{eff} \cdot \overline{q}}{u_f} \tag{2.18}$$

$$\overline{O}_{sp} = \frac{L_{eff} \cdot \overline{q}}{u_f} + \frac{r}{c} \tag{2.19}$$

โดยที่ $\overline{O}_{cr}$ คือ Critical value of occupancy

$\overline{O}_{sp}$ คือ Blocking Occupancy

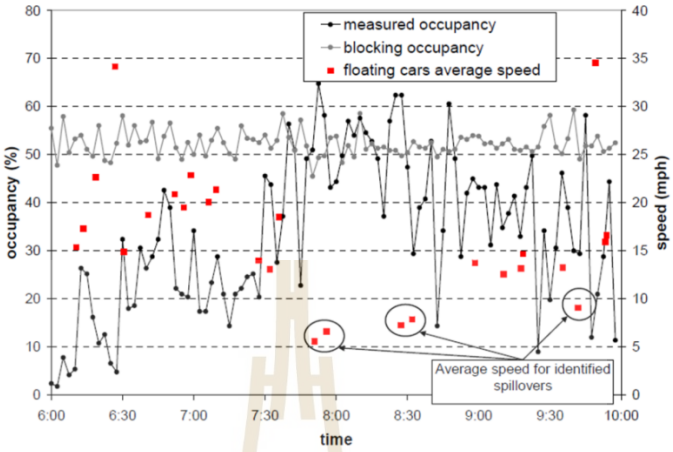
L_{eff} คือ ความยาวประสิทธิผลของรถแต่ละคัน

$\overline{q}$ คือ อัตราการไหลของรถ (ปริมาณจราจร)

r, C คือ เวลาไฟแดง และเวลารอบของสัญญาณไฟตามลำดับ

จากนั้น ปรับแก้ความแปรผันของความยาวยานพาหนะ แต่พบว่า ไม่มีผลต่อ Blocking occupancy มากนัก พื้นที่ศึกษาใช้ 6 ช่วงถนน ณ ทางแยกสัญญาณไฟ 7 แห่ง ระยะห่างแต่ละช่วงอยู่ระหว่าง 500-1600 ฟุต โดยติดตั้งเครื่องตรวจวัดการจราจรห่างจากเส้นหยุดของทางแยกสัญญาณไฟ 250 ฟุต และบันทึกทุก ๆ 30 วินาที ตำแหน่งและความเร็วของรถถูกบันทึกด้วย GPS ข้อมูลสัญญาณได้มาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 4 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์จะใช้ค่า Occupancy ที่วัดจริง (Measured occupancy) ค่า Blocking occupancy และ Floating car average speed โดยใช้แบบจาลองสภาพการจราจร แล้วมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้ พบว่าช่วงเวลาแถวคอยที่ล้นระยะเครื่องตรวจวัดการจราจร สามารถระบุได้จากการที่เส้นกราฟ occupancy ที่วัดจริงมีค่าสูงกว่า Blocking occupancy และ Floating car average speed มีค่าที่ต่ำดัง

รูปที่ 2.11 สิ่งที่จะดำเนินการต่อไป คือ การพัฒนาวิธีการติดตามสภาพจราจรติดขัดในโครงข่ายถนน และระบุถึงความถูกต้องแม่นยำในงานวิจัย



รูปที่ 2.11 ช่วงเวลาที่ท้ายแถวคอย ล้นตำแหน่งเครื่องตรวจวัดการจราจร
(ที่มา: Geroliminis, 2009: 14)

Geroliminis and Skabardonis (2011) ได้พัฒนาเพิ่มเติมในงานวิจัยจาก Geroliminis (2009) ที่คาดการณ์เวลาแถวคอยที่ล้นยาวเครื่องตรวจวัดการจราจรเพียงอย่างเดียวมาเป็นการระบุปริมาณรถที่ล้นระยะของเครื่องตรวจวัดการจราจร โดยสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2.20)

$$S_t = \sum_i (sg_{it} - q_{it}c) \cdot x_{it} \qquad (2.20)$$

โดยที่ S_t คือ จำนวนรถที่ล้นเกินระยะเครื่องตรวจวัด ในทุก ๆ รอบสัญญาณไฟ t

c คือ รอบเวลาสัญญาณไฟ

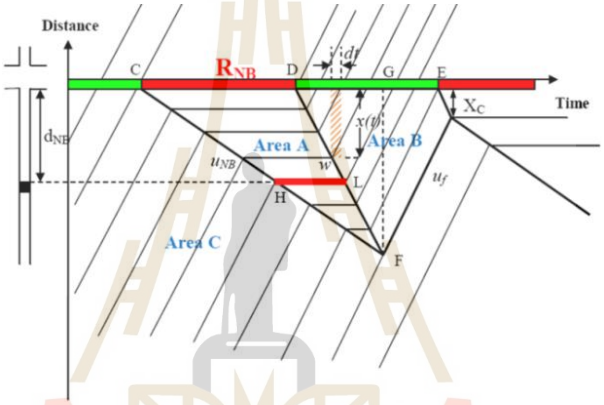
s คือ Saturation flow

sg_{it} และ q_{it} คือ ช่วงเวลาไฟเขียวและปริมาณรถที่เข้าสู่ทางแยกที่ช่วงถนน i

X_{it} คือ ตัวผันแปรชนิด Binary

Lertworawanich (2011) ได้ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์คลื่นกระแทกพร้อมกับแผนภาพเวลากับระยะทาง ในสถานการณ์ที่รถจอดรอสัญญาณไฟเขียวที่ทางแยกจนกระทั่งออกตัวในแต่ละรอบสัญญาณไฟทั้งในกรณีที่ไม่เกิดแถวคอยที่ติดค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Under

saturation) และเกิดแถวคอยที่ติดค้าง (Residual queue) จากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Over saturation) จากนั้น เก็บข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรที่ติดตั้งอยู่บริเวณที่รถออกสู่ทางแยก (Upstream) เพื่อหากระบวนการควบคุมสัญญาณไฟด้วยเอง โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจราจร โดยตัวอย่างวิธีการเพื่อจัดการสัญญาณไฟสามารถแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นกรณีที่มีท้ายแถวคอยติดค้างจากรอบสัญญาณไฟที่ผ่านมา (Residual, X_c) แล้วใช้รูปที่เกิดขึ้นนี้ นามาสร้างสมการที่ได้มาจากใน Area A และ สามารถคำนวณการจัดสรรช่วงเวลาไฟเขียวในแต่ละขา รวมทั้งรอบเวลาสัญญาณไฟที่เหมาะสมได้ โดยบริเวณตำแหน่งของเครื่องตรวจวัดการจราจร นั้น สามารถตรวจจับรถที่เข้า ความเร็ว รวมไปถึงเวลาตั้งแต่ที่รถจอดนิ่งไปจนถึงเริ่มเคลื่อนตัวได้



รูปที่ 2.12 แผนภาพเวลากับระยะทางที่เกิดขึ้น (ที่มา: Lertworawanich, 2011)

2.4.2 การใช้ Google Map ในงานด้านขนส่ง

ภคพร (2561) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนเส้นทางการขนส่งขยะของเทศบาลเมือบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเส้นทาง ช่วยในการจัดเส้นทางการขนส่งขยะเพื่อลดระยะทางการขนส่งให้มีระยะทางสั้นลงและลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ามันเชื้อเพลิง ผู้วิจัยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกและเก็บรวบรวมข้อมูลจากกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลเมืองบางกรวย ในเขตตำบลวัดชลอและตำบลบางกรวย ข้อมูลสำคัญที่ได้รับประกอบด้วย ลักษณะ รูปแบบ ประเภทและจานวนรถเก็บขยะ แผนการเก็บขยะในแต่ละวัน จุดจอดรถและจุดทิ้งขยะ โดยกำหนดจุดเก็บขยะที่สำคัญจานวน 25 จุด รถเก็บขยะแบบอัดท้ายจำนวน 11 คัน และวางแผนเส้นทางการขนส่งขยะเฉพาะวันจันทร์ วัดระยะทางระหว่างแต่ละจุดโดยใช้โปรแกรมhttp://www.kidlek.com/distance.php ระยะทางที่คำนวณได้ผ่าน Google Map ผลการวิจัยพบว่าเส้นทางการเก็บขยะเส้นทางเดิมมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 1,016.60 กิโลเมตร เมื่อ

ปรับปรุงเส้นทางโดยใช้วิธีเซฟวิ่ง อัลกอริทึม (Saving Algorithm) มีระยะทางรวมทั้งสิ้น 1,002.1 กิโลเมตร โดยมีระยะทางลดลง 14.5 กิโลเมตร หรือลดลงร้อยละ 1.43%

อภิรักษ์ (2553) การประยุกต์ใช้ Google Map เพื่อนำมาใช้ใน Web Application เพื่อให้ได้ค่าการคำนวณค่ารถแท็กซี่ที่มีความพึงพอใจและความถูกต้องเกิน 85% ขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการเน้นที่การประยุกต์ใช้งานของ Google Map เป็นหลักเพื่อนำข้อมูลในการเดินทางมาใช้ และข้อมูลทางด้านการจราจรนั้นได้ทำการศึกษาจากสถิติการจราจรของสำนักการจราจรและขนส่งกรุงเทพมหานคร โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าจากค่า Occupancy Ratio (OR) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจวัดความหนาแน่นของสภาพการจราจร โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรมจราจร ซึ่งระบบจะทำการเปรียบเทียบตามแต่ละช่วงถนน โดยรูปแบบในการคำนวณค่ารถแท็กซี่นั้นจะใช้สูตรการคำนวณจากการคำนวณค่าใช้จ่ายของรถแท็กซี่จริง และทำการผนวกรวมกับระยะเวลาและวันในการเดินทาง ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่าย โดยการวัดผลความถูกต้องนั้นได้วัดจากให้ผู้ใช้แสดงรายละเอียดใน webboard ของระบบรวมถึงการสอบถามจากพนักงานขับรถแท็กซี่จริง ซึ่งเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 144 ครั้ง โดยแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบจะมีการปรับค่าให้ได้ใกล้เคียงมากขึ้นไปตามลำดับ ผลที่ได้จากการคำนวณค่ารถแท็กซี่นั้นเป็นที่น่าพอใจที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ โดยการใช้งานระบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่แสดงรายละเอียดการเดินทางพร้อมแผ่นที่ และส่วนการใช้งานบนโทรศัพท์มือถือ โดยผลที่ได้จากการคำนวณมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงค่าใช้จ่ายจริงที่ 88% และผลที่ต่างกันมากนั้นเกิดจากสภาพการจราจรที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงถนน

2.5 สรุปแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ต้องการศึกษาการประมาณระยะความยาวแถวคอยเป็นสำคัญ จึงทำการศึกษาวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการประมาณค่าความยาวแถวคอยในอดีต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้การวิเคราะห์คลื่นกระแทก(Shockwave Analysis) โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ในปี 1956 Richards ได้พัฒนาทฤษฎีการไหลของกระแสจราจรโดยการนำยานพาหนะมาแทนที่ด้วยของไหล ซึ่งได้พิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นและความเร็ว จากนั้น ได้สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความหนาแน่น จากนั้น สามารถสร้างกราฟของคลื่นกระแทกออกมาได้ ในปี 2008 Ping et al. ได้พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างการคำนวณเพื่อหาแถวคอยโดยใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมกับการวิเคราะห์คลื่นกระแทก ในปี 2009 Liu et al. ได้ศึกษาวิจัยวิธีการประมาณแถวคอย ณ เวลาจริง ในกรณีที่ใช้เครื่องตรวจวัดการจราจร แล้วนำมาวิเคราะห์ในกระบวนการคลื่นกระแทก ซึ่งเป็นกรณีที่ระยะความยาวแถวคอยจริงยาวกว่าเครื่องตรวจวัดการจราจร ในปี 2010 Wu et al. ได้ศึกษาเพิ่มเติม

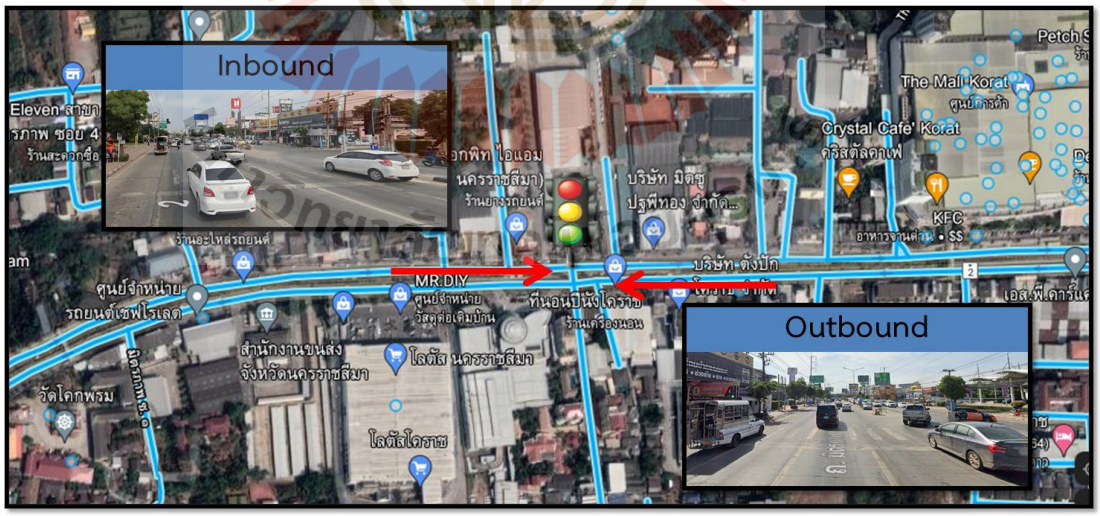
การประมาณแถวคอยต่อจากงานวิจัยของ Liu et al. ในปี 2009โดยเพิ่มในส่วนของการหา Over saturated index (OSI) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนสัญญาณไฟ โดยประยุกต์ใช้หลักการของการวิเคราะห์คลื่นกระแทก เป็นต้น และยังมีวิธีการอื่น ๆ นอกจากใช้ Shockwave Analysis ได้แก่ Shama et al. ในปี 2007 ได้ศึกษาวิธีการประมาณแถวคอยและความล่าช้า โดยทำการเปรียบเทียบทั้งสองวิธีคือ Input-output กับ Hybrid วิธี Input-output จะใช้ข้อมูลจราจรจากเครื่องตรวจวัดการจราจรเฉพาะรถที่เข้าสู่ทางแยก แต่วิธี Hybrid จะใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดตรงรถที่ออกทางแยกเพิ่มเข้าไปด้วย แล้วนำมาหาแถวคอยกับความล่าช้าโดยใช้วิธีกราฟปริมาณการจราจรสะสม Chang et al. ในปี 2000 ได้ประมาณแถวคอยโดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรเพื่อใช้สำหรับการควบคุมจราจร ณ เวลาจริง โดยใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรนับปริมาณรถที่เข้ามา และวัดการครอบครองผิวจราจร (Occupancy) มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมาณแถวคอยโดยไม่ต้องพิจารณาการวิเคราะห์คลื่นกระแทก แต่เนื่องด้วยการประมาณระยะความยาวแถวคอยในอดีตล้วนต้องใช้ปริมาณจราจรหรือใช้เครื่องตรวจวัดการจราจรเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาซึ่งในการนับจำนวนปริมาณจราจรค่อนข้างใช้เวลาและสามารถเกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้ อีกทั้งเครื่องตรวจวัดจราจรส่วนใหญ่ยังไม่มีการติดตั้งบริเวณทางแยกของประเทศไทยและยังมีมูลค่าในการติดตั้งค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ง่ายต่อการเข้าถึงเช่นข้อมูลแถบสีที่แสดงบน Google Maps โดยใช้โปรแกรม R ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอย พร้อมอาศัยการสร้างแบบจำลองในการเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลจากวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ Random Forest ซึ่งจะพิจารณาในปัจจัยต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน แล้ววัดค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ (RMSE) เป็นตัวชี้วัดแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการพยากรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 บริเวณพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ของการศึกษาได้แก่บริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรบนถนนเส้นหลักในเขตเมืองนครราชสีมาใกล้กับห้างสรรพสินค้าเทสโก้โลตัส ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เนื่องจากทางแยกบริเวณนี้อยู่บนถนนหลักซึ่งมีการไหลเวียนของการจราจรอยู่ตลอดเวลาจึงมีความเหมาะสมในการเลือกให้เป็นพื้นที่ศึกษา และทางแยกนี้ยังมีลักษณะของถนนที่ตรงตามความสนใจของผู้วิจัยสนใจโดยในทิศทางจากกรุงเทพมหานครฯ มุ่งสู่ตัวเมืองนครราชสีมานั้นไม่มีทางแยกหรือสัญญาณไฟจราจรในระยะมากกว่า 1 กิโลเมตรก่อนหน้าที่จะมาถึงบริเวณทางแยกที่ทำการศึกษาและอีกฝั่งเป็นการจราจรออกจากเมืองนครราชสีมา ผ่านหน้าห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา โดยในทิศดังกล่าวมีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าที่ห่างออกไปจากบริเวณทางแยกที่ศึกษาระยะทางประมาณ 800 เมตร ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าลักษณะของถนนทั้งสองลักษณะจะมีผลต่อการกระจายตัวของปริมาณจราจรที่วิ่งเข้าสู่ทางแยกซึ่งจะส่งผลต่อการประมาณระยะแถวคอยโดยใช้ข้อมูลแถบสีจาก Google Maps



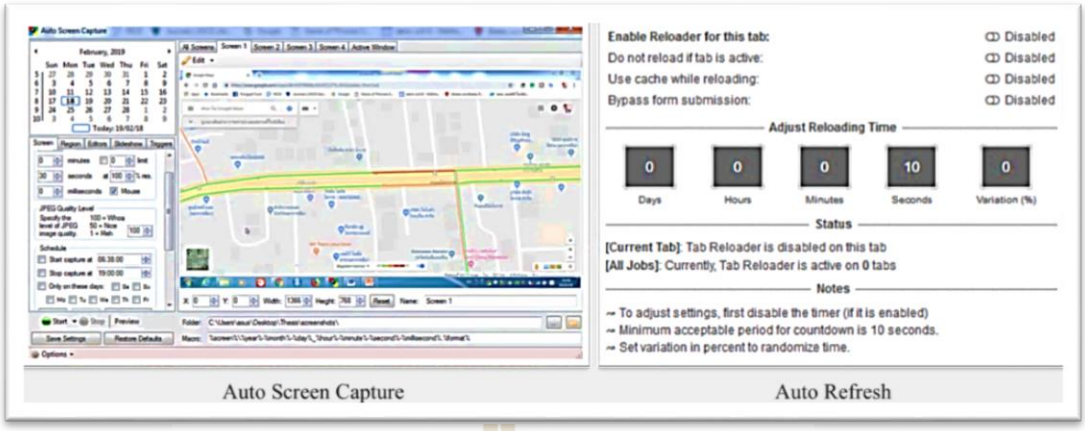
รูปที่ 3.1 บริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา

3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้คาดว่าความยาวและความเข้มของแถบสีที่แสดงบน google maps เป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำเข้าแบบจำลองเพื่อใช้ในการประมาณระยะความยาวแถวคอย ซึ่งจะต้องศึกษาในหลายช่วงเวลาที่แตกต่างกันพร้อมทั้งพิจารณาปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อการประมาณระยะความยาวแถวคอยได้ เนื่องจาก ผู้วิจัยต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสีของแถบสีบน Google Maps กับระยะความยาวแถวคอยจริง ดังนั้น จึงต้องมีการสำรวจและเก็บข้อมูลทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระยะความยาวและลักษณะสีของแถบสีบน Google Maps พร้อมกับบันทึกระยะความยาวแถวคอยจริงในพื้นที่ศึกษาไปพร้อมกันด้วย

3.2.1 การเก็บข้อมูลจาก Google Maps

การเก็บข้อมูลจาก Google Maps จะใช้การแคปเจอร์ภาพหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Screenshot) ที่เปิดใช้งาน Google Maps บริเวณที่ทำการสำรวจข้อมูล (ช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บข้อมูลระยะความยาวแถวคอยจริง ณ จุดสำรวจ) โดยใช้โปรแกรม Auto Screen Capture ที่เป็นตัวช่วยในการบันทึกภาพหน้าจอแบบอัตโนมัติโดยที่จะบันทึกทุก ๆ 1 นาที และในขณะเดียวกันบนหน้าเว็บไซต์ของ Google Maps ก็จะถูกตั้งระบบให้มีการ Refresh หน้าเว็บไซต์ตลอดเวลาโดยใช้โปรแกรม Auto Refresh เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของแถบสีอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากการสังเกต พบว่า ระยะความยาวแถบสีบน Google Maps จะแสดงความยาวเป็นช่วง ๆ แต่ละช่วงจะมีความยาวอยู่ระหว่าง 110-140 เมตร และจะแสดงลักษณะของสีตามความเร็วเฉลี่ยของรถที่อยู่บริเวณ นั้น ในกรณีของพื้นที่ศึกษาทั้งแบบมีทางแยกก่อนหน้าและไม่มีทางแยกอยู่ก่อนหน้า พบว่าแถบสีเขียวจะเป็นแถบสีสุดท้ายเสมอ และยังพบอีกว่าความยาวของแถบสีที่อยู่ก่อนหน้าแถบสีเขียวจะสามารถแปรผันเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละประมาณ 25-35 เมตร รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างแถบสีบนถนนในเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งแสดงช่วงความยาวออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 มีความยาว 240 เมตร แสดงแถบสีแดงหมายถึงรถติดแต่สามารถเคลื่อนที่ได้ ช่วงที่ 2 มีความยาว 120 เมตร แสดงแถบสีส้มหมายถึงรถสามารถเคลื่อนที่ได้แบบช้า ๆ ช่วงที่ 3 มีความยาว 55 เมตร แสดงแถบสีเขียวหมายถึงถนนโล่งรถเคลื่อนที่ได้ปกติ ช่วงที่ 4 แสดงแถบสีส้มหมายถึงรถสามารถเคลื่อนที่ได้แบบช้า ๆ และช่วงที่ 5 แสดงแถบสีเขียว โดยส่วนใหญ่ พบว่า แถบสีเขียวซึ่งเป็นแถบสีสุดท้ายจะยาวต่อเนื่องไปอีกเป็นระยะทางไกล แต่เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นได้ภายในขอบเขตของจอคอมพิวเตอร์จึงระบุแถบสีที่ 5 ให้เป็นแถบสีเขียวและให้ข้อมูลเป็นตัวเลข 999 เพื่อแสดงถึงระยะทางของแถบสีที่ค่อนข้างยาวต่อเนื่องไปจนล้นขอบจอคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของการกรองข้อมูลระยะความยาวจากการสำรวจของ Google Maps แสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 โปรแกรม Auto Screen Capture และ Auto Refresh

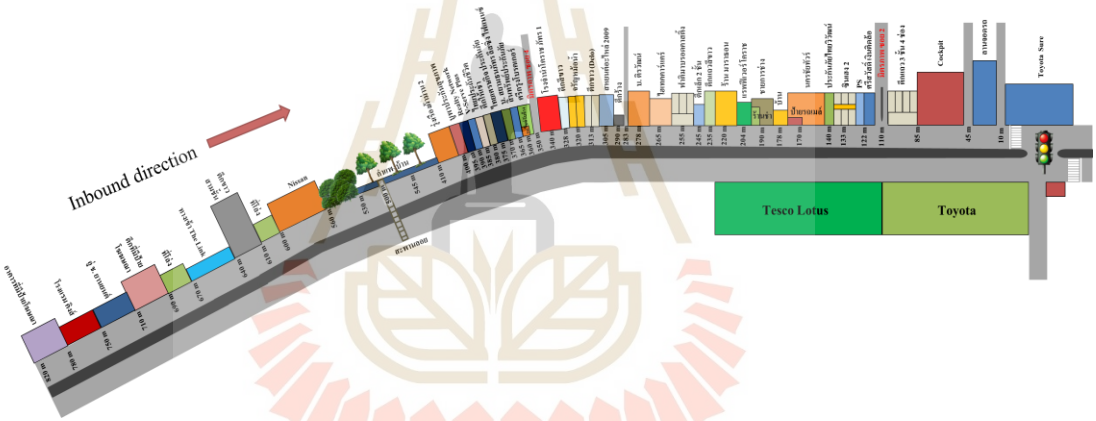
รูปที่ 3.3 แสดงความยาวแถบสีบน Google Maps

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลจาก Google Maps

Items	Color	Length
1st color from stop line	Red	240 Meter
2nd color from stop line	Orange	120 Meter
3rd color from stop line	Green	55 Meter
4th color from stop line	Orange	55 Meter
5th color from stop line	Green	999 Meter

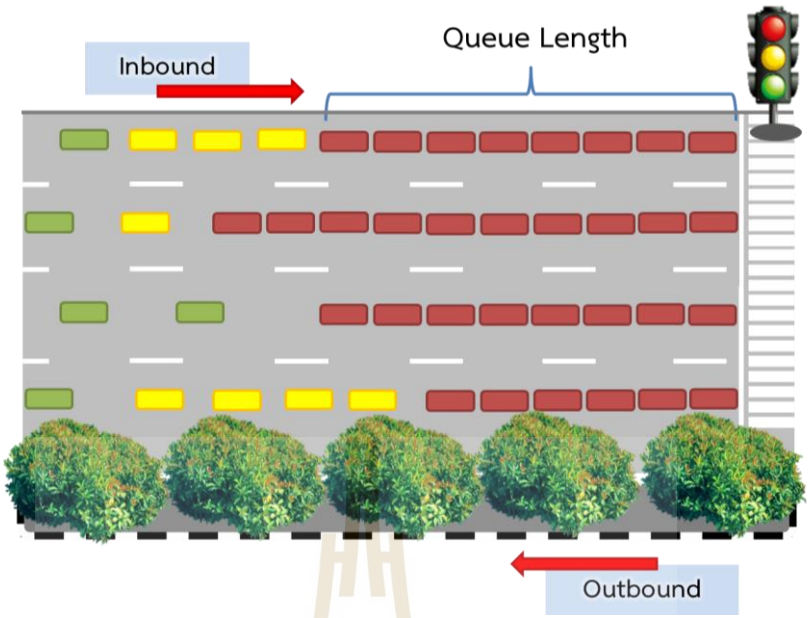
3.2.2 การเก็บข้อมูลระยะความยาวแถวคอยจริง

การเก็บระยะความยาวแถวคอยจริงบนพื้นที่ศึกษาได้จากการสังเกตของผู้สำรวจ โดยจะมีการวัดระยะจากเส้นหยุดทุก ๆ 20 เมตร และทำเครื่องหมายเพื่อบอกระยะความยาวบริเวณไหล่ทางหรือบนพื้นที่ฟุตบาทเพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูลพร้อมทั้งจัดทำแผนที่บริเวณพื้นที่ศึกษาโดยระบุระยะความยาวจากเส้นหยุดไปยังจุดสังเกตต่าง ๆ เช่น ตึก/อาคาร เสาไฟ ป้ายโฆษณา และสิ่งก่อสร้างอื่นที่มองเห็นได้ง่ายในระยะไกลเพื่อใช้เป็นตัวช่วยในการเก็บระยะความยาวแถวคอยจริงด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.3 อย่างไรก็ตาม ระยะความยาวแถวคอยของแต่ละช่องจราจรอาจจะไม่เท่ากันแต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในการสำรวจจึงทำการบันทึกข้อมูลความยาวแถวคอยแยกตามช่องจราจร ดังแสดงในตัวอย่างแบบฟอร์มการสำรวจของตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างแผนที่แสดงระยะความยาว (ทิศทางขาเข้าเมืองนครราชสีมา)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 ระยะความยาวแถวคอยกรณีมีรถบางส่วนเคลื่อนที่ได้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างแบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลระยะความยาวแถวคอยจริง

ระยะเวลา	ระยะแถวคอย (เมตร)				เพิ่มเติม
	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	
07:00					
07:01					
07:02					
07:03					
07:04					
07:05					
07:06					
07:07					
07:08					
07:09					
07:10					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หลังจากนั้น จะทำการบันทึกระยะแถวคอยจริงทุก ๆ 1 นาที เช่นเดียวกับการ Capture หน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อให้เวลาตรงกันเนื่องจากทำการบันทึกระยะทุก ๆ 1 นาทีทำให้บางครั้งอาจจะอยู่ในช่วงเวลาไฟเขียวที่รถสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่เกิดระยะความยาวแถวคอยก็จะทำการระบุว่าไม่มีแถวคอยหรือมีระยะความยาวแถวคอยเป็น 0 นั่นเอง หลังจากนั้นจะนำระยะความยาวแถวคอยจริงนี้มาใช้เป็นข้อมูลตัวแปรตามสำหรับนำเข้าในแบบจำลอง

การสำรวจและเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. เพื่อให้ครอบคลุมเวลาในชั่วโมงเร่งด่วนที่มีปริมาณจราจรหนาแน่น และช่วงเวลาไม่เร่งด่วนที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างปกติ ซึ่งได้ทำการสำรวจเช่นเดียวกันนี้ทั้งในวันธรรมดาจำนวน 3 วัน คือ วันพุธที่ 4 เมษายน 2562 วันจันทร์ที่ 15 กรกฎาคม 2562 และวันอังคารที่ 23 กรกฎาคม 2562 และวันหยุดเสาร์อาทิตย์จำนวน 2 วัน คือ วันอาทิตย์ที่ 28 เมษายน 2562 และวันอาทิตย์ที่ 14 กรกฎาคม 2562 เพื่อการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและมีความหลากหลายของช่วงเวลาในการเรียนรู้ของแบบจำลองการพยากรณ์ และทั้งสองทิศทางขาเข้าและขาออกเมืองทำการเก็บข้อมูลในวันและเวลาเดียวกันดังที่กล่าวถึงข้างต้น

3.2.3 ปริมาณจราจร (Traffic Volume)

การเก็บข้อมูลปริมาณจราจรเป็นการเก็บข้อมูลจำนวนยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามาบริเวณของทางแยกไฟสัญญาณจราจรที่ศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 (รถจักรยานยนต์, รถเครื่อง 3 ล้อ) ประเภทที่ 2 (รถเก๋ง, รถกระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ) ประเภทที่ 3 (รถโดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง) ประเภทที่ 4 (รถบรรทุก 6 ล้อ, รถโดยสารขนาดใหญ่) ประเภทที่ 5 (รถบรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วงและกึ่งพ่วง) โดยการตั้งกล้องบันทึกวีดีโอตั้งแต่เวลา 07.00 น. ถึง 19.00 น. ทั้งในวันธรรมดาและวันหยุดเสาร์อาทิตย์เช่นเดียวกับการเก็บระยะความยาวแถวคอยจริงเพื่อใช้ในการแบ่งช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วนเพื่อแยกประเภทแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์

3.3 การสร้างแบบจำลอง

3.3.1 ข้อมูลและตัวแปร

ข้อมูลที่ใช้เพื่อนำเข้าในแบบจำลอง (Input Data) ได้แก่ ข้อมูลระยะความยาวแถบสีบน Google Maps ทุก ๆ 1 นาที ซึ่งจะเป็นตัวแปรอิสระ (X) ถูกแบ่งออกเป็น 24 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยงานวิจัยนี้พิจารณาแถบสีที่แสดงบน Google Maps จำนวน 6 แถบ ซึ่งเป็นจำนวนแถบที่อยู่ติดกันที่มากที่สุดบนถนนเส้นที่พิจารณาที่สามารถมองเห็นได้จากจอคอมพิวเตอร์ โดยจำนวนแถบอาจจะมากหรือน้อยกว่านี้ได้ขึ้นอยู่กับการย่อหรือขยายภาพหน้าจอ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้พยายามย่อภาพหน้าจอของ Google Maps ให้ได้ระยะทางจากทางแยกไปให้ไกลที่สุดโดย

ที่ยังสามารถมองเห็นรายละเอียดของแถบสีได้ และในหนึ่งแถบจะแสดงสีโดยขึ้นอยู่กับสภาพจราจรซึ่งอาจเป็นสีใดสีหนึ่งจาก 4 สี คือ สีน้ำตาลแดง สีแดง สีส้ม และสีเขียว ในการแสดงผลของแต่ละแถบจะแสดงเพียงครั้งละ 1 สี เท่านั้น ดังนั้น จึงระบุตัวแปรอิสระโดยใช้ตัวเลขแรกหมายถึงแถบที่เท่าไหร่และเลขตัวที่สองหมายถึงสีอะไร เช่น สมมติว่า ณ เวลาหนึ่งบนถนนที่กำลังพิจารณา โดยเริ่มนับจากเส้นหยุดไปจนถึงปลายของถนนมีจำนวนแถบสีที่มองเห็นบนหน้าจอเพียง 4 แถบ แถบแรกเป็นสีแดง แถบที่สองเป็นสีเขียว และแถบที่สามเป็นสีส้ม ก็จะได้ตัวแปรเป็น X12, X24, X33 โดยจะบันทึกค่าตามความยาวของแถบสีที่วัดได้ตามลำดับ ส่วนตัวแปรตาม (Y) คือค่าความยาวแถวคอยจริงบริเวณทางแยกซึ่งมีการพิจารณาทั้งกรณีค่าเฉลี่ยหรือค่าสูงสุดของแถวคอยจากทุกช่องจราจร โดยทั้งตัวแปร X และ Y จัดอยู่ในประเภทตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous Variable)

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวแปร (X) ระยะความยาวจาก Google Maps

	สีน้ำตาลแดง	**สีแดง**	**สีส้ม**	**สีเขียว**
แถบที่ 1	X11	X12	X13	X14
แถบที่ 2	X21	X22	X23	X24
แถบที่ 3	X31	X32	X33	X34
แถบที่ 4	X41	X42	X43	X44
แถบที่ 5	X51	X52	X53	X54
แถบที่ 6	X61	X62	X63	X64

นอกจากตัวแปรข้อมูลแถบสีแล้ว ยังมีตัวแปรอิสระอีกบางส่วนที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลองเพื่อแบ่งกรณีในการศึกษา ได้แก่ ทิศทางที่มีและไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า (Approach type) วันในสัปดาห์ (Day_type), ช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน (Peak/Off-Peak) นอกจากนั้นในส่วนของตัวแปรตาม ผู้วิจัยได้มีการแยกการสร้างแบบจำลองออกเป็นสองกรณี ได้แก่ แบบจำลองที่พิจารณาตัวแปรตามโดยใช้ค่าเฉลี่ยระยะแถวคอยจาก 4 ช่องจราจร (Y_Avg) และแบบจำลองที่พิจารณาตัวแปรตามโดยใช้ค่าสูงสุดของระยะแถวคอยจาก 4 ช่องจราจร (Y_Max) ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง

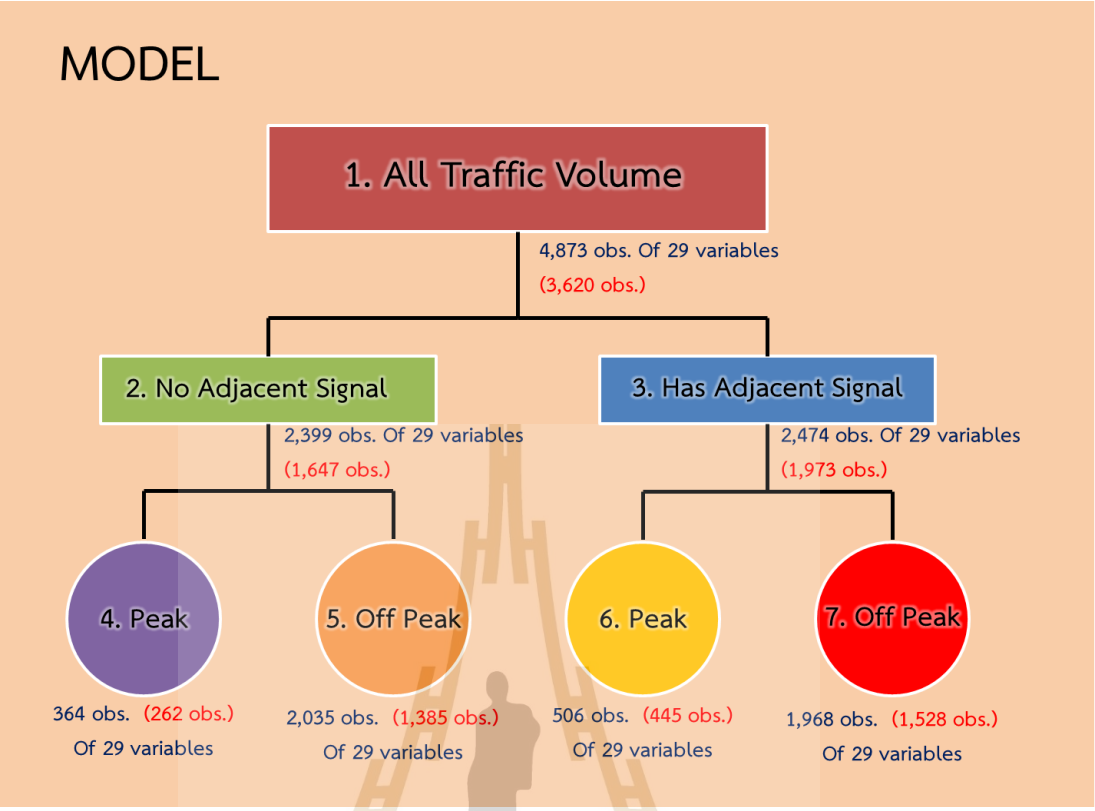
ตัวแปรอื่น ๆ	
Y_Avg	ค่าเฉลี่ยระยะแถวคอยจาก 4 ช่องจราจร
Y_Max	ค่าสูงสุดระยะแถวคอยจาก 4 ช่องจราจร
Approach type	ไม่มีทางแยกก่อนหน้า (1)/มีทางแยกก่อนหน้า (2)
Day_type	Weekday (1) /Weekend (2)
peak/off peak	เร่งด่วน (1)/ไม่เร่งด่วน (2)

3.3.2 การแบ่งกรณีในการสร้างแบบจำลอง (Case Study)

งานวิจัยนี้ได้เลือกวิธี Linear Regression มาพิจารณาเนื่องจากผลลัพธ์สามารถแสดงเป็นสมการและทำให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นยังได้เลือกวิธี Random Forest ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ง่ายและได้รับความนิยม (ขนิษฐา ดีสุบิน, 2560) และอีกหนึ่งวิธีเป็นการใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของความยาวแถวคอยที่สำรวจได้ในอดีตมาใช้ในการพยากรณ์ความยาวแถวคอยในอนาคต โดยแยกการหาค่าเฉลี่ยสำหรับการพยากรณ์ตามปัจจัยต่าง ๆ ที่สนใจ ได้แก่ ช่วงเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วน ทิศทางที่มีหรือไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า และวันธรรมดาหรือวันหยุด ซึ่งสามารถใช้วิธีค่าเฉลี่ยเป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองวิธีอื่นในการตรวจจับการแปรผันของความยาวแถวคอยเมื่อเทียบกับการใช้ค่าเฉลี่ยตามปัจจัยที่กล่าวข้างต้น

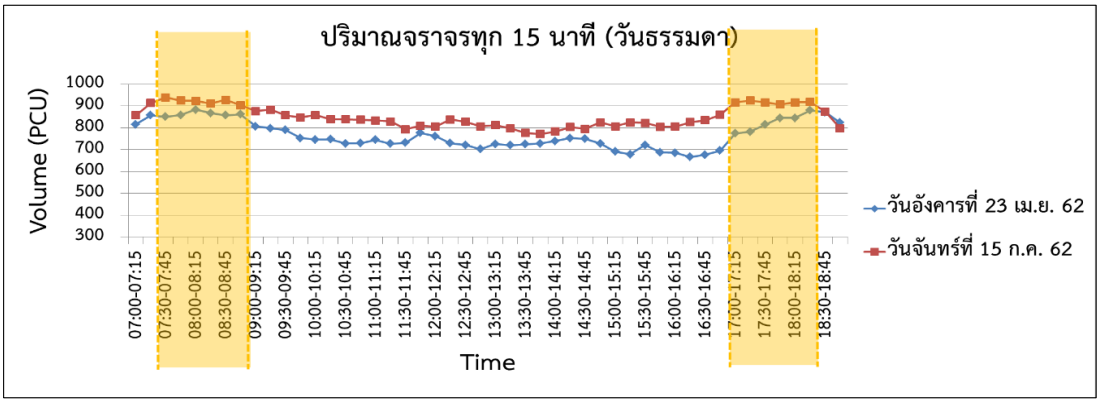
จากสมมติฐานที่คาดว่าปริมาณจราจรที่แตกต่างกันในช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน รวมถึงความแตกต่างของสภาพจราจรบนถนนที่มีหรือไม่มีทางแยกสัญญาณไฟอยู่ก่อนหน้า อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแถบสีจาก Google Maps กับระยะความยาวแถวคอยจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองที่มีรายละเอียดแตกต่างกันตามสมมติฐานที่สนใจศึกษา โดยแยกตามลักษณะของถนนที่มุ่งเข้าสู่ทางแยกรวมถึงมีการแยกตามช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน ดังแสดงในรูปที่ 18 ในแต่ละกรณีศึกษาจะมีการวิเคราะห์ 3 ระดับ

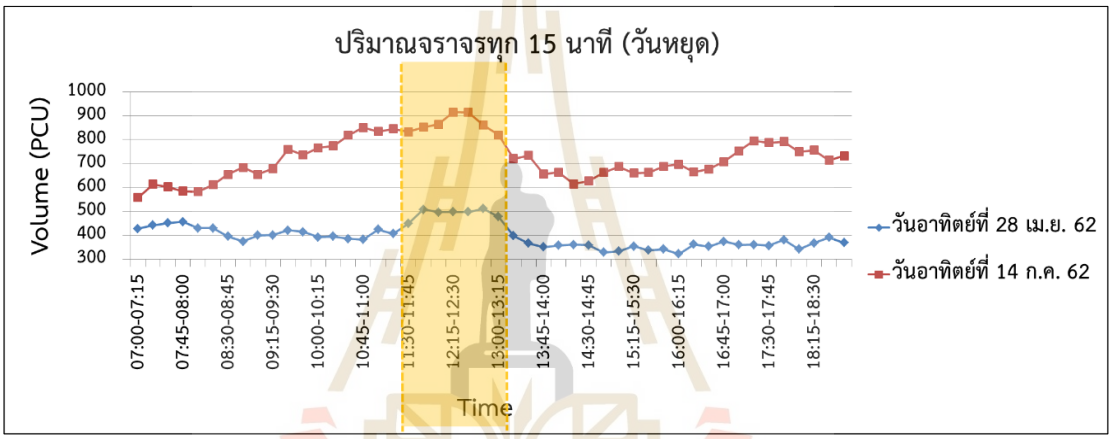
1. ทำการสร้างแบบจำลองเพียงหนึ่งแบบจำลอง โดยไม่มีการแยกทิศทางและช่วงเวลา
2. ทำการสร้างแบบจำลองสองแบบจำลอง โดยแยกตามประเภทของทิศทาง เพื่อใช้คาดการณ์ความยาวแถวคอยตามประเภทของทิศทางที่ต่างกัน
3. ทำการสร้างแบบจำลองสี่แบบจำลอง โดยมีการแยกประเภทของทิศทางและช่วงเวลา



รูปที่ 3.6 การแบ่งกรณีศึกษาของข้อมูล

การแบ่งข้อมูลช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak) และไม่เร่งด่วน (Off-Peak) จะใช้ข้อมูลปริมาณจราจรเป็นตัวช่วยในการแยกช่วงเวลา ซึ่งจะให้ผลต่างกันระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด จากการวิเคราะห์พบว่าในวันธรรมดามีปริมาณจราจรสะสมมากกว่าวันหยุดและในวันธรรมดามีช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าอยู่ในช่วง 07:30 – 09:00 น. เป็นช่วงเวลาในการเดินทางของคนเพื่อไปทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เดินทางไปทำงาน เดินทางไปส่งบุตรหลานที่โรงเรียน เป็นต้น และมีเวลาเร่งด่วนเย็นอยู่ในช่วง 17:00 – 18:30 น. ซึ่งก็เป็นเวลาเดินทางกลับจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ นั่นเอง และในวันหยุดมีเวลาเร่งด่วนเพียงช่วงเดียวซึ่งอยู่ในช่วงเวลากลางวันคือเวลา 11:45 – 13:15 น. ดังแสดงในรูปที่ 3.7





รูปที่ 3.7 แสดงการแบ่งช่วงเวลาเร่งด่วนโดยใช้ปริมาณจราจรแยกวันธรรมดาและวันหยุด

การสร้างแบบจำลองนั้น ตัวแปรอิสระ (X) จะเป็นข้อมูลระยะความยาวแถบสีจาก Google Maps ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการตัดตัวแปรที่แสดงแถบสีเป็นสีเขียว ได้แก่ X14, X24, X34, X44, X54, และ X64 ออกจากการสร้างแบบจำลองเนื่องจากเป็นแถบสีที่แสดงว่า ณ ขณะนั้นความหนาแน่นของรถบริเวณทางแยกเบาบางรถสามารถใช้ความเร็วได้ทำให้ไม่เกิดระยะความยาวแถวคอย และตัวแปรตาม (Y) เป็นระยะความยาวแถวคอยจริง โดยจะมีการพิจารณาครอบคลุม 2 กรณีย่อย กรณีแรกจะนำตัวแปรอิสระทั้งหมดจากหกแถบสี (X11-X63) มาพิจารณาสร้างแบบจำลอง และกรณีที่สองจะทำการพิจารณาตัวแปรอิสระเฉพาะแถบสีที่ 1-3 (X11-X33) ซึ่งเป็นแถบสีสามแถบแรกที่อยู่ติดกันบนทางแยกที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับความยาวแถวคอยมากที่สุด เพื่อความเข้าใจในการพิจารณาจะทำการกำหนด กรณีศึกษาดังนี้

1) NoSep_6band คือ No Separation หมายถึง การสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทั้งหมดโดยไม่มีการแยกทิศทางและช่วงเวลา (กรณีที่ 1) และมีแถบสีทั้งหมด 6 แถบสี (X11-X63)

2) SepAdjSig_6band คือ Separation by Adjacent Signals หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มี (กรณีที่ 2) และมี (กรณีที่ 3) ทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าที่มีแถบสีทั้งหมด 6 แถบสี (X11-X63)

3) SepAdjSigAndTime_6band คือ Separation by Adjacent Signals and Time หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) ที่มีแถบสีทั้งหมด 6 แถบสี (X11-X63)

4) DummySepAdjSigAndTime_6band คือ Dummy Separation by Adjacent Signals and Time หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) โดยใช้ตัวแปรแบบ Dummy variable เพื่อสะท้อนกรณีย่อยต่าง ๆ โดยมีแถบสีทั้งหมด 6 แถบสี (X11-X63)

5) NoSep_3band คือ No Separation หมายถึง การสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทั้งหมดโดยไม่มีการแยกทิศทางและช่วงเวลา (กรณีที่ 1) และมีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33)

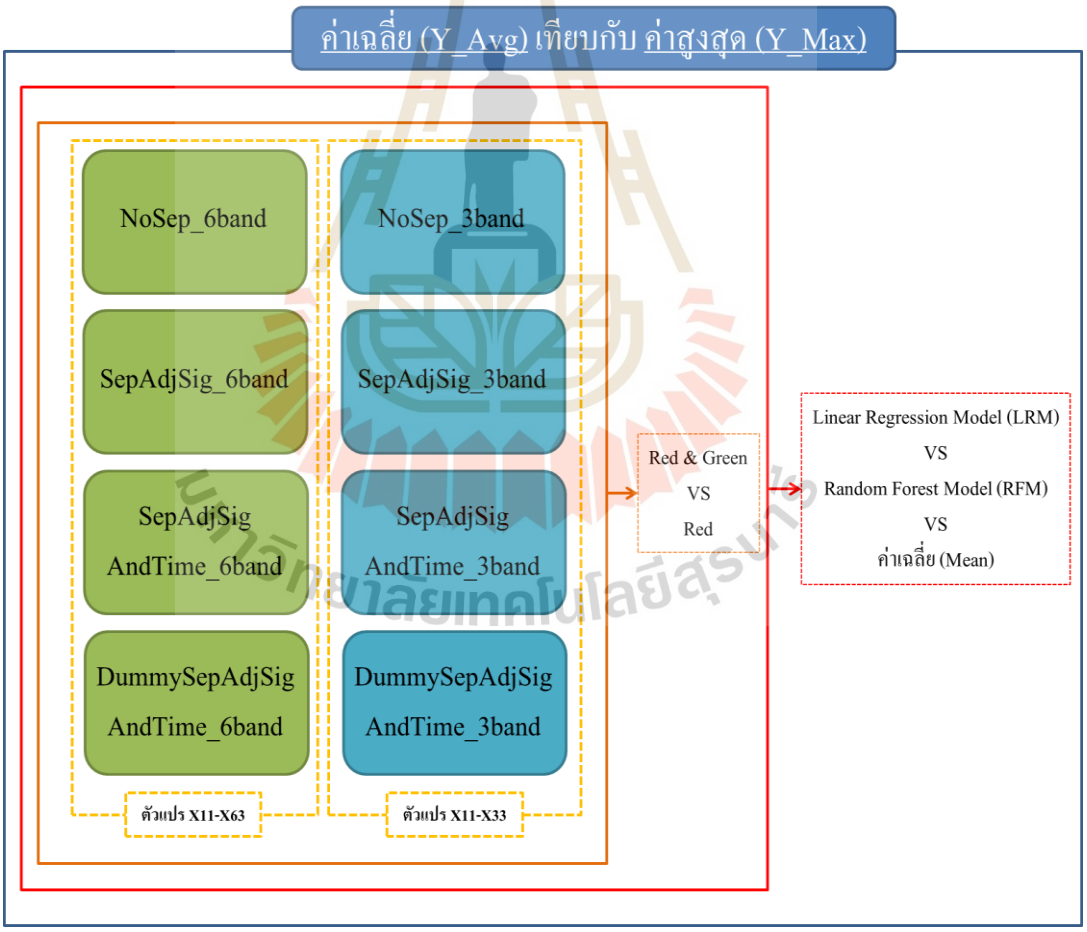
6) SepAdjSig_3band คือ Separation by Adjacent Signals หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มี (กรณีที่ 2) และมี (กรณีที่ 3) ทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าที่มีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33)

7) SepAdjSigAndTime_3band คือ Separation by Adjacent Signals and Time หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) ที่มีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33)

8) DummySepAdjSigAndTime_3band คือ Dummy Separation by Adjacent Signals and Time หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณ

ไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) โดยใช้ตัวแปรแบบ Dummy variable เพื่อสะท้อนกรณีย่อยต่าง ๆ ที่มีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33)

เนื่องจาก ในการศึกษานี้มีการพิจารณาตัวแปรตามหรือความยาวแถวคอยในสองลักษณะได้แก่ 1) กรณีศึกษาเมื่อใช้ตัวแปรตามเป็นค่าเฉลี่ยของความยาวแถวคอยจากทุกช่องจราจร ณ ขณะนั้น (Y_Avg) และ 2) กรณีศึกษาเมื่อใช้ตัวแปรตามเป็นค่าสูงสุดของความยาวแถวคอยจากทุกช่องจราจร ณ ขณะนั้น (Y_Max) ซึ่งในแต่ละกรณีศึกษาจะทำการพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 8 ประเภทดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนั้นจะมีการพิจารณาเปรียบเทียบกรณีย่อยอีกสองกรณีได้แก่ กรณีที่ใช้ข้อมูลทั้งในช่วงเวลาสัญญาณไฟแดงและสัญญาณไฟเขียว (Red & Green) จำนวน 4,873 ชุดข้อมูล และกรณีที่พิจารณาเฉพาะข้อมูลที่อยู่ในช่วงสัญญาณไฟแดง (Red) จำนวน 3,620 ชุดข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงกรณีในการศึกษาทั้งหมด

ชุดข้อมูลจากทุกกรณี จะถูกแบ่งข้อมูลของทั้งวันทำงานและวันหยุดออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจำนวน 90% ของข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Train) และอีก 10% สำหรับการทดสอบ (Test) ซึ่งข้อมูลถูกแบ่งออกจากกันชัดเจนไม่ได้ใช้ร่วมกัน โดยข้อมูลของทั้ง Train และ Test จะมีทั้งช่วงวันธรรมดาและวันหยุดเหมือนกัน การทำดังกล่าวทำให้แบบจำลองผ่านการ Train ครอบคลุมสภาพจราจรจากทั้งวันหยุดและวันธรรมดา รวมถึงช่วงเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน และการ Test ก็ครอบคลุมสภาพจราจรที่มีความหลากหลายเช่นกัน โดยทุกวิธีการ Linear Regression Model (LRM), Random Forest (RFM) และวิธี Mean จะอาศัยกระบวนการ Cross-Validation ในการแบ่งข้อมูลชุดแรกออกเป็นหลายส่วน เช่น 5-Fold Cross-Validation จากการศึกษาส่วนใหญ่การทำ Cross-Validation จะถูกแบ่งเป็น 5 หรือ 10 หรือ 100 ส่วน โดยการแบ่งส่วนที่มากขึ้นจะทำให้เปรียบเสมือนมีการพิจารณาทดสอบกับชุดข้อมูลที่ต่างกันหลายชุด ซึ่งผลการทดสอบจะสะท้อนความสามารถในการพยากรณ์ของแบบจำลองได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการแบ่งส่วนที่มากเกินไปจะทำให้แต่ละส่วนมีชุดข้อมูลน้อยและทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้น ซึ่งยังไม่มีข้อแนะนำที่ชัดเจนว่าควรใช้จำนวนส่วนเท่าใด การวิจัยในครั้งนี้จึงเลือกจำนวน 5 ส่วน ซึ่งไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

การถดถอยแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) เป็นวิธีการผสมระหว่างการเลือกแบบก้าวหน้าและการตัดทิ้งแบบถอยหลัง ขั้นตอนแรก ใส่ตัวแปรต้นที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุด โดยการเลือกแบบก้าวหน้า ตรวจสอบระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของตัวแปรต้นตัวนั้น และตัดตัวแปรนั้น โดยการตัดทิ้งแบบถอยหลัง ขั้นตอนที่สอง ใส่ตัวแปรต้นที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามมีขนาดรองลงมา โดยการเลือกแบบก้าวหน้า ตรวจสอบระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของตัวแปรต้นนั้น และตัดตัวแปรนั้น โดยการตัดทิ้งแบบถอยหลัง... ทำต่อไปเรื่อย ๆ กระบวนการสิ้นสุดเมื่ออิทธิพลของตัวแปรต้นที่เหลืออยู่ในสมการมีนัยสำคัญทางสถิติทุกตัวแปร

ส่วนแบบจำลองจากวิธีการ Random Forest Model (RFM) เรียกใช้ Packages ที่มีชื่อว่า Caret โดยใช้ Method เป็นของ Ranger ซึ่งเป็น Algorithms ที่เอาไว้ใช้กับ RFM โดยเฉพาะ วิธี RFM จาก Ranger มี hyperparameter ที่ต้องการปรับจูนค่า (Tuning) ทั้งสิ้น 2 ตัวได้แก่ Mtry และ Min.Node.Size ในการศึกษานี้มีการกำหนดช่วงของจำนวนตัวแปรที่อาจจะแบ่งได้ในแต่ละโหนด (Mtry) ไว้ระหว่าง 2-10 ตัวแปร และขนาดโหนดที่น้อยที่สุด (Min.Node.Size) อยู่ในช่วง 5-10 โหนด ซึ่งการกำหนดช่วงดังกล่าวนั้นมีความครอบคลุมค่าที่สมเหตุสมผลของพารามิเตอร์แต่ละตัวสำหรับการศึกษานี้ โดย Caret Package มีความสามารถในการปรับจูน (Tuning) เพื่อหาค่า Hyperparameter ที่มีค่าเหมาะสมจากช่วงที่กำหนดได้โดยอัตโนมัติ

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้น

ผลการคำนวณค่าทางสถิติเบื้องต้นเพื่อพิจารณาลักษณะของข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ามีการกระจายตัวของความยาวแถวคอยที่สำรวจจริงค่อนข้างมากเนื่องจากมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) ค่อนข้างสูงและเมื่อพิจารณาระหว่างตัวแปรตาม (Y) จะเห็นได้ว่าตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) มีการกระจายตัวของข้อมูลน้อยกว่าตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max) และเมื่อพิจารณาความยาวแถวคอยในช่วงเวลาของสัญญาณไฟจราจรจะสังเกตเห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดง (Red) ส่วนใหญ่จะมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยกว่าข้อมูลที่อยู่ในช่วงทั้งสัญญาณไฟเขียวและไฟแดง (Green & Red) เนื่องจากในขณะที่ยานพาหนะอยู่ในช่วงสัญญาณไฟแดงส่วนใหญ่จะให้ความยาวแถวคอยค่อนข้างมาก ดังนั้นข้อมูลจึงอยู่รวมกันทำให้การกระจายตัวน้อยลง ส่วนการพิจารณาแบ่งช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วนก็พบว่าการกระจายตัวในช่วงเร่งด่วนน้อยกว่าเช่นกัน เป็นผลมาจากช่วงเวลาเร่งด่วนจะมีปริมาณจราจรสูงทำให้แถวคอยส่วนใหญ่มีค่าความยาวใกล้เคียงกันมากขึ้นต่างจากข้อมูลช่วงเวลาทั้งหมดที่บางเวลาแถวคอยสั้นมาก (หรือมีค่าเป็น 0 อยู่ในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียว) และบางช่วงมีระยะแถวคอยยาวมากการกระจายตัวของข้อมูลจึงมากและทำให้มีความแปรปรวนสูงตามมา ส่วนค่าความเบ้ของข้อมูล (Skewness) ที่มีค่าส่วนใหญ่ให้ค่ามากกว่า 0 ส่งผลให้ทราบว่าข้อมูลส่วนใหญ่เบ้ไปทางขวาแสดงว่าระยะความยาวแถวคอยมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูล อย่างไรก็ตามข้อมูลในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดง (Red) ได้ทำการตัดข้อมูลที่เป็น 0 ส่วนใหญ่ออกไปเนื่องจากอยู่ในช่วงสัญญาณไฟเขียว แต่ก็ยังมีบางส่วนที่แสดงค่าระยะความยาวแถวคอยเป็น 0 เนื่องจากบางครั้งที่ทำการสำรวจข้อมูลอยู่ในช่วงสัญญาณไฟแดงแต่ไม่มีรถเคลื่อนที่เข้ามาบริเวณทางแยก พอดีกับช่วงเวลาที่ต้องบันทึกข้อมูลเมื่อครบทุก 1 นาที ก็จะส่งผลให้มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลโดยภาพรวมทุกกรณีมีค่าค่อนข้างสูงดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติเบื้องต้นของระยะความยาวแถวคอยจริง

แถวคอย (Queue Length)		Traffic Lights	No. of cases	ระยะความยาวแถวคอยจากการเฉลี่ย (Y_Avg)				ระยะความยาวแถวคอยจากค่าสูงสุด (Y_Max)			
				Mean (meter)	SD (meter)	Skewness	Kurtosis	Mean (meter)	SD (meter)	Skewness	Kurtosis
ทั้งหมด	ระยะแถวคอยทั้งหมด	Green & Red	4,873	93.31	97.36	1.27	1.41	133.34	130.20	1.09	2.29
		Red	3,620	88.88	84.06	1.36	2.18	131.02	118.79	1.33	4.83
	ระยะแถวคอยเฉพาะช่วงเร่งด่วน	Green & Red	870	90.96	93.78	1.25	1.65	134.03	136.57	1.76	9.80
		Red	707	91.76	90.21	1.29	1.95	138.63	137.40	1.97	11.69
	ระยะแถวคอยเฉพาะช่วงไม่เร่งด่วน	Green & Red	4,003	93.82	98.13	1.28	1.35	133.19	128.80	0.91	0.21
		Red	2,913	88.19	82.50	1.37	2.21	129.17	113.77	1.01	0.80
ทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้า	ระยะแถวคอยทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้าทั้งหมด	Green & Red	2,399	128.55	110.24	0.87	0.19	170.57	136.20	0.61	-0.28
		Red	1,647	106.54	97.53	1.18	1.20	141.91	123.47	0.95	0.58
	ระยะแถวคอยทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้าช่วงเร่งด่วน	Green & Red	364	119.97	100.41	1.09	1.33	155.51	118.39	0.60	-0.14
		Red	262	112.25	97.00	1.31	2.06	145.09	115.05	0.82	0.23
	ระยะแถวคอยทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้าช่วงไม่เร่งด่วน	Green & Red	2,035	130.09	111.87	0.83	0.03	173.26	139.00	0.59	-0.34
		Red	1,385	105.46	97.63	1.15	1.03	141.31	125.03	0.97	0.62
ทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้า	ระยะแถวคอยทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้าทั้งหมด	Green & Red	2,474	59.13	67.20	1.33	1.80	97.24	112.97	1.81	9.22
		Red	1,973	74.14	67.45	1.14	1.47	121.93	113.98	1.70	9.90
	ระยะแถวคอยทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้าช่วงเร่งด่วน	Green & Red	506	70.09	82.72	1.35	1.67	118.58	146.45	2.33	13.49
		Red	445	79.70	83.76	1.22	1.34	134.83	148.99	2.26	13.39
	ระยะแถวคอยทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้าช่วงไม่เร่งด่วน	Green & Red	1,968	56.31	62.31	1.17	0.98	91.75	101.93	1.14	0.71
		Red	1,528	72.52	61.84	0.96	0.67	118.17	101.29	0.91	0.34

4.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูล Testing ที่แบ่งเอาไว้ 10% นั้น จะใช้ค่าความยาวแถวคอยจริงจากชุดข้อมูล Testing เทียบกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระจากชุดข้อมูล Testing ของทุกแบบจำลองได้แก่ Linear Regression Model (LRM), Random Forest Model (RFM) และวิธีการพยากรณ์โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) สำหรับกรณีย่อยต่าง ๆ แล้วจึงพิจารณาประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแบบจำลองจากรากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.2

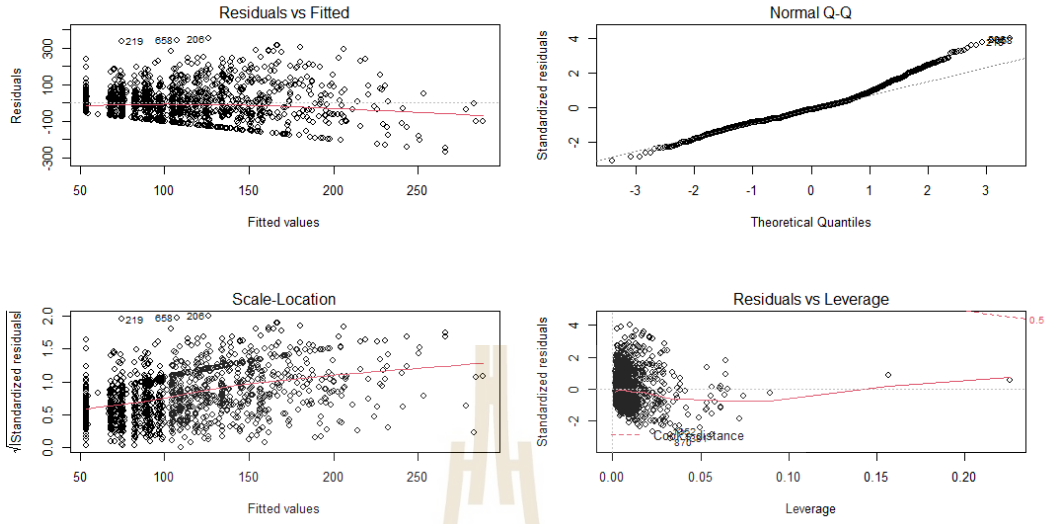
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลอง

		ระยะความยาวแถวคอยจากการเฉลี่ย (Y_Avg)			ระยะความยาวแถวคอยจากค่าสูงสุด (Y_Max)		
แบบจำลอง	**Traffic Lights**	**RMSE of LRM (m)**	**RMSE of RFM (m)**	**RMSE of Mean (m)**	**RMSE of LRM (m)**	**RMSE of RFM (m)**	**RMSE of Mean (m)**
NoSep_6band	Green & Red	84.89	79.18	91.20	117.32	110.22	128.65
	Red	79.41	77.01	84.81	108.85	103.19	113.60
SepAdjSig_6band	Green & Red	82.74	78.86	87.47	112.37	110.55	121.22
	Red	77.99	77.64	82.92	107.21	102.89	113.28
SepAdjSigAndTime_6band	Green & Red	82.28	79.06	87.18	113.21	110.24	120.63
	Red	82.25	77.20	82.87	109.25	103.76	113.08
DummySepAdjSigAndTime_6 band	Green & Red	82.64	78.79	87.18	112.89	110.02	120.63
	Red	78.54	77.01	82.87	108.85	102.76	113.08
NoSep_3band	Green & Red	85.34	79.10	91.20	116.97	109.07	128.65
	Red	79.39	75.80	84.81	109.09	102.83	113.60
SepAdjSig_3band	Green & Red	83.01	79.53	87.47	112.53	108.88	121.22
	Red	78.02	75.71	82.92	107.05	102.33	113.28
SepAdjSigAndTime_3band	Green & Red	82.32	78.31	87.18	113.62	109.10	120.63
	Red	79.03	75.60	82.87	109.07	102.75	113.08
DummySepAdjSigAndTime_3 band	Green & Red	83.24	78.61	87.18	112.96	108.97	120.63
	Red	78.57	75.61	82.87	109.09	102.55	113.08

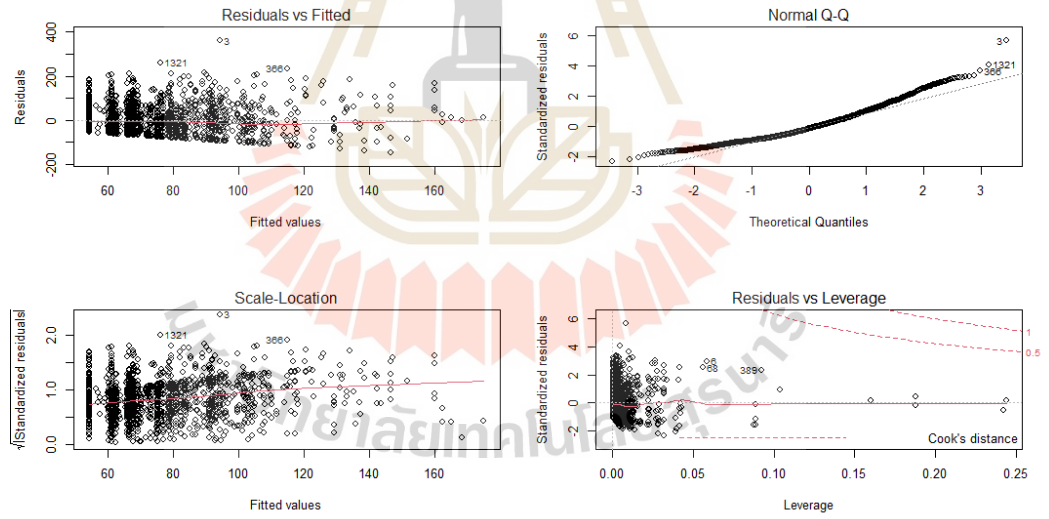
การสร้างแบบจำลองของวิธีการ Linear Regression Model (LRM) มีการพิจารณาตัวแปรอิสระ (X) ตามสมมติฐานพื้นฐาน ได้แก่ ประชากรของค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ

(Normal Distribution) ประชากรของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (Zero Mean) ประชากรของค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ (Homoskedasticity) และค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน (Nonautoregressive) พบว่ามีตัวแปรอิสระบางตัวไม่เป็นไปตามสมมติฐานพื้นฐานของสมการถดถอย ทำให้มีการปรับตัวแปรอิสระ (X) โดยการตัดตัวแปรบางตัวออกเพื่อให้เข้ากับเงื่อนไขข้างต้นก่อนการวิเคราะห์ผลแล้วนำมาสร้างสมการถดถอยเฉพาะตัวแปร (X) ที่ส่งผลต่อตัวแปร (Y) อย่างมีนัยสำคัญ ยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองจากวิธีการของ LRM ที่ดีที่สุดของการใช้ตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) ได้แก่ SepAdjSig_6band ซึ่งอยู่ในส่วนของข้อมูลที่ตัดส่วนที่เป็นช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวออกแล้ว นั้น ได้ผ่านการตัดตัวแปร (X) เพื่อคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับแบบจำลองมาแล้ว หลังจากนั้นได้ทำการตรวจสอบสมมติฐานการถดถอย ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจาก 2 กรณี คือ ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า (กรณีที่ 2) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า (กรณีที่ 3) จึงได้ผลการวิเคราะห์ของ 2 แบบจำลองจึงต้องพิจารณาสมการถดถอย 2 สมการดังแสดงในรูปที่ 21 จากการวิเคราะห์พบว่ากราฟ Normal Q-Q แสดงแนวโน้มของข้อมูลออกมาค่อนข้างได้เป็นเส้นตรงจะมีบางส่วนแยกออกมาจากแนวเส้นตรงบ้างแต่โดยภาพรวมแล้วถือว่าการกระจายตัวมีความเป็นปกติ และกราฟ Residuals vs Fitted ก็จะเห็นได้ว่าค่า Error ส่วนใหญ่จะอยู่รอบ ๆ ค่า 0 และมีการกระจายตัวทั้งด้านบนกราฟ (ค่าบวก) และข้างล่างกราฟ (ค่าลบ) ซึ่งเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วก็จะมีแนวโน้มเข้าหา 0 ส่วนกราฟ Scale-Location จะเป็นกราฟที่แสดงการกระจายตัวความแปรปรวนของค่า Error ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการกระจายตัวค่อนข้างจะสม่ำเสมอและส่วนใหญ่อยู่รอบ ๆ แนวเส้นตรงทำให้ถือได้ว่ามีความแปรปรวนคงที่ นอกจากนี้กราฟในรูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Residuals กับ Order ทำให้เห็นว่าเศษเหลือ (Residuals)ไม่มีสหสัมพันธ์กันเนื่องจากไม่มีรูปแบบในการกระจายตัว จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลของตัวแบบการถดถอยนี้เป็นไปตามสมมติฐานของการถดถอยดังที่กล่าวถึงข้างต้น

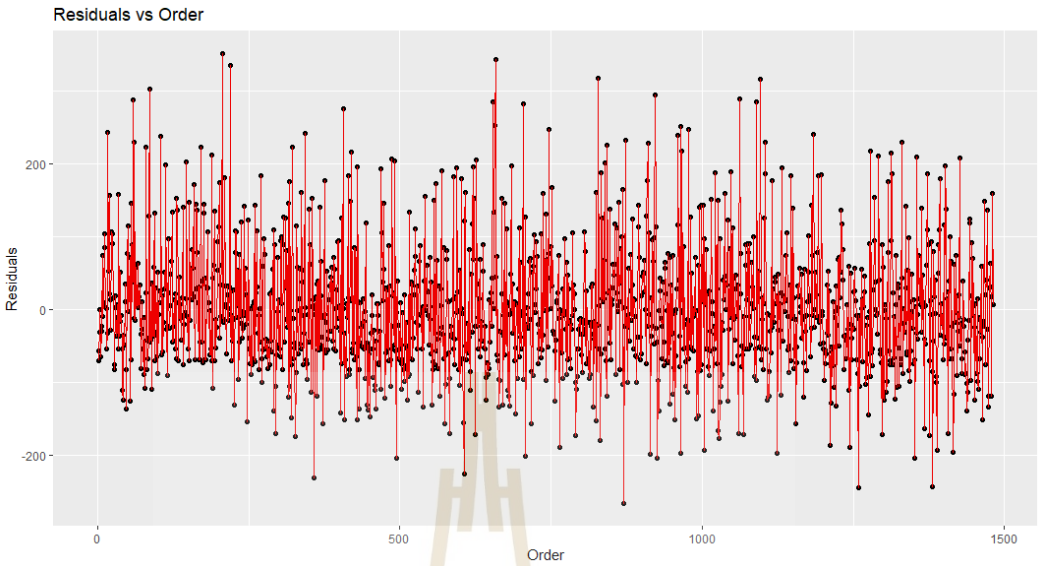


กรณีที่ 2 ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

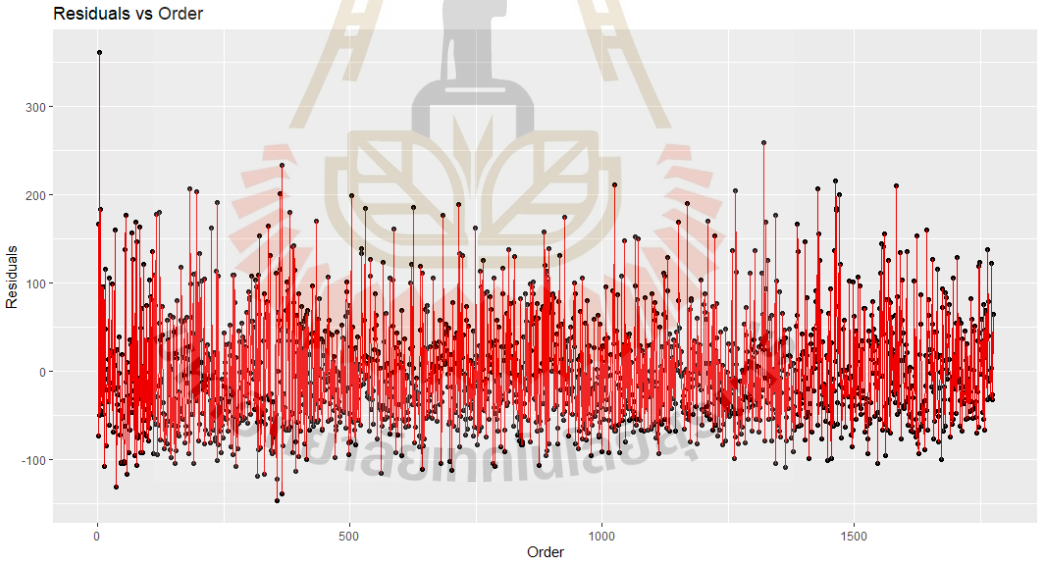


กรณีที่ 3 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพเศษเหลือ (Residuals Plot)



กรณีที่ 2 ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า



กรณีที่ 3 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

รูปที่ 4.2 แสดงค่าระหว่าง Residuals และ Order

เมื่อพิจารณาภาพรวมโดยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลกรณีที่อยู่ในช่วงเวลาที่มีทั้งสัญญาณไฟเขียวและไฟแดง (Green & Red) กับกรณีที่วิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะช่วงสัญญาณไฟแดง

(Red) นั้น พบว่าในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดง (Red) ของทุกวิธีการวิเคราะห์ทั้ง LRM, RFM และเทียบค่า Mean ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่ากรณีที่มีข้อมูลในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวด้วย แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่เหมาะสมในการนำมาพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยควรอยู่ในช่วงสัญญาณไฟแดงเท่านั้น ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นไปในทางเดียวกันทั้งการเทียบกับ Y_Avg และ Y_Max

4.2.1 วิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg)

จากการวิเคราะห์โดยวิธี Linear Regression Model (LRM) ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ที่น้อยที่สุด ได้แก่ SepAdjSig_6band ซึ่งเป็นแบบจำลองที่อยู่ในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดงและพิจารณาตัวแปร X ทั้งหมด โดยการสร้างแบบจำลองจะแบ่งออกเป็นสองแบบจำลองในการเรียนรู้ ซึ่งแบบจำลองแรกได้มาจากข้อมูลกรณีที่ 2 คือ ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า เป็นข้อมูลในการเรียนรู้ของแบบจำลอง และแบบจำลองที่สองได้จากกรณีที่ 3 คือ ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า หลังจากนั้นทำการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยของแต่ละแบบจำลอง แล้วนำผลการพยากรณ์มารวมกันเพื่อหาค่า RMSE ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 77.99 เมตร เป็นความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ ในตารางข้างต้น ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาควรคำนึงถึงลักษณะของทางแยกที่ไม่มีหรือมีทางแยกสัญญาณไฟก่อนหน้าด้วย เนื่องจากมีผลต่อระยะความยาวแถวคอย โดยทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้ารถจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาทางแยกที่ศึกษาได้อย่างอิสระทำให้ผลการวิเคราะห์ของข้อมูลในทิศทางนี้ค่อนข้างให้ผลที่ดีกว่าดูได้จากค่า Adjusted R-squared มีค่าเท่ากับ 0.1890 ที่มีค่ามากกว่าอีกแบบจำลอง และเมื่อพิจารณาค่า Coefficients ของตัวแปรจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีความสำคัญจะเป็นตัวแปรที่มาจากสีแดงเข้ม รองลงมาคือสีแดง และสุดท้ายเป็นสีเหลือง และทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้ามีค่า Adjusted R-squared เท่ากับ 0.08112 ซึ่งน้อยกว่าแบบจำลองข้างต้นและตัวแปร X บางตัวถูกตัดออกไปถึงแม้จะเป็นตัวแปรที่มาจากแถบสีแดงเข้มหรือแดง เพราะมีข้อจำกัดจากสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าที่ทำให้รถไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าทางแยกที่ศึกษาได้อย่างอิสระทำให้ตัวแปรที่น่าจะส่งผลกับระยะแถวคอยบางตัวไม่สอดคล้องกับตัวแปร Y อย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปร X ทุกตัวของแบบจำลองอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่ 99% ทั้งหมดสามารถดูได้จากรูปที่ 4.3

```
Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 53.65584    4.25856  12.600  < 2e-16 ***
X11          0.38174    0.06415   5.950 3.34e-09 ***
X12          0.17963    0.02348   7.649 3.64e-14 ***
X13          0.12249    0.02899   4.225 2.53e-05 ***
X21          0.44421    0.04830   9.197  < 2e-16 ***
X22          0.17834    0.02734   6.523 9.48e-11 ***
X23          0.14267    0.03214   4.439 9.73e-06 ***
X31          0.24739    0.06301   3.926 9.04e-05 ***
X32          0.14735    0.03846   3.832 0.000133 ***
X33          0.12773    0.04000   3.193 0.001438 **
X42          0.20379    0.06602   3.087 0.002059 **
X52          0.30321    0.09978   3.039 0.002417 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 88.19 on 1469 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1952,    Adjusted R-squared:  0.1892
F-statistic: 32.39 on 11 and 1469 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

กรณีที่ 2 ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

```
Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 54.36235    2.42504  22.417  < 2e-16 ***
X13          0.06737    0.01632   4.129 3.82e-05 ***
X22          0.18896    0.03121   6.055 1.71e-09 ***
X23          0.11089    0.01705   6.503 1.02e-10 ***
X31          0.24185    0.08711   2.777  0.00555 **
X32          0.23029    0.03420   6.734 2.22e-11 ***
X33          0.05344    0.01853   2.883  0.00399 **
X42          0.18965    0.05941   3.192  0.00144 **
X51          0.64202    0.25193   2.548  0.01090 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 64.09 on 1766 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.08527,   Adjusted R-squared:  0.08112
F-statistic: 20.58 on 8 and 1766 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

กรณีที่ 3 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

รูปที่ 4.3 แสดงค่า Coefficients กรณีตัวแปรอิสระแถบสีทั้งหมด (X11-X63) และตัวแปรตาม (Y_Avg)

การวิเคราะห์โดยใช้วิธี Random Forest Model (RFM) แบบจำลองที่ให้ค่า RMSE น้อยที่สุดได้แก่ SepAdjSigAndTime_3band มีค่าเท่ากับ 75.60 เมตร เป็นแบบจำลองที่อยู่ในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดงและใช้ตัวแปร X ของ 3 แถบสีแรก แตกต่างจากการวิเคราะห์โดยวิธี LRM ที่ใช้แถบสีทั้งหมด เนื่องจากวิธีการ RFM ที่มีตัวแปร X เฉพาะสามแถบสีแรกที่เป็นแถบสีในช่วงต้นนับจากเส้นหยุดจะอยู่ในช่วงที่มีความหนาแน่นของรถค่อนข้างมากและส่วนใหญ่จะแสดงแถบสีแดงเข้มหรือแดงที่หมายถึงรถสามารถใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ได้น้อยเมื่อนำมาสร้างแบบจำลองจึงส่งผลต่อระยะแถวคอยได้อย่างมีนัยสำคัญ และแบบจำลองของ SepAdjSigAndTime_3band เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการรวมกันของสี่แบบจำลองตาม กรณีที่ 4 (ช่วงเร่งด่วนทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้า) กรณีที่ 5 (ช่วงไม่เร่งด่วนทิศทางที่ไม่มีทางแยกก่อนหน้า) กรณีที่ 6 (ช่วงเร่งด่วนทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้า และกรณีที่ 7 (ช่วงไม่เร่งด่วนทิศทางที่มีทางแยกก่อนหน้า) แยกกันในการเรียนรู้ที่แตกต่างกันแล้วค่อยนำผลการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยมารวมกันคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนออกมา และวิธีการนี้ก็เป็นวิธีการที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าน้อยที่สุดในกลุ่มการเปรียบเทียบกับตัวแปรตาม Y_Avg ซึ่งกล่าวได้ว่านอกจากจะต้องพิจารณาเรื่องของการมีหรือไม่มีสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าแล้วนั้น เรื่องของช่วงเวลาเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วนก็มีผลต่อการประมาณค่าระยะความยาวแถวคอยด้วยเช่นกัน

ส่วนวิธีการที่ใช้เทียบกับค่าเฉลี่ย (Mean) แบบจำลองที่ให้ค่า RMSE ที่น้อยที่สุดก็เกิดจากแบบจำลองที่อยู่ในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดง โดยมีการแยกเรียนรู้ออกเป็นสี่แบบจำลองเช่นเดียวกับแบบจำลองข้างต้น ซึ่งค่าที่ดีที่สุดเป็นของ SepAdjSigAndTime_6band, Dummy SepAdjSigAndTime_6band,SepAdjSigAndTime_3band, DummySepAdjSigAndTime_3band ซึ่งให้ค่า RMSE เท่ากับ 82.87 เมตร เท่ากันทั้ง 4 แบบจำลองเนื่องจากทั้ง 4แบบจำลองใช้ข้อมูลตั้งต้นที่มีจุดมุ่งหมายที่จะแยกแบบจำลองออกเป็น 4 กรณีในการสร้างแบบจำลองเหมือนกัน ดังนั้น ในการหาค่าเฉลี่ยจึงให้ค่าที่เท่ากันทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์โดยการเทียบกับค่าเฉลี่ยให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด เนื่องจากเป็นการเทียบกับค่ากลางของข้อมูลโดยไม่มีการเรียนรู้พฤติกรรมของข้อมูลเหมือนวิธีการ LRM และ RFM

4.2.2 วิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max)

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรตาม (Y_Max) จากค่าสูงที่สุดของระยะความยาวแถวคอยจาก 4 ช่องจราจร โดยใช้วิธีการ LRM พบว่าแบบจำลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดงและใช้ตัวแปร X จากสามแถบสีแรก ได้แก่ SepAdjSig_3band ที่วิเคราะห์ข้อมูลแยกออกเป็นสองแบบจำลอง คือ กรณีที่ 2 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า และกรณีที่ 3 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า มีค่า RMSE เท่ากับ

107.05 เมตร จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรตามเป็นค่าสูงสุด ผลจากแบบจำลองชี้ให้เห็นว่าเมื่อมีระยะความยาวแถวคอยบริเวณทางแยกยาวมากขึ้น ปัจจัยในการแบ่งย่อยแบบจำลองออกตามช่วงเวลาเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วนไม่ส่งผลต่อการพยากรณ์เช่นเดียวกับแบบจำลองที่เทียบกับตัวแปรตาม Y_Avg โดยใช้วิธีการของ LRM เช่นกัน เนื่องจากการสร้างสมการถดถอยเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X ที่มีผลต่อตัวแปร Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากมีการแบ่งย่อยแบบจำลองลึกลงไปถึงช่วงเวลาที่ไม่เร่งด่วนและยังอยู่ในทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าด้วยนั้นจะทำให้ค่าตัวแปร Y ที่ได้จากค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดที่มีความยาวระดับหนึ่งไปเจอกับตัวแปร X ที่เกิดจากช่วงเวลาที่มีรถหนาแน่นน้อยทำให้มีระยะแถวคอยค่อนข้างสั้น การวิเคราะห์จึงไม่เป็นไปในทางเดียวกัน ดังนั้นการแบ่งย่อยแบบจำลองแบ่งเพียงทิศทางที่ไม่มีหรือมีทางแยกก่อนหน้าก็เพียงพอแล้ว และเมื่อพิจารณาไปที่ตัวแปร X จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มาจากแถบสีแดงเข้ม สีแดง และสีเหลืองยังมีความสำคัญเรียงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งตัวแปรบางตัวที่อยู่แถบสีท้าย ๆ จะถูกตัดออกเนื่องจากไม่ค่อยเกิดขึ้นแต่ถ้าหากเกิดขึ้นก็จะมีระยะความยาวจากแถบสีค่อนข้างสั้นทำให้ไม่มีนัยสำคัญกับแบบจำลองที่ใช้ตัวแปร Y จากค่าสูงสุด และค่าความเชื่อมั่นของตัวแปรทุกตัวมีค่าสูงถึง 99% และมีค่า Adjusted R-squared ของกรณีที่ 2 เท่ากับ 0.1749 ส่วนกรณีที่ 3 เท่ากับ 0.06929 เป็นค่าที่ค่อนข้างน้อยแต่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการของ LRM

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 73.63415    5.41886  13.588  < 2e-16 ***
X11          0.50858    0.07793   6.526 9.28e-11 ***
X12          0.24619    0.03017   8.161 7.06e-16 ***
X13          0.16441    0.03751   4.383 1.25e-05 ***
X21          0.44774    0.06193   7.230 7.74e-13 ***
X22          0.28282    0.03517   8.042 1.80e-15 ***
X23          0.21649    0.04106   5.273 1.54e-07 ***
X31          0.35482    0.07343   4.832 1.49e-06 ***
X32          0.22240    0.04745   4.687 3.02e-06 ***
X33          0.17765    0.05066   3.507 0.000467 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 112.4 on 1471 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1799,    Adjusted R-squared:  0.1749
F-statistic: 35.85 on 9 and 1471 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

กรณีที่ 2 ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 88.28929    4.17931  21.125  < 2e-16 ***
X13          0.09334    0.02957   3.157 0.001623 **
X22          0.33155    0.05337   6.212 6.50e-10 ***
X23          0.19668    0.02924   6.726 2.35e-11 ***
X31          0.54817    0.14858   3.689 0.000232 ***
X32          0.30024    0.05704   5.264 1.58e-07 ***
X33          0.15281    0.03192   4.787 1.84e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 110.8 on 1768 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.07243,    Adjusted R-squared:  0.06929
F-statistic: 23.01 on 6 and 1768 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

กรณีที่ 3 ทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า

รูปที่ 4.4 แสดงค่า Coefficients กรณีตัวแปรอิสระสามแถบสีแรก (X11-X33) และตัวแปรตาม (Y_Max)

สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ RFM แบบจำลองที่มีค่า RMSE น้อยยังอยู่ในการวิเคราะห์แบบแยกเป็นสองแบบจำลองคล้ายกับวิธี LRM ที่กล่าวมาข้างต้น คือ แบบจำลอง SepAdjSig_3band ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเฉพาะสัญญาณไฟแดงและใช้ตัวแปร X จากสามแถบสีแรก เนื่องจากวิธีการ RFM จะทำการพิจารณาแยกเป็นกลุ่มย่อยภายในแบบจำลอง สลับกลุ่มทดสอบเองเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดออกมา การที่มีตัวแปรในการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างส่งผลต่อระยะความยาวแถวคอยอย่างชัดเจน เช่น ตัวแปร X ที่ได้จากสามแถบสีแรกนั้นยิ่งทำให้สามารถเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพได้ดีขึ้นด้วย และแบบจำลองนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 102.33 เมตร ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดในกลุ่มตัวแปรตามที่ใช้เป็น Y_Max อีกด้วย และสุดท้ายการพิจารณาเทียบกับค่าเฉลี่ย (Mean) ให้ค่า RMSE ที่น้อยที่สุดเหมือนกับแบบจำลองที่เทียบค่า Mean ในกรณีที่ใช้ตัวแปร Y_Avg ในหัวข้อก่อนหน้านี้ทั้ง 4 แบบจำลองแต่ให้ค่าความคาดเคลื่อนที่มากกว่าเนื่องจากเป็นค่าที่ได้มาจากค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 113.08 เมตร ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดในกลุ่มการแบ่งย่อยแบบจำลองอีกนี้เช่นเคย

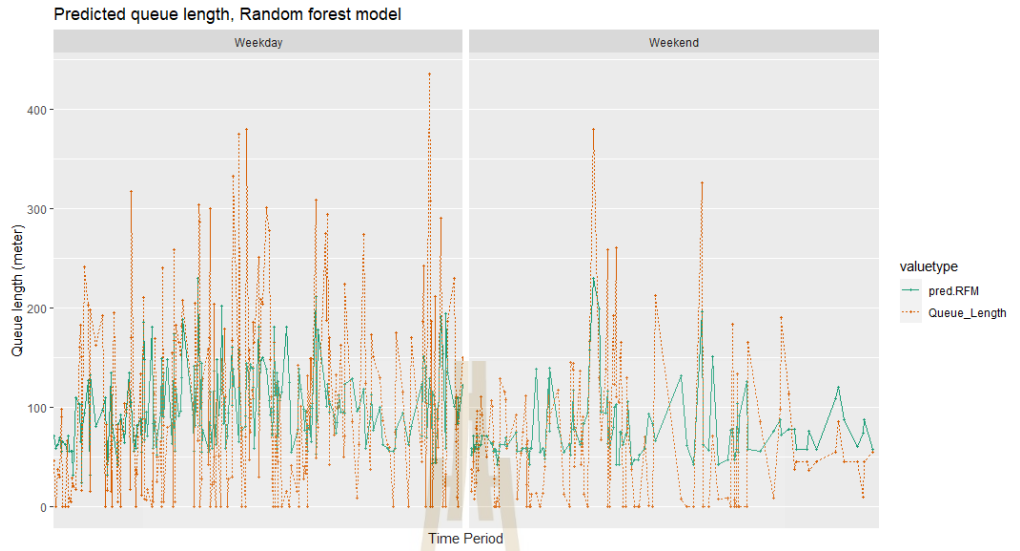
ดังนั้น จากการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งของการใช้ตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย Y_Avg และจากค่าสูงสุด Y_Max แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยจะอยู่ในชุดข้อมูลที่มีการตัดเอาเฉพาะช่วงสัญญาณไฟแดงเท่านั้น และการเลือกใช้ตัวแปร X ก็ควรใช้ตัวแปรจากสามแถบสีแรกเท่านั้น ในการพิจารณาเพราะวิธีการที่ได้ผลลัพธ์ดีที่สุดคือ RFM ซึ่งเป็นวิธีการที่มีการแบ่งกลุ่มย่อยภายในกระบวนการวิเคราะห์นั้นเอง ทำให้สามารถเลือกแบบจำลองได้หลากหลายและได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุด พร้อมทั้งมีการพิจารณาปัจจัยด้านทิศทางที่ไม่มีหรือมีทางแยกก่อนหน้าร่วมในการพิจารณาด้วยเช่นกันทั้งการเทียบกับค่าเฉลี่ย Y_Avg และค่าสูงสุด Y_Max แต่แบบจำลองของกรณี Y_Avg ควรพิจารณาลึกลงไปถึงช่วงเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วนด้วยถึงจะเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด

4.3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าแถวคอยจริงกับแถวคอยที่ได้จากแบบจำลอง

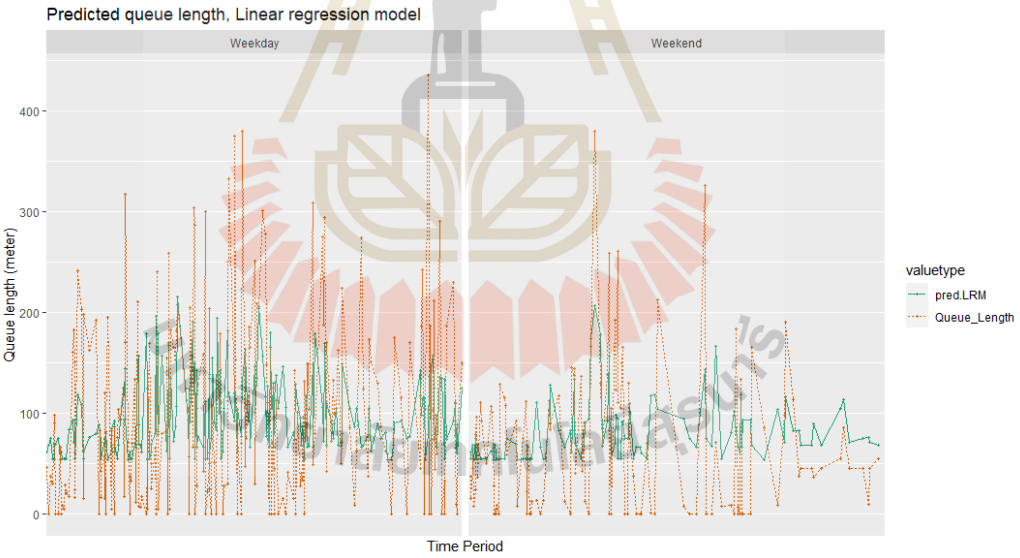
แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อพิจารณากรณีตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) คือ แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรอิสระสามแถบสีแรก (X11-X33) อยู่ในช่วงสัญญาณไฟแดง (Red) โดยใช้วิธี Random Forest Model (RFM) ได้แก่ แบบจำลอง SepAdjSigAndTime_3band คือ Separation by Adjacent Signals and Time การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) ที่มีค่า RMSE เท่ากับ 75.60 เมตร และแบบจำลองที่ดีรองลงมาตามลำดับ ได้แก่ SepAdjSig_6band ของวิธีการ LRM และ

แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดได้จากการเทียบกับค่า Mean ซึ่งให้ค่าที่เท่ากันหลายแบบจำลองดังที่กล่าวถึงไปแล้ว ส่วนเมื่อพิจารณากรณีตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max) พบว่าแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด คือ แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรอิสระสามแถบสีแรกเช่นกันได้แก่ แบบจำลอง SepAdjSig_3band คือ Separation by Adjacent Signals หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มี (กรณีที่ 2) และมี (กรณีที่ 3) ทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า โดยใช้วิธีการ Random Forest Model (RFM) คล้ายกับการใช้กับ Y_Avg มีค่า RMSE เท่ากับ 102.33 เมตร และรองลงมาโดยใช้วิธีของ LRM ก็ได้แบบจำลองเดียวกับ RFM คือ SepAdjSig_3band และวิธีการเทียบกับค่า Mean ที่ให้ค่าเท่ากันหลายแบบจำลอง ตามลำดับ แบบจำลองทั้งหมดที่กล่าวข้างต้นเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของการแบ่งพิจารณาตามตัวแปรตาม (Y) ของแต่ละวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลโดยพิจารณาร่วมกับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งต่อระยะความยาวแถวคอยในตอนต้น ทั้งนี้แบบจำลองจะใช้งานได้ดียิ่งขึ้นเมื่อนำไปใช้งานกับทางแยกที่เหมาะสม

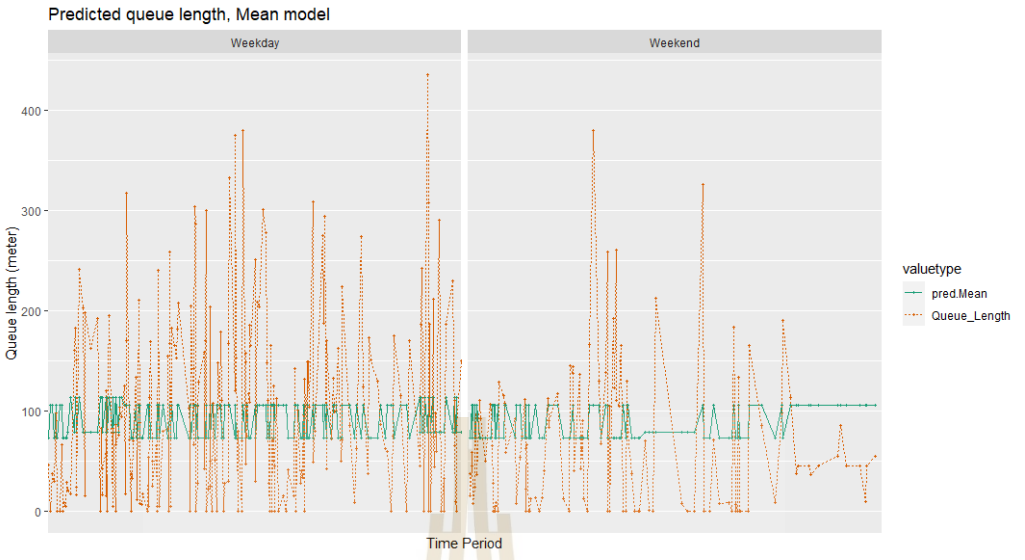
จากรูปที่ 4.5-4.6 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองจะสามารถตรวจจับแนวโน้มการแปรผันในภาพรวมใหญ่ได้ แต่ก็ยังไม่สามารถสะท้อนการแปรผันแบบละเอียดออกมาได้ ทั้งนี้ เนื่องจากการเก็บข้อมูลความยาวแถวคอยจะเก็บทุก ๆ 1 นาที ซึ่งอาจจะตรงกับช่วงพึ่งเริ่มสัญญาณไฟแดงที่มีแถวคอยสั้นมากหรือช่วงเวลาไฟแดงได้สักระยะหนึ่งแล้วทำให้มีแถวคอยยาวมาก ดังนั้น ความยาวแถวคอยจริงที่สำรวจได้จึงอาจมีค่าผันแปรค่อนข้างมาก แต่ถ้ามองในภาพรวมก็สามารถมองเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความยาวแถวคอยในภาพใหญ่ได้ ซึ่งอาจจะยังพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง สาเหตุอีกส่วนหนึ่งอาจเกิดจากลักษณะของข้อมูลความยาวแถบสีจาก Google Maps โดยเฉพาะแถบสีแรก ๆ ที่อยู่ติดกับทางแยกซึ่งมักจะแสดงความยาวเป็นช่วง ๆ เพิ่มขึ้นช่วงละประมาณ 110-120 เมตร ซึ่งถือว่ามีความละเอียดของข้อมูลค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการนำข้อมูลจากแถบสีดังกล่าวซึ่งมีความละเอียดต่ำไปใช้เป็นตัวแปรอิสระในการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยที่มีการแปรผันในระดับเมตรตลอดเวลานั้นก็อาจจะมีขีดจำกัดในด้านของความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีข้อจำกัดด้านความละเอียดของข้อมูลดังกล่าวแต่แบบจำลอง RFM ก็ยังสามารถตรวจจับการแปรผันได้ดีในระดับหนึ่งโดยเฉพาะกรณีที่มีการแยกทิศทางที่ไม่มีหรือมีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าและแม่นยำยิ่งขึ้นไปอีกในกรณีที่เทียบกับ Y_Avg เมื่อพิจารณาช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วนร่วมด้วย และเห็นได้ชัดว่าให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบโดยตรง



Random Forest Model (RFM) ของ SepAdjSigAndTime_3band

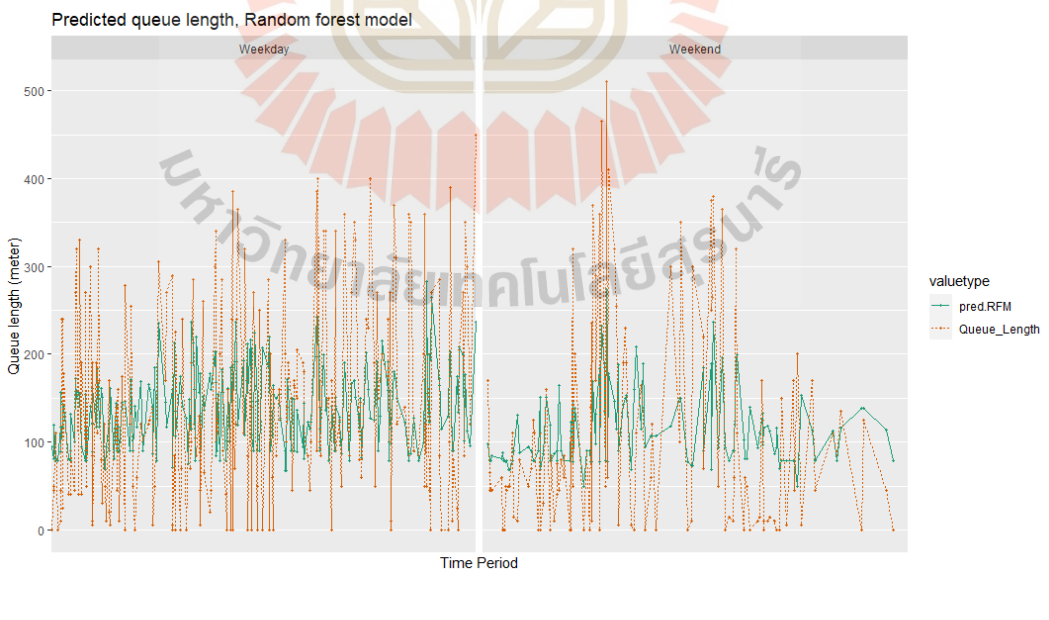


Linear Regression Model (LRM) ของ SepAdjSigAndTime_6band

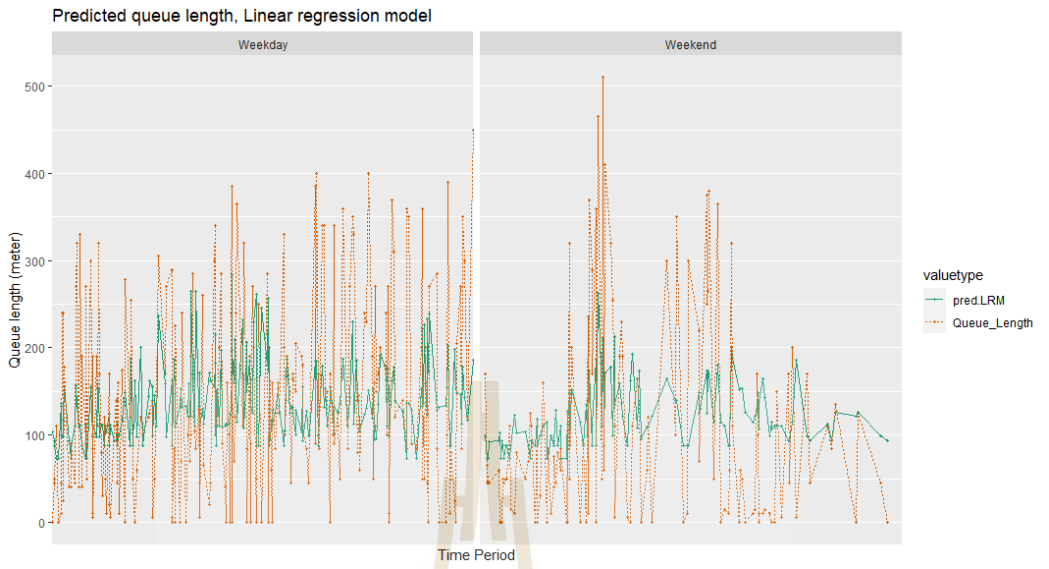


Mean Model ยกตัวอย่างของ SepAdjSigAndTime_3band (มีค่าเท่ากันหลายแบบจำลอง)

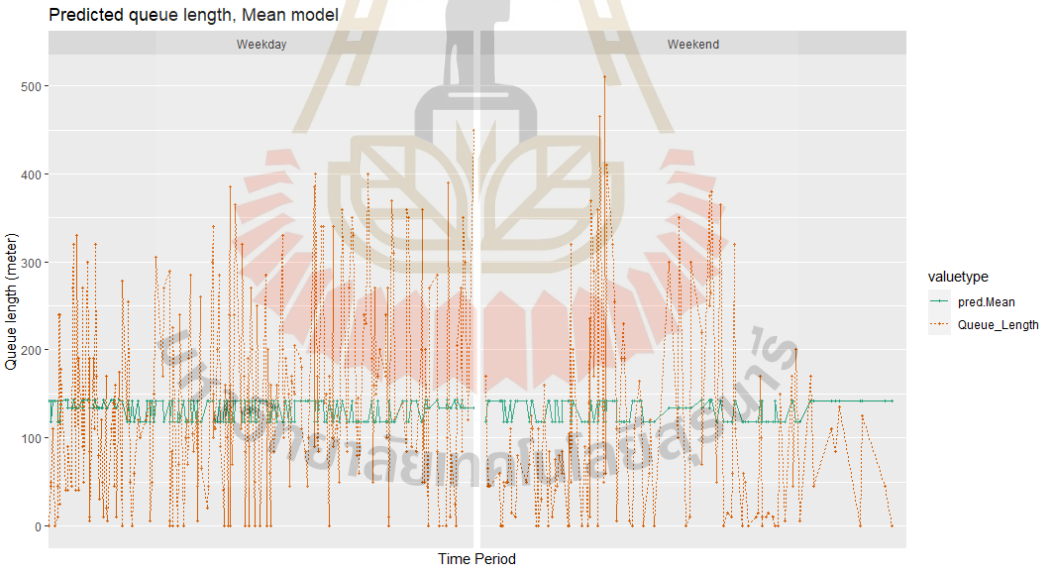
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแถวคอยจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้ตามช่วงเวลาของแต่ละวิธีที่ดีที่สุดของตัวแปรตาม Y_Avg ที่เกิดในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดงเท่านั้น



Random Forest Model (RFM) ของ SepAdjSig_3band



Linear Regression Model (LRM) ของ SepAdjSig_3band

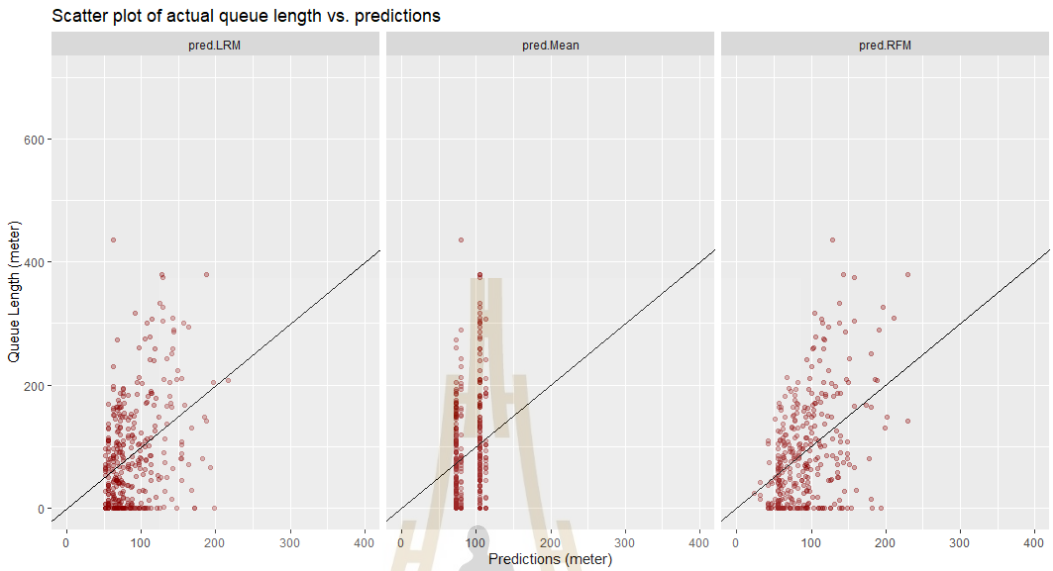


Mean Model ยกตัวอย่างของ SepAdjSigAndTime_3band (มีค่าเท่ากันหลายแบบจำลอง)

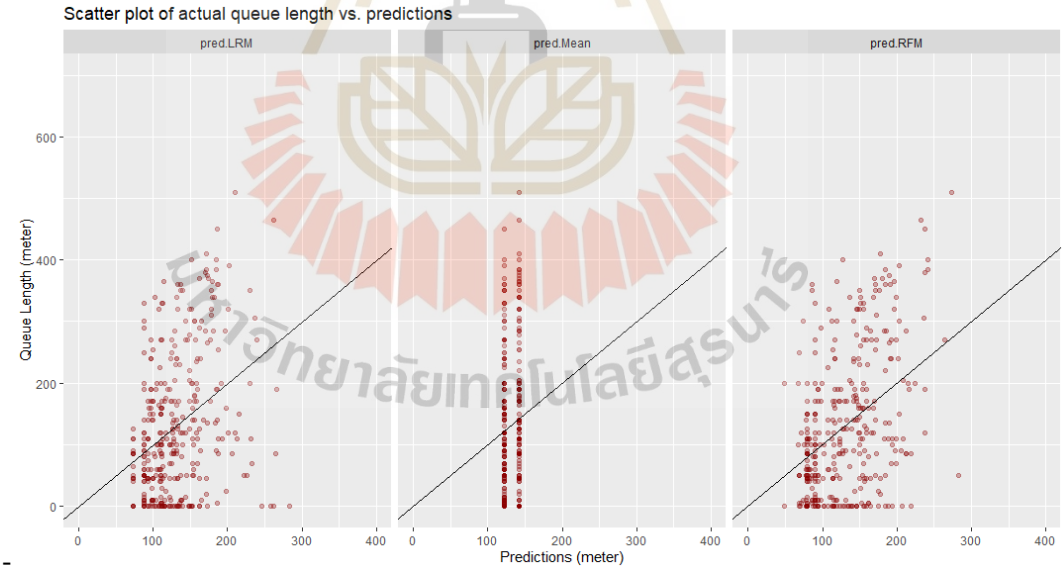
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะแถวคอยจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้ตามช่วงเวลาของแต่ละวิธีที่ดีที่สุดของตัวแปรตาม Y_Max ที่เกิดในช่วงเฉพาะสัญญาณไฟแดงเท่านั้น

หลังจากทำการวิเคราะห์หาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดตามการแบ่งแบบจำลองในการวิเคราะห์ทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่แตกต่างกัน พร้อมพิจารณาร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลกับความยาวแถวคอยในรูปแบบของวิธีที่แตกต่างกันอีก 3 วิธีแล้วนั้น ได้ทำการนำข้อมูลที่แบ่งไว้ 10% ของข้อมูลทั้งหมดในตอนแรกมาทำการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองที่ได้ทำการพัฒนามาเรื่อย ๆ จนสามารถใช้งานในการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยได้จริงนั้นในผลการพยากรณ์ดังต่อไปนี้ เมื่อนำผลการพยากรณ์ของแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการศึกษาในครั้งนี้ (SepAdjSigAndTime_3band ช่วงเฉพาะ Red ตัวแปรตาม Y_Avg และ SepAdjSig_3band ช่วงเฉพาะ Red ตัวแปรตาม Y_Max) ที่มาจากวิธีการของ RFM ทั้งสองแบบจำลอง นำมาสร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่าระยะความยาวแถวคอยจริง (Queue-Length) กับค่าระยะแถวคอยที่ได้จากการพยากรณ์ (Predictions) ดังแสดงในรูปที่ 27 จะเห็นได้ว่าแผนภาพของวิธีการ RFM มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกมากกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ระดับของความสัมพันธ์ก็ยังไม่สูงมากนัก โดยช่วงที่ค่าระยะความยาวแถวคอยจริงมีค่ามากขึ้น ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ก็จะให้ค่ามากด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ดังที่กล่าวมาข้างต้นจากแบบจำลองของ LRM และ RFM ส่วนแบบจำลองที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ย (Mean) จะให้กราฟเป็นเส้นตรงในระนาบเดียวกันซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ดีเท่ากับแบบจำลองทั้งสองที่กล่าวมาดังแสดงในรูปที่ 25-26 ที่กล่าวถึงข้างต้น ดังนั้นเมื่อนำค่าจริงของระยะความยาวแถวคอยจากชุดข้อมูล test มาสร้างแผนภาพตามเวลาเทียบกับผลการพยากรณ์จะพบว่าแบบจำลอง RFM และ LRM มีความสามารถในการตรวจจับแนวโน้มเฉลี่ยของการแปรผันของแถวคอยได้ดีในระดับหนึ่ง โดยมีแนวโน้มเพิ่มและลดลงตามค่าที่สำรวจได้จริง อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธียังไม่สามารถตรวจจับช่วงที่แถวคอยมีค่าเพิ่มขึ้นสูงหรือลดลงต่ำมาก ๆ ได้ดีเท่าที่ควร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



SepAdjSigAndTime_3band ช่วงเฉพาะ Red ตัวแปรตาม Y_Avg



SepAdjSig_3band ช่วงเฉพาะ Red ตัวแปรตาม Y_Max

รูปที่ 4.7 แสดงผลการพยากรณ์ของแบบจำลอง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการประมาณค่าระยะความยาวแถวคอยจาก Google Maps

การประมาณค่าระยะความยาวแถวคอยจาก Google Maps ซึ่งพิจารณาข้อมูลความยาวแถวคอยจาก ทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า ได้ทำการศึกษาโดยใช้ค่าตัวแปรตาม (Y) เป็นตัวแบ่งกรณีการศึกษาออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ กลุ่มแรกคือการใช้ตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ยของความยาวแถวคอยจากทุกช่องจราจร (Y_Avg) และกลุ่มที่สองคือการใช้ตัวแปรตามจากค่าสูงสุดจากช่องจราจรที่มีค่าความยาวแถวคอยสูงที่สุด (Y_Max) เนื่องจากความยาวแถวคอยที่ทำการสำรวจจริงนั้นมี 4 ช่องจราจรจึงต้องพิจารณาแยกเป็นสองกลุ่มใหญ่เพื่อให้ครอบคลุมการเรียนรู้ของแบบจำลองได้ทั้งหมด ซึ่งทั้งสองกลุ่มนั้น มีแนวทางในการสร้างแบบจำลองย่อยแยกออกเป็น 8 แบบจำลองที่เหมือนกันแต่ใช้ตัวแปรตาม (Y) ต่างกันทำให้มีแบบจำลองเพิ่มเป็น 16 แบบจำลอง โดยมีการพิจารณาตามปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1) พิจารณาแบบจำลองที่รวมตัวแปรทั้งหมดไม่มีการแยกตามปัจจัยใด ๆ
2) พิจารณาแบบจำลองแยกทิศทางที่มีและไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า
3) พิจารณาแยกตามช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน
4) พิจารณากรณีที่มีแปรอิสระ (X) ทั้งหมดและเฉพาะตัวแปรอิสระจากสามแถบสีแรก

และแบบจำลองทั้ง 16 แบบจำลองยังพิจารณาทั้งในช่วงสัญญาณไฟเขียวและไฟแดง (Green&Red) และเฉพาะช่วงสัญญาณไฟแดงอย่างเดียว (Red) ทำให้มีแบบจำลองทั้งหมดเป็น 32 แบบจำลอง เพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกับระยะความยาวแถวคอย และทั้ง 32 แบบจำลองยังได้มีการพิจารณาวิเคราะห์อีก 3 วิธีการเรียนรู้ซึ่งได้แก่ Linear Regression Model (LRM), Random Forest Model RFM) และ Mean Model

จากการศึกษาการประมาณระยะความยาวแถวคอยโดยใช้ Google Maps พบว่าตัวแปรอิสระ (X) ที่ได้จากระยะความยาวแถบสีของ Google Maps มีความสามารถในการพยากรณ์ค่าแนวโน้มของตัวแปรตาม (Y) ซึ่งได้แก่ค่าระยะความยาวแถวคอยจริงได้ดีในระดับหนึ่ง โดยแบ่งแบบจำลองที่ให้ผลการพยากรณ์จากกลุ่มตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) และกลุ่มตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max) โดยทั้งสองกลุ่มสามารถสร้างแบบจำลองที่พยากรณ์ได้ดีที่สุดเมื่อใช้วิธีการของ Random Forest Model (RFM) ในการสร้างและวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้พบว่าแบบจำลองจากกลุ่มตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) ได้แก่ SepAdjSigAndTime_3band คือ Separation by Adjacent Signals and Time หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 4) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 5) และทิศทางที่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าในช่วงเวลาเร่งด่วน (กรณีที่ 6) และไม่เร่งด่วน (กรณีที่ 7) ที่มีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33) ในการวิเคราะห์ผลแล้วค่อยนำมาวิเคราะห์ร่วมกันส่งผลให้แบบจำลองจะสามารถพยากรณ์ค่าได้ดีเมื่อมีการแยกวิเคราะห์ตามทิศทางที่มีและไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าพร้อมทั้งพิจารณาเรื่องช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ช่วงเวลาเร่งด่วนและไม่เร่งด่วน

ส่วนกลุ่มตัวแปรตามจากค่าสูงสุด (Y_Max) แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดได้แก่ SepAdjSig_3band คือ Separation by Adjacent Signals หมายถึง การสร้างแบบจำลองแยกตามทิศทางที่ไม่มี (กรณีที่ 2) และมี (กรณีที่ 3) ทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้า ที่มีแถบ 3 แถบสีแรก (X11-X33) แบบจำลองจะสามารถพยากรณ์ค่าได้ดีเมื่อมีการแยกวิเคราะห์ตามทิศทางที่มีและไม่มีทางแยกสัญญาณไฟจราจรก่อนหน้าเท่านั้น โดยไม่แยกตามช่วงเวลาเร่งด่วนหรือไม่เร่งด่วน เหมือนกรณีตัวแปรตามจากค่าเฉลี่ย แล้วเมื่อแยกแบบจำลองเพื่อการเรียนรู้ตามปัจจัยที่ส่งผลกับความยาวแถวคอยแล้วนำมารวมกันเพื่อใช้ในการพยากรณ์ระยะความยาวแถวคอยในภายหลัง

การนำแบบจำลองไปใช้ประโยชน์ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน หากนำไปใช้งานกับทางแยกสัญญาณไฟจราจรที่ส่วนใหญ่มีความยาวแถวคอยในแต่ละช่องจราจรไม่แตกต่างกันมาก ก็ควรจะพิจารณาใช้แบบจำลองที่ได้มาจากค่าสูงสุด (Y_Max) ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายในการนำไปใช้งานที่ต้องการเวลาพอเพียงในการเปิดสัญญาณไฟล่วงหน้าเพื่อสลายแถวคอยที่จอดติดบริเวณทางแยกได้ แต่หากทางแยกดังกล่าวมีความยาวแถวคอยในแต่ละช่องจราจรแตกต่างกันมาก ๆ โดยแถวคอยอาจจะมีการกระจุกตัวเพียงในบางช่องจราจร ลักษณะดังกล่าวอาจจะทำให้ยวดยานมีการเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อย้ายไปยังช่องจราจรที่ว่างเมื่อสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นไฟเขียว ในกรณีดังกล่าวก็อาจเลือกใช้แบบจำลองที่ได้จากค่าเฉลี่ย (Y_Avg) ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการสลายแถวคอยในกรณีนี้จะสั้นกว่าปกติ การใช้ระยะความยาว

แถวคอยสูงสุดจึงอาจจะทำให้มีการเปิดสัญญาณไฟเขียวล่วงหน้านานเกินความจำเป็น และในอนาคตจะสามารถใช้รูปแบบของแบบจำลองจากการศึกษานี้เป็นต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองบริเวณทางแยกและทิศทางอื่น ๆ ได้ และเมื่อทราบถึงความยาวของแถวคอยก็จะสามารถคำนวณเวลาในการจัดการกับระยะความยาวแถวคอยได้ เมื่อมีรถฉุกเฉินเดินทางเข้ามาในบริเวณทางแยกไฟสัญญาณจราจรก็จะเคลื่อนผ่านไปได้โดยไม่ต้องหยุดรถซึ่งจะเป็นแนวทางของการศึกษาในลำดับต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรนำแบบจำลองไปทดสอบกับทางแยกอื่นที่อาจมีปัจจัยที่แตกต่างกันในการศึกษา ซึ่งจะเป็นการทดสอบความสามารถของแบบจำลองในด้านของ Transferability และควรสร้างแบบจำลองโดยวิธีการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น วิธีการ Support Vector Machine (SVM) และ K-Nearest Neighbors (KNN) ซึ่งอาจจะให้ผลการพิจารณาที่แตกต่างและเป็นประโยชน์ในการศึกษา และการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการถ่ายรูปหรืออัดวีดิโอของสถานที่จริงตลอดทุก Sample Point เพื่อบอกได้ว่าปลายแถวของแถวคอยอยู่ตำแหน่งใดจะได้ใช้อ้างอิงกับผลการพยากรณ์ในภายหลังเพื่อองค์ความรู้ใหม่ และควรทำการวิเคราะห์ในหลากหลายกรณีศึกษาที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น กรณีทางแยกที่มีหรือไม่มีทางแยกก่อนหน้าอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ช่วงเวลาเร่งด่วนไม่เร่งด่วน แยกวันทำงานวันหยุด และกรณีที่แยกแถวคอยในช่วงเวลาสัญญาณไฟเขียวที่มีความยาวเป็นศูนย์ออก ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์ความยาวแถวคอยจากแถบสีได้ดียิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Lighthill MJ, Whitham GB., (1955). On kinematic waves II. “A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical”, Physical and Engineering Sciences. 229(1178): 317–345.

Henry X. LIU, Xinkai WU, Wenteng MA, et al., (2009). Real-time Queue Length Estimation for Congested Signalized Intersections. Transportation Research Part C, 17: 412-427.

Bowerman, B.L., O’Connell, R.T. and Koehler, A.B., (2005). Forecasting, Time Series, and Regression, 4th Ed., Duxbury Press, Belmont, CA, 720 p.

Breiman, L., (2001). Random Forests. ML Journal, 45(1), 5–32.

Richards, P.I., (1956). Shock Waves on the Highway. Operations Research, 4 (1), 42-51.

Ping, Y., Zongzhong, T., and Qiang, Z., (2008). Consistency of Input-Output Model and Shockwave Analysis in Queue and Delay Estimations. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 8(6), 146-152.

Liu, H.X., Wu, X., Ma, W., and Hu, H., (2009), Real-time queue length estimation for congested signalized intersections”. Transportation Research Part C, 17, 412-427.

Wu, X., Liu, H.X., and Gettman, D., (2010), Identification of oversaturated intersections using high-resolution traffic signal data. Transportation Research Part C.

Sharma, A., Bullock, D.M., and Bonneson, J.A., (2007). Input-Output and Hybrid Techniques for Real-Time Prediction of Delay and Maximum Queue Length at Signalized Intersections. Transportation Research Board, 2305, 69-80.

Chang, J., Lieberman, E.B., and Prassas, E.S., (2000). QUEUE ESTIMATION ALGORITHM FOR REAL- TIME CONTROL POLICY USING DETECTOR DATA. The Transportation Research Board’s 79th Annual Meeting, Washington DC, USA.

Geroliminis, N., (2009). Queue spillovers in city street networks with signal controlled intersections. 9th Swiss Transport Research Conference, Switzerland.

Geroliminis, N., and Skabardonis, A., (2011). Identification and Analysis of Queue Spillovers in City Street Networks. IEEE Transaction on Intelligent Transportation System, 12(4).

Lertworawanich, P., (2011). A Self-turning Signal Control Algorithm for Isolated Intersections Based on Time-space Diagrams. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 9.

ชวเลข วณิชเวทิน. (2530). ทฤษฎีแถวคอย ระบบ M/M/1 ในงานวิศวกรรมจราจร. วารสารวิศวกรรมโยธา และการก่อสร้าง มก., 2(2), 174.

ณพล ศรีศักดา และ สรวิศ นฤปิติ (2556). การประมาณแถวคอย ณ ทางแยกสัญญาณไฟ โดยการประยุกต์ใช้วิธีกราฟปริมาณจราจรสะสมและการวิเคราะห์คลื่นกระแทก. การประชุมวิชาการ วิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 18. เชียงใหม่.

อภิรักษ์ บุตรละ (2553). การประยุกต์ใช้ Google Map ในการพัฒนาระบบการคำนวณค่ารถ Taxi ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

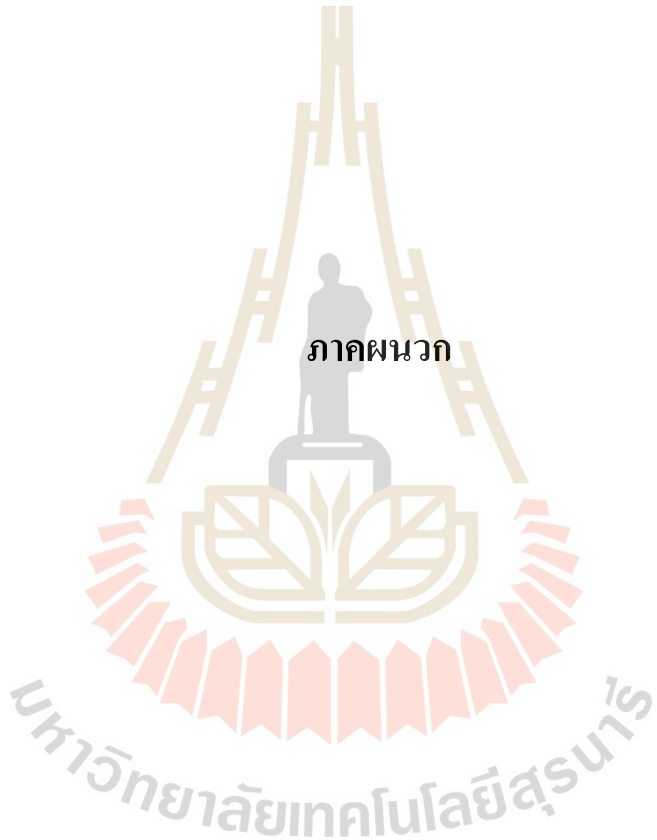
ภคพร ผงทอง (2561). การวางแผนเส้นทางการขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึม กรณีศึกษาเส้นทางการขนส่งขยะ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี. มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์.

อภิรักษ์ บุตรละ (2553). การประยุกต์ใช้ Google Map ในการพัฒนาระบบการคำนวณค่ารถ Taxi ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

ขนิษฐา ดีสุบิน (2560). การพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ความถนัดทางการเรียนตามทฤษฎี 4 MAT โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีต้นไม้. วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ม 2(1), 43-58.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก



ตัวอย่างตารางการเก็บระยะความยาวแถวคอยจริงทุก 1 นาที

	ช่องจราจรที่ 1		ช่องจราจรที่ 2		ช่องจราจรที่ 3		ช่องจราจรที่ 4	
ระยะเวลา	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว
7:00	0	10	0	15	10	30	5	20
7:01	0	0	0	0	0	5	0	0
7:02	0	0	0	0	0	100	0	80
7:03	0	0	0	0	0	0	0	0
7:04	0	5	0	5	0	75	0	60
7:05	0	5	0	5	0	0	0	0
7:06	0	0	0	80	0	200	0	220
7:07	0	100	0	80	0	180	0	240
7:08	0	0	0	0	180	250	175	230
7:09	0	43	0	60	0	80	0	110
7:10	0	0	0	0	0	180	0	230
7:11	0	90	0	40	0	45	0	30
7:12	0	30	0	30	0	160	0	140
7:13	0	0	0	0	0	0	0	0
7:14	0	0	0	0	0	0	0	0
7:15	0	10	0	140	0	160	0	150
7:16	0	5	0	130	170	230	165	210
7:17	0	10	0	165	0	150	0	145
7:18	0	0	0	0	110	210	100	180
7:19	0	80	0	110	0	75	0	45
7:20	0	80	0	180	80	200	60	230
7:21	0	100	0	190	0	220	0	240
7:22	0	150	0	190	90	220	100	240
7:23	0	0	0	0	0	0	0	0
7:24	0	30	0	210	0	290	0	310
7:25	0	110	0	160	0	330	0	350
7:26	0	30	80	170	210	330	120	370
7:27	0	10	0	110	0	140	0	230
7:28	0	90	0	100	0	210	0	320

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	ช่องจราจรที่ 1		ช่องจราจรที่ 2		ช่องจราจรที่ 3		ช่องจราจรที่ 4	
ระยะเวลา	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว
7:29	0	40	100	140	140	330	170	350
7:30	0	0	0	0	0	0	130	270
7:31	0	45	0	160	0	200	0	220
7:32	0	10	90	170	0	290	0	270
7:33	0	0	0	0	0	0	0	0
7:34	0	10	0	0	0	170	0	270
7:35	0	0	0	0	0	280	0	330
7:36	0	0	0	120	0	0	210	340
7:37	0	10	90	160	0	280	0	370
7:38	0	0	0	0	0	350	0	360
7:39	0	0	0	0	0	0	0	0
7:40	0	5	0	100	0	155	0	160
7:41	0	0	0	90	0	220	0	330
7:42	0	0	0	100	0	270	0	360
7:43	0	0	0	100	0	210	0	270
7:44	0	0	0	0	210	280	110	325
7:45	0	0	0	110	0	0	0	0
7:46	0	80	110	140	0	260	0	280
7:47	0	50	100	310	0	270	0	360
7:48	0	0	0	0	0	0	0	0
7:49	0	0	0	110	0	140	0	170
7:50	0	80	0	170	0	0	110	330
7:51	0	100	0	140	0	200	0	180
7:52	0	0	0	0	0	270	0	300
7:53	0	0	0	100	0	0	170	370
7:54	0	110	0	120	0	160	0	180
7:55	0	90	0	220	0	230	0	270
7:56	0	0	0	0	10	325	50	380
7:57	0	100	0	170	0	120	0	100
7:58	0	90	90	210	220	320	0	335

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	ช่องจราจรที่ 1		ช่องจราจรที่ 2		ช่องจราจรที่ 3		ช่องจราจรที่ 4	
ระยะเวลา	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว
7:59	0	10	100	180	310	320	210	280
8:00	0	110	0	140	320	360	0	160
8:01	0	80	0	120	0	80	0	110
8:02	0	10	0	100	80	200	110	250
8:03	0	0	0	0	0	170	0	140
8:04	0	0	0	0	0	90	0	140
8:05	0	90	0	160	0	150	0	230
8:06	0	110	10	170	0	220	0	240
8:07	0	0	0	90	0	0	0	0
8:08	0	20	0	150	0	260	0	220
8:09	0	50	110	160	80	290	90	310
8:10	0	140	0	150	0	160	0	145
8:11	0	100	0	130	0	230	0	200
8:12	0	0	0	165	120	230	0	210
8:13	0	0	0	170	0	190	0	230
8:14	0	0	0	0	100	340	140	320
8:15	0	100	0	120	0	170	0	200
8:16	0	60	0	150	0	170	0	180
8:17	0	0	0	0	0	0	0	0
8:18	0	90	0	120	0	140	0	180
8:19	0	80	110	200	90	270	110	220
8:20	0	60	0	70	0	100	0	110
8:21	0	100	0	140	0	140	0	100
8:22	0	0	0	0	0	160	0	140
8:23	0	40	0	60	0	80	0	55
8:24	0	80	0	100	0	0	0	0
8:25	0	60	0	110	0	0	0	0
8:26	0	40	0	100	0	160	0	90
8:27	0	0	0	0	0	175	0	150
8:28	0	0	0	0	0	140	0	110

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	ช่องจราจรที่ 1		ช่องจราจรที่ 2		ช่องจราจรที่ 3		ช่องจราจรที่ 4	
ระยะเวลา	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว	หัวแถว	ท้ายแถว
8:29	0	30	0	100	0	180	0	160
8:30	0	0	0	0	40	210	50	250
8:31	0	50	0	80	0	150	0	145
8:32	0	30	0	90	0	170	0	190
8:33	0	80	0	140	0	0	0	0
8:34	0	80	0	110	0	90	0	45
8:35	0	0	0	110	0	0	0	0
8:36	0	110	0	100	0	180	0	120
8:37	0	0	0	130	0	200	0	190
8:38	0	30	0	40	0	45	0	20
8:39	0	80	0	90	0	60	0	20
8:40	0	0	0	140	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการกรอกข้อมูลระยะความยาวแถวแถบสีจาก Google Maps (กรณีสามแถบสีแรก)

ช่วงเวลา	แถบสีที่ 1				แถบสีที่ 2				แถบสีที่ 3			
	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34
7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:03	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:04	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:07	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:09	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:10	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:12	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:16	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:17	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	แถบสีที่ 1				แถบสีที่ 2				แถบสีที่ 3			
	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34
7:25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:30	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:32	0	0	120	0	0	120	0	0	0	0	0	0
7:33	0	0	120	0	0	120	0	0	0	0	0	0
7:34	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:35	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:42	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:45	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:46	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	แถบสีที่ 1				แถบสีที่ 2				แถบสีที่ 3			
	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34
7:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:53	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:54	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:55	0	0	285	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:56	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:57	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:58	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:59	0	0	0	120	0	0	120	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	120	0	0	120	0	0	0	0	0
8:01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:02	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:04	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:05	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:07	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:08	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:09	0	120	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0
8:10	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:11	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:14	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:15	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:17	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	แถบสีที่ 1				แถบสีที่ 2				แถบสีที่ 3			
	X11	X12	X13	X14	X21	X22	X23	X24	X31	X32	X33	X34
8:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการกรอกข้อมูลปริมาณจราจรแยกตาม 5 ประเภทรถ

	ปริมาณจราจร (คัน)				
ช่วงเวลา	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
7:05	60	185	5	2	0
7:10	46	142	6	1	1
7:15	53	128	6	6	1
7:20	62	134	6	6	0
7:25	65	172	4	7	1
7:30	86	171	4	7	0
7:35	67	151	5	0	0
7:40	73	185	2	2	0
7:45	61	162	4	8	0
7:50	75	164	4	6	0
7:55	59	156	5	2	0
8:00	51	150	5	6	1
8:05	71	162	6	3	0
8:10	52	146	1	5	0
8:15	53	177	2	4	0
8:20	55	178	4	1	0
8:25	58	153	8	2	0
8:30	50	182	3	6	1
8:35	49	175	6	5	1
8:40	57	167	5	4	2
8:45	59	182	5	10	2
8:50	68	200	5	7	2
8:55	52	182	4	9	1
9:00	48	175	4	5	0
9:05	65	179	7	2	1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจร (คัน)				
	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
9:10	73	187	2	8	0
9:15	51	170	5	4	1
9:20	58	173	6	9	2
9:25	54	204	2	3	0
9:30	54	187	5	0	4
9:35	81	199	4	7	0
9:40	77	205	5	4	1
9:45	52	229	6	4	0
9:50	43	232	5	2	0
9:55	35	206	5	8	1
10:00	42	207	4	3	0
10:05	45	218	5	8	1
10:10	50	208	3	5	0
10:15	40	235	6	2	2
10:20	34	237	2	3	0
10:25	54	204	3	9	0
10:30	46	228	8	6	1
10:35	54	222	8	2	0
10:40	49	234	4	8	2
10:45	40	248	5	5	2
10:50	48	298	4	6	2
10:55	44	214	7	6	0
11:00	50	229	5	4	0
11:05	43	243	8	4	0
11:10	42	234	6	6	0
11:15	55	250	5	5	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจร (คัน)				
	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
11:20	48	244	5	9	1
11:25	45	251	4	3	1
11:30	43	247	5	2	1
11:35	38	234	4	4	0
11:40	40	272	5	2	0
11:45	54	241	6	2	1
11:50	59	240	2	2	0
11:55	61	268	4	4	1
12:00	50	252	3	2	1
12:05	55	267	5	5	0
12:10	65	245	5	3	1
12:15	43	256	2	2	0
12:20	48	286	3	5	0
12:25	41	278	5	6	1
12:30	45	251	6	3	1
12:35	45	289	3	2	0
12:40	46	272	1	5	1
12:45	57	265	6	2	1
12:50	47	266	3	5	0
12:55	36	245	7	3	1
13:00	36	246	3	11	1
13:05	38	255	4	3	0
13:10	34	234	5	7	2
13:15	37	243	2	3	1
13:20	36	202	4	2	1
13:25	43	239	3	3	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจร (คัน)				
	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
13:30	37	205	4	3	0
13:35	33	212	3	5	0
13:40	32	229	5	14	1
13:45	35	190	3	5	0
13:50	39	212	3	5	0
13:55	39	206	5	1	0
14:00	38	164	0	4	1
14:05	29	204	7	4	0
14:10	33	183	5	4	0
14:15	41	187	4	7	0
14:20	40	178	4	5	0
14:25	26	165	5	4	0
14:30	30	198	2	3	0
14:35	41	177	5	3	0
14:40	37	169	4	4	1
14:45	29	198	4	5	0
14:50	38	175	7	3	2
14:55	27	212	3	2	0
15:00	33	201	3	3	0
15:05	37	163	4	4	0
15:10	59	235	5	2	2
15:15	25	204	3	3	1
15:20	34	208	6	4	0
15:25	45	165	5	4	1
15:30	40	197	4	4	0
15:35	40	201	6	5	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจร (คัน)				
	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
15:40	40	174	3	2	0
15:45	55	208	3	1	0
15:50	44	198	3	8	0
15:55	62	205	4	6	0
16:00	29	186	4	4	0
16:05	43	198	6	4	0
16:10	48	208	4	1	0
16:15	32	212	4	3	0
16:20	55	187	2	2	0
16:25	82	178	7	2	0
16:30	76	192	4	3	1
16:35	60	185	5	2	0
16:40	76	193	6	1	1
16:45	69	182	6	6	1
16:50	62	179	6	6	0
16:55	65	205	4	7	1
17:00	86	188	4	7	0
17:05	67	228	5	0	0
17:10	73	208	2	2	0
17:15	89	203	4	8	0
17:20	75	223	4	6	0
17:25	59	213	5	2	0
17:30	86	233	5	6	1
17:35	71	234	6	3	0
17:40	87	206	5	5	0
17:45	96	218	2	4	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ช่วงเวลา	ปริมาณจราจร (คัน)				
	กลุ่ม 1 (มอเตอร์ไซค์, รถเครื่อง 3 ล้อ)	กลุ่ม 2 (เก๋ง, กระบะ, รถตู้, บรรทุก 4 ล้อ)	กลุ่ม 3 (โดยสารขนาดเล็ก, ขนาดกลาง)	กลุ่ม 4 (บรรทุก 6 ล้อ, โดยสารขนาดใหญ่)	กลุ่ม 5 (บรรทุก 10 ล้อ, รถพ่วง, กึ่งพ่วง)
17:50	89	246	4	1	0
17:55	90	207	8	2	0
18:00	78	210	3	6	1
18:05	89	198	6	5	1
18:10	87	192	5	4	2
18:15	90	195	5	10	2
18:20	68	200	5	7	2
18:25	87	182	4	9	1
18:30	87	223	4	5	0
18:35	83	189	7	2	1
18:40	80	199	2	8	0
18:45	82	189	5	4	1
18:50	66	202	6	9	2
18:55	76	204	2	3	0
19:00	98	187	5	0	4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายพงศ์พัฒน์ จอดนอก เกิดเมื่อวันที่ 4 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2536 จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับ ชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแก้งคร้อวิทยา อำเภอแก้งคร้อ จังหวัดชัยภูมิ ในปีการศึกษา 2554 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในบริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัด (มหาชน) ตำแหน่ง Traffic/Transportation Modeler เป็นระยะเวลา 1 ปี 2 เดือน จากนั้น จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ. 2560 ในขณะเรียนอยู่ได้มีโอกาสทำงานด้านการสำรวจข้อมูลด้านการจราจร อาทิ เช่น 1) โครงการสำรวจและออกแบบทางแยกต่างระดับ จุดตัดทางหลวงหมายเลข 304 กับทางหลวงหมายเลข 3245 (แยกพนมสารคาม) และทางหลวงหมายเลข 3076 2) โครงการสำรวจและออกแบบปรับปรุงและแก้ไขปัญหาการจราจรบนทางหลวงหมายเลข 4 ช่วง หลุมดิน - ต.ห้วยชินสีห์ 3) โครงการสำรวจและออกแบบสะพานข้ามแม่น้ำแม่กลองบนทางหลวงหมายเลข 4 (สะพานสิริลักขณ์) 4) โครงการศึกษาและพัฒนาระบบติดตามและควบคุมน้ำหนักรถบรรทุกบนโครงข่ายทางหลวงชนบท (Truck Monitoring System, T.S.) เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในรายวิชาดังต่อไปนี้ 1) ปฏิบัติการวิศวกรรมจราจร (TRAFFIC ENGINEERING LABORATORY) 2) การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING) 3) วิธีทางสถิติในงานขนส่งและโลจิสติกส์ (STATISTICAL METHODS IN TRANSPORTATION AND LOGISTICS)

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมการประชุมวิชาการ 13th South East Asian Technical University Consortium Symposium (SEATUC 2019) เรื่อง Application of Google Maps to Estimate Queue Length at Signalized Intersection และได้เสนอบทความเข้าร่วมเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปักษ์ที่ 4 ปีที่ 14 ประจำเดือน ตุลาคม - ธันวาคม 2564 ประเภท บทความวิจัย เรื่องการประมาณความยาวของแถวคอยแบบแปรผันตามเวลาบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ข้อมูลแถบสีจาก Google Maps