การวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง โดยใช้ข้อมูลจราจรจากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

นายสิทธิพงษ์ จรรยาสุคนธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

ANALYSIS OF BUS SPACE MEAN SPEED USING TRAFFIC DATA FROM IMAGE PROCESSING CAMERAS

Sitthiphong Chanyasukhon

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Transportation Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง
โดยใช้ข้อมูลจราจรจากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ศิรดล ศิริธร)
ประธานกรรมการ

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

(ผศ. ดร.วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

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

สิทธิพงษ์ จรรยาสุคนธ์ : การวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง โดยใช้ข้อมูลการจราจรจากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง (ANALYSIS OF BUS SPACE MEAN SPEED USING TRAFFIC DATA FROM IMAGE PROCESSING CAMERAS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์, 91 หน้า.

การศึกษานี้ต้องการหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ลักษณะทางกายภาพของถนน ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้น ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ และสร้างแบบจำลอง เพื่อการประมาณเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางบนถนนในเขตเมือง และการประยุกต์ใช้ในระบบการจราจรอัจฉริยะ เช่น การบอกเวลามาถึงป้ายหยุดรถโดยสารประจำทางของรถโดยสารประจำทาง

ในขั้นแรกได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบ โดยมีการพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรก วิเคราะห์หาความสัมพันธ์แยกตามช่วงถนน และลักษณะทางกายภาพของถนน โดยพิจารณารวมทุกช่วงเวลา กรณีที่สอง วิเคราะห์หาความสัมพันธ์แยกตามช่วงเวลา โดยพิจารณารวมทุกช่วงถนน และลักษณะทางกายภาพของถนน ผลการศึกษาพบว่ากรณีที่สองให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบได้ดีกว่ากรณีแรก

ต่อมาได้ทำการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางจากตัวแปรอิสระอื่น ๆ คือลักษณะทางกายภาพของถนน โดยพิจารณาสร้างแบบจำลอง 3 แบบ แบบแรกคือการสร้างแบบจำลองแยกเฉพาะแต่ละช่วงเวลา แบบที่สอง ทำการสร้างแบบจำลองแบบเดียวแต่เพิ่มตัวแปรเชิงกลุ่ม คือช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน มาพิจารณาด้วย แบบที่สาม ทำการสร้างแบบจำลองโดยการพัฒนามาจากสมการความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองแบบ ของ Wardrop (1952) ผลการศึกษาแบบจำลองที่แยกเฉพาะแต่ละช่วงเวลา มีความเหมาะสมที่จะนำมาหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง เพื่อนำไปประมาณเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางบนถนนในเขตเมือง และการประยุกต์ใช้ในระบบการจราจรอัจฉริยะ

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SITTHIPHONG CHANYASUKHON : ANALYSIS OF BUS SPACE MEAN SPEED USING TRAFFIC DATA FROM IMAGE PROCESSING CAMERAS. THESIS ADVISOR : ASST. PROC. RATTAPHOL PUEBOOBPAPHAN, Ph.D., 91 PP.

TIME MEAN SPEED/SPACE MEAN SPEED/IMAGE PROCESSING CAMERA

This study is to determine the bus space mean speed from time mean speed data and other factors such as road characteristics; and times of day, using linear regression analysis. The result of this study can be used to estimate bus travel time on urban streets and its application in intelligent transportation systems, such as information about bus arrival time at the bus stop.

At first, the relationships between bus space mean speed and time mean speed are analyzed. There are two cases to consider. First, data from all time periods are combined and the correlation analyses are conducted separately for each road and for different road characteristics. Second, the correlation analysis is made for different periods of day. The results showed that the second case is better than the first.

Then, the models to estimate bus space mean speed from several independent variables are developed by considering three types of model. The first type develops four models, each corresponds to each time period of the day. The second type considers only one model but treats the time period of the day as the independent variable. The third type of model is developed from the relationship of space mean speed and time mean speed of Wardrop (1952). These studies show that the first model is suitable for estimating the bus space mean speed and bus travel time on urban streets.

School of Transportation Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2012 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับกำลังใจและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ ด้านการดำเนินการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านดังรายนามต่อไปนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยแก้ปัญหา รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.ศิรดล ศิริธร ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยชี้แนะแนวทางการเขียน และตรวจสอบเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรยุทธ ลิมานนท์ ที่ให้โอกาสในการศึกษา ชี้แนะแนวทาง ขั้นตอน และให้คำปรึกษาในการทำวิจัย และให้กำลังใจอย่างดียิ่งตลอดมา

คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมขนส่งทุกท่าน ที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาส ให้ทุนการศึกษา ตลอดจนให้ทุนในการทำวิจัยในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด และให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา ขอขอบคุณครอบครัวจรรยาสุคนธ์ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ท้ายนี้ คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขออุทิศให้ พันจ่าอากาศเอกสวัสดิ์ จรรยาสุคนธ์ และนางพวงศรี จรรยาสุคนธ์ ผู้ซึ่งเป็นบิดา มารดา และขอมอบให้ครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ที่ดี ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนประสบความสำเร็จ

สิทธิพงษ์ จรรยาสุคนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 5

2.1.1 ความเร็วแบบ Time Mean Speed และความเร็วแบบ Space Mean Speed 5

2.1.2 การวิเคราะห์ความถดถอย (Simple Regression Analysis) 7

2.1.3 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) 10

2.1.4 การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย 11

2.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

3 วิธีดำเนินการวิจัย 22

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 22

3.2 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา 24

3.2.1 ลักษณะกายภาพช่วงถนนที่จะทำการศึกษา 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 การคัดเลือกช่วงถนน 24
3.3 การเก็บข้อมูล 27
3.3.1 วิธีการเก็บข้อมูล 27
3.3.2 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 27
3.4 การถอดข้อมูล 29
3.4.1 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) 29
3.4.2 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (SMS) 29
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 31
3.5.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS 31
3.5.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของสมการถดถอย 32
3.6 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) 32
3.6.1 แบบจำลอง $SMS_{bus}1$ 32
3.6.2 แบบจำลอง $SMS_{bus}2$ 34
3.6.3 แบบจำลอง $SMS_{bus}3$ 36
3.6.4 การตรวจสอบเงื่อนไขของสมการถดถอยเชิงพหุ 38
3.6.5 การกำหนดเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ 38
3.6.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง 40
3.7 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 41
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล 42
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละช่วงถนน 42
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนรัชดาภิเษก 42
4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนเพชรบุรีตัดใหม่ 43
4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนพระรามที่ 4 44
4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนสิรินธร 45
4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนเพชรเกษม 46
4.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนวงศ์สว่าง 47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.7 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละช่วงถนน 48

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน 49

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน 49

4.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน 51

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง 51

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง 52

4.3.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง 55

4.4 วิเคราะห์ข้อมูลของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา 56

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 56

4.4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 60

4.5 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง 60

4.5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง แบบที่ 1 ($SMS_{bus}1$) 65

4.5.2 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง แบบที่ 2 ($SMS_{bus}2$) 69

4.5.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง แบบที่ 3 ($SMS_{bus}3$) 71

4.5.4 เปรียบเทียบระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางที่ได้จากแบบจำลอง (Estimate SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ที่ได้จากการเก็บข้อมูล 74

5 สรุปและข้อเสนอแนะ 78

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) 78

5.2 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) 79

5.3 ข้อเสนอแนะ 82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 83

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาแต่ละช่วงถนน 85

ภาคผนวก ข. แบบสำรวจข้อมูลความเร็วของรถโดยสารประจำทาง 89

ประวัติผู้เขียน 91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ช่วงถนนที่ทำการศึกษา 26
3.2 สรุปลักษณะกายภาพของช่วงถนนที่ทำการศึกษา 28
3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง 30
3.4 ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในสนาม
โดยวิธี License Plate Matching 31
3.5 การกำหนดเครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ 39
4.1 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนรัชดาภิเษก 42
4.2 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรบุรีตัดใหม่ 43
4.3 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนพระรามที่ 4 44
4.4 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนสิรินธร 45
4.5 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรเกษม 46
4.6 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนวงศ์สว่าง 47
4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละช่วงถนน 48
4.8 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจร
ของถนน กลุ่มที่ 1 (3 ช่องจราจร) 49
4.9 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจร
ของถนน กลุ่มที่ 2 (4 และ 5 ช่องจราจร) 50
4.10 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน 51
4.11 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยก
ปลายทางของถนน กลุ่มที่ 1 (Signal Intersection) 52
4.12 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยก
ปลายทางของถนน กลุ่มที่ 2 (Over Pass 1) 53
4.13 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยก
ปลายทางของถนน กลุ่มที่ 3 (Over Pass 2) 53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง 55
4.15 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา รวมทุกช่วงเวลา (All Day) 56
4.16 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) 56
4.17 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) 57
4.18 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) 57
4.19 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 60
4.20 แสดงค่าสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระ (แบบจำลองที่ 1) บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 62
4.21 แสดงค่าสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระ (แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3) บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา รวมทุกช่วงเวลา 63
4.22 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 รวมทุกช่วงเวลา (All Day) 66
4.23 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) 66
4.24 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) 67
4.25 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) 67
4.26 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง $SMS_{bus}1$ 68
4.27 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 2 ทุกช่วงเวลา (All Day) 70
4.28 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง $SMS_{bus}2$ 70
4.29 ค่าความแปรปรวนของ SMS (σ^2_{SMS}) ของทุกช่วงถนน ทุกช่วงเวลา 72
4.30 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ SMS (σ^2_{SMS}) 72
4.31 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) 73
4.32 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 3 73
5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 81

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 การรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ แสดงเป็นภาพการจราจรจากกล้องวงจรปิด 2

1.2 การรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ แสดงเป็นเส้นสีบนแผนที่โครงข่ายถนน และทางด่วน 2

2.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาและแบบระยะทาง บนถนน Western Avenue เมือง Greenford 16

3.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินการวิจัย 22

3.2 แสดงขั้นตอนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS และการสร้างแบบจำลอง SMS_{bus} 23

3.3 แผนที่แสดงถนนในพื้นที่ศึกษา 26

4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนรัชดาภิเษก 43

4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรบุรีตัดใหม่ 44

4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนพระรามที่ 4 45

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนสิรินธร 46

4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรเกษม 47

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนวงศ์สว่าง 48

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 1 (3 ช่องจราจร) 50

4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 2 (4 และ 5 ช่องจราจร) 51

4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 1 (Signal Intersection) 54

4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 2 (Over Pass 1) 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 3 (Over Pass 1) 55
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS รวมทุกช่วงเวลาบนถนน 6 สายในพื้นที่ศึกษา 58
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 58
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงนอกเวลาเร่งด่วนบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 59
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็นบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา 59
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ทุกช่วงเวลา) 74
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า) 75
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน) 75
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น) 76
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 2 (ทุกช่วงเวลา) 76
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 3 (ทุกช่วงเวลา) จากสมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} + \sigma^2_{SMS}}$ 77
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 3 (ทุกช่วงเวลา) จากสมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} + \sigma^2_{SMS}}$ 77

บทที่ 1
บทนำ

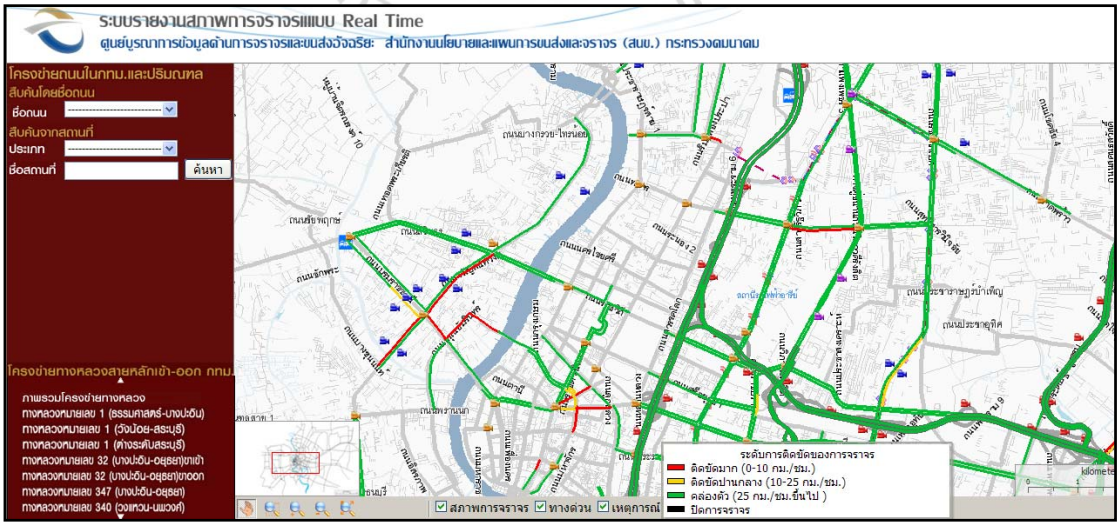
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการให้ข้อมูลแก่ผู้เดินทาง (Advance Information Traveler System) เป็นการรายงานสภาพการจราจรแบบปัจจุบัน (Real Time) ให้แก่ผู้ใช้รถได้ทราบสภาพการจราจรบนโครงข่ายถนนในเขตเมืองและระบบทางด่วน เพื่อที่ผู้ใช้รถจะได้วางแผนการเดินทาง หรือหลีกเลี่ยงเส้นทางการจราจรที่ติดขัด ระบบนี้สามารถให้ข้อมูลแก่ผู้ใช้รถได้หลายช่องทาง เช่น การรายงานสภาพการจราจรผ่านทางสถานีโทรทัศน์ วิทยุกระจายเสียง ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การให้ผู้ใช้รถสอบถามข้อมูลการเดินทางผ่านระบบศูนย์ข้อมูล การให้ข้อมูลสภาพการจราจรบนป้ายสลับข้อความ (Variable Message Sign) การรายงานสภาพการจราจรผ่านระบบนำทางที่ติดตั้งบนรถยนต์ การรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ผ่านระบบอินเตอร์เน็ต เป็นต้น

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม เป็นหน่วยงานกลางที่ดำเนินการรวมรวบข้อมูลด้านการจราจรและขนส่งจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ดำเนินการด้านการจราจรและขนส่ง เพื่อนำข้อมูลมาพัฒนาเป็นระบบฐานข้อมูลสารสนเทศอย่างเป็นระบบและรายงานสภาพการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลให้แก่ผู้ใช้รถได้ทราบเช่น การรายงานสภาพการจราจรแบบปัจจุบันทางเว็บไซต์ผ่านระบบอินเตอร์เน็ต ซึ่งจะมีทั้งข้อมูลที่เป็นภาพการจราจรจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดและข้อมูลสภาพการจราจรที่รายงานในลักษณะของเส้นสีบนแผนที่โครงข่ายถนนและทางด่วนเพื่อแสดงระดับการติดขัดของการจราจร (สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2553) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2

การรายงานสภาพการจราจรโดยใช้เส้นสีแสดงบนแผนที่โครงข่ายถนนและทางด่วน จะใช้ความเร็วเฉลี่ยของรถในกระแสจราจรเป็นตัวกำหนดสภาพการติดขัดของการจราจรบนโครงข่ายถนนและทางด่วน โดยแบ่งเป็น 3 ระดับคือ สภาพการจราจรติดขัดมากจะแสดงด้วยสีแดง สภาพการจราจรติดขัดปานกลางจะแสดงด้วยสีเหลือง และสภาพการจราจรไม่ติดขัดจะแสดงด้วยสีเขียว ซึ่งความเร็วเฉลี่ยของรถสามารถวัดได้ 2 แบบ คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (Time Mean Speed: TMS) และความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (Space Mean Speed: SMS)

รูปที่ 1.1 การรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ แสดงเป็นภาพการจราจรจากกล้องวงจรปิด



รูปที่ 1.2 การรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ แสดงเป็นเส้นสีบนแผนที่โครงข่ายถนน และทางด่วน

การสำรวจข้อมูลความเร็วเฉลี่ยบนช่วงถนนเพื่อทำการรายงานสภาพการจราจร จะสำรวจโดยกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งที่ติดตั้งบนช่วงถนนจำนวน 1 ตัวต่อหนึ่งช่วงถนน กล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งจะทำการวัดความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของยานพาหนะที่วิ่งผ่าน ณ จุดสำรวจ แล้วใช้ค่าดังกล่าวมาอธิบายสภาพการจราจรตลอดช่วงถนนนั้น ๆ เนื่องจากช่วงถนนหนึ่ง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล มีความยาวมากและมีสภาพการจราจรที่ไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอด อาจทำให้ข้อมูลสภาพการจราจรที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ไม่สามารถอธิบายสภาพการจราจรตลอดช่วงถนนได้ จำเป็นต้องมีการติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งจำนวนหลายตัวต่อหนึ่งช่วงถนน ซึ่งอาจจะทำให้มีปัญหาในเรื่องงบประมาณสำหรับหน่วยงานที่ติดตั้งได้ และค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใช้เป็นความสัมพันธ์ในกระแสจราจรนั้น เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบค่าความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา และความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบ เพื่อที่จะใช้อธิบายสภาพการจราจรบนช่วงถนน

เนื่องจากการจราจรบนถนนสายหลักในเขตเมืองประกอบด้วยรถหลายประเภท ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถแต่ละประเภทจึงแตกต่างกัน เช่นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์ส่วนบุคคลอาจมีข้อมูลที่คลาดเคลื่อน เพราะผู้ขับรถอาจจะขับรถออกนอกเส้นทางที่ศึกษาหรือมีการหยุดแวะทำกิจกรรมอื่น ๆในระหว่างการเดินทาง ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางอาจจะแตกต่างจากรถยนต์ส่วนบุคคล เพราะรถโดยสารประจำทางมีการหยุดรับส่งผู้โดยสารในระหว่างการเดินทาง แต่รถโดยสารประจำทางก็มีความถี่ในการเดินทางที่สม่ำเสมอและมีเส้นทางในการเดินรถที่แน่นอน การศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลากับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง และใช้ในการอธิบายสภาพการจราจรบนช่วงถนน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางกับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร บนถนนสายหลักในเขตเมือง

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองในการหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร ที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

1.2.3 เพื่อใช้ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลากับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางที่ได้ มาหาความเร็วเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางบนถนนสายหลักในเขตเมือง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาในกระแสจราจร จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

1.3.2 ศึกษาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากโครงข่ายถนนในเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 6 ช่วงถนน ที่มีการติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางกับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

1.4.2 สามารถวิเคราะห์หาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร ที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

1.4.3 สามารถประมาณเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง จากกระแสจราจรได้

1.4.4 นำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในระบบการจราจรอัจฉริยะ เช่น การบอกเวลามาถึงป้ายรถโดยสารประจำทางของรถโดยสารประจำทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (Time Mean Speed) และ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (Space Mean Speed) การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบ

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 ความเร็วแบบ Time Mean Speed และความเร็วแบบ Space Mean Speed

Roess, Prassas and Mcshane (2004) กล่าวว่าค่าพารามิเตอร์ของกระแสจราจร (Traffic Stream) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Macroscopic parameter ซึ่งอธิบายลักษณะพฤติกรรมของรถทั้งหมดในกระแสการจราจรและ Microscopic parameter ซึ่งอธิบายพฤติกรรมของรถแต่ละคันในกระแสจราจร ค่าพารามิเตอร์สำหรับ Macroscopic แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) ปริมาณหรืออัตราการไหล (2) ความเร็ว (3) ความหนาแน่น ซึ่งความเร็วคืออัตราการเคลื่อนที่ของรถเป็นระยะทางต่อหน่วยระยะเวลา ความเร็วที่ใช้เป็นความเร็วเฉลี่ยของรถในกระแสจราจรสามารถหาได้ 2 แบบคือ ความเร็วเฉลี่ยแบบ Time Mean Speed (TMS) และความเร็วเฉลี่ยแบบ Space Mean Speed (SMS)

ความเร็วเฉลี่ยแบบ Time Mean Speed (TMS) เป็นความเร็วเฉลี่ยของรถทุกคันที่วิ่งผ่านจุดสำรวจบนถนนในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.1

$$TMS = \frac{\sum_i \left(\frac{d}{t_i} \right)}{n} \tag{2.1}$$

โดยที่ TMS = Time Mean Speed ฟุต/วินาที

d = ระยะทางที่กำหนด ฟุต

n = จำนวนรถที่วิ่งผ่านจุดสำรวจ คัน

t_i = เวลาของรถคันที่ i ที่วิ่งผ่านจุดสำรวจ วินาที

ความเร็วเฉลี่ยแบบ Space Mean Speed (SMS) เป็นความเร็วเฉลี่ยของรถทุกคันที่วิ่งผ่านช่วงถนนที่สำรวจในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.2

$$SMS = \frac{d}{\left(\frac{\sum_i t_i}{n}\right)} \tag{2.2}$$

โดยที่ SMS = Space Mean Speed ฟุต/วินาที
d = ระยะทางที่กำหนด ฟุต
n = จำนวนรถที่วิ่งผ่านจุดสำรวจ คัน
t_i = เวลาของรถคันที่ i ที่วิ่งผ่านจุดสำรวจ วินาที

Garber and Hoel (2010) กล่าวว่าองค์ประกอบของกระแสจราจร ประกอบด้วย การไหล (flow) ความหนาแน่น (density) และความเร็ว (speed) ซึ่งความเร็วคือความชันของเส้นของกราฟ time space diagram ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางในการเดินทางของรถ สามารถแบ่งความเร็วเฉลี่ยออกเป็น 2 ประเภทคือ time mean speed และ space mean speed

Time Mean Speed ($\overline{u_t}$) เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยแบบ arithmetic mean ของรถที่วิ่งผ่านจุดที่สำรวจบนถนนในช่วงเวลาที่กำหนด หาได้จากสมการที่ 2.3

$$\overline{u_t} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i \tag{2.3}$$

โดยที่ n = จำนวนรถที่วิ่งผ่านจุดสำรวจบนถนน (คัน)
u_i = ความเร็วของรถคันที่ i (เมตร/วินาที)

Space Mean Speed ($\overline{u_s}$) เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยแบบ harmonic mean ของรถที่วิ่งผ่านช่วงถนนในช่วงเวลาที่กำหนด หาได้จาก จำนวนระยะทางทั้งหมดที่รถตั้งแต่ 2 คันขึ้นไปวิ่งผ่านช่วงถนนที่กำหนดหารด้วยจำนวนเวลาทั้งหมดที่รถทุกคันใช้เวลาเดินทางในระยะทางนั้น หาได้จากสมการที่ 2.4

$$\overline{u_s} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{u_i}\right)} = \frac{nL}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \quad (2.4)$$

โดยที่ n = จำนวนรถ (คัน)

t_i = เวลาของรถคันที่ i (วินาที)

u_i = ความเร็วของรถคันที่ i (เมตร/วินาที)

L = ระยะทางของช่วงถนนที่กำหนด (เมตร)

ความเร็วเฉลี่ยแบบ Time Mean Speed จะมากกว่าความเร็วเฉลี่ยแบบ Space Mean Speed เสมอ โดยค่าแตกต่างของความเร็วเฉลี่ยทั้งสองจะมีค่าลดลงที่ความเร็วสูงขึ้น นอกจากนี้พวกเขายังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS จากการเก็บข้อมูลบนทางด่วนหลาย ๆ ช่วงถนนและนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองได้ดังสมการที่ 2.5

$$\overline{u_t} = 0.966\overline{u_s} + 3.541 \quad (2.5)$$

2.1.2 การวิเคราะห์ความถดถอย (Simple Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว หรือความสัมพันธ์ของสิ่งที่สนใจศึกษา 2 ลักษณะ โดยต้องทราบค่าหรือกำหนดค่าตัวแปรตัวหนึ่งไว้ ซึ่งตัวแปรที่ทราบค่าจะเรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable) มักจะใช้สัญลักษณ์ X แทนตัวแปร และตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือตัวแปรที่ต้องการหาค่าจะเรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent Variable) จะใช้สัญลักษณ์ Y แทนตัวแปรตาม ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง จะมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นได้ดังสมการที่ 2.6 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546ก)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e \quad (2.6)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม (Independent Variable)

X = ตัวแปรอิสระ (Dependent Variable)

β_0 = ส่วนตัดแกน Y หรือ ค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0

β_1 = ความชัน (Slope) ของเส้นตรง เป็นค่าที่แสดงอัตราการ

เปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย เรียกค่านี้ว่า สัมประสิทธิ์ของความถดถอย (Regression Coefficient)

e = ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error)

- การทดสอบสมมติฐานของสมการความถดถอยอย่างง่าย

1) การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ $ß_0$

ถ้า $ß_0 = 0$ แสดงว่ากราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด (X, Y = 0) โดยใช้สมมติฐาน

$H_0 : ß_0 = 0$

$H_1 : ß_0 \neq 0$

สถิติทดสอบ กรณีที่จำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง

$t = (a - 0) / s_a$

เขตปฏิเสธ H_0 ถ้า $| t | > t_{1-œ; n-2}$

สถิติทดสอบ กรณีที่จำนวนตัวอย่างมากกว่า 30 ตัวอย่าง

$Z = a / s_a$

เขตปฏิเสธ H_0 ถ้า $| Z | > Z_{1-œ/2}$

2) การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ $ß_1$

เป็นการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นหรือไม่ โดยใช้สมมติฐาน

$H_0 : ß_1 = 0$

$H_1 : ß_1 \neq 0$

สถิติที่ใช้ทดสอบคือ

F – test จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) โดยที่จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{1-œ}$ ที่องศาอิสระ 1, n – 2 หรือ Significance น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

t – test : $t = b_1/S_{b1}$ โดยที่จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t > t_{1-(œ/2)}$ หรือ $t < t_{1-(œ/2)}$ ที่องศาอิสระ n – 1 หรือ Significance ของ t น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

ถ้าปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า X กับ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด ถ้ายอมรับ $H_0 : ß_1 = 0$ จะสรุปได้ว่า X กับ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

เป็นค่าที่แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จะไม่มีหน่วย มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -1 ซึ่งความหมายของค่า r สามารถอธิบายได้ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2546ข)

1) ค่า r เป็นลบ (-) หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม ถ้าค่า X เพิ่มขึ้น ค่า Y จะลดลง ถ้าค่า X ลดลง ค่า Y จะเพิ่มขึ้น

2) ค่า r เป็นบวก (+) หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ถ้าค่า X เพิ่มขึ้น ค่า Y จะเพิ่มขึ้น ถ้าค่า X ลดลง ค่า Y จะลดลง

3) ค่า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันมาก

4) ค่า r มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันมาก

5) ค่า r มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

6) ค่า r มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

- สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Correlation of Determination: R^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y ได้มากน้อยเพียงใด โดยที่ ค่า R^2 เท่ากับ สัดส่วนของความแปรปรวนของ Y ที่เกิดจาก X ต่อ ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 คุณสมบัติของ R^2 คือ R^2 จะไม่มีหน่วย ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้มาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้น้อย

- การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการความถดถอย

เป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน (error of residual) การที่จะนำสมการความถดถอยไปใช้นั้น จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของสมการโดยการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการเกี่ยวกับค่าความคลาดเคลื่อน ($e_i = Y_i - \hat{Y}_i$) ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน = 0

2. ค่าคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

3 ค่าคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

4. ค่าความแปรปรวนของ e คือ σ^2 ซึ่งต้องคงที่ทุกค่า X

2.1.3 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัว หรือความสัมพันธ์ของสิ่งที่สนใจศึกษามากกว่า 2 ลักษณะ โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตาม Y จะมีหลายปัจจัยหรือกล่าวได้ว่าตัวแปรอิสระ X หลายตัวมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม Y รูปแบบของสมการถดถอยเชิงพหุสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.7

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \text{.....} + \beta_k X_k + e \qquad (2.7)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม (Independent Variable)

$X_1 - X_k$ = ตัวแปรอิสระ (Dependent Variable) ตัวที่ 1 ถึง k

β_0 = ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = \text{.....} = X_k = 0$

$\beta_1 - \beta_k$ = เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) โดยที่ค่า β_i เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อตัวแปร X_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปร X ตัวอื่น ๆ มีค่าคงที่

e = ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error)

- การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงพหุ
  เป็นการทดสอบค่า β_i เมื่อมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว จะมี 2 ขั้นตอนดังนี้
  1. สมมติฐาน $H_o : \beta_1 = \beta_2 = \text{...} = \beta_k = 0$

H_1 : มี β_i อย่างน้อย 1 ค่า $\neq 0 : i = 1, 2, \text{.....}, k$

สถิติทดสอบใช้ F – test จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) ถ้ายอมรับ H_o จะสรุปได้ว่า $X_1, X_2, \text{.....}, X_k$ ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ถ้าปฏิเสธ H_o จะสรุปได้ว่ามี X_i อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y จึงต้องทดสอบต่อไปในขั้นที่ 2

2 สมมติฐาน $H_o : \beta_i = 0$

$H_1 : \text{มี } \beta_i \neq 0 : i = 1, 2, \text{...}, k$

สถิติทดสอบ $t = (b_i - 0)/s_b$ จะปฏิเสธ H_o ถ้า $| t | > t_{1-\alpha; n-k+1}$ หรือ Significance ของสถิติ t น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ (Multiple Coefficient of Correlation)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ = $R_{Y,12.....k}$ = R = $\sqrt{R^2_{Y,12.....k}}$ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่มีความหมายว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $\hat{Y}$ ถ้า R มีค่ามากแสดงว่าค่า $\hat{Y}$ ใกล้เคียงกับค่า Y มาก

ค่า R เข้าใกล้ 0 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับ $X_1, X_2, ..., X_k$ น้อยมาก ถ้าค่า R = 0 แสดงว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ $X_1, X_2, ..., X_k$ เลย และถ้า R เข้าใกล้ 1 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับ $X_1, X_2, ..., X_k$ มาก

- สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Correlation of Determination: R^2)

เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ ($X_1, X_2,....., X_k$) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้ หาได้จาก ความผันแปรของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, ..., X_k$ ต่อ ความผันแปรทั้งหมด มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 1 จะหมายถึง $X_1, X_2,....., X_k$ มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้า R^2 เข้าใกล้ 0 จะหมายถึง $X_1, X_2,....., X_k$ มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย เนื่องจากเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยมากขึ้น จะทำให้ค่า R^2 มากขึ้น ทั้งที่ตัวแปรอิสระ X ที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เลยก็ได้ จึงต้องปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องมากขึ้นเป็นค่า Adjust R^2 โดยค่า Adjust R^2 เท่ากับ $1+\{ [(n-1)/(n-k-1)]*(R^2-1)\}$ โดยกรณีที่มีตัวแปรอิสระ X หลายตัว จะพิจารณาค่า Adjust R^2

- การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการความถดถอยเชิงพหุ

จะเหมือนกับการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์สมการความถดถอยอย่างง่าย โดยเพิ่มเงื่อนไขของตัวแปรอิสระ ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน = 0
2. ค่าคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
3 ค่าคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน
4. ค่าความแปรปรวนของ e คือ σ^2 ซึ่งต้องคงที่ทุกค่า X
5. ตัวแปรอิสระ X_i และ X_j ต้องเป็นอิสระกัน

2.1.4 การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะมีตัวแปรอิสระ X ในสมการตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยมีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูง (Multicolinearity) ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองในรูปแบบสมการความถดถอยจึงต้องคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการความถดถอย วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการนั้นมีหลายวิธี ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยคำนวณค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระทีละตัว แล้วก็คัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้ามาในสมการความถดถอย โดยเทคนิคการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตาม มีทั้งหมด 5 วิธี ดังนี้

1) การคัดเลือกเข้า (Enter)

การคัดเลือกเข้าเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการด้วยการวิเคราะห์ขั้นตอนเดียว โดยผู้วิเคราะห์ต้องเป็นผู้คัดเลือกเองว่าตัวแปรใดควรจะอยู่ในสมการ โดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อน เป็นต้น ในการเลือกควรเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่พบว่ามีค่าสูง ๆ และมีนัยสำคัญ เมื่อคัดเลือกได้แล้วจะใช้ตัวแปรอิสระทุกตัวที่เลือก วิเคราะห์พร้อมกันทุกตัวแปรอิสระเข้าสมการทั้งหมด

2) การคัดเลือกออก (Remove)

การคัดเลือกออกเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีการคัดเลือกเข้า กล่าวคือเป็นการเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการ โดยมีการสร้างสมการถดถอยก่อน แล้วนำตัวแปรอิสระที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดออกจากสมการ ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้คู่กับวิธี Enter

3) การคัดเลือกเพิ่มแบบเดินหน้า (Forward)

การคัดเลือกเพิ่มแบบเดินหน้าเป็นอีกวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการถดถอย โดยเริ่มจากการนำตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการครั้งละ 1 ตัว โดยนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงสุดและมีนัยสำคัญที่ทดสอบด้วย t หรือ F เข้าสมการก่อน จากนั้นคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหลือเข้าสมการ โดยคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่เหลือ และทดสอบนัยสำคัญ ถ้าตัวแปรอิสระตัวใดมีนัยสำคัญก็คัดเลือกตัวนั้นเข้าสมการ และทำอย่างนี้จนไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าสมการที่ได้เป็นสมการความถดถอยที่มีความเหมาะสม

4) การคัดเลือกถอยหลัง (Backward)

เป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีการคัดเลือกเพิ่มวิธีนี้จะนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสมการก่อน แล้วทำการตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามออกจากสมการครั้งละตัว ทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติทดสอบ t หรือ F ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระได้อีก ซึ่งแสดงว่าสมการที่ได้นั้น เป็นสมการความถดถอยที่มีความเหมาะสม

5) การคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise)

การคัดเลือกแบบขั้นตอนเป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยกระบวนการที่ผสมกันระหว่างวิธีแบบเพิ่มไปข้างหน้า (Forward) และแบบถอยหลัง (Backward) เป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยเริ่มจากการคัดเลือกตัวแปรอิสระตัวแรกเข้าสมการด้วยวิธี Forward นำตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการครั้งละตัว เมื่อมีตัวแปรอิสระเข้าสมการแล้วต่อไปจะใช้เกณฑ์ของ Backward และ Forward ในการพิจารณาตัวแปรอิสระเข้าสมการในขณะเดียวกันก็จะพิจารณาตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการว่าควรออกจากสมการหรือไม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่สามารถเลือกตัวแปรอิสระใดเข้าสมการและไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระใดออกจากสมการได้อีก แสดงว่าสมการที่ได้เป็นสมการความถดถอยที่มีความเหมาะสม

2.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พรณรงค์ เลื่อนเพชร และ ถิรยุทธ ลิมานนท์ (2553) ได้ศึกษาความเร็วของรถโดยสารประจำทางกับความเร็วของกระแสจราจรบนช่วงถนน โดยใช้เส้นทางรถโดยสารประจำทางจำนวน 4 เส้นทางในกรุงเทพมหานครในการศึกษา เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมของความเร็วของรถโดยสารประจำทางเพื่อรายงานความเร็วของกระแสจราจรบนช่วงถนน ซึ่งความเร็วของรถโดยสารประจำทางใช้ข้อมูลจาก GPS ที่ติดตั้งบนรถโดยสารประจำทาง และความเร็วของกระแสจราจรหาโดยใช้วิธีรถทดลอง จากการศึกษาพบว่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรตลอดเส้นทางจะมีค่าระหว่าง 0.98 – 1.32 เท่าของความเร็วเฉลี่ยของรถโดยประจำทาง สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงถนนในแต่ละเส้นทาง จะมีค่าระหว่าง 0.60 – 2.00 ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าต่ำกว่า 1.00 หมายความว่าบางช่วงถนน ความเร็วของรถโดยสารประจำทางมีค่าสูงกว่าความเร็วของกระแสจราจร ซึ่งมีสาเหตุดังนี้

1) บางช่วงถนนมีช่องทางสำหรับรถโดยสารประจำทางโดยเฉพาะ แยกออกจากช่องทางปกติ

2) บางช่วงถนน รถโดยสารประจำทางจะวิ่งในช่องทางคู่ขนาน ที่อาจจะเคลื่อนตัวได้ดีกว่าช่องทางอื่น

3) บางช่วงถนน รถโดยสารประจำทางจะใช้ช่องทางเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด ทำให้ไม่ต้องรอแถวคอยในช่องจราจรปกติ

และสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วของรถโดยสารประจำทางสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการรายงานความเร็วของกระแสจราจรบนช่วงถนนได้ ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วของกระแสจราจรกับความเร็วของรถโดยสารประจำทาง มีค่ามากกว่า 1.0 ส่วนในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วของกระแสจราจรกับความเร็วของรถโดยสารประจำทาง มีค่าน้อยกว่า 1.0 ในบางช่วง

ถนน ซึ่งความเร็วของรถโดยสารประจำทางมากกว่าความเร็วของกระแสจราจร อาจจะต้องปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ให้มีความเหมาะสม และใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ณัฐพงษ์ วิไลเศรษฐีวนิช (2551) ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบความแม่นยำของการประมาณเวลาการเดินทางที่ได้จาก การประมาณเวลาการเดินทางด้วยกรรมวิธี Lighthill, Whitham and Richards (LWR) และระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) โดยทำการศึกษาเก็บข้อมูลจราจรได้แก่ ข้อมูลปริมาณจราจร (Traffic Volume) ข้อมูลความเร็ว (Speed) ซึ่งสามารถทำได้โดยการบันทึกภาพด้วยกล้องวีดีทัศน์ที่ภาคสนาม และถอดข้อมูลโดยใช้เครื่อง Autoscope และข้อมูลเวลาการเดินทาง (Travel time) ซึ่งเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยวิธีการบันทึกแผ่นป้ายทะเบียน (License Plate Technique) ข้อมูลที่ได้ถูกใช้ในการประมาณเวลาการเดินทางโดยวิธี Lighthill, Whitham and Richards (LWR) และระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) การประเมินความแม่นยำของการประมาณเวลาการเดินทางของวิธีข้างต้นด้วยวิธีทางสถิติเทียบกับเวลาในการเดินทางจริง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการประมาณเวลาการเดินทางด้วยกรรมวิธี Lighthill,Whitham and Richards (LWR) ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำในช่วงที่มีความเร็วมากกว่า 70กม./ชม. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการไหลแบบอิสระ ส่วนการประมาณเวลาการเดินทางโดยระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีความแม่นยำทุกช่วงที่ทำการวิเคราะห์

Wardrop (1952) ได้ศึกษาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (SMS) และความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (TMS) จากข้อมูลการกระจายตัวของความเร็วบนถนน ความเร็วเฉลี่ย TMS เป็นการกระจายตัวของความเร็วในหน่วยของเวลา มีความสัมพันธ์กับปริมาณจราจร และหาความเร็วเฉลี่ยได้จากสมการที่ 2.8 ความเร็วเฉลี่ย SMS เป็นการกระจายตัวของความเร็วในหน่วยของระยะทาง มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น และหาความเร็วเฉลี่ยได้จากสมการที่ 2.9 จากการศึกษาการกระจายตัวของความเร็วทั้งสองแบบ บนถนน Western Avenue เมือง Greenford และนำมาเขียนกราฟระหว่างความเร็วกับเปอร์เซ็นต์ความถี่ พบว่าความเร็วเฉลี่ยของกระจายตัวแบบเวลาจะมีค่ามากกว่าความเร็วเฉลี่ยของกระจายตัวแบบระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1

Time Mean Speed: $$\bar{v}_t = \sum_{i=1}^{c} q_i v_i / Q \qquad (2.8)$$

Space Mean Speed: $$\bar{v}_s = \sum_{i=1}^{c} k_i v_i / K \qquad (2.9)$$

นอกจากนี้ยังได้หาความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลากับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางได้จากสมการที่ 2.10

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{\sigma_s^{\,2}}{\bar{v}_s} \tag{2.10}$$

ซึ่ง $\sigma_s^{\,2}$ คือ variance ของการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง หาได้จากสมการที่ 2.11

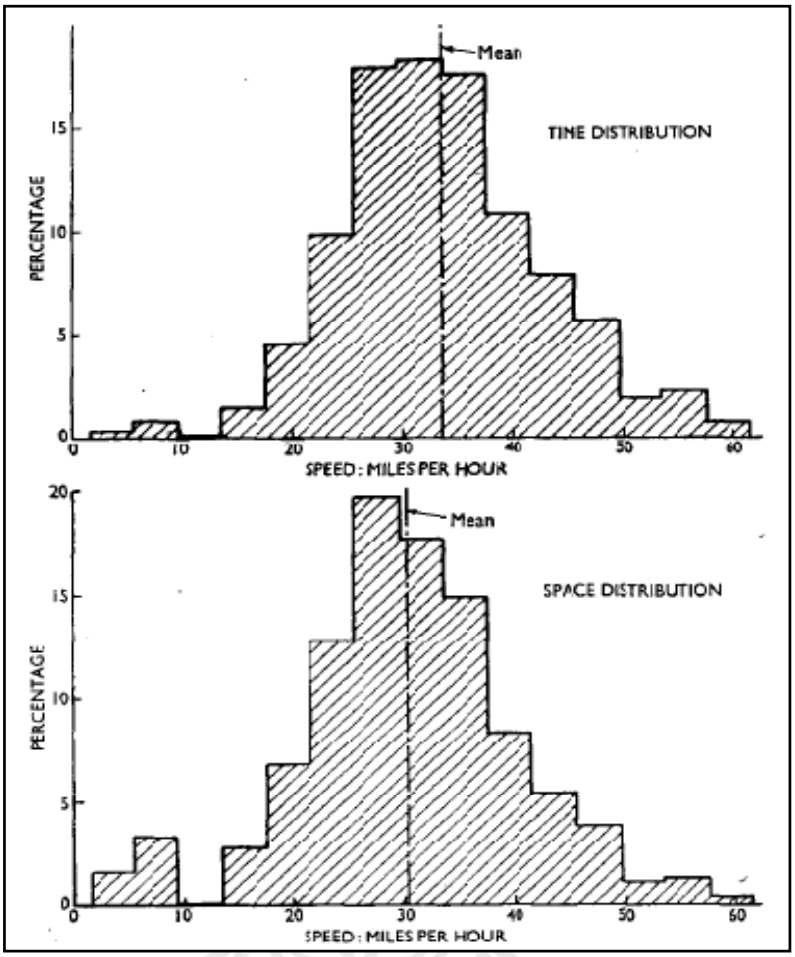
$$\sigma_s^{\,2} = \sum_{i=1}^{C} k_i (v_i - \bar{v}_s)^2 / K \tag{2.11}$$

และกรณีที่วัดค่าความเร็วในหน่วยเดียวกัน จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของการกระจายตัวของความเร็วแบบระยะทาง (c_s) ซึ่ง c_s คืออัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายของความเร็วแบบระยะทาง กับค่าความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง ($c_s = \sigma_s / \bar{v}_s$) ดังสมการที่ 2.12

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s\left(1 + c_s^{\,2}\right) \tag{2.12}$$

ซึ่งสมการที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่า TMS จะมีค่ามากกว่า SMS ทุกกรณี จนกระทั่งมีค่าเท่ากันเมื่อ $c_s = 0$ ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรโดยปกติมีค่าระหว่าง 0.25 ถึง 0.35 ดังนั้นค่า TMS จะมากกว่าค่า SMS ประมาณ 6-12%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาและแบบระยะทาง บนถนน Western Avenue เมือง Greenford

Han, Polak, Barria and Krishnan (2010) กล่าวว่าความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS ที่พัฒนาโดย Wardrop (1952) ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติในการหาค่าประมาณเวลาการเดินทาง (Travel Time Estimation: TTE) ได้ เนื่องจากต้องรู้ค่า variance ของ SMS ซึ่งหาค่าไม่ได้จาก Inductive Loop Detector: ILD ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วบนโครงข่ายถนน ค่าความเร็วที่ได้จาก ILDs จะเป็นค่า TMS แต่ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการหา TTE เป็นค่า SMS พวกเขาจึงได้สร้างแบบจำลองเพื่อหาค่า SMS จากค่า TMS ที่วัดได้จาก ILDs เนื่องจากไม่สามารถหาค่า σ_{sms}^2 ได้ จึงต้องหาค่า SMS จากข้อมูลของ TMS จากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS ของ Wardrop (1952) ที่แสดงในสมการที่ 2.13

$$TMS = SMS + \frac{\sigma_{SMS}^2}{SMS} \tag{2.13}$$

พวกเขาได้ทำการ derived สมการที่ 2.13 โดยใช้สมการ quadratic และใช้สมมุติฐานว่าลักษณะทางกายภาพและสภาพการจราจรของช่วงถนนตลอดระยะทางที่ศึกษาคงที่ ได้แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS ดังแสดงในสมการที่ 2.14

$$SMS = \frac{3SMS + \sqrt{9TMS^2 - 8E(v_i^2)}}{4} \tag{2.14}$$

และได้ทำการทดสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูล TMS จาก ILDs และข้อมูล SMS จากกล้อง Automatic Number Plate Recognition (ANPR) บนโครงข่ายทางหลวงในอังกฤษ ในการเปรียบเทียบค่าระหว่าง TMS ที่ได้จาก ILDs กับ SMS ที่ได้จากกล้อง ANPR และเปรียบเทียบค่า estimate SMS ที่ได้จากแบบจำลองกับ SMS ที่ได้จากกล้อง ANPR โดยการ plot กราฟ และหาค่าความคลาดเลื่อนจาก Mean Absolute Percent Error (MAPE) และ Root Mean Square Error (RMSE) พบว่าแบบจำลองที่เสนอสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดความเร็วได้ประมาณ 10 กม. /ชม.

โดยสรุปแล้วสามารถนำสมการ quadratic function มาสร้างเป็นแบบจำลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ variance ของ SMS ซึ่งเป็นตัวที่ไม่รู้ค่าได้ และสามารถหาค่า estimate SMS ได้ จากข้อมูล TMS ที่ได้จาก ILDs จากการใช้แบบจำลองที่เสนอกับข้อมูลจริงที่ได้จากโครงข่ายทางหลวงในอังกฤษ แสดงให้เห็นว่าค่า estimate SMS ที่ใช้แบบจำลองนี้สามารถใช้ประมาณค่า Travel Time ได้ดีกว่าการใช้ค่า TMS ประมาณค่าโดยตรง

Rakha and Zhang (2005) กล่าวว่าความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรสามารถคำนวณได้ 2 แบบคือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (Time Mean Speed: TMS) คำนวณความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรที่วิ่งผ่านจุดที่ศึกษาบนถนน และ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (Space Mean Speed: SMS) คำนวณความเร็วเฉลี่ยของกระแสจราจรที่วิ่งผ่านระยะทางช่วง ๆ หนึ่งบนถนน พวกเขาได้เสนอสมการใหม่ในการหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง จากความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา โดยอาศัยความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบที่เสนอโดย Wardrop (1952) ดังแสดงในสมการที่ 2.15

$$\overline{u_S} = \overline{u_T} - \frac{\sigma_T^2}{\overline{u}_T} \tag{2.15}$$

และทำการทดสอบสมการที่เสนอ (สมการที่ 2.15) โดยใช้ตัวอย่างข้อมูล SMS และ TMS จากทางหลวง I-880 ทำการหาค่า variance ของความเร็วเฉลี่ยทั้งสองแบบ แล้วประมาณค่า TMS และ SMS จากสมการของ Wardrop กับสมการที่เสนอ ผลที่ได้สมการที่นำเสนอสามารถประมาณค่า SMS จาก TMS ได้และมีความถูกต้อง นอกจากนี้ยังหาความสัมพันธ์ระหว่าง TMS variance กับ SMS variance ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ 2.16 และได้ใช้ข้อมูล SMS ของทางหลวง I-880 ในการหา SMS variance เพื่อทดสอบสมการที่ 2.16 ได้ผลลัพธ์ค่า R^2 มีค่าสูง แสดงว่าสมการที่ 2.16 สามารถใช้หาความสัมพันธ์ระหว่าง TMS variance กับ SMS variance ได้

$$\sigma_S^2 = \sigma_T^2 + \left(\frac{\sigma_T^2}{\bar{u}_T}\right)^2 \tag{2.16}$$

พวกเขายังได้ศึกษาความน่าเชื่อถือของ SMS ที่ใช้ในการอธิบาย travel time เนื่องจาก SMS เป็นการวัดในช่วง ๆ หนึ่งบนถนนแต่นำมาใช้ประมาณค่า travel time ตลอดช่วงถนน เพื่อที่จะใช้ความน่าเชื่อถือดังกล่าวมาใช้หาความเร็วเดินทาง (travel speed) จากการศึกษาพบว่าค่า SMS CV (CV คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ย) มีค่าเท่ากับค่า travel time CV โดยประมาณ ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่าค่า SMS สามารถใช้ประมาณค่าเวลาเดินทางได้

Li, Rose, and Sarvi (2006) ได้สร้างแบบจำลองการประมาณระยะเวลาการเดินทางจากข้อมูลความเร็วที่ได้จากเครื่องมือ inductive loops มีการประยุกต์ใช้ในการทำนายระยะเวลาการเดินทางและตรวจสอบประสิทธิภาพของถนน และให้ความสนใจในส่วนของการประเมินผลของแบบจำลอง 4 แบบ ที่ใช้ประมาณค่าระยะเวลาในการเดินทางจากข้อมูลฐานความเร็วในประเทศออสเตรเลีย ผลการศึกษาที่ได้นั้นมีความสำคัญในการนำไปปรับใช้และพัฒนาเพื่อให้ข้อมูลระยะเวลาการเดินทางที่มีความเข้าใจง่าย ต่อบุคคลทั่วไป และทำให้เข้าใจประสิทธิภาพของโครงข่ายถนน

Uno, Kurauchi, Tamura, Iida (2009) กระบวนการของข้อมูลสารสนเทศแบบทันกาลนั้นสามารถช่วยให้เข้าใจถึงสภาพการจราจรและช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรได้ สิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งของการประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศในการวิเคราะห์การจราจรขนส่งคือ การระบุตำแหน่งของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่โดยใช้ระบบการรับรู้ระยะไกลหรือ GPS พวกเขาได้รวบรวมการประยุกต์ใช้ข้อมูลตรวจสอบ (Probe data) ในการวิเคราะห์การจราจรขนส่งและได้อธิบายถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลตรวจสอบของรถโดยสารประจำทางในการประเมินความผันแปรของระยะเวลาในการเดินทางและระดับการให้บริการ (LOS) ของถนน เนื่องจากการลดกระบวนการตัดสินใจที่เกิดจากความไม่

แน่นอนจากหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ในมุมของข้อมูลทางเศรษฐกิจและสังคม มูลค่าของเวลาย่อมแตกต่างกันไปตามบุคคล ภายใต้กรณีดังกล่าวจึงประเมินระดับการให้บริการในมุมมองของระยะเวลาในการเดินทาง และในการศึกษาโดยใช้การสำรวจแบบใช้รถโดยสารประจำทางเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบระยะเวลาในการเดินทาง (BPS) เนื่องจากมีการวิ่งแบบกำหนดเส้นทางแน่นอน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจจะให้ค่าระยะเวลาในการเดินทางที่เกินจริง เนื่องจากรถโดยสารประจำทางจะใช้เวลาอยู่ช่วงหนึ่งที่จุดหยุดรถเพื่อรับส่งผู้โดยสาร ซึ่งในการศึกษานี้ได้ปรับวิธีการเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น และได้รวบรวมข้อมูลการกระจายตัวของระยะเวลาในการเดินทางที่หลากหลายมาเปรียบเทียบเพื่อดูแนวทางการกระจายตัวของข้อมูลแล้วนำมาสรุปเป็นรูปแบบการกระจายตัวเพียงรูปแบบเดียว

Chakroborty and Kikuchi (2004) ได้ทำการศึกษาเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง ซึ่งใช้เป็นรถทดสอบสำหรับใช้พยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์ พวกเขาทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางและรถยนต์บนช่วงถนนสายหลัก 5 สาย ทางตอนเหนือของนิวคาสเซิลเคาน์ตี้ รัฐเดลาแวร์ โดยมีวิธีการดังนี้

1) ทำการเก็บข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางและรถยนต์บนช่วงถนนเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน

2) ทำการวิเคราะห์ลักษณะขององค์ประกอบและตัวแปรของเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง

3) สร้างแบบจำลองเพื่อหาเวลาเดินทางเฉลี่ยของรถยนต์จากเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง

4) ทำการตรวจสอบแบบจำลองจากข้อมูลเวลาเดินทางของรถยนต์

การสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์จากข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง มีแนวทางว่าแบบจำลองต้องเป็นรูปแบบที่ง่ายและมีความเป็นไปได้ และค่าผิดพลาดจากการพยากรณ์ของแบบจำลองไม่เกิน 15% เมื่อเทียบกับข้อมูลความเร็วเดินทางของรถยนต์ เนื่องจากมีความแตกต่างกันระหว่างเวลาเดินทางของรถยนต์กับเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้คำนึงถึงข้อแตกต่าง ดังต่อไปนี้

1) เวลาหยุดรับ-ส่งผู้โดยสารที่ป้ายหยุดรถโดยสารของรถโดยสารประจำทาง

2) เวลาที่สูญเสียไปของรถโดยสารประจำทางเนื่องจากการลดความเร็วและเร่งความเร็วในการหยุดรับ-ส่งผู้โดยสารที่ป้ายหยุดรถโดยสาร

3) ความแตกต่างในสมรรถนะของรถทั้งสองประเภท

4) การจำกัดความเร็วที่แตกต่างกันของรถทั้งสองประเภท

5) รถโดยสารประจำทางจะวิ่งในช่องทางขวาสุด (ช่องทางเดินรถของสหรัฐ)

จากหลักการดังกล่าวพวกเขาจึงได้แบบจำลองในการพยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์จากข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง ดังแสดงในสมการที่ 2.17

$$ATT_P = a + b(BTT - TST) \tag{2.17}$$

โดยที่ ATT_P = เวลาเดินทางของรถยนต์ที่ได้จากการพยากรณ์

BTT = เวลาเดินทางของรถโดยสาร

TST = เวลารวมที่รถโดยสารประจำทางหยุดรถที่ป้ายหยุดรถโดยสารทั้งหมด

a , b = ค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้น

จากการศึกษาสรุปได้ว่า แบบจำลองการพยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์จากข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้พยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์ได้ง่ายต่อการนำไปใช้ และมีความน่าเชื่อถือ

Elango and Dailey (2002) กล่าวว่าระยะเวลาในการเดินทางและความเร็วเป็นข้อมูลที่น่าสนใจและสำคัญมากในการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการให้ข้อมูลสำหรับผู้เดินทาง (Traveler Information) แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านของโครงสร้างพื้นฐานที่ค่อนข้างซับซ้อนทำให้ยากต่อการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์และประยุกต์ใช้ต่อไป จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้รถโดยสารประจำทางมาเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลดังกล่าว (Transit vehicle as probe) เนื่องจากความผิดปกติของข้อมูลเวลาที่ได้ จึงได้มีการสร้างหลักการที่เรียกว่า Optimal filter เพื่อปรับค่าความเร็วในรูปแบบของระยะทางและเวลา หรือเรียกว่า Kalman filter

Bertini and Tantiyanugulchai (2004) กล่าวว่าจากการเติบโตของแหล่งข้อมูลที่มีมากมายในปัจจุบัน ส่งผลต่อการเข้าถึง การรายงานสภาพการจราจร จึงได้เกิดขึ้นในระบบการขนส่งอัจฉริยะ แม้ว่าวิธีการในการประเมินค่าระดับการให้บริการของถนนทางด่วนในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการประมาณค่าโดยตรงจากข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Inductive Loop Detector เช่น ข้อมูลความเร็ว และปริมาณการจราจร เป็นต้น สำหรับถนนสายหลักที่ประกอบด้วยทางแยกและสัญญาณไฟจราจรนั้น การวัดประสิทธิภาพเป็นเรื่องที่ท้าทายมาก เนื่องจากความซับซ้อนของการควบคุมการจราจรและรูปแบบการเดินทางที่มีจุดต้นทางและจุดปลายทางที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามในโครงข่ายถนนดังกล่าว การวัดระยะเวลาในการเดินทาง ความเร็ว และข้อมูลที่แสดงประสิทธิภาพของถนนอื่น ๆ สามารถเก็บข้อมูลเหล่านี้ทั้งทางตรงและทางอ้อมจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้ เช่น AVL Data ซึ่งพวกเขาได้ศึกษาลักษณะและประสิทธิภาพของถนน

สายหลักเบื้องต้น จากข้อมูลการเดินรถโดยสารประจำทาง Trim Met ของเมืองพอร์ตแลนด์ รัฐโอเรกอน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้นำเอาข้อมูลที่ได้จากรถโดยสารประจำทางที่ให้บริการมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของรถตรวจสอบ (Probe) ที่ติดตั้งอุปกรณ์ GPS (เป็นรถที่ไม่ได้ให้บริการหรือ Pseudo Bus) ที่วิ่งบนถนนสายเดียวกันในวันเวลาเดียวกัน จากการศึกษาพบว่าข้อมูลสภาพการจราจรบนถนนดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยข้อมูลของรถตรวจสอบ AVL ซึ่งมีความสัมพันธ์กับข้อมูลของรถโดยสารประจำทางที่ไม่มีการให้บริการ (Pseudo Bus) คือ ระยะเวลาในการเดินทางของรถตรวจสอบเป็น 1.37 เท่า ของระยะเวลาการเดินทางของรถโดยสารประจำทาง ในทางกลับกันความเร็วของรถตรวจสอบเป็น 0.72 เท่า ของความเร็วสูงสุดของรถโดยสารประจำทาง ซึ่งเราสามารถนำความสัมพันธ์นี้มาประยุกต์ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของถนนได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

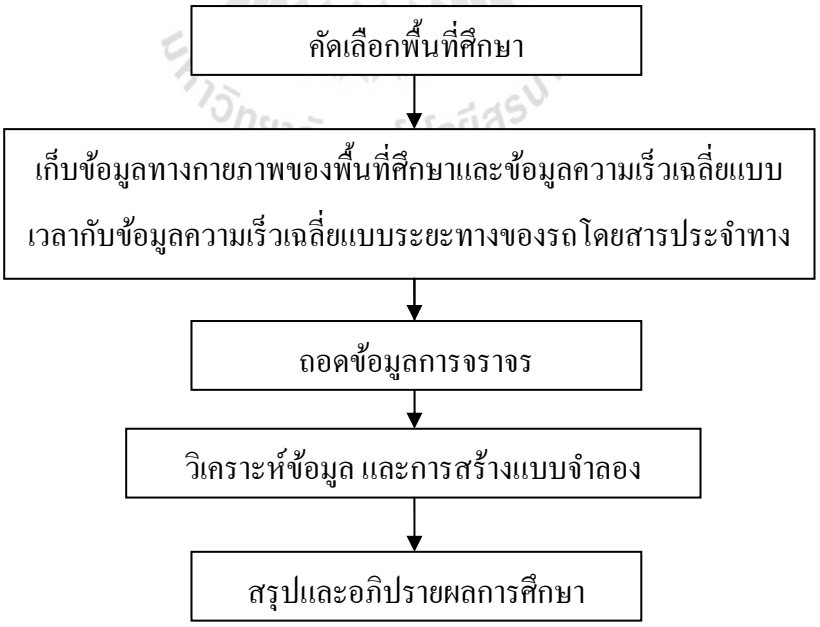
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา การเก็บข้อมูล การถอดข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างแบบจำลอง สรุปและอภิปรายผลโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

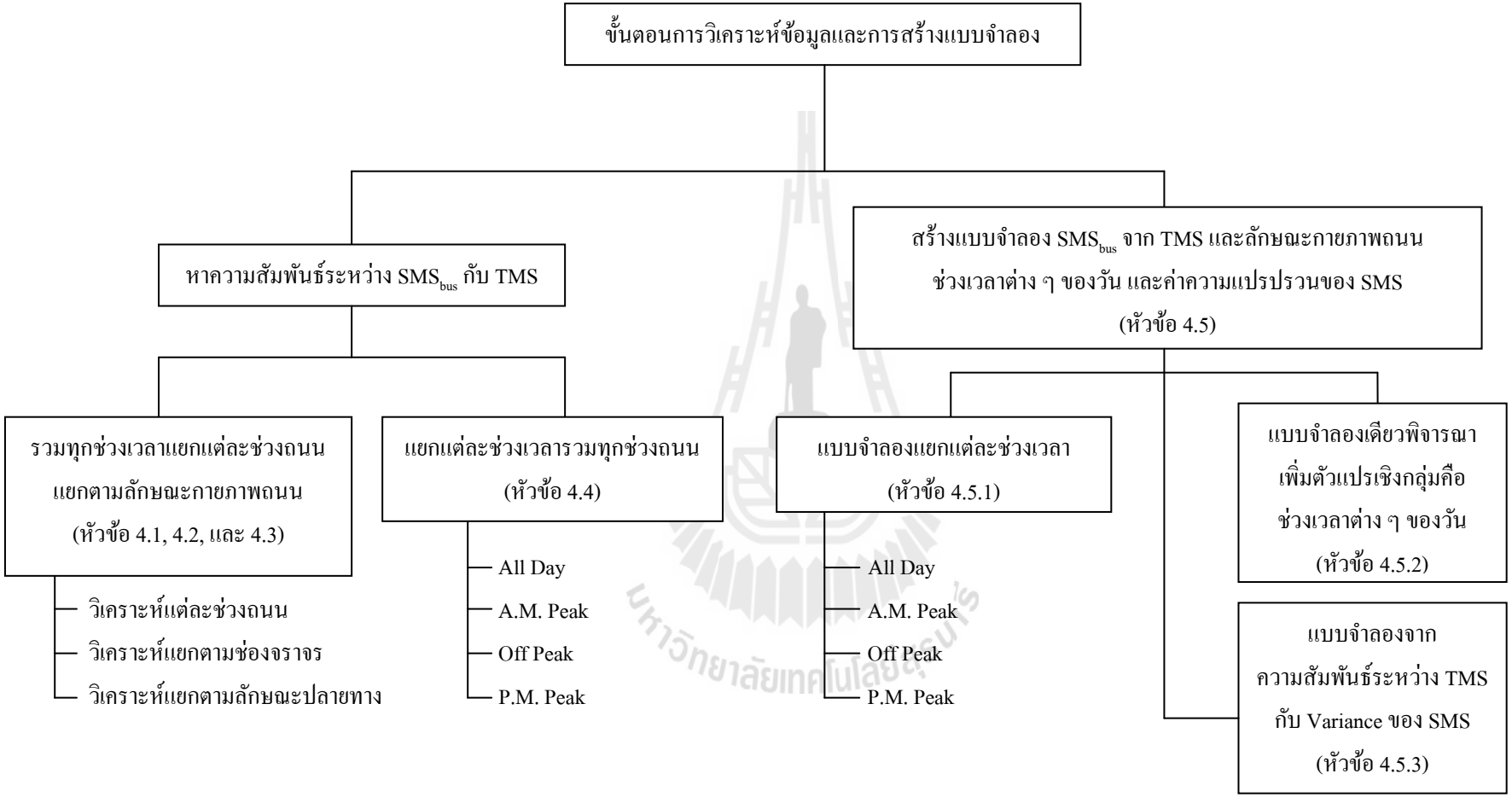
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เป็นการกำหนดวิธีการและลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ส่วนรายละเอียดในขั้นตอนต่าง ๆจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไปในบทนี้

นอกจากนี้ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล และการสร้างแบบจำลอง สามารถนำมาสรุปเป็นแผนผังแสดงขั้นตอนได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปในหัวข้อที่ 3.5 และหัวข้อที่ 3.6



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS และการสร้างแบบจำลอง SMS_{bus}

3.2 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

มีรายละเอียดในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาดังนี้

3.2.1 ลักษณะกายภาพช่วงถนนที่จะทำการศึกษา

ในการศึกษานี้มีแนวทางการคัดเลือกช่วงถนนดังนี้

- เป็นถนนในเขตเมือง มีช่องทางจราจรทิศทางละ 3 - 5 ช่องจราจร แบ่งทิศทางจราจรไป-กลับ ด้วยเกาะกลางถนน
- มีการติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำหรับเก็บข้อมูลจราจรบนช่วงถนน

3.2.2 การคัดเลือกช่วงถนน

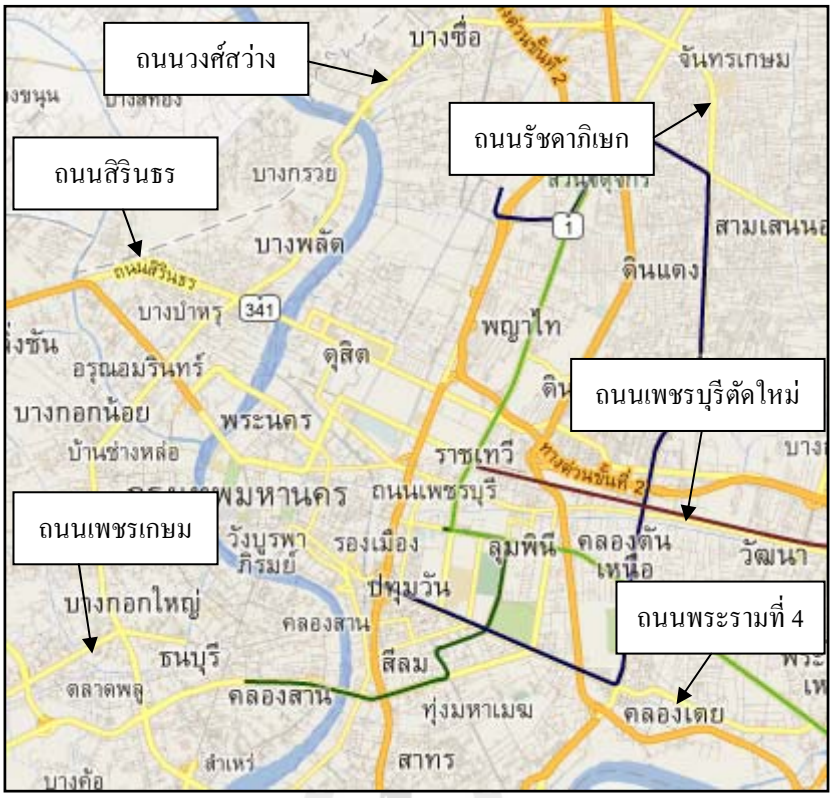
จากข้อกำหนดดังกล่าวจึงได้ทำการคัดเลือกช่วงถนนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาดังนี้

- ถนนรัชดาภิเษก ช่วงแยกรัชโยธิน – แยกรัชดา/ลาดพร้าว (ทิศทางมุ่งใต้) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 5 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกรัชโยธิน (ถนนรัชดาภิเษกตัดกับถนนพหลโยธิน) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกรัชดา/ลาดพร้าว (ถนนรัชดาภิเษกตัดกับถนนลาดพร้าว) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนบริเวณปากซอยรัชดาภิเษก 32 ห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 1.142 กิโลเมตร
- ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ ช่วงแยกพร้อมพงศ์ – แยกอโศกเพชร (ทิศทางมุ่งตะวันตก) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 3 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกพร้อมพงศ์ (ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ตัดกับซอยเพชรบุรี 38/1) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกอโศกเพชร (ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ตัดกับถนนอโศก-ดินแดงและถนนอโศกมนตรี) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนห่างจากปากซอยเพชรบุรี 38 ไปทางแยกอโศกเพชร 31.50 เมตร และห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 0.793 กิโลเมตร
- ถนนพระรามที่ 4 ช่วงแยกเกษมราษฎร์ – แยกคลองเตย (ทิศทางมุ่งตะวันตก) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 3 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกเกษมราษฎร์ (ถนนพระรามที่ 4 ตัดกับถนนเกษมราษฎร์) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกคลองเตย (ถนนพระรามที่ 4 ตัดกับถนนรัชดาภิเษกและถนนพระรามที่ 3) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและ

จราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนบริเวณปากซอยอรรถกวี และห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 0.1785 กิโลเมตร

- ถนนสิรินธร ช่วงแยกบรมราชชนนี/ตลิ่งชัน – แยกบางพลัด (ทิศทางมุ่งตะวันออก) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 4 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกต่างระดับบรมราชชนนี/ตลิ่งชัน (ถนนสิรินธรตัดกับทางคู่ขนานลอยฟ้าบรมราชชนนี) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกบางพลัด (ถนนสิรินธรตัดกับถนนจรัญสนิทวงศ์) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนห่างจากทางเข้าศูนย์การเรียนวิทยาศาสตร์ มหาวิยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ประมาณ 24.50 เมตร และห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 1.0075 กิโลเมตร
- ถนนเพชรเกษม ช่วงแยกเพชรเกษม/ราชพฤกษ์ – แยกท่าพระ (ทิศทางมุ่งตะวันออก) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 3 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกเพชรเกษม/ราชพฤกษ์ (ถนนเพชรเกษมตัดกับถนนราชพฤกษ์) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกท่าพระ (ถนนเพชรเกษมตัดกับถนนจรัญสนิทวงศ์) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนห่างจากปากซอยเพชรเกษม 18 ประมาณ 20.50 เมตร และห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 1.252 กิโลเมตร
- ถนนวงศ์สว่าง ช่วงแยกพิบูลสงคราม – แยกวงศ์สว่าง (ทิศทางมุ่งเหนือ) ลักษณะกายภาพของถนนมีช่องทางจราจร 3 ช่องทางต่อทิศทาง มีเกาะกลางถนนกั้นตลอด ต้นทาง (upstream intersection) คือทางแยกพิบูลสงคราม (ถนนวงศ์สว่างตัดกับถนนประชาราษฎร์สาย 1 และทางลงจากสะพานพระรามที่ 7) มีสะพานรถข้ามทางแยกในแนวถนนวงศ์สว่างต่อเชื่อมจากสะพานพระรามที่ 7) ปลายทาง (downstream intersection) คือแยกวงศ์สว่าง (ถนนวงศ์สว่างตัดกับถนนกรุงเทพ-นนทบุรี) ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ใช้สำรวจสภาพการจราจรและเก็บข้อมูลบนช่วงถนนนี้ ติดตั้งบนสะพานลอยคนข้ามถนนบริเวณปากซอยวงศ์สว่าง 15 ห่างจากปากซอยวงศ์สว่าง 15 ประมาณ 41.50 เมตร และห่างจากจุดเริ่มต้นสำรวจข้อมูล ระยะทาง 0.554 กิโลเมตร

ตำแหน่งและรายละเอียดช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา ได้แสดงเป็นแผนที่ในรูปที่ 3.3 และสรุปในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงถนนในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3.1 ช่วงถนนที่ทำการศึกษา

ถนน	ช่วงถนน	ทิศทางที่ศึกษา	วันที่เก็บข้อมูล
รัชดาภิเษก	แยกรัชโยธิน - แยกรัชดา/ลาดพร้าว	ทิศทางมุ่งใต้	21 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)
เพชรบุรี (ตัดใหม่)	แยกพร้อมพงศ์ - แยกอโศกเพชร	ทิศทางมุ่งตะวันตก	21 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)
พระรามที่ 4	แยกเกษมราษฎร์ - แยกคลองเตย	ทิศทางมุ่งตะวันตก	21 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)
สิรินธร	แยกบรมราชชนนี/ตลิ่งชัน - แยกบางพลัด	ทิศทางมุ่งตะวันออก	22 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)
เพชรเกษม	แยกเพชรเกษม/ราชพฤกษ์ - แยกท่าพระ	ทิศทางมุ่งตะวันออก	22 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)
วงศ์สว่าง	แยกพิบูลสงคราม - แยกวงศ์สว่าง	ทิศทางมุ่งเหนือ	22 ก.ค. 2553 (06.00 น. – 18.00 น.)

3.3 การเก็บข้อมูล

ในการศึกษานี้แบ่งข้อมูลเป็น 3 ประเภท คือ

1. ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ลักษณะทางแยกบริเวณต้นทางและปลายทาง ความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา ตำแหน่งทางเข้า-ออกถนน ตำแหน่งจุดกลับรถ ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง จำนวนของป้ายหยุดรถโดยสารประจำทางบนช่วงถนนที่ศึกษา

2. ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา เป็นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

3. ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง เป็นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง

3.3.1 วิธีการเก็บข้อมูล

แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

- ข้อมูลลักษณะกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ทำการเก็บโดยใช้การวัดระยะเพื่อเก็บรายละเอียดของความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา ตำแหน่งของป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง ตำแหน่งทางเข้า-ออก ถนน ตำแหน่งจุดกลับรถ ตำแหน่งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง และจดบันทึกรายละเอียดของจำนวนช่องจราจร ลักษณะทางแยกบริเวณต้นทางและปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง จากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา สามารถสรุปรายละเอียดลักษณะทางกายภาพของแต่ละช่วงถนนได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2
- ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา เก็บข้อมูลด้วยกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร
- ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง เก็บข้อมูลเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางในช่วงถนนที่ศึกษา ด้วยวิธี license plate matching technique

3.3.2 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลการจราจรในช่วงถนนที่ศึกษาเป็นเวลา 1 วัน วันละ 12 ชั่วโมง จากเวลา 06.00 น. - 18.00 น. รายละเอียดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงถนนแสดงในตารางที่ 3.1 โดยทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา และเก็บข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร โดยกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง และเก็บข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางด้วยวิธี license plate matching technique

ตารางที่ 3.2 สรุปลักษณะกายภาพของช่วงถนนที่ทำการศึกษา

ถนน	จำนวนช่องจราจร	ลักษณะของทางแยกปลายทาง	ความยาวช่วงถนน (กิโลเมตร)	จำนวนทางเข้า – ออกถนน	จำนวนจุดกลับรถ	สัดส่วนตำแหน่งตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่งต่อระยะทางช่วงถนน	จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง	จุดจอดรถแท็กซี่ (แห่ง)
รัชดาภิเษก	5	ทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก	2.210	13 จุด	1 จุด	0.52	5	2
เพชรบุรีตัดใหม่	3	ทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก	1.046	7 จุด	1 จุด	0.76	2	-
พระรามที่ 4	3	ทางแยกสัญญาณไฟ	0.858	2 จุด	-	0.21	3	-
สิรินธร	4	ทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก	2.503	7 จุด	2 จุด	0.40	6	-
เพชรเกษม	3	ทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก	1.838	16 จุด	5 จุด	0.68	5	1
วงศ์สว่าง	3	ทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก	1.594	16 จุด	1 จุด	0.35	6	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 การถอดข้อมูล

3.4.1 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS)

TMS ได้จากการถอดข้อมูลจากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ที่ติดตั้งบนช่วงถนนที่ศึกษา ข้อมูลประกอบด้วย วัน เวลา ที่เก็บข้อมูล อัตราการไหลเฉลี่ย ปริมาณจราจร ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร เวลาห่างเฉลี่ย (Average Time Headway) เวลาการครอบครองเฉลี่ย (Average Time Occupancy) และความหนาแน่น ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.3

3.4.2 ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (SMS)

เป็นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางในช่วงถนนที่ศึกษา ได้จากการเก็บข้อมูลโดยวิธี License Plate matching ถอดข้อมูลโดยวิธีจับคู่เลขทะเบียนรถโดยสารประจำทาง ระหว่างจุดเริ่มต้นสำรวจต้นทางทางกับจุดสำรวจปลายทาง จะได้เวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทาง แล้วนำมาหารด้วยระยะทาง จะได้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.4

ข้อมูลของ TMS และ SMS ที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลเป็นข้อมูลความเร็วทุก ๆ 1 นาที ถ้าข้อมูลในช่วงนาทีไหน ค่า TMS กับ SMS ไม่มีหรือไม่ตรงกัน ก็จะตัดข้อมูลช่วงนั้นออกไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

Date	Time	Data Interval	Average Flow Rate (veh./hr.)	Volume (veh.)	Arithmetic Mean Speed (km./hr.)	Average Time Headway (sec.)	Average Time Occupancy (%)	Density (veh./km.)
21/07/2010	7:20:00	1 Minute	1545	103	44.504	3.117	29.469	35.805
21/07/2010	7:21:00	1 Minute	1650	110	44.172	2.48	31.215	38.355
21/07/2010	7:22:00	1 Minute	1575	105	43.609	3.09	27.828	36.953
21/07/2010	7:23:00	1 Minute	1515	101	48.969	2.801	27.813	32.324
21/07/2010	7:24:00	1 Minute	1470	98	53.262	2.852	23.383	28.656
21/07/2010	7:25:00	1 Minute	1605	107	43.336	3.055	31.66	38.531
21/07/2010	7:26:00	1 Minute	1545	103	44.57	6.371	30.258	35.418
21/07/2010	7:27:00	1 Minute	1530	102	41.215	5.129	30.777	38.242
21/07/2010	7:28:00	1 Minute	1470	98	42.313	16.383	27.031	35.578
21/07/2010	7:29:00	1 Minute	1545	103	41.785	5.129	30.246	38.195
21/07/2010	7:30:00	1 Minute	1485	99	42.684	16.383	28.242	35.559
21/07/2010	7:31:00	1 Minute	1275	85	40.586	5.445	26.695	32.809
21/07/2010	7:32:00	1 Minute	1380	92	37.879	9.004	29.695	41.84
21/07/2010	7:33:00	1 Minute	1545	103	41.754	16.352	29.941	38.043

ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในสนามโดยวิธี

License Plate Matching

แยกรัชโยธิน (ต้นทาง)		แยกรัชดา-ลาดพร้าว (ปลายทาง)		ระยะเวลา	SMS
เวลา	ทะเบียน	เวลา	ทะเบียน	(ชั่วโมง)	(กม./ชม.)
7:20:02	497	7:25:39	497	0:05:37	23.61
7:23:16	171	7:28:20	171	0:05:04	26.17
7:35:14	603	7:41:12	603	0:05:58	22.22
7:37:51	041	7:42:47	041	0:04:56	26.88
7:45:11	124	7:49:20	124	0:04:09	28.77
7:51:47	661	7:57:23	661	0:05:36	23.68
7:52:22	825	7:56:58	825	0:04:36	28.83
7:56:13	668	8:00:32	668	0:04:19	30.72
7:58:21	588	8:02:14	588	0:03:53	34.15
8:03:40	711	8:07:20	711	0:03:40	36.16
8:07:37	172	8:12:03	172	0:04:26	29.91
8:12:43	066	8:18:13	066	0:05:30	24.11
8:19:53	230	8:25:18	230	0:05:25	24.48
8:23:47	075	8:27:47	075	0:04:00	33.15
8:30:45	078	8:36:14	078	0:05:29	24.18
	ระยะทาง (กม.)	2.210	เวลาเฉลี่ย (ชม.)	0:04:49	
			SMS (กม./ชม.)	27.54	

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) กับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) บนช่วงถนน มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ ดังนี้

3.5.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนช่วงถนนที่ศึกษานี้ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น

1) วิเคราะห์ข้อมูลแต่ละช่วงถนน

2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน

3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามลักษณะทางแยกปลายทาง

4) วิเคราะห์ข้อมูลรวมถนนทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) โดยมีรูปแบบสมการดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$SMS_{bus} = a + b_1 TMS \quad (3.1)$$

โดยที่ SMS_{bus} คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง

TMS คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจรรวม

a คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ เป็นจุดตัดแกน Y

b_1 คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอย

3.5.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของสมการถดถอย

ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ (Diagnostics of Residuals) ตามเงื่อนไขดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0

2) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

3) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องทีการกระจายตัวแบบปกติ

4) ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีค่าคงที่

3.6 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus})

สร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากข้อมูลรวมถนนทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา แบบจำลองที่สร้างมี 3 รูปแบบ คือ

3.6.1 แบบจำลอง $SMS_{bus}1$

เป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ที่วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ประกอบด้วยความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง

โดยวิเคราะห์แบ่งตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน การสร้างแบบจำลองนี้ ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง

ตัวแปรตาม เป็นความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง และตัวแปรอิสระประกอบด้วย ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจรรวม (TMS) ลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ได้แก่ ความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง

- รูปแบบของแบบจำลอง

สร้างแบบจำลองตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยแบ่งช่วงเวลาวิเคราะห์ออกเป็น 4 ช่วงเวลาคือ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) โดยมีตัวแปรอิสระได้แก่ TMS และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา รูปแบบของแบบจำลอง มีลักษณะดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$SMS_{bus}1 = a + b_1 TMS + b_2 Lanes + b_3 Down1 + b_4 Down2 + b_5 Length + b_6 In_out + b_7 U_turn + b_8 Taxi_bay + b_9 Camera + b_{10} Bus_stop \quad (3.2)$$

โดยที่ $SMS_{bus}1$ คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

TMS คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

Lanes คือ จำนวนช่องจราจร

Down1 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Down2 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Length คือ ความยาวของช่วงถนน

In_out คือ จำนวนจุด เข้า-ออก ถนน

U_turn คือ จำนวนจุดกลับรถ

Taxi_bay คือ จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่

Camera คือ ตำแหน่งตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

Bus_stop คือ จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง

โดย *Down1* กับ *Down2* เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงลักษณะของทางแยกปลายทาง มี 3 ลักษณะ คือ

Down1 = 1, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ

Down1 = 0, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่ให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

Down1 = 0, Down2 = 1 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก และให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

3.6.2 แบบจำลอง $SMS_{bus}2$

เป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ที่วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ประกอบด้วยความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง เป็นแบบจำลองเดียว โดยได้นำเอาช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน มาเป็นตัวแปรอิสระเชิงกลุ่มด้วย การสร้างแบบจำลองนี้ ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง

ตัวแปรตาม เป็นความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง และตัวแปรอิสระประกอบด้วย ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจรรวม (TMS) ลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ได้แก่ ความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

- รูปแบบของแบบจำลอง

สร้างแบบจำลองรวมทุกช่วงเวลา (All Day) โดยมีตัวแปรอิสระได้แก่ TMS และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน รูปแบบของแบบจำลองมีลักษณะดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$SMS_{bus}2 = a + b_1 TMS + b_2 Lanes + b_3 Down1 + b_4 Down2 + b_5 Length + b_6 In_out + b_7 U_turn + b_8 Taxi_bay + b_9 Camera + b_{10} Bus_stop + b_{11} Time1 + b_{12} Time2 \quad (3.3)$$

โดย $SMS_{bus}2$ คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางรวม

TMS คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

Lanes คือ จำนวนช่องจราจร

Down1 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Down2 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Length คือ ความยาวของช่วงถนน

In_out คือ จำนวนจุด เข้า-ออก ถนน

U_turn คือ จำนวนจุดกลับรถ

Taxi_bay คือ จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่

Camera คือ ตำแหน่งตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

Bus_stop คือ จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง

Time1 คือ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

Time2 คือ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

โดย *Down1* กับ *Down2* เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงลักษณะของทางแยกปลายทาง มี 3 ลักษณะ คือ

Down1 = 1, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ

Down1 = 0, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่ให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

Down1 = 0, Down2 = 1 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก และให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

Time1 กับ *Time2* เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน มี 3 ช่วงเวลา คือ

Time1 = 1, Time2 = 0 หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

Time1 = 0, Time2 = 0 หมายถึง ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

Time1 = 0, Time2 = 1 หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

3.6.3 แบบจำลอง $SMS_{bus}3$

แบบจำลองจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร และค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง ซึ่งพัฒนาจากสมการของ Wardrop (1952)

ค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง หาค่าจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง กับลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ประกอบด้วยความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์นี้

- รูปแบบของแบบจำลอง

แบบจำลองพัฒนาจากสมการของ Wardrop (1952) (สมการที่ 3.4) ทำการวิเคราะห์สมการดังแสดงข้างล่างนี้ จนได้เป็นแบบจำลอง $SMS_{bus}3$ (สมการที่ 3.5)

$$TMS = SMS + \frac{\sigma_{SMS}^2}{SMS} \tag{3.4}$$

$$SMS - TMS = -\frac{\sigma_{SMS}^2}{SMS}$$

$$SMS^2 - (SMS \times TMS) = -\sigma_{SMS}^2$$

$$SMS^2 - (2SMS \times \frac{TMS}{2}) + \frac{TMS^2}{4} = \frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2$$

$$(SMS - \frac{TMS}{2})^2 = \frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2$$

ได้แบบจำลอง $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} \pm \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$ (3.5)

โดยที่ $SMS_{bus}3$ คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง เวลาต่าง ๆ ของวัน

TMS คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

σ_{SMS}^2 คือ ค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง

โดย σ_{SMS}^2 หาค่าจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทางกับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร ลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษาประกอบด้วยความยาวของช่วงถนนที่ศึกษา จำนวนช่องจราจร จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับ

รถ ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีลักษณะดังแสดงในสมการที่ 3.6

$$\begin{aligned}\sigma^2_{SMS} &= a + b_1\,TMS + b_2\,Lanes + b_3\,Down1 + b_4\,Down2 + b_5\,Length \\ &\quad + b_6\,In_out + b_7\,U_turn + b_8\,Taxi_bay + b_9\,Camera + b_{10}\,Bus_stop \\ &\quad + b_{11}\,Time1 + b_{12}\,Time2\end{aligned} \tag{3.6}$$

โดยที่ σ^2_{SMS} คือ ค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง

TMS คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร

Lanes คือ จำนวนช่องจราจร

Down1 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Down2 คือ ลักษณะทางแยกปลายทาง

Length คือ ความยาวของช่วงถนน

In_out คือ จำนวนจุด เข้า-ออก ถนน

U_turn คือ จำนวนจุดกลับรถ

Taxi_bay คือ จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่

Camera คือ ตำแหน่งตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง

Bus_stop คือ จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง

Time1 คือ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

Time2 คือ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

โดย *Down1* กับ *Down2* เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงลักษณะของทางแยกปลายทาง มี 3 ลักษณะ คือ

Down1 = 1, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ

Down1 = 0, Down2 = 0 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่ให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

Down1 = 0, Down2 = 1 หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟมีสะพานลอยข้ามทางแยก และให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

Time1 กับ *Time2* เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน มี 3 ช่วงเวลา คือ

Time1 = 1, Time2 = 0 หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

Time1 = 0, Time2 = 0 หมายถึง ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

Time1 = 0, Time2 = 1 หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

3.6.4 การตรวจสอบเงื่อนไขของสมการถดถอยเชิงพหุ

ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ (Diagnostics of Residuals) ตามเงื่อนไขดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0

2) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

3) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องทีการกระจายตัวแบบปกติ

4) ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีค่าคงที่

5) ตัวแปรอิสระจะต้องเป็นอิสระต่อกัน

3.6.5 การกำหนดเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

กำหนดเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม SMS_{bus} ไปในทิศทางใดบ้าง กำหนดเป็นเครื่องหมายบวก (+) หมายถึงตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามไปในทิศทางเดียวกัน กำหนดเป็นเครื่องหมายลบ (-) หมายถึงตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามไปในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนการกำหนดเป็นเครื่องหมายบวก/ลบ (+/-) หมายถึงยังไม่สามารถกำหนดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามว่าจะเป็นไปในทิศทางใด หรือความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองสามารถเป็นไปได้ทั้งทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงกันข้าม โดยการกำหนดเครื่องหมายสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระนั้น จะพิจารณาถึงความเป็นไปได้ และความน่าจะเป็นของตัวแปรทั้งสอง ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การกำหนดเครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

พารามิเตอร์	ตัวแปร	เครื่องหมายที่กำหนด	คำอธิบาย
b_1	*TMS*	+	ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลามากขึ้น จะทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางเพิ่มขึ้น
b_2	*Lanes*	+	จำนวนช่องจราจรเพิ่มขึ้น ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 3.5 การกำหนดเครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ (ต่อ)

b_3	*Down1*	-	ลักษณะทางแยกปลายทาง *Down1* 1 ถ้าลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ 0 ถ้าลักษณะทางแยกปลายทางเป็นลักษณะอื่น ๆ ทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ จะมีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางลดลง
b_4	*Down2*	+	ลักษณะทางแยกปลายทาง *Down2* 1 ถ้าลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกที่มีสะพานลอยให้รถประจำทางข้ามได้ 0 ถ้าลักษณะทางแยกปลายทางเป็นลักษณะอื่น ๆ ทางแยกปลายทางเป็นทางแยกที่มีสะพานลอยให้รถประจำทางข้ามได้ จะมีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางเพิ่มขึ้น
b_5	*Length*	+/-	ความยาวช่วงถนนอาจจะมีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้
b_6	*In_out*	+/-	จำนวนทางเข้า / ออกถนน อาจจะมีผลให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง มีค่ามากขึ้นในกรณีที่รถออกไปจากทางหลักมาก และอาจจะมีผลให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง มีค่าลดลงในกรณีที่มีรถจากซอยเข้ามามากและมีปัญหากีดขวางการจราจรบริเวณทางเข้า/ออกถนน
b_7	*U_turn*	-	ถ้าจำนวนจุดกลับรถ มีจำนวนมาก จะมีผลให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง มีค่าลดลง

ตารางที่ 3.5 การกำหนดเครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ (ต่อ)

b_8	*Taxi_bay*	-	จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่มีจำนวนมาก ทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางลดลง
b_9	*Camera*	+/-	ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง โดยตำแหน่งติดตั้งกล้องคิดเป็นสัดส่วนกับความยาวช่วงถนน มีค่าตั้งแต่ 0.00 – 1.00 มีเครื่องหมายได้ทั้ง + และ -
b_{10}	*Bus_stop*	-	จำนวนป้ายรถประจำทาง มีจำนวนมาก ทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางมีค่าลดลง
b_{11}	*Time1*	-	ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน *Time1* 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า *Time1* 0 ช่วงเวลาอื่น ๆ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) มีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางลดลง
b_{12}	*Time2*	-	ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน *Time2* 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น *Time2* 0 ช่วงเวลาอื่น ๆ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) มีผลทำให้ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางลดลง

3.6.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้มีการสร้างแบบจำลอง จึงต้องมีการหาประสิทธิภาพแบบจำลองเพื่อต้องการทราบว่าแบบจำลอง มีความสามารถทำนายหรืออธิบายได้อย่างเหมาะสม สำหรับการหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ซึ่งในแต่ละแบบจำลองจะมีการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง ด้วยค่าสถิติต่าง ๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) และค่าสถิติ t แต่ค่าตัวแปรอิสระที่ได้จากแบบจำลองอาจมีค่าแตกต่างจากค่าที่แท้จริง จึงมีการทดสอบความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้

ได้ทำการวัดความแม่นยำด้วยวิธี Mean Absolute Percent Error (MAPE) และRoot Mean Square Error (RMSE) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ค่า Mean Absolute Percent Error

ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAPE) ถ้าวิธีใดให้ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ น้อยแสดงว่าการพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำ

ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAPE) มีสูตรที่ใช้คำนวณดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{T_t - Y_t}{T_t}\right| x100 \qquad (3.7)$$

เมื่อ T_t คือ ค่าจริงของผลลัพธ์ที่ต้องการในช่วงเวลา t

Y_t คือ ค่าที่พยากรณ์ในช่วงเวลา t

N คือ จำนวนช่วงเวลาของข้อมูลที่พยากรณ์

- ค่า Root Mean Square Error

RMSE คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง ซึ่งถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)^2}{n}} \qquad (3.8)$$

เมื่อ y_t คือ ค่าที่แท้จริง

$\hat{y}_t$ คือ ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง

n คือ จำนวนตัวอย่าง

3.7 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะทำการสรุปและอภิปรายผลการวิจัยที่ได้จากการศึกษานี้

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล

แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางกับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจรแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง และเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางที่ได้จากแบบจำลองกับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางที่ได้จากการเก็บข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละช่วงถนน

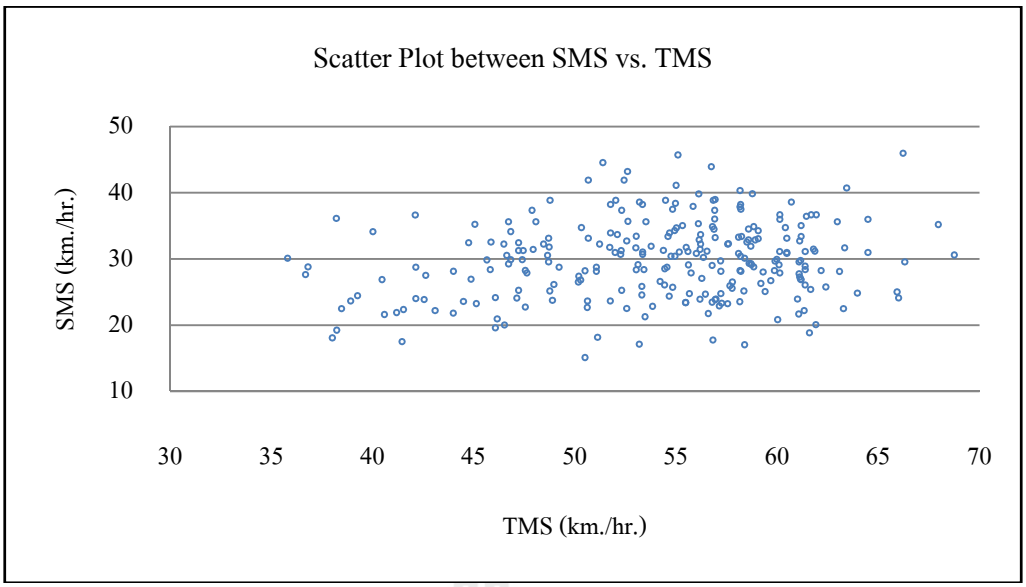
เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. ในแต่ละช่วงถนน วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนรัชดาภิเษก

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนรัชดาภิเษก

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*20.971*	*2.925*	*7.171*	*0.000*
b	*TMS*	*0.164*	*0.054*	*3.006*	*0.002*
N		*260*			
R^2		*0.035*			
MAPE		*16.83 %*			
RMSE		*5.684*			



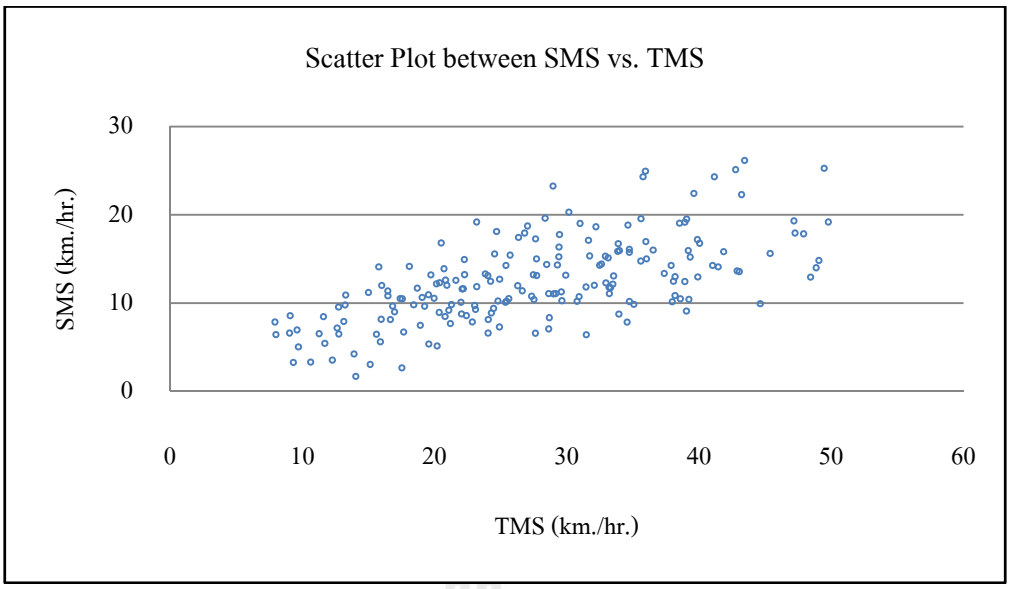
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนรัชดาภิเษก

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนเพชรบุรีตัดใหม่

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรบุรีตัดใหม่

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*4.120*	*0.777*	*5.305*	*0.000*
b	*TMS*	*0.303*	*0.026*	*11.433*	*0.000*
N		*190*			
R^2		*0.410*			
MAPE		*29.22 %*			
RMSE		*3.638*			



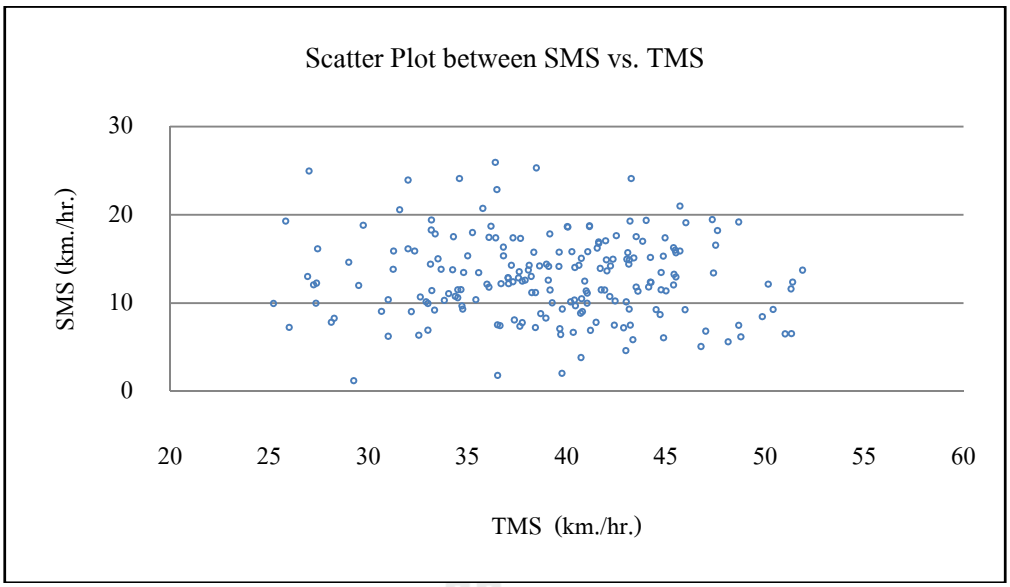
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรบุรีตัดใหม่

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนพระรามที่ 4

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนพระรามที่ 4

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*14.735*	*2.219*	*6.640*	*0.000*
b	*TMS*	*- 0.048*	*0.056*	*- 0.849*	*0.397*
N		*201*			
R^2		*0.004*			
MAPE		-			
RMSE		-			



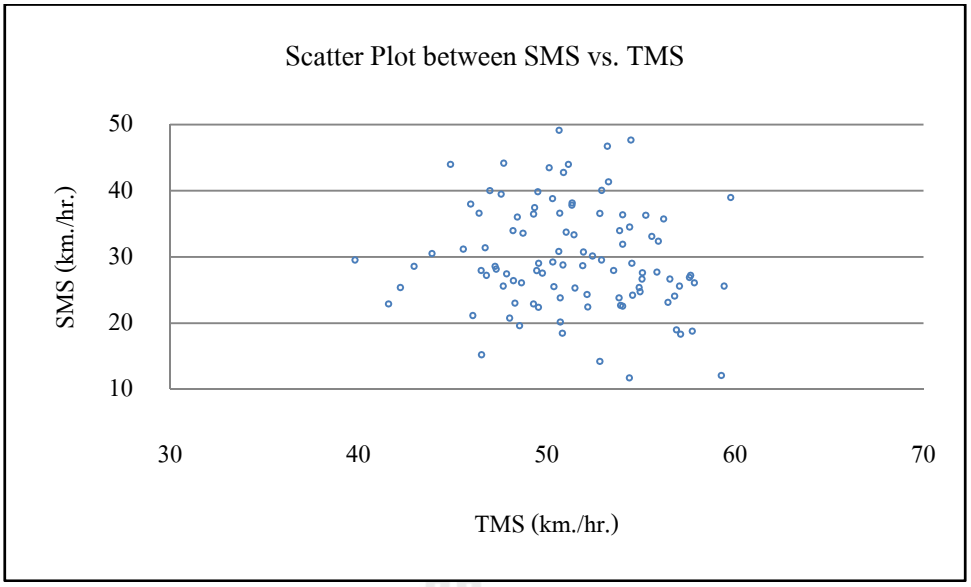
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนพระรามที่ 4

4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนสิรินธร

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนสิรินธร

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*43.097*	*9.825*	*4.387*	*0.000*
b	*TMS*	*- 0.259*	*0.191*	*- 1.357*	*0.178*
N		*100*			
R^2		*0.018*			
MAPE		-			
RMSE		-			



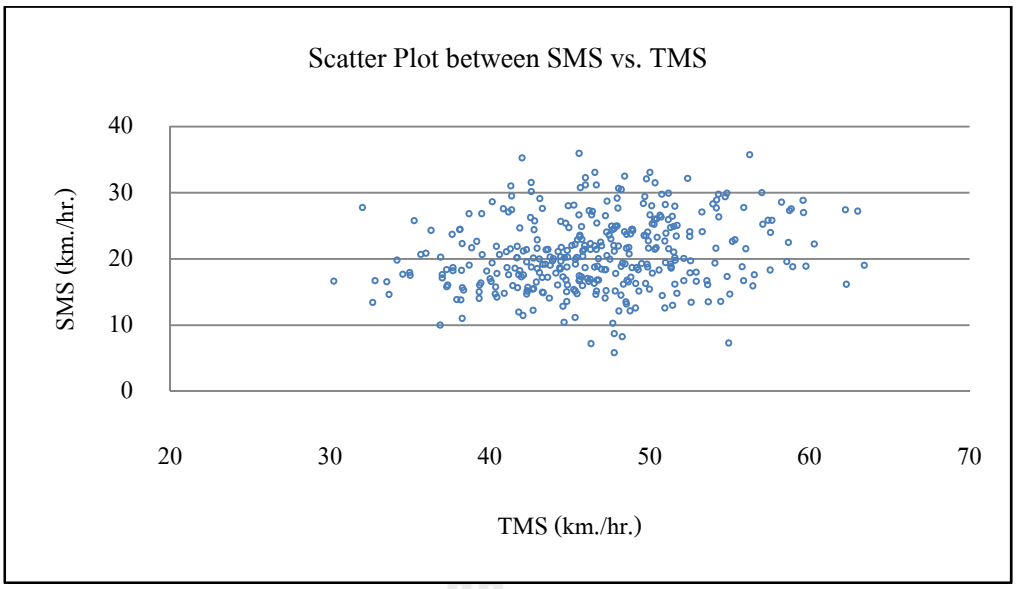
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนสิรินธร

4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนเพชรเกษม

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรเกษม

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*11.516*	*2.228*	*5.168*	*0.000*
b	*TMS*	*0.199*	*0.047*	*4.200*	*0.000*
N		*361*			
R^2		*0.047*			
MAPE		*23.09 %*			
RMSE		*5.290*			



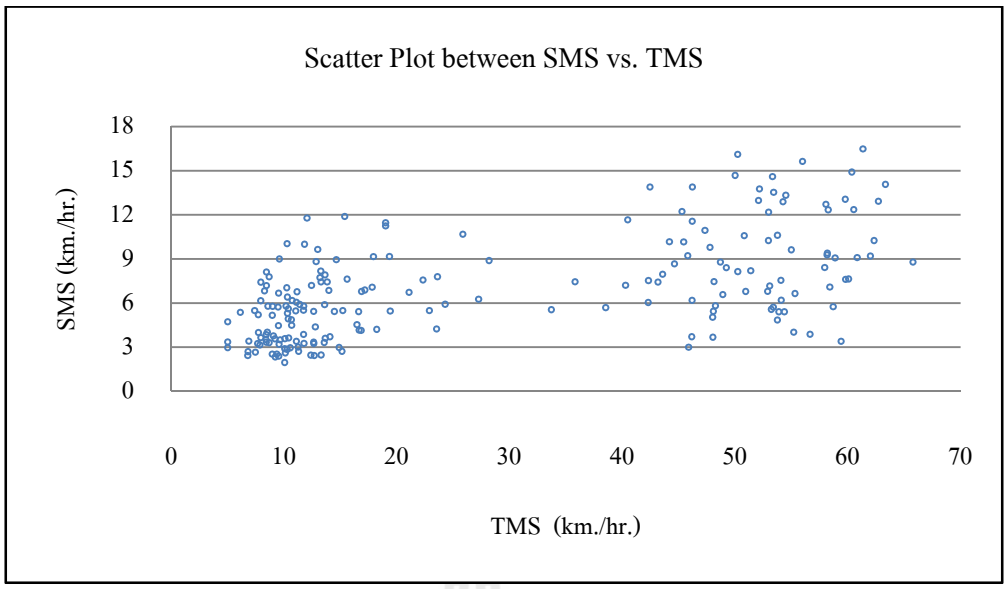
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนเพชรเกษม

4.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลถนนวงศ์สว่าง

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนนวงศ์สว่าง

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*4.149*	*0.332*	*12.484*	*0.000*
b	*TMS*	*0.098*	*0.010*	*10.195*	*0.000*
N		*199*			
R^2		*0.345*			
MAPE		*39.25 %*			
RMSE		*2.712*			



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บนถนนวงศ์สว่าง

4.1.7 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละช่วงถนน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ในแต่ละช่วงถนนในพื้นที่ศึกษา ได้สมการถดถอยแต่ละช่วงถนน ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละช่วงถนน

ช่วงถนน	สมการความถดถอย	R^2	MAPE	RMSE
รัชดาภิเษก	$SMS_{bus} = 20.971 + 0.164\ TMS$	*0.035*	*16.83 %*	*5.684*
เพชรบุรีตัดใหม่	$SMS_{bus} = 4.120 + 0.303\ TMS$	*0.410*	*29.22 %*	*3.638*
เพชรเกษม	$SMS_{bus} = 11.516 + 0.199\ TMS$	*0.047*	*23.09 %*	*5.290*
วงศ์สว่าง	$SMS_{bus} = 4.149 + 0.098\ TMS$	*0.345*	*39.25 %*	*2.712*

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ของถนนพระรามที่ 4 และถนนสิรินธร ความสัมพันธ์ไม่อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น โดยการทดสอบสมมุติฐาน Hypothesis ตัวแปร TMS มีค่า สัมประสิทธิ์ $(b_1) = 0$ โดยความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ของถนนพระรามที่ 4 และถนนสิรินธร อาจจะเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นในการวิเคราะห์เท่านั้น

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน สามารถแบ่งลักษณะถนนในพื้นที่ศึกษาตามจำนวนช่องจราจรของถนนได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ถนนที่มี 3 ช่องทางจราจร ได้แก่ ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ ถนนพระรามที่ 4 ถนนเพชรเกษม ถนนวงศ์สว่าง

กลุ่มที่ 2 ถนนที่มีช่องทางจราจรมากกว่า 3 ช่องทางจราจร ได้แก่ ถนนรัชดาภิเษก (5 ช่องทางจราจร) ถนนสิรินธร (4 ช่องทางจราจร)

ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน

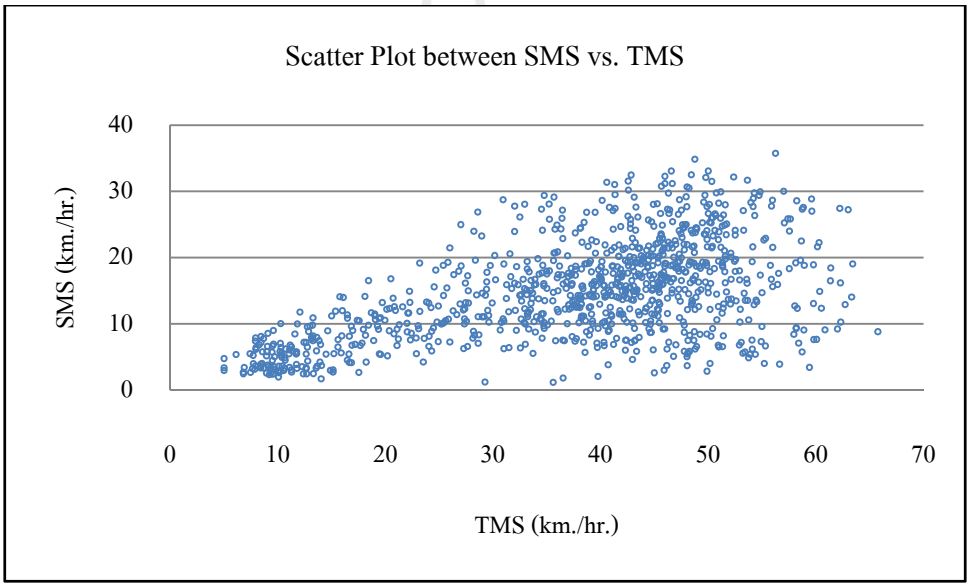
ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.8 – ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 – รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 1 (3 ช่องจราจร)

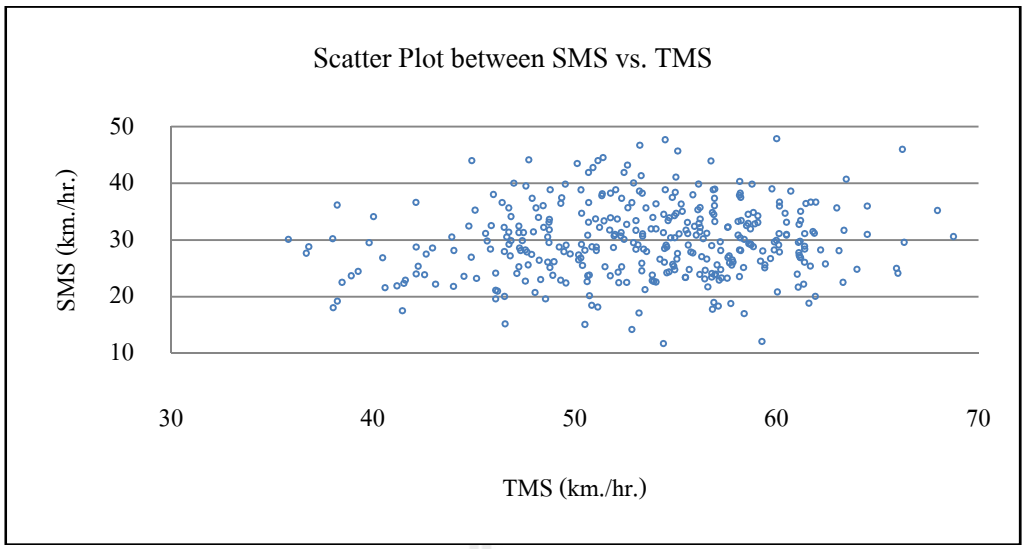
พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*4.035*	*0.556*	*7.253*	*0.000*
b	*TMS*	*0.286*	*0.014*	*20.603*	*0.000*
N		*988*			
R^2		*0.301*			
MAPE		*48.21 %*			
RMSE		*6.082*			

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 2 (4 และ 5 ช่องจราจร)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*23.692*	*2.913*	*8.132*	*0.000*
b	*TMS*	*0.116*	*0.054*	*2.129*	*0.034*
N		*361*			
R^2		*0.012*			
MAPE		*18.51 %*			
RMSE		*6.368*			



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 1 (3 ช่องจราจร)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 2 (4 และ 5 ช่องจราจร)

4.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามจำนวนช่องจราจรของถนน กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ได้สมการถดถอยเชิงเส้น ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของถนน

กลุ่มที่	สมการความถดถอย	R^2	MAPE	RMSE
1 (3 ช่องจราจร)	$SMS_{bus} = 4.035 + 0.286\ TMS$	*0.301*	*48.21 %*	*6.082*
2 (4 และ 5 ช่องจราจร)	$SMS_{bus} = 23.692 + 0.116\ TMS$	*0.012*	*18.51 %*	*6.368*

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน สามารถแบ่งลักษณะถนนในพื้นที่ศึกษาตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนนได้ 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ลักษณะทางแยกปลายทางของถนน เป็นทางแยกสัญญาณไฟ (Signal Intersection) ได้แก่ ถนนพระรามที่ 4

กลุ่มที่ 2 ลักษณะทางแยกปลายทางของถนน เป็นทางแยกสัญญาณไฟ มีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่อนุญาตให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก หรือไม่มีรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก (Over pass 1) ได้แก่ ถนนเพชรบุรีตัดใหม่ ถนนเพชรเกษม ถนนวงศ์สว่าง

กลุ่มที่ 3 ลักษณะทางแยกปลายทางของถนน เป็นทางแยกสัญญาณไฟ มีสะพานลอยข้ามทางแยก อนุญาตให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก หรือมีรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก (Over pass 2) ได้แก่ ถนนรัชดาภิเษก ถนนสิรินธร

ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.11 – ตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.9 – รูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 1 (Signal Intersection)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*14.735*	*2.219*	*6.640*	*0.000*
b	*TMS*	*- 0.048*	*0.056*	*- 0.849*	*0.397*
N		*201*			
R^2		*0.004*			
MAPE		-			
RMSE		-			

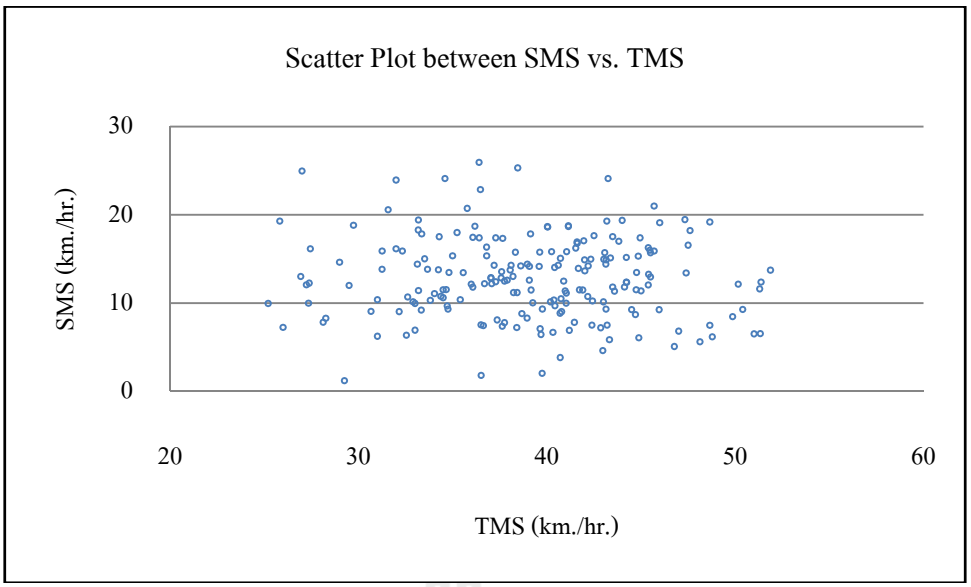
ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยก ปลายทางของถนน กลุ่มที่ 2 (Over pass 1)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*3.762*	*0.578*	*6.515*	*0.000*
b	*TMS*	*0.309*	*0.014*	*21.519*	*0.000*
N		*779*			
R^2		*0.373*			
MAPE		*47.20 %*			
RMSE		*6.126*			

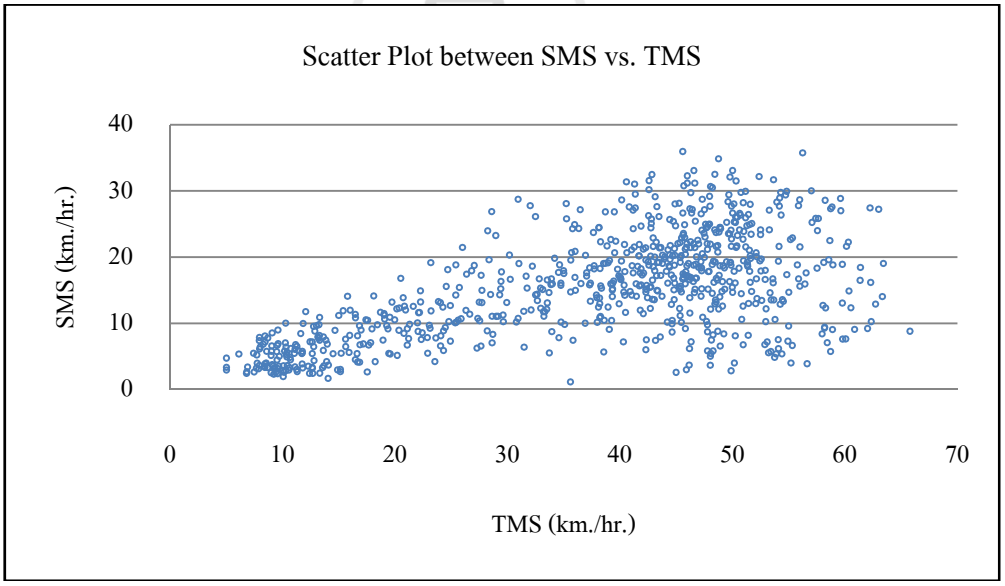
ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยก ปลายทางของถนน กลุ่มที่ 3 (Over pass 2)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*23.692*	*2.913*	*8.132*	*0.000*
b	*TMS*	*0.116*	*0.054*	*2.129*	*0.034*
N		*361*			
R^2		*0.012*			
MAPE		*18.51 %*			
RMSE		*6.368*			

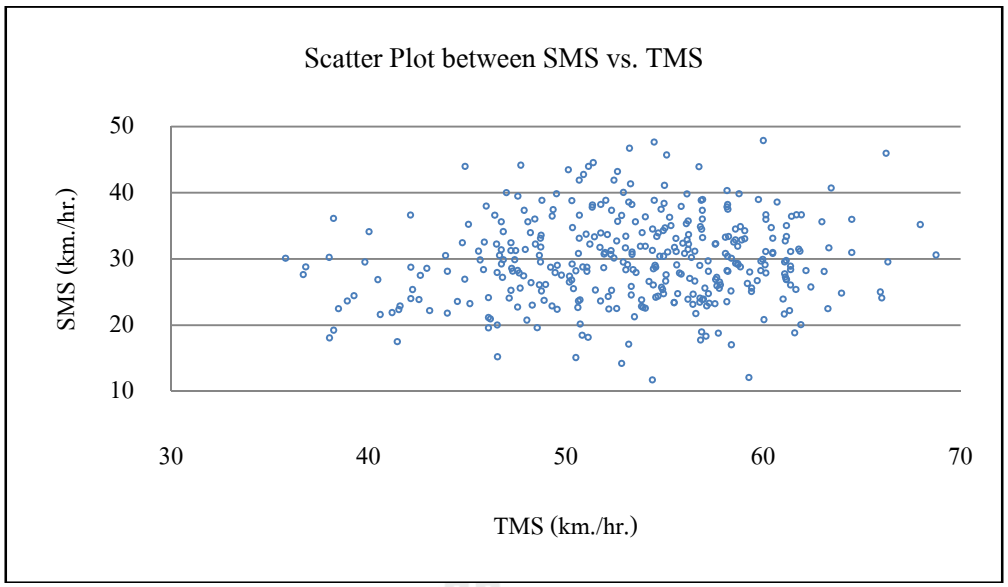
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 1 (Signal Intersection)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 2 (Over pass 1)



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งกลุ่มวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 3 (Over pass 2)

4.3.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ได้สมการถดถอยเชิงเส้น ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งตามลักษณะทางแยกปลายทาง

กลุ่มที่	สมการความถดถอย	R^2	MAPE	RMSE
2 (Over pass 1)	*SMS = 3.762 + 0.309 TMS*	*0.373*	*47.20 %*	*6.126*
3 (Over pass 2)	*SMS = 23.692 + 0.116 TMS*	*0.012*	*18.51 %*	*6.368*

การวิเคราะห์ตามลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่มที่ 1 (Signal Intersection) ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น เนื่องจากการทดสอบสมมุติฐาน Hypothesis ตัวแปร TMS มีค่า สัมประสิทธิ์ (b_1) = 0 โดยความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ของลักษณะทางแยกปลายทางของถนน กลุ่ม ที่ 1 (Signal Intersection) อาจจะเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นในการวิเคราะห์เท่านั้น

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลของถนนรวมทั้ง 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

วิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ของถนนรวมทั้ง 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (06.00 – 08.30 น.) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (08.30 – 16.30 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (16.30 – 18.00 น.) วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.15 – ตารางที่ 4.18 และ รูปที่ 4.12 – รูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

รวมทุกช่วงเวลา (All Day)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	-	-	-	-
b	*TMS*	*0.448*	*0.005*	*97.528*	*0.000*
N		*1355*			
R^2		*0.875*			
MAPE		*45.75 %*			
RMSE		*7.457*			

ตารางที่ 4.16 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	-	-	-	-
b	*TMS*	*0.418*	*0.008*	*52.370*	*0.000*
N		*258*			
R^2		*0.914*			
MAPE		*34.37 %*			
RMSE		*5.182*			

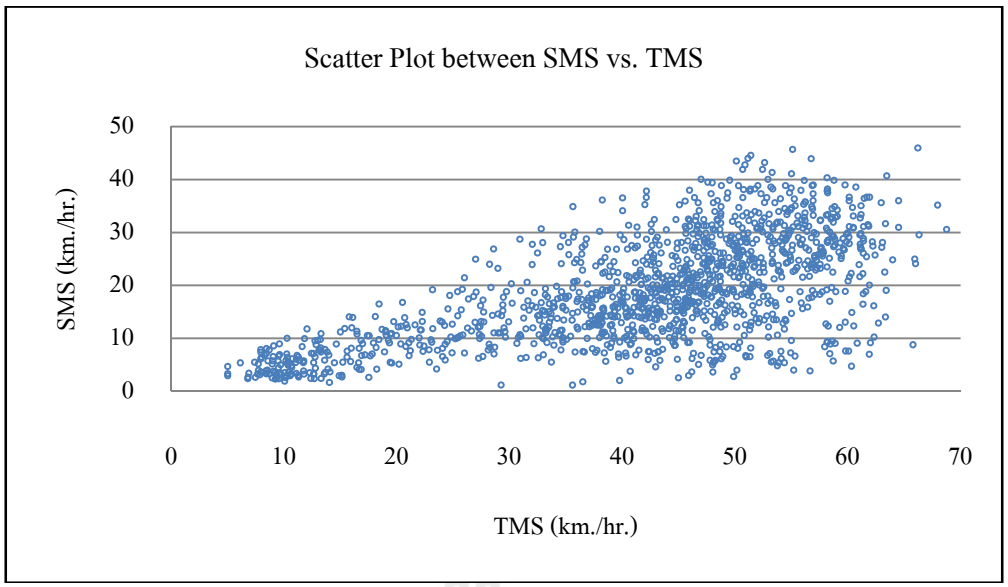
ตารางที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	-	-	-	-
b	*TMS*	*0.456*	*0.006*	*81.396*	*0.000*
N		*1043*			
R^2		*0.864*			
MAPE		*50.72 %*			
RMSE		*8.132*			

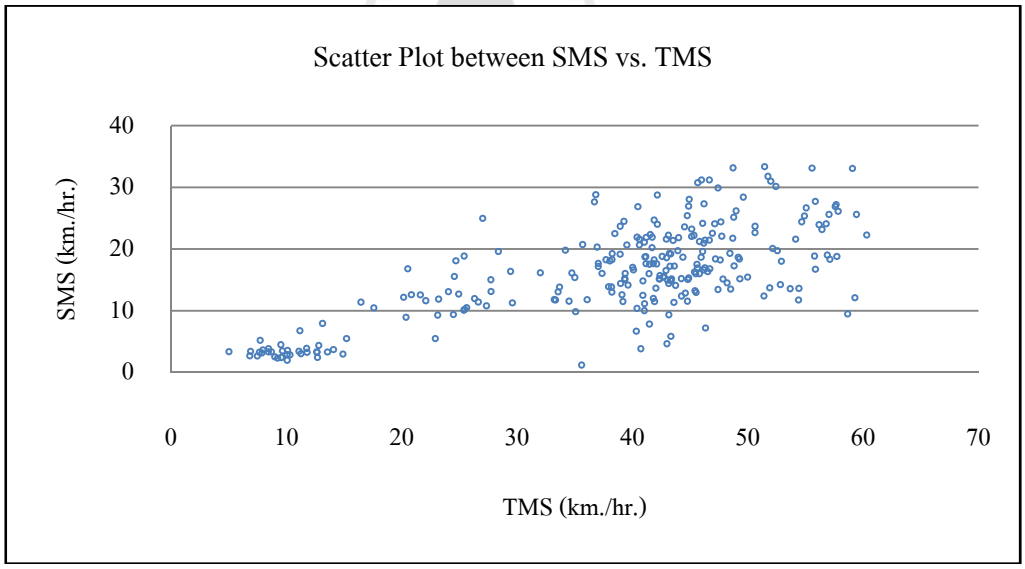
ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	สัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	-	-	-	-
b	*TMS*	*0.421*	*0.015*	*28.822*	*0.000*
N		*57*			
R^2		*0.937*			
MAPE		*34.86 %*			
RMSE		*4.951*			

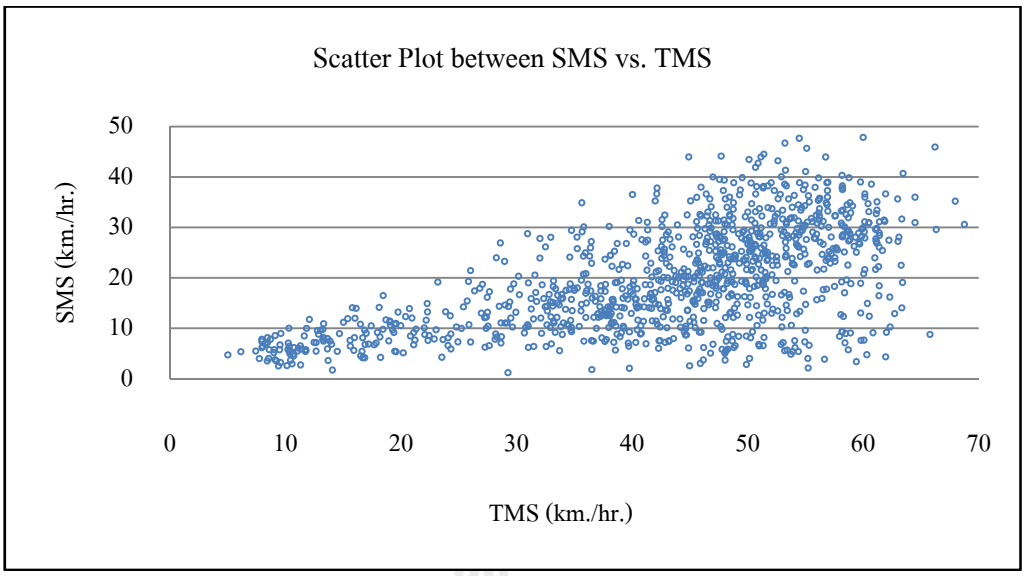
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



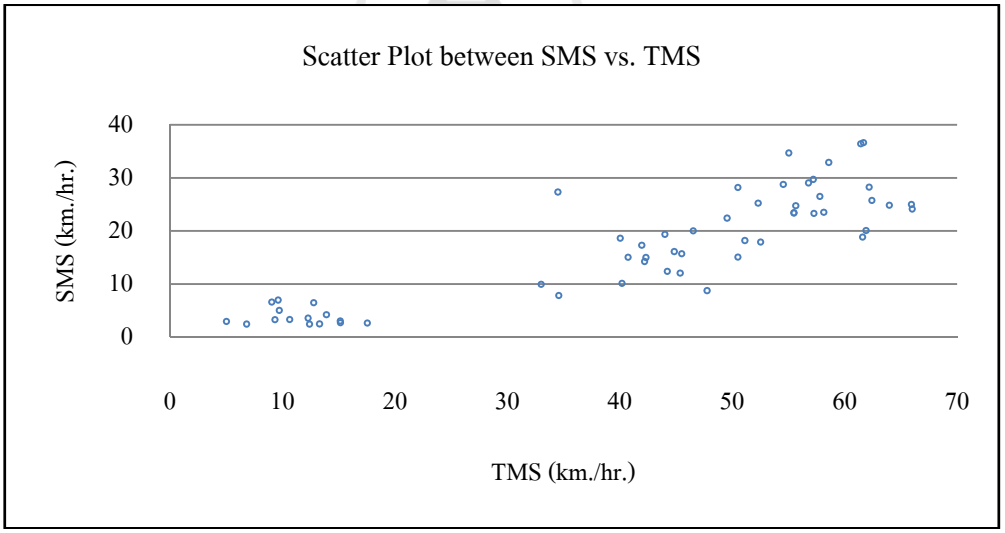
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS รวมทุกช่วงเวลา บนถนน 6 สายในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

4.4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS รวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา ได้สมการถดถอยเชิงเส้น ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลรวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

ช่วงเวลา	สมการความถดถอย	R^2	MAPE	RMSE
รวมทุกช่วงเวลา	$SMS_{bus} = 0.448\ TMS$	*0.875*	*45.75 %*	*7.457*
ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	$SMS_{bus} = 0.418\ TMS$	*0.914*	*34.37 %*	*5.182*
ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน	$SMS_{bus} = 0.456\ TMS$	*0.864*	*50.72 %*	*8.132*
ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น	$SMS_{bus} = 0.421\ TMS$	*0.937*	*34.86 %*	*4.951*

สมการถดถอยเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS รวมบนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษานี้ ทุกช่วงเวลาสมการจะมีจุดเริ่มต้นที่จุดกำเนิด เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่ (a) มีค่าเท่ากับศูนย์ จากการทดสอบสมมติฐาน Hypothesis

4.5 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง

สร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน และค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง โดยแบ่งรูปแบบจำลองเป็น 3 แบบ คือ

1) แบบจำลองที่ 1 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ($SMS_{bus}1$)

รูปแบบการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (06.00 – 08.30 น.) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (08.30 – 16.30 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (16.30 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา โดยมีตัวแปรอิสระได้แก่ TMS และลักษณะกายภาพของถนน ที่มีปัจจัยต่อความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง

2) แบบจำลองที่ 2 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางรวม ($SMS_{bus}2$)

รูปแบบการวิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา โดยมีตัวแปรอิสระได้แก่ TMS ลักษณะกายภาพของถนน ที่มีปัจจัยต่อความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง และ ช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

3) แบบจำลองที่ 3 แบบจำลองจากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร และค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง ($SMS_{bus}3$)

รูปแบบการวิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา โดยมีตัวแปรอิสระได้แก่ TMS และค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง

ตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ตัวแปรอิสระจะต้องเป็นอิสระต่อกัน ถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันก็จะมีอิทธิพลต่อกัน ทำให้การพยากรณ์โดยสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุไม่มีความแม่นยำ ถ้าตัวแปรอิสระคู่ใดมีความสัมพันธ์ จะต้องพิจารณาว่าตัวแปรคู่นั้นมีความสัมพันธ์กันมากเพียงใด หรือมีเหตุปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกัน ก็จะพิจารณาตัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งออก ไม่นำเข้าในสมการถดถอย แต่ถ้าตัวแปรอิสระคู่ใดมีความสัมพันธ์กันน้อยถึงระดับปานกลาง หรือมีความสัมพันธ์แต่ไม่มีนัยและเป็นเหตุปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกัน ก็จะพิจารณานำตัวแปรคู่นั้นเข้าในสมการถดถอย ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยทดสอบหาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) จากการทดสอบแบบ Pearson ดังแสดงในตารางที่ 4.20 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในแบบจำลองที่ 1 และตารางที่ 4.21 จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในแบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระ (แบบจำลองที่ 1) บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา

		TMS	*Lanes*	*Down1*	*Down2*	*Length*	*In-out*	*U-turn*	*Taxi-bay*	*Camera*	*Bus-stop*
TMS	Pearson Correlation	1	0.486**	- 0.087**	0.493**	0.521**	0.153**	0.240**	0.556**	0.041	0.294**
	Sig (2-tailed)		0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.000
Lanes	Pearson Correlation	0.486**	1	- 0.247**	0.959**	0.667**	0.089**	- 0.260**	0.760**	- 0.043	0.284**
	Sig (2-tailed)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.121	0.000
Down1	Pearson Correlation	- 0.087**	- 0.247**	1	- 0.258**	- 0.648**	- 0.757**	- 0.454**	- 0.363**	- 0.691**	- 0.457**
	Sig (2-tailed)	0.002	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Down2	Pearson Correlation	0.493**	0.959**	- 0.258**	1	0.734**	0.016	- 0.236**	0.620**	- 0.087**	0.345**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000		0.000	0.557	0.000	0.000	0.001	0.000
Length	Pearson Correlation	0.521**	0.667**	- 0.648**	0.734**	1	0.602**	0.392**	0.660**	0.192**	0.782**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
In-out	Pearson Correlation	0.153**	0.089**	- 0.757**	0.016	0.602**	1	0.634**	0.477**	0.411**	0.721**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.001	0.000	0.557	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
U-turn	Pearson Correlation	0.240**	- 0.260**	- 0.454**	- 0.236**	0.392**	0.634**	1	0.285**	0.608**	0.348**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000
Taxi-bay	Pearson Correlation	0.556**	0.760**	- 0.363**	0.620**	0.660**	0.477**	0.285**	1	0.312**	0.323**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000
Camera	Pearson Correlation	0.041	- 0.043	- 0.691**	- 0.087**	0.192**	0.411**	0.608**	0.312^^	1	- 0.184**
	Sig (2-tailed)	0.140	0.121	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
Bus-stop	Pearson Correlation	0.294**	0.284**	- 0.457**	0.345**	0.782**	0.721**	0.348**	0.323**	- 0.184**	1
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

หมายเหตุ : ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (2-tailed)

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ระหว่างตัวแปรอิสระ (แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3) บนถนน 6 สาย ในพื้นที่ศึกษา รวมทุกช่วงเวลา

		TMS	*Lanes*	*Down1*	*Down2*	*Length*	*In-out*	*U-turn*	*Taxi-bay*	*Camera*	*Bus-stop*	*Time1*	*Time2*
TMS	Pearson Correlation	1	0.488**	- 0.083**	0.496**	0.523**	0.150**	0.240**	0.556**	0.037	0.295**	- 0.128**	- 0.008
	Sig (2-tailed)		0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.182	0.000	0.000	0.766
Lanes	Pearson Correlation	0.488**	1	- 0.249**	0.959**	0.668**	0.092**	- 0.260**	0.761**	- 0.042	0.286**	- 0.059*	0.118**
	Sig (2-tailed)	0.000		0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.133	0.000	0.033	0.000
Down1	Pearson Correlation	- 0.083**	- 0.249**	1	- 0.260**	- 0.649**	- 0.758**	- 0.455**	- 0.364**	- 0.692**	- 0.458**	0.007	0.013
	Sig (2-tailed)	0.003	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.805	0.637
Down2	Pearson Correlation	0.496**	0.959**	- 0.260**	1	0.735**	0.019	- 0.235**	0.621**	- 0.086**	0.348**	- 0.055*	0.094**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000		0.000	0.497	0.000	0.000	0.002	0.000	0.048	0.001
Length	Pearson Correlation	0.523**	0.668**	- 0.649**	0.735**	1	0.603**	0.392**	0.660**	0.193**	0.783**	- 0.008	0.006
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.778	0.836
In-out	Pearson Correlation	0.150**	0.092**	- 0.758**	0.019	0.603**	1	0.634**	0.479**	0.413**	0.721**	0.018	- 0.041
	Sig (2-tailed)	0.000	0.001	0.000	0.497	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.519	0.138
U-turn	Pearson Correlation	0.240**	- 0.260**	- 0.455**	- 0.235**	0.392**	0.634**	1	0.283**	0.608**	0.350**	0.085**	- 0.098**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Taxi-bay	Pearson Correlation	0.556**	0.761**	- 0.364**	0.621**	0.660**	0.479**	0.283**	1	0.311**	0.325**	- 0.007	0.081**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.800	0.003
Camera	Pearson Correlation	0.037	- 0.042	- 0.692**	- 0.086**	0.193**	0.413**	0.608**	0.311**	1	- 0.182**	0.036	- 0.011
	Sig (2-tailed)	0.182	0.133	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.192	0.703
Bus-stop	Pearson Correlation	0.295**	0.286**	- 0.458**	0.348**	0.783**	0.721**	0.350**	0.325**	- 0.182**	1	- 0.002	- 0.048
	Sig (2-tailed)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.937	0.087
Time_1	Pearson Correlation	- 0.128**	- 0.059*	0.007	- 0.055*	- 0.008	0.018	0.085**	- 0.007	0.036	- 0.002	1	- 0.103**
	Sig (2-tailed)	0.000	0.033	0.805	0.048	0.778	0.519	0.002	0.800	0.192	0.937		0.000
Time2	Pearson Correlation	- 0.008	0.118**	0.013	0.094**	0.006	- 0.041	- 0.098**	0.081**	- 0.011	- 0.048	- 0.103**	1
	Sig (2-tailed)	0.766	0.000	0.637	0.001	0.836	0.138	0.000	0.003	0.703	0.087	0.000	

หมายเหตุ : ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (2-tailed) * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (2-tailed)

จากตารางที่ 4.20 -ตารางที่ 4.21 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson (ค่า R) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระแต่ละคู่ โดยมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 โดยแบ่งระดับความสัมพันธ์ตามเกณฑ์ (ธวัชชัย งามสันติวงศ์, 2542) ดังนี้

ค่า R = 0.00 ถึง +/- 0.20 แสดงว่า ตัวแปรอิสระทั้งคู่ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ค่า R = +/- 0.21 ถึง +/- 0.40 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันน้อย

ค่า R = +/- 0.41 ถึง +/- 0.60 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

ค่า R = +/- 0.61 ถึง +/- 0.80 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมาก

ค่า R = +/- 0.81 ถึง +/- 1.00 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันมาก

โดยที่ค่า R มีค่าเป็น + หมายถึงตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน และค่า R มีค่าเป็นลบ หมายถึงตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละคู่ ถ้ามีความสัมพันธ์กันมากก็จะตัดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ถ้ามีความสัมพันธ์กันน้อยถึงปานกลางก็จะนำตัวแปรทั้งคู่เข้าสมการถดถอย นอกจากนี้ก็จะพิจารณาด้วยว่าถ้าตัวแปรคู่ใดมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้าไม่มีนัยสำคัญหรือเหตุปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน ก็จะนำตัวแปรทั้งคู่เข้าสมการถดถอย ตัวอย่างเช่น

- จากตารางที่ 4.20 *TMS* กับ *Lanes* มีค่า R = 0.486 ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันปานกลาง จึงพิจารณานำตัวแปรทั้งสองเข้าสมการถดถอย
- จากตารางที่ 4.20 *Lanes* กับ *Down2* มีค่า R = 0.959 ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันมาก แต่เนื่องจากลักษณะทางแยกปลายทาง (*DOWN2*) เป็นตัวแปรเทียม (Dummy Variable) จึงไม่นำมาพิจารณาความสัมพันธ์
- จากตารางที่ 4.20 *In_out* กับ *Bus_stop* มีค่า R = 0.721 ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ตัวแปรทั้งสองไม่เกี่ยวข้องกัน จึงนำตัวแปรทั้งสองเข้าสมการถดถอยด้วยกัน
- จากตารางที่ 4.20 *Length* กับ *Bus_stop* มีค่า R = 0.782 ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งคู่มีความสัมพันธ์กันมาก และตัวแปรทั้งคู่มีความเกี่ยวข้องกันจึงตัดตัวแปรออกหนึ่งตัวคือ *Length* ไม่นำเข้าสมการถดถอย

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่นำเข้าสมการ และตัวแปรที่ตัดออกไม่นำเข้าสมการถดถอยได้ดังนี้

- แบบจำลองที่ 1
    - รวมทุกช่วงเวลา ตัวแปรที่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *TMS Lanes Down1 Down2 In_out U_turn Taxi_bay Camera* และ *Bus_stop* ส่วนตัวแปรที่ตัดออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *Length*

- ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ตัวแปรที่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *TMS Lanes Down1 Down2 In_out U_turn Taxi_bay Camera* และ *Bus_stop* ส่วนตัวแปรที่ตัดออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *Length*
- ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน ตัวแปรที่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *TMS Lanes Down1 Down2 In_out U_turn Taxi_bay Camera* และ *Bus_stop* ส่วนตัวแปรที่ตัดออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *Length*
- ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ตัวแปรที่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *TMS Lanes Down1 Down2 In_out U_turn Taxi_bay Camera* และ *Bus_stop* ส่วนตัวแปรที่ตัดออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *Length*

• แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3

- รวมทุกช่วงเวลา ตัวแปรที่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *TMS Lanes Down1 Down2 In_out U_turn Taxi_bay Camera Bus_stop Time1* และ *Time2* ส่วนตัวแปรที่ตัดออก ไม่นำเข้าสมการถดถอย ได้แก่ *Length*

4.5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 1 ($SMS_{bus}1$)

วิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง โดยแบ่งการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (06.00 – 08.30 น.) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (08.30 – 16.30 น.) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (16.30 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะต้องตรวจสอบเครื่องหมายค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรอิสระด้วยว่าถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 หรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ตัดตัวแปรอิสระตัวนั้นออก แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่ จนกว่าเครื่องหมายค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรอิสระจะถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

• ผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 1 ($SMS_{bus}1$)

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.22 – ตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 รวมทุกช่วงเวลา (All Day)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*5.226*	*0.688*	*7.594*	*0.000*
b_1	*TMS*	*0.281*	*0.013*	*21.400*	*0.000*
b_2	*Lanes*	-	-	-	-
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	*10.864*	*0.431*	*25.214*	*0.000*
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	-	-	-	-
b_{10}	*Bus_stop*	*- 0.257*	*0.126*	*- 2.048*	*0.041*
N		*1322*			
Adjusted R^2		*0.621*			

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*-15.241*	*1.260*	*-12.095*	*0.000*
b_1	*TMS*	*0.319*	*0.017*	*19.095*	*0.000*
b_2	*Lanes*	*4.112*	*0.327*	*12.560*	*0.000*
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	-	-	-	-
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	*10.163*	*1.134*	*8.966*	*0.000*
b_{10}	*Bus_stop*	-	-	-	-
N		*248*			
Adjusted R^2		*0.780*			

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*6.728*	*0.828*	*8.129*	*0.000*
b_1	*TMS*	*0.253*	*0.016*	*15.398*	*0.000*
b_2	*Lanes*	-	-	-	-
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	*12.526*	*0.513*	*24.441*	*0.000*
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	-	-	-	-
b_{10}	*Bus_stop*	*- 0.325*	*0.152*	*- 2.148*	*0.032*
N		*1014*			
Adjusted R^2		*0.613*			

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	-	-	-	-
b_1	*TMS*	*0.327*	*0.023*	*13.993*	*0.000*
b_2	*Lanes*	-	-	-	-
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	*7.020*	*1.559*	*4.504*	*0.000*
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	-	-	-	-
b_{10}	*Bus_stop*	-	-	-	-
N		*56*			
Adjusted R^2		*0.957*			

- สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 1 ($SMS_{bus}1$)

จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ($SMS_{bus}1$) ได้แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง $SMS_{bus}1$

ช่วงเวลา	สมการความถดถอย	Adj. R^2	MAPE	RMSE
All Day	$SMS_{bus}1 = 5.226 + 0.281\ TMS + 10.864\ Down2 – 0.257\ Bus_stop$	*0.621*	*38.02 %*	*5.840*
A.M. Peak	$SMS_{bus}1 = - 15.241 + 0.319\ TMS + 4.112\ Lanes + 10.163\ Camera$	*0.780*	*20.24 %*	*3.383*
Off Peak	$SMS_{bus}1 = 6.728 + 0.253\ TMS + 12.526\ Down2 – 0.325\ Bus_stop$	*0.613*	*38.42 %*	*6.120*
P.M. Peak	$SMS_{bus}1 = 0.327\ TMS + 7.020\ Down2$	*0.957*	*25.38 %*	*3.998*

แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 รวมทุกช่วงเวลา (All Day) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) และจำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop) โดย TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่น ๆ และจำนวนป้ายจราจรมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ SMS_{bus}

แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS จำนวนช่องจราจร (Lanes) และตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง (Camera) โดย TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} จำนวนช่องจราจรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ SMS_{bus} ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ SMS_{bus} ถ้าสัดส่วนตำแหน่งติดตั้งกล้องมีค่ามาก SMS_{bus} จะมีค่ามากขึ้น ถ้าสัดส่วนตำแหน่งติดตั้งกล้องมีค่าน้อย SMS_{bus} จะมีค่าลดลง

แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) และจำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop) โดย TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่น ๆ และจำนวนป้ายจราจรมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ SMS_{bus}

แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS และลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) โดย TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} และลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่น ๆ

จากการวิเคราะห์แบบจำลองที่ 1 (SMS_{bus} 1) ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) ได้คำนวณหาค่า MAPE และ RMSE ใหม่ เป็นค่า $MAPE_{aggregate}$ และ $RMSE_{aggregate}$ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) จากกรณีการวิเคราะห์แบบจำลองตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน (ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า, ช่วงนอกเวลาช่วงด่วน, ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น) เพื่อนำค่า $MAPE_{aggregate}$ และ $RMSE_{aggregate}$ ที่ได้มาใช้เปรียบเทียบกับค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1 (SMS_{bus} 1) รวมทุกช่วงเวลา (All Day) และแบบจำลองแบบที่ 2 (SMS_{bus}2) ซึ่งได้ค่า $MAPE_{aggregate}$ และ $RMSE_{aggregate}$ ดังนี้

$MAPE_{aggregate}$ = *34.44 %*

$RMSE_{aggregate}$ = *5.651*

4.5.2 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 2 (SMS_{bus}2)

แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 2 วิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา โดยเพิ่มตัวแปรอิสระช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน เข้ามาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ด้วย วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจะต้องตรวจสอบเครื่องหมายค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรอิสระด้วยว่าถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 หรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ตัดตัวแปรอิสระตัวนั้นออก แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่ จนกว่าเครื่องหมายค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรอิสระจะถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

- ผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 2 (SMS_{bus}2)

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 2 รวมทุกช่วงเวลา (All Day)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*6.050*	*0.694*	*8.716*	*0.000*
b_1	*TMS*	*0.272*	*0.013*	*20.915*	*0.000*
b_2	*Lanes*	-	-	-	-
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	*11.145*	*0.427*	*26.110*	*0.000*
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	-	-	-	-
b_{10}	*Bus_stop*	*- 0.314*	*0.124*	*- 2.535*	*0.011*
b_{11}	*Time1*	*- 1.145*	*0.407*	*- 2.811*	*0.005*
b_{12}	*Time2*	*- 4.342*	*0.789*	*- 5.504*	*0.000*
N		*1299*			
Adjusted R^2		*0.637*			

- สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 2 ($SMS_{bus}2$)

จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ($SMS_{bus}2$) ได้แบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง $SMS_{bus}2$

ช่วงเวลา	สมการความถดถอย	Adj. R^2	MAPE	RMSE
All Day	$SMS_{bus}2 = 6.050 + 0.272\ TMS + 11.145\ Down2 - 0.314\ Bus_stop - 1.145\ Time1 - 4.342\ Time2$	*0.637*	*36.10 %*	*5.675*

แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 2 รวมทุกช่วงเวลา (All Day) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop)

และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน (Time1, Time2) โดย TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่น ๆ จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทางมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ SMS_{bus} และช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (Time1 = 1, Time2 = 0) กับ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (Time1 = 0, Time2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} และมีทิศทางตรงกันข้าม มากกว่าช่วงนอกช่วงเวลาเร่งด่วน

4.5.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 3 ($SMS_{bus}3$)

แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 3 วิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา (06.00 – 18.00 น.) ของถนนรวมทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษา

ขั้นตอนแรก ทำการหาค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ของทุกช่วงถนน และทุกช่วงเวลา

ขั้นตอนที่สอง เมื่อได้ σ^2_{SMS} ของทุกช่วงถนน และทุกช่วงเวลาแล้ว ทำการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) จากความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล หลังจากการวิเคราะห์จะต้องตรวจสอบเครื่องหมายค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระด้วยว่าถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 หรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องให้ตัดตัวแปรอิสระตัวนั้นออก แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่ จนกว่าเครื่องหมายค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรอิสระจะถูกต้องตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ขั้นตอนที่สาม นำค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ที่ได้ และค่าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) มาหาค่า SMS_{bus} เป็นแบบจำลองที่ 3 จากสมการ 3.5

- ผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 3 ($SMS_{bus}3$)

หาค่าความความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ของทุกช่วงถนน และทุกช่วงเวลา ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ค่าความแปรปรวนของ SMS (σ^2_{SMS}) ของทุกช่วงถนน ทุกช่วงเวลา

ช่วงถนน	σ^2_{SMS}		
	ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า	ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน	ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น
ถนนรัชดาภิเษก	41.681	28.624	30.121
ถนนเพชรบุรีตัดใหม่	8.637	25.495	3.410
ถนนพระรามที่ 4	12.213	23.076	24.779
ถนนสิรินธร	40.487	62.441	0.00
ถนนเพชรเกษม	11.454	35.506	18.121
ถนนวงศ์สว่าง	0.591	14.261	0.053

นำค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) จากตารางที่ 4.29 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น กับความเร็วแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ได้ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ SMS (σ^2_{SMS})

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	*Constant*	*25.003*	*0.360*	*69.456*	*0.000*
b_1	*TMS*	-	-	-	-
b_2	*Lanes*	-	-	-	-
b_3	*Down1*	-	-	-	-
b_4	*Down2*	*15.545*	*0.632*	*24.610*	*0.000*
b_5	*Length*	-	-	-	-
b_6	*In_out*	-	-	-	-
b_7	*U_turn*	-	-	-	-
b_8	*Taxi_bay*	-	-	-	-
b_9	*Camera*	-	-	-	-
b_{10}	*Bus_stop*	-	-	-	-
b_{11}	*Time1*	*- 12.099*	*0.712*	*- 17.000*	*0.000*
b_{12}	*Time2*	*- 12.379*	*1.381*	*- 8.962*	*0.000*
N		*1299*			
Adjusted R^2		*0.424*			

- สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางแบบที่ 3 ($SMS_{bus}3$)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อหาค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ได้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS})

ช่วงเวลา	สมการความถดถอย	Adj. R^2
All Day	σ^2_{SMS} = 25.003 +15.545 Down2 – 12.099 Time1- 12.379 Time2	0.424

นำค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้น และค่าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) มาสร้างแบบจำลอง $SMS_{bus}3$ โดยใช้สมการที่ 3.5 หลังจากนั้นนำค่า $SMS_{bus}3$ ที่ได้จากแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับค่า $SMS_{bus}3$ ที่ได้จากการเก็บข้อมูล เพื่อหาค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ได้ค่าดังตารางที่ 4.32

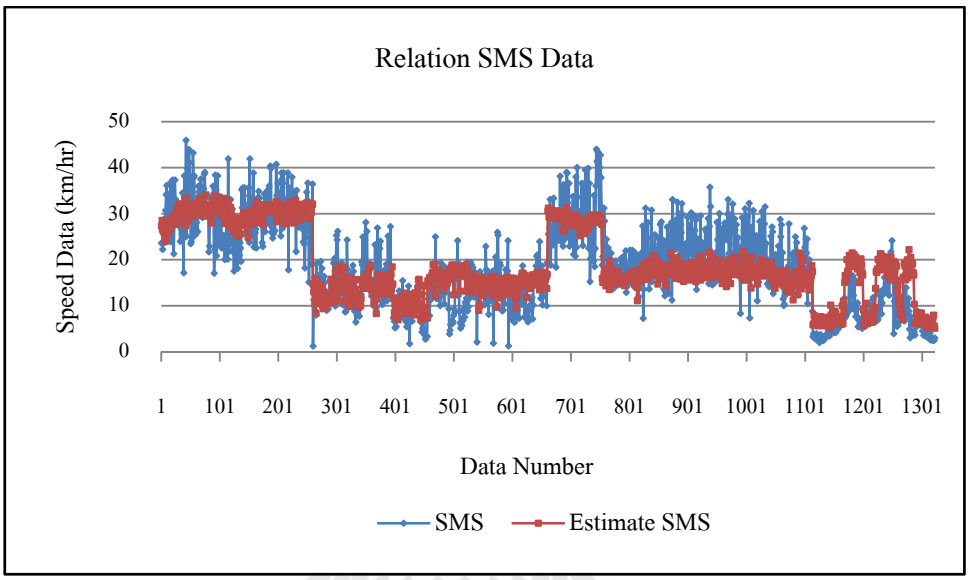
ตารางที่ 4.32 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง $SMS_{bus}3$

ช่วงเวลา	แบบจำลอง $SMS_{bus}3$	MAPE	RMSE
All Day	$SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma^2_{SMS}}$	167.66 %	25.184
All Day	$SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma^2_{SMS}}$	92.76 %	20.442

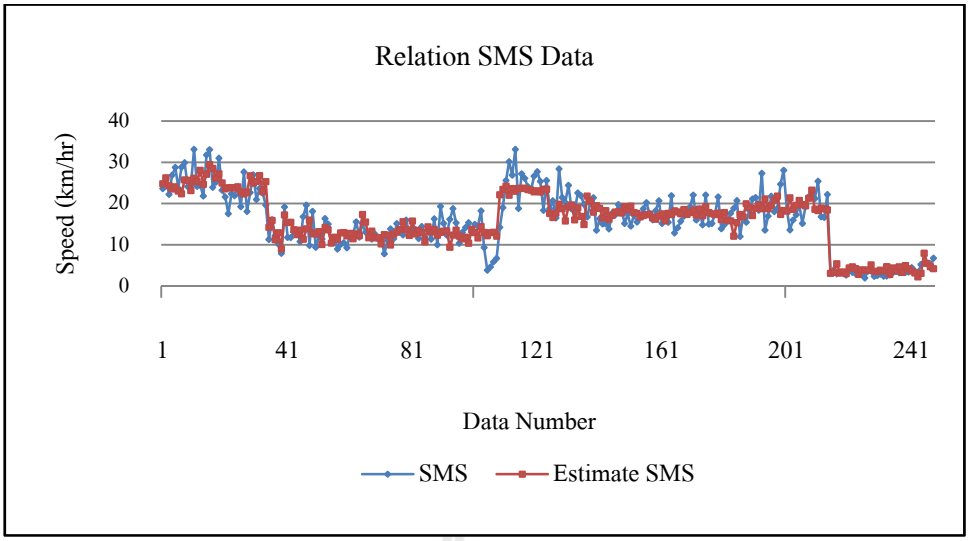
แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 3 รวมทุกช่วงเวลา (All Day) มีค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) สูงมาก เนื่องจากหาค่าจากความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ซึ่ง ค่า σ^2_{SMS} เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ TMS ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ซึ่งในแต่ละช่วงถนน ค่า σ^2_{SMS} จะเป็นค่าคงที่ สำหรับแบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 3 นี้ ไม่สามารถหาค่าได้ในช่วงความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาที่มีค่าน้อย ๆ ได้ เนื่องจากค่าสมการของแบบจำลองมีการหาค่ารากที่สองของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา ลบด้วยค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง ถ้าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลามีค่าน้อยก็จะทำให้ค่าในรากที่สองมีค่าติดลบ จึงไม่สามารถหาค่าของรากที่สองในสมการแบบจำลองได้ ทำให้ไม่สามารถหาค่า SMS_{bus} ได้ในช่วงความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาที่มีค่าน้อย ๆ

4.5.4 เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางที่ได้จากแบบจำลอง (Estimate SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ที่ได้จากการเก็บข้อมูล

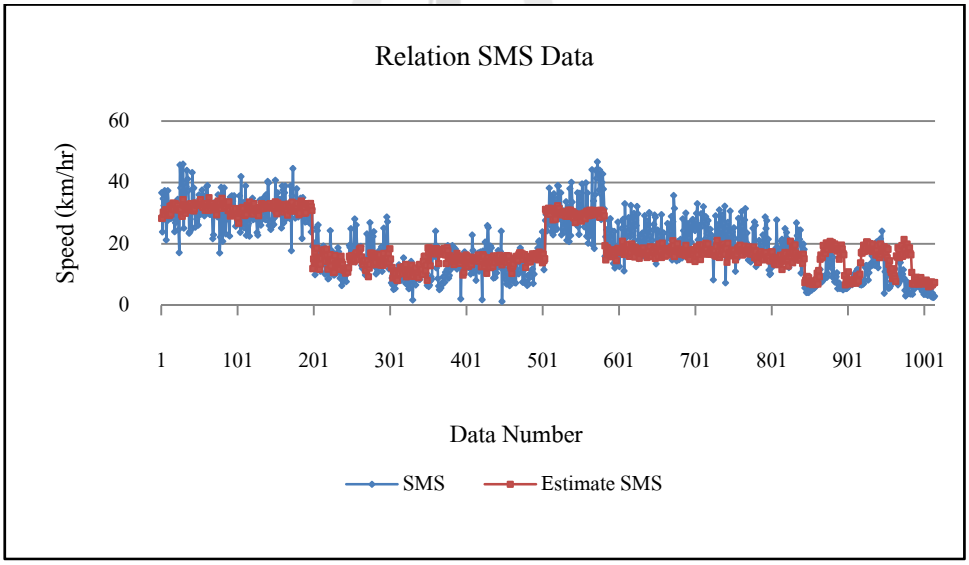
นำค่า Estimate SMS_{bus} ที่ได้จากแบบจำลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ที่ได้จากการเก็บข้อมูล เปรียบเทียบกันตามจำนวนข้อมูลของความเร็วทั้งสองแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 – รูปที่ 4.22



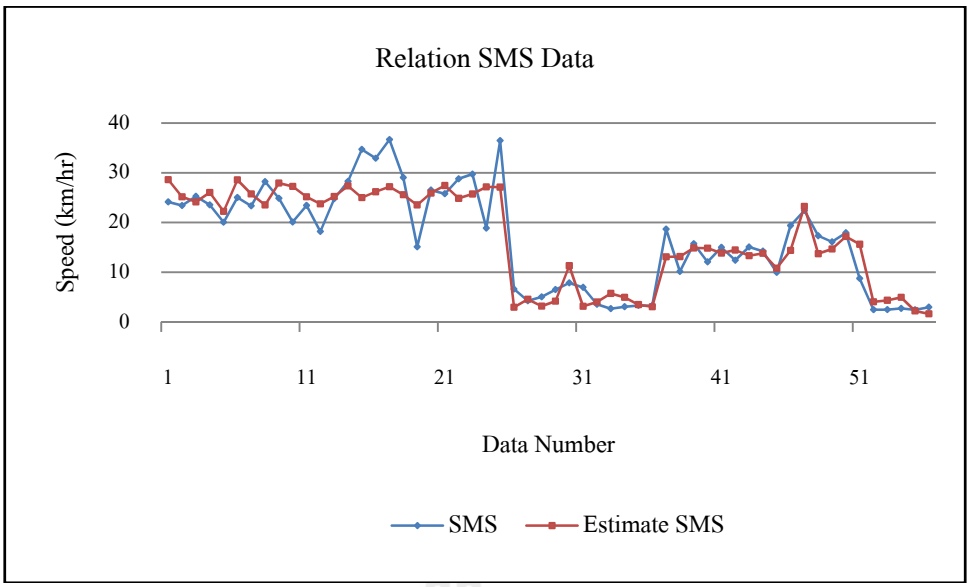
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1(ทุกช่วงเวลา)



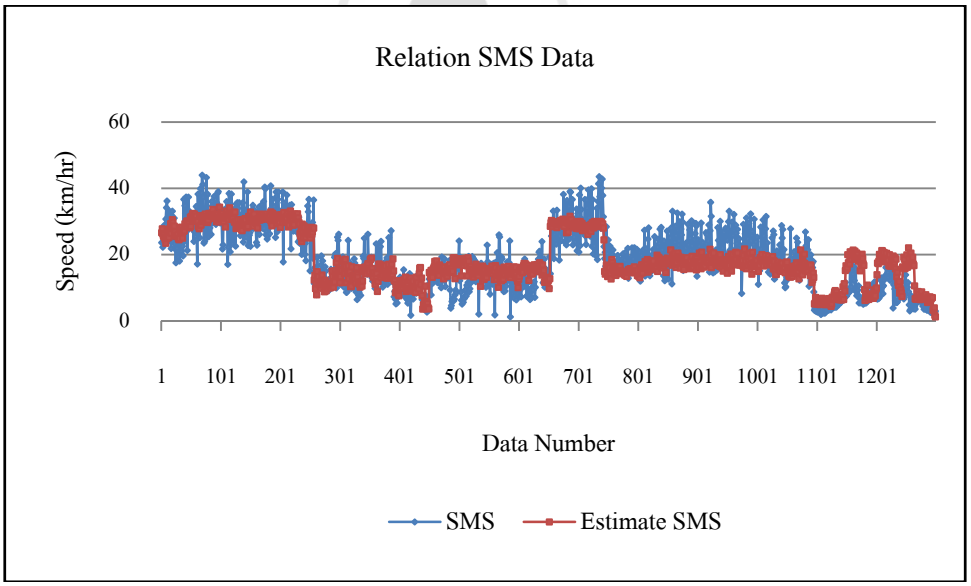
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า)



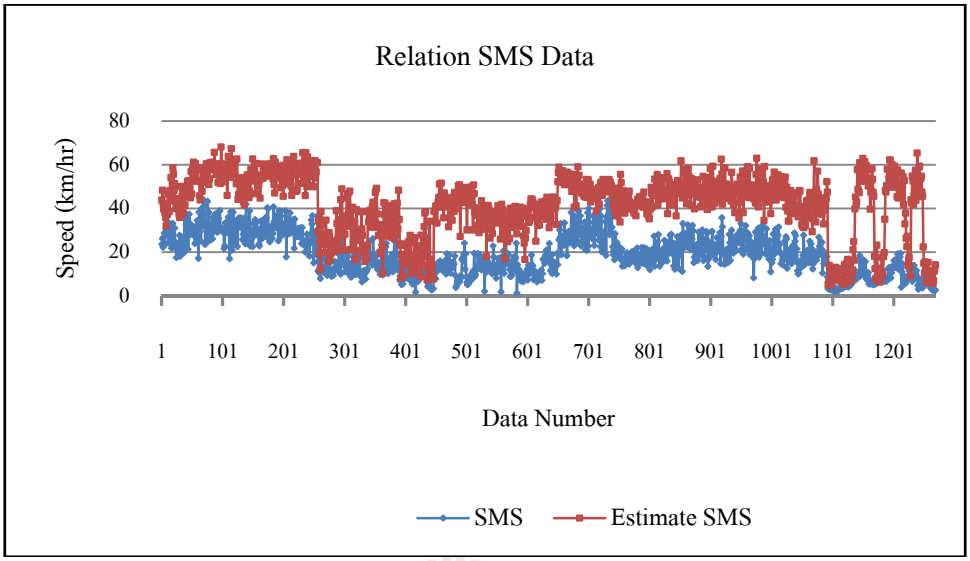
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน)



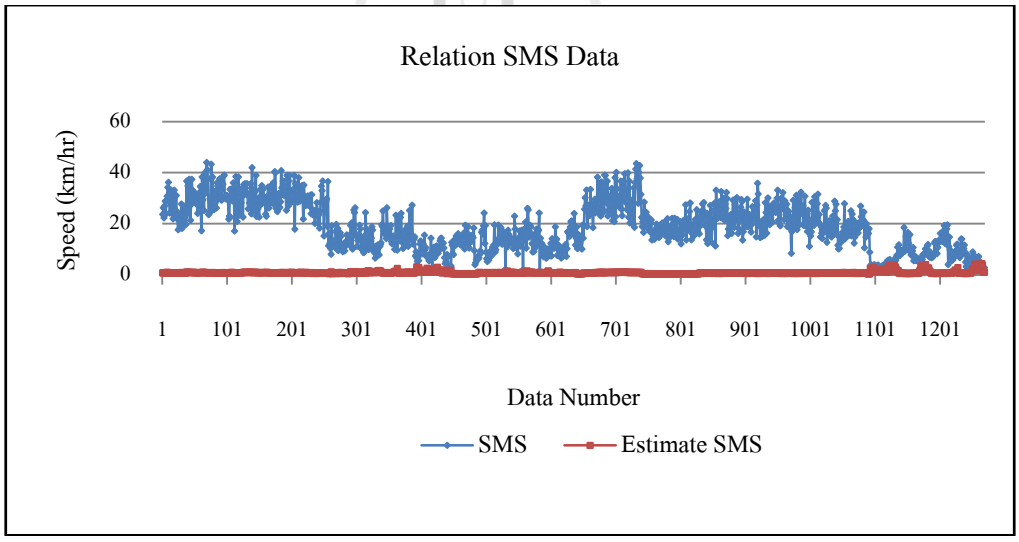
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 1 (ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 2 (ทุกช่วงเวลา)



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 3 (ทุกช่วงเวลา) จากสมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} + \sigma^2_{SMS}}$



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Estimate SMS_{bus} กับ SMS_{bus} แบบจำลองที่ 3 (ทุกช่วงเวลา) จากสมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} + \sigma^2_{SMS}}$

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยวิธีจับคู่ป้ายทะเบียน (License Plate Matching) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร (TMS) ที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง โดยใช้ช่วงถนนในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 6 เส้นทาง เป็นพื้นที่ศึกษา

โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน ในขั้นแรกหาความสัมพันธ์ของ SMS_{bus} กับ TMS ใน 2 กรณี ได้แก่ กรณีแรก วิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา แต่ทำการพิจารณาแยกแต่ละช่วงถนนและลักษณะทางกายภาพของถนน กรณีที่สอง วิเคราะห์รวมทุกช่วงถนน แต่ทำการพิจารณาแยกแต่ละช่วงเวลา

ขั้นตอนที่สอง สร้างแบบจำลอง SMS_{bus} จากข้อมูล TMS กับตัวแปรอิสระอื่น ๆ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน และสร้างแบบจำลอง SMS_{bus} จากข้อมูล TMS กับค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS})

ใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS และสมการถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ในการสร้างแบบจำลอง SMS_{bus} สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจรรวม (TMS)

5.1.1 จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS ในแต่ละช่วงถนน พบว่าความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เมื่อดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีเพียงถนนเพชรบุรีตัดใหม่กับถนนวงศ์สว่าง ที่มีค่า R^2 มากพอที่จะสามารถอธิบายได้ว่าได้ว่า SMS_{bus} กับ TMS มีความสัมพันธ์กัน คือมีค่า R^2 เท่ากับ 0.410 และ 0.345 ตามลำดับ โดยที่ถนนพระรามที่ 4 กับถนนสิรินธร ความเร็วทั้งสองค่าไม่ความสัมพันธ์กันในรูปสมการเชิงเส้น

5.1.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS แบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจรของช่วงถนน จะได้ว่าถนนที่มีช่องทางจราจรไม่เกิน 3 ช่องทางจราจรต่อทิศทาง จะมีความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองในรูปสมการเชิงเส้นมากกว่าถนนที่มีมากกว่าถนนที่มีมากกว่า 3 ช่องทางจราจรต่อทิศทาง โดยที่ค่า TMS สามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงค่า SMS_{bus} ได้ 30.1 % ในถนนที่มีช่องทางจราจรไม่เกิน 3 ช่องทางจราจรต่อทิศทาง

5.1.3 การศึกษาโดยการแบ่งกลุ่มตามลักษณะทางแยกปลายทางของช่วงถนน ได้ผลว่าทางแยกสัญญาณไฟจราจร ความเร็วทั้งสองค่าไม่ความสัมพันธ์กันในรูปสมการเชิงเส้น ซึ่งก็คือถนนพระรามที่ 4 ทางแยกที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS มีค่าน้อย ซึ่งเป็นกลุ่มถนนเดียวกับการศึกษาแบบแบ่งกลุ่มตามจำนวนช่องจราจร ที่มีจำนวนช่องจราจรมากกว่า 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง คือ ถนนรัชดาภิเษกกับถนนสิรินธร กลุ่มทางแยกที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกแต่ไม่ให้รถประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอย มีความสัมพันธ์กันของความเร็วทั้งสองแบบ สามารถอธิบายได้ว่า TMS อธิบายความเปลี่ยนแปลงค่า SMS_{bus} ได้ 37.3 %

5.1.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรวมทุกช่วงถนน นำข้อมูลของทุกช่วงถนนมารวมกันแล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) ผลการวิเคราะห์ได้ค่า R^2 มีค่าสูงมากในทุกช่วงเวลา ค่า TMS สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่า SMS_{bus} ได้ดี แต่ได้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ผ่านจุดกำเนิดในทุกช่วงเวลา เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่ ที่แสดงจุดตัดแกน Y มีค่าเป็นศูนย์

5.2 แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus})

แบบจำลองของ SMS_{bus} แบ่งออกเป็น 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองที่ 1 ($SMS_{bus}1$) เป็นการหา SMS_{bus} จากข้อมูล TMS และลักษณะทางกายภาพของถนนที่ศึกษารวมทั้ง 6 สาย โดยแบ่งแบบจำลองออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) แบบจำลองที่ 2 ($SMS_{bus}2$) เป็นการหา SMS_{bus} รวมทุกช่วงเวลา จากข้อมูล TMS และลักษณะทางกายภาพของถนนที่ศึกษารวมทั้ง 6 สาย โดยรวมช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน เข้ามาในแบบจำลองด้วย และแบบจำลองที่ 3 ($SMS_{bus}3$) เป็นการหา SMS_{bus} รวมทุกช่วงเวลา จากข้อมูล TMS และค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS})

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.2.1 แบบจำลองที่ 1 ($SMS_{bus}1$) ผลการวิเคราะห์ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) กับช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ที่มีความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ในทิศทางเดียวกัน ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ และจำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง มีความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ในทิศทางตรงกันข้าม ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} จำนวนช่องจราจรมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ SMS_{bus} ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับ SMS_{bus} ส่วนช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ที่มีความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ในทิศทางเดียวกัน กับลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ นอกจากนี้ยังได้หาค่า $MAPE_{aggregate}$ กับ $RMSE_{aggregate}$ รวมทุกช่วงเวลา (All Day) จากแบบจำลอง $SMS_{bus}1$ ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น เพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับ แบบจำลอง $SMS_{bus}1$ (All Day) และแบบจำลอง $SMS_{bus}2$

5.2.2 แบบจำลองที่ 2 ($SMS_{bus}2$) รวมทุกช่วงเวลา (All Day) ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} ได้แก่ TMS มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับ SMS_{bus} ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับ SMS_{bus} และช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า กับช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ที่มีความสัมพันธ์กับ SMS_{bus} ในทิศทางตรงกันข้าม

5.2.3 แบบจำลองที่ 3 ($SMS_{bus}3$) รวมทุกช่วงเวลา (All Day) เป็นการสร้างแบบจำลองจากสมการที่พัฒนามาจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (TMS) กับความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (SMS) และค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ^2_{SMS}) ของ Wardrop (1952) เพื่อหาค่า SMS_{bus} จากข้อมูล TMS และ σ^2_{SMS}

จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ค่า SMS_{bus} ที่ได้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ ค่า SMS_{bus} ที่ได้จากการเก็บข้อมูล มีค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) สูงมาก โดยที่ สมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} + \sigma^2_{SMS}}$ มีค่า MAPE เท่ากับ 167.66 % ค่า RMSE เท่ากับ 25.184 ส่วนสมการ $SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma^2_{SMS}}$ มีค่า MAPE เท่ากับ 92.76 % ค่า RMSE เท่ากับ 20.442

5.2.4 เปรียบเทียบแบบจำลอง จากการวิเคราะห์แบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) จะได้แบบจำลองในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5.1 โดยที่แบบจำลอง

ที่ 1 ช่วง A.M. Peak, Off Peak, P.M. Peak ได้ทำการคำนวณค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์รวม ($MAPE_{aggregate}$) และค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดรวม ($RMSE_{aggregate}$) ใหม่ เป็นค่า $MAPE_{aggregate}$ และ $RMSE_{aggregate}$ รวมทุกช่วงเวลา (All Day)

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus}

แบบจำลอง	ช่วงเวลา	สมการแบบจำลอง	Adj. R^2	MAPE	RMSE
ที่ 1	All Day	$SMS_{bus}1 = 5.226 + 0.281\ TMS + 10.864\ Down2 - 0.257\ Bus_stop$	0.621	38.02 %	5.840
	A.M. Peak	$SMS_{bus}1 = -15.241 + 0.319\ TMS + 4.112\ Lanes + 10.163\ Camera$	0.780	34.44 %	5.651
	Off Peak	$SMS_{bus}1 = 6.728 + 0.253\ TMS + 12.526\ Down2 - 0.325\ Bus_stop$	0.613		
	P.M. Peak	$SMS_{bus}1 = 0.327\ TMS + 7.020\ Down2$	0.957		
ที่ 2	All Day	$SMS_{bus}2 = 6.050 + 0.272\ TMS + 11.145\ Down2 - 0.314\ Bus_stop - 1.145\ Time1 - 4.342\ Time2$	0.637	36.10 %	5.675
ที่ 3	All Day	$SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$	-	167.66 %	25.184
		$SMS_{bus}3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$	-	92.76 %	20.442

จากตารางที่ 5.1 แบบจำลองที่ 1 ช่วง All Day มีค่า MAPE = 38.02 %, RMSE = 5.840 และแบบจำลองที่ 1 ที่แยกวิเคราะห์ตามช่วงเวลา (A.M. Peak, Off Peak, P.M. Peak) แต่ได้คำนวณค่าผิดพลาดรวม ได้ค่า $MAPE_{aggregate}$ = 34.44 %, $RMSE_{aggregate}$ = 5.651 แบบจำลองที่ 2 ช่วง All Day มีค่า MAPE = 36.10 %, RMSE = 5.675 ส่วนแบบจำลองที่ 3 ช่วง All Day มีค่า MAPE และ RMSE สองค่า คือ MAPE = 167.66 %, RMSE = 25.184 และ MAPE = 92.76 %, RMSE = 20.442 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะนำไปหาความความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ในเขตเมือง จากข้อมูล ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (TMS) และลักษณะทางกายภาพของถนนในเขตเมือง คือแบบจำลองที่ 1 ที่วิเคราะห์แบ่งตามช่วงเวลา (A.M. Peak, Off Peak, P.M. Peak) ดังนี้

- ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

$$SMS_{bus} = - 15.241 + 0.319\ TMS + 4.112\ Lanes + 10.163\ Camera \quad (5.1)$$

- ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

$$SMS_{bus} = 6.728 + 0.253\ TMS + 12.526\ Down2 - 0.325\ Bus_stop \quad (5.2)$$

- ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

$$SMS_{bus} = 0.327\ TMS + 7.020\ Down2 \quad (5.3)$$

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้ได้แบบจำลองของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร ที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง กับลักษณะทางกายภาพของถนนที่มีปัจจัยต่อความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง และปัจจัยของช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ซึ่งจะนำไปตรวจสอบสภาพการจราจรที่รายงานโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสจราจร ที่ได้จากกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง ซึ่งการนำแบบจำลองนี้ไปใช้จะต้องพิจารณาลักษณะทางกายภาพของถนน ให้มีสภาพคล้ายคลึงกับลักษณะทางกายภาพของถนนที่ได้จากการศึกษานี้

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยไม่ได้นำตัวแปรของรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกมาพิจารณาด้วย ซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ในการศึกษาครั้งต่อไป ผู้วิจัยเสนอแนะให้นำระยะเวลาของรอบสัญญาณไฟจราจรที่ทางแยกมาพิจารณาเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางด้วย และในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดซึ่งผู้วิจัยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นมาทำการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลอง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง SMS_{bus} กับ TMS บางช่วงถนนและบางช่วงเวลา ก็ไม่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน ผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรจะใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และสร้างแบบจำลองต่อไป

รายการอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2546ก). **การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและการวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2546ข). **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ธรรมสาร จำกัด.

ณัฐพงษ์ วิไลเศรษฐีวนิช. (2551). การประมาณเวลาการเดินทางโดยใช้ข้อมูลจากเครื่องตรวจนับจราจร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธวัชชัย งามสันติวงศ์. (2542). **SPSS FOR WINDOWS หลักการและวิธีใช้คอมพิวเตอร์ในงานสถิติเพื่องานวิจัย**. พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ 21 เซ็นจูรี่ จำกัด.

พรณรงค์ เลื่อนเพชร และ ถิรยุทธ ลิมานนท์. (2553). การประยุกต์ใช้ข้อมูลดำเนินการของรถโดยสารประจำทางเพื่อรายงานความเร็วการจราจรทั่วไปบนช่วงถนน. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15.** : 34-39.

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2553). **ระบบรายงานสภาพการจราจรแบบ Real Time** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.trafinfo.net

Chakroborty, P., Kikuchi, S. (2004). Using bus travel time data to estimate travel times on urban corridors. **Transportation Research Record.** 1870: 18-25.

Chandrasebar Elango, Daniel J Daileg (2000). Irregular Sampled Transit Vehicles use a Traffic Sensors. **Transportation Research Record.** 1719: 32-44.

Garber, N. J., Hoel, L. A. (2004). **Traffic and Highway Engineering** (4th ed). Connecticut: Cengage Learning.

Han, J., Polak, J.W., Barria, J., and Krishman, R. (2010). On the estimation of space-mean-speed from inductive loop detector. **Transportation Planning and Technology.** 33(1): 91-104.

Nobuhiro Uno, Fumitara Kurauchi, Hiroshi Tamura and Yasunori Iida (2009). Using bus probe data for analysis at travel time variability. **Journal of Intelligent Transport Systems.** 13(1): 2-15.

Rakha, H., Zhang, W. (2005). Estimating traffic stream space mean speed and reliability from dual- and single-loop detectors. **Transportation Research Record.** 1925: 36-47.

Robert L. Bertini, Sutti Tantiyanugulchai (2004). Transit Buses as Traffic Probes Use of Geolocation Data for Empirical Evaluation. **Transportation Research Record.** 1870: 35-45.

Roess, R. P., Prassas, E. S., and Mcshane, W. R. (2004). **Traffic Engineering** (3rd ed). New Jersey: Pearson Prentice-Hall.

Ruimin Li, Geoffrey Rose and Majid Sarvi (2006). Evaluation of speed-base traveltime estimation models. **Journal of Transportation Engineering.** 132(7): 21-29.

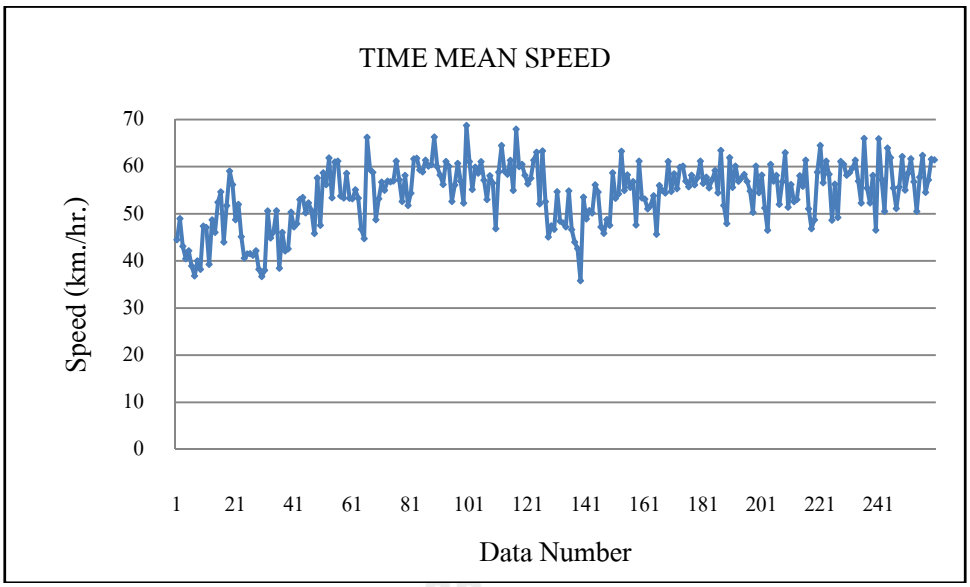
Wordrop, G. J. (1952). Some theoretical aspect of road traffic research. **Proceeding of the Institute of Civil Engineer.** 1(3): 325-362.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

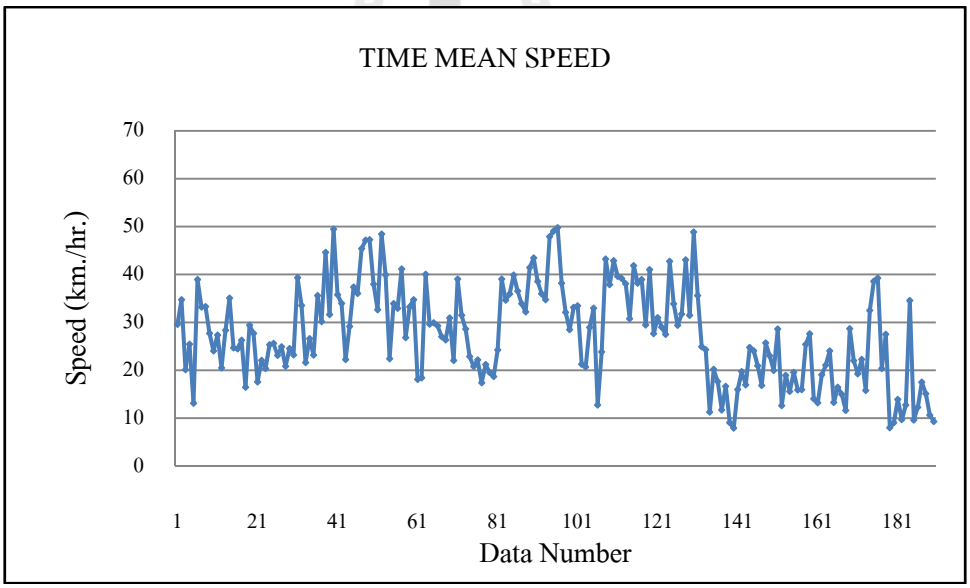
ภาคผนวก ก

ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาแต่ละช่วงถนน

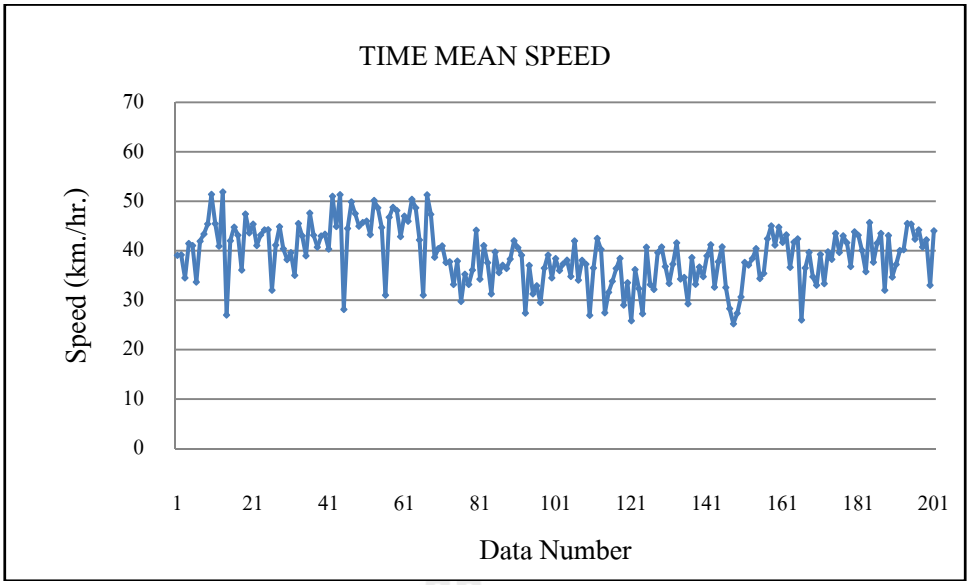
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



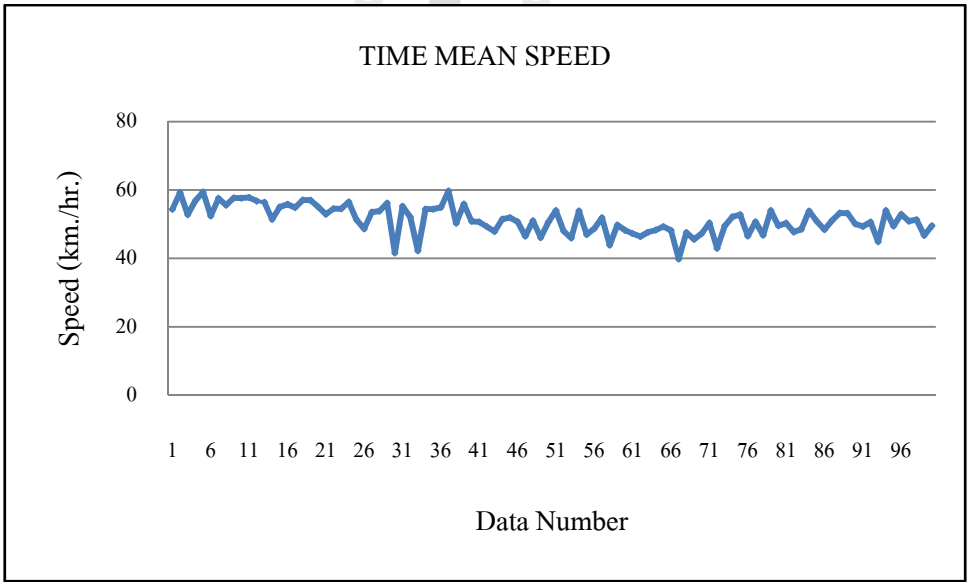
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนรัชดาภิเษก



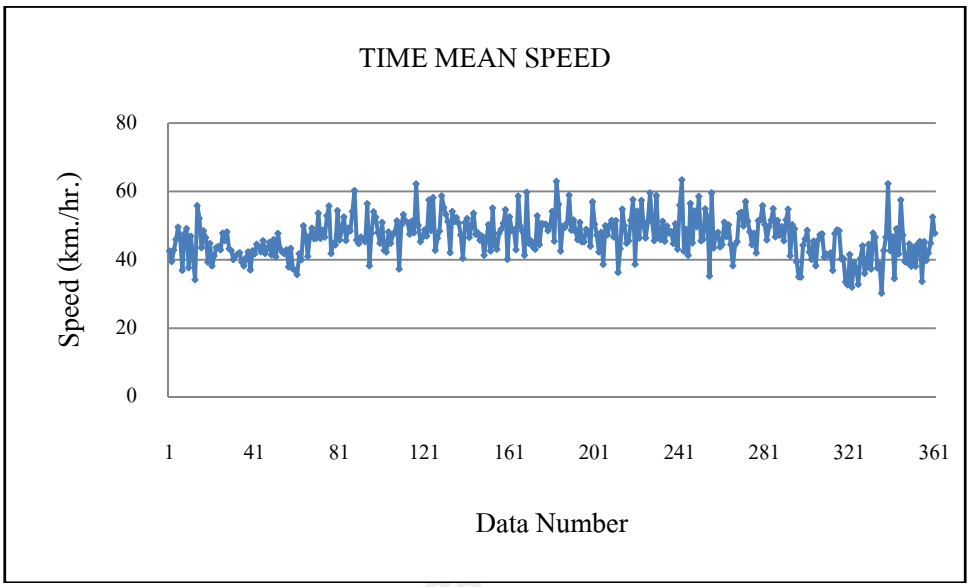
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนเพชรบุรีตัดใหม่



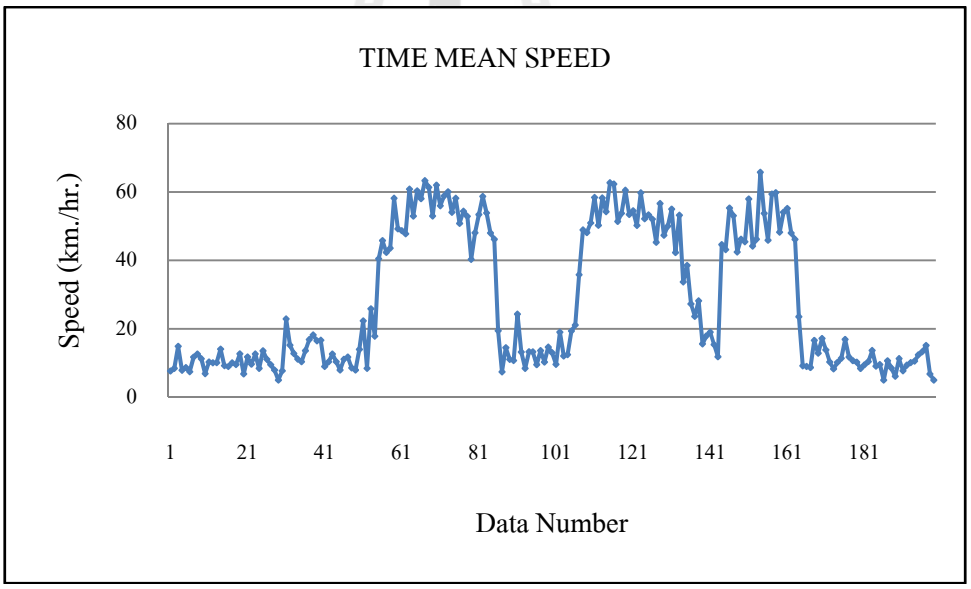
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนพระรามที่ 4



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนสิรินธร



รูปที่ ก.5 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนเพชรเกษม



รูปที่ ก.6 กราฟแสดงข้อมูลความเร็วแบบเวลาบนถนนวงศ์สว่าง

ภาคผนวก ข

แบบสำรวจข้อมูลความเร็วของรถโดยสารประจำทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างแบบสำรวจข้อมูลความเร็วของรถโดยสารประจำทาง

แผ่นที่...../.....

แบบฟอร์มเก็บข้อมูลความเร็วของรถโดยสารประจำทางบนช่วงถนน

วันที่สำรวจ..... ประเภท รถโดยสารประจำทาง

จุดที่สำรวจ (ชื่อถนน)..... (รถโดยสารประจำทางเฉพาะ รถเมล์ ขสมก., รถร่วม)

ตำแหน่งที่สำรวจ (ชื่อทางแยก).....

ลำดับที่	เวลา (ชั่วโมง : นาที : วินาที)	เลขทะเบียน (เลข 3 ตัวท้าย)	ลำดับที่	เวลา (ชั่วโมง : นาที : วินาที)	เลขทะเบียน (เลข 3 ตัวท้าย)
1			31		
2			32		
3			33		
4			34		
5			35		
6			36		
7			37		
8			38		
9			39		
10			40		
11			41		
12			42		
13			43		
14			44		
15			45		
16			46		
17			47		
18			48		
19			49		
20			50		
21			51		
22			52		
23			53		
24			54		
25			55		
26			56		
27			57		
28			58		
29			59		
30			60		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายสิทธิพงษ์ จรรยาสุคนธ์ เกิดเมื่อวันอังคารที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2508 ที่โรงพยาบาลสวนหม่อน (โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา) อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เป็นบุตรพันจ่าอากาศเอก สวัสดิ์ จรรยาสุคนธ์ กับนางพวงศรี จรรยาสุคนธ์ จบการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนทหารอากาศบำรุง ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพแผนกช่างสำรวจ และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงแผนกช่างโยธา จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน) จากนั้นเข้ารับราชการที่สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบทจังหวัดสกลนครและกรมโยธาธิการ ศึกษาต่อระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา ที่มหาวิทยาลัยศรีปทุม และจบการศึกษาในปีการศึกษา 2541 ต่อมาได้เข้ารับการศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2551 เนื่องจากมีความสนใจด้านวิศวกรรมขนส่ง และเกี่ยวข้องกับงานที่ทำ

ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งนายช่างโยธาชำนาญงาน กลุ่มวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักทางหลวงชนบทที่ 5 (นครราชสีมา) กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี