



ANALYSIS OF BUS SPACE MEAN SPEED ON MAIN STREETS IN BANGKOK

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง
บนถนนสายหลักในเขตกรุงเทพมหานคร

ANALYSIS OF BUS SPACE MEAN SPEED ON MAIN STREETS IN BANGKOK

สิทธิพงษ์ จรรยาสุคนธ์ และรัฐพล ภู่บุบผาพันธ์

สาขาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทร. 0-4422-4238 โทรสาร 0-4422-4608

E-mail: sitthiphong2508_csk@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสดำเนินการ ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่างๆ ของวัน โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นในการสร้างแบบจำลอง 3 รูปแบบ แบบแรกคือ แบบจำลองแยกเฉพาะแต่ละช่วงเวลา แบบที่สอง เป็นแบบจำลองช่วงเวลาเดียว แต่เพิ่มตัวแปรเชิงกลุ่ม คือช่วงเวลาต่างๆ ของวัน มาพิจารณาด้วย แบบที่สาม พัฒนาจากสมการความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองแบบของ Wardrop (1952) ผลการศึกษาแบบจำลองที่แยกเฉพาะแต่ละช่วงเวลา มีความเหมาะสมที่จะนำมาหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทางเพื่อนำไปประมาณเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางบนถนนในเขตเมือง และการประยุกต์ใช้ในระบบการจราจรอัจฉริยะ

Abstract

This study is to construct the model of bus space mean speed from time mean speed data, road characteristics, and times of day; using linear regression analysis 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, bus travel time on urban streets and its application in intelligent transportation systems.

1. บทนำ

ระบบการให้ข้อมูลแก่ผู้เดินทาง (Advance Traveler Information System) เป็นการรายงานสภาพการจราจรแบบทันกาล (Real Time) ให้แก่ผู้ใช้รถได้ทราบสภาพการจราจรบนถนนในเขตเมือง เพื่อให้ผู้ใช้รถจะได้วางแผนการเดินทาง หรือหลีกเลี่ยงเส้นทางการจราจรที่ติดขัด สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [1] ได้ดำเนินการรายงานสภาพการจราจรทางเว็บไซต์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยทำหน้าที่เป็นหน่วยงานกลาง ดำเนินการรวบรวมข้อมูลด้านการจราจรและขนส่ง เพื่อนำมาพัฒนาเป็นระบบฐานข้อมูลสารสนเทศอย่างเป็นระบบ และรายงานสภาพการจราจรในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลให้แก่ผู้ใช้รถได้ทราบซึ่งจะมีทั้งข้อมูลที่เป็นภาพการจราจรจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดและข้อมูลสภาพการจราจรที่รายงานในลักษณะของเส้นสีบนแผนที่โครงข่ายถนน เพื่อแสดงระดับการติดขัดของการจราจร โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสการจราจรบนช่วงถนนที่สำรวจด้วยกล้องอิมเมจโปรเซสซึ่ง ที่ติดตั้งบนช่วงถนนเป็นตัวกำหนด ซึ่งในทางทฤษฎีความเร็วเฉลี่ยของรถ มี 2 แบบ [2] คือ ความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (Time Mean Speed: TMS) และความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (Space Mean Speed: SMS) สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ

$$TMS = \frac{\sum_i \left(\frac{d}{t_i} \right)}{n} \quad (1)$$

$$SMS = \frac{d}{\left(\frac{\sum_i t_i}{n} \right)} \quad (2)$$

โดย

- d = ระยะทางที่สำรวจ
- t_i = เวลาที่รถคันที่ i วิ่งบนระยะทางที่สำรวจ
- n = จำนวนรถที่วิ่งบนระยะทางที่สำรวจ

นอกจากนี้ Wardrop [3] ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS ได้ดังสมการที่ 3

$$TMS = SMS + \frac{\sigma_s^2}{SMS} \quad (3)$$

โดย

$$\sigma_s^2 = \text{ค่าความแปรปรวนของ SMS}$$

แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง TMS กับ SMS ที่สร้างโดย Wardrop ไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติในการหาค่าประมาณเวลาการเดินทาง (Travel Time Estimation : TTE) ได้ เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าความแปรปรวนของ SMS จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความเร็วบนถนน (Inductive Loop Detector : ILD) ซึ่งค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จาก ILD จะเป็นค่า TMS แต่ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการหา TTE จะใช้ค่า SMS ดังนั้น Han, Polak, Barria and Krishnan [4] และ Rakha and Zhang [5] จึงได้ประยุกต์

สมการของ Wardrop ในการหาค่า SMS จากข้อมูล TMS ที่ได้จาก Inductive Loop Detector สำหรับกรณีศึกษาการหาความเร็วเฉลี่ยบนทางหลวงหรือบนทางด่วน สำหรับกรณีศึกษาการหาความเร็วเฉลี่ยบนถนนในเขตเมือง ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพของถนนแตกต่างจากทางหลวงหรือทางด่วน โดย ถนนในเขตเมืองจะมีจุดที่ขัดขวางการจราจรต่างจากทางหลวงหรือทางด่วน เช่น จุดตัดทางแยก จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกัลบรถ จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่ จำนวนของป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง เป็นต้น และการจราจรบนถนนสายหลักในเขตเมืองประกอบด้วยรถหลายประเภท ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยของรถแต่ละประเภทจึงแตกต่างกัน สำหรับรถโดยสารประจำทางมีความถี่ในการเดินทางที่สม่ำเสมอและมีเส้นทางในการเดินรถที่แน่นอน จึงได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการหาความเร็วเฉลี่ยและเวลาการเดินทางบนถนนในเขตเมือง โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทาง ได้แก่ Chakroborty and Kikuchi [6] ได้ทำการศึกษาเวลาเดินทางของรถโดยสารประจำทางเพื่อพยากรณ์เวลาเดินทางของรถยนต์ และ พรณรงค์ เลื่อนเพชร และ ธิรยุทธ ลิมานนท์ [7] ได้ศึกษาความเร็วเฉลี่ยของรถโดยสารประจำทางกับความเร็วของกระแสจราจรบนช่วงถนน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา ของกระแสจราจร และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของถนน และ ช่วงเวลาต่างๆ ของวัน โดยใช้ข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ในการวิเคราะห์สร้างแบบจำลอง

2. ขั้นตอนการศึกษา

2.1 คัดเลือกพื้นที่ศึกษา

ทำการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา โดยจะต้องเป็นถนนในเขตเมือง มีช่องทางจราจรทิศทางละ 3-5 ช่องจราจร แบ่งทิศทางจราจรไป-กลับ ด้วยเกาะกลางถนน มีการติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซึ่งของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำหรับเก็บข้อมูลจราจรบนช่วงถนน ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกช่วงถนนเพื่อใช้ในการศึกษาทั้งหมด 6 ช่วงถนน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงถนนที่ทำการศึกษา

ชื่อถนน	ช่วงถนน	วันที่เก็บข้อมูล
รัชดาภิเษก	แยกราชโยธินถึงแยกลาดพร้าว	21 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.
เพชรบุรี(ตัดใหม่)	แยกพร้อมพงษ์ถึงแยกอโศกเพชร	21 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.
พระราม 4	แยกเกษมราษฏร์ถึงแยกคลองเตย	21 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.
สีรินธร	แยกตลิ่งชันถึงแยกบางพลัด	22 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.
เพชรเกษม	แยกราชพฤกษ์ถึงแยกท่าพระ	22 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.
วงศ์สว่าง	แยกพิบูลสงครามถึงแยกวงศ์สว่าง	22 ก.ค. 53 06.00 – 18.00 น.

2.2 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาแบ่งออก 3 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 เป็นข้อมูลลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง ความยาวของช่วงถนน จำนวนทางเข้า-ออก ถนน จำนวนจุดกลับรถ จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่ ตำแหน่งที่ตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซึ่ง จำนวนของป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง ทำการเก็บโดยใช้การวัดระยะเพื่อเก็บรายละเอียด และจัดบันทึกรายละเอียดของข้อมูล ลักษณะทางกายภาพของช่วงถนนที่ศึกษาดังกล่าว

ประเภทที่ 2 เป็นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสรถ (TMS) เก็บข้อมูลโดยทำการถอดข้อมูลจากกล้องอิมเมจโปรเซสซึ่ง ของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

ประเภทที่ 3 เป็นข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) เก็บข้อมูลด้วยวิธี license plate matching technique

2.3 สร้างแบบจำลอง SMS_{bus}

สร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง จากข้อมูลรวมถนนทั้ง 6 สายในพื้นที่ศึกษาแบบจำลอง ที่สร้างมี 3 รูปแบบ คือ

2.3.1 แบบจำลอง $SMS_{bus} 1$

เป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ที่วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง $SMS_{bus} 1$ กับ TMS และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนน ประกอบด้วย ความยาวของช่วงถนน ($Length$) จำนวนช่องจราจร ($Lanes$) จำนวนทางเข้า-ออก ถนน (In_out) จำนวนจุดกลับรถ (U_turn) จำนวนจุดจอดรถแท็กซี่ ($Taxi_bay$) ตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซึ่ง ($Camera$) ลักษณะทางแยกบริเวณปลายทาง ($Down1, Down2$) จำนวนป้ายหยุดรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop) การสร้างแบบจำลองนี้ ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูลสร้างแบบจำลองตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันโดยแบ่งช่วงเวลาวิเคราะห์ออกเป็น 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.) รูปแบบของแบบจำลองมีลักษณะ ดังสมการที่ 4

$$SMS_{bus} 1 = a + b_1 TMS + b_2 Lanes + b_3 Down1 + b_4 Down2 + b_5 Length + b_6 In_out + b_7 U_turn + b_8 Taxi_bay + b_9 Camera + b_{10} Bus_stop \quad (4)$$

โดย $Down1$ กับ $Down2$ เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงลักษณะของทางแยกปลายทาง มี 3 ลักษณะ ดังนี้

$Down1 = 1$ หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ

$Down1 = 0$ หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ มีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่ให้อรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

$Down2 = 1$ หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ มีสะพานลอยข้ามทางแยก และให้อรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

$Down2 = 0$ หมายถึง ลักษณะทางแยกปลายทางเป็นทางแยกสัญญาณไฟ มีสะพานลอยข้ามทางแยก แต่ไม่ให้อรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นสะพานลอยข้ามทางแยก

2.3.2 แบบจำลอง $SMS_{bus} 2$

เป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ที่วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง $SMS_{bus} 2$ กับ

TMS และลักษณะทางกายภาพของช่วงถนน เช่นเดียวกับแบบจำลอง SMS_{bus} 1 แต่ทำการสร้างแบบจำลองเดี่ยว โดยได้นำเอาช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน ($Time1$, $Time2$) มาเป็นตัวแปรอิสระเชิงกลุ่มด้วย การสร้างแบบจำลองนี้ใช้วิธีสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) รูปแบบของแบบจำลองมีลักษณะดังสมการที่ 5

$$SMS_{bus} 2 = a + b_1 TMS + b_2 Lanes + b_3 Down1 + b_4 Down2 + b_5 Length + b_6 In_out + b_7 U_turn + b_8 Taxi_bay + b_9 Camera + b_{10} Bus_stop + b_{11} Time1 + b_{12} Time2 \quad (5)$$

โดย $Time1$ กับ $Time2$ เป็นตัวแปรเทียม (Dummy variables) หมายถึงช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันมี 3 ลักษณะดังนี้

$Time1 = 1$ หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

$Time1 = 0$ หมายถึง ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

$Time2 = 1$ หมายถึง ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

$Time2 = 0$ หมายถึง ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

2.3.3 แบบจำลอง SMS_{bus} 3

เป็นแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง ที่พัฒนาจากสมการความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองแบบ ของ Wardrop แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ขั้นตอน

(1) ขั้นตอนแรก ทำการหาค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ของทุกช่วงถนน และทุกช่วงเวลา

(2) ขั้นตอนที่สอง เมื่อได้ σ_{SMS}^2 ของทุกช่วงถนน และทุกช่วงเวลาแล้ว ทำการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) กับความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสนจราจร (TMS) ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) ดังสมการที่ 6

$$\sigma_{SMS}^2 = a + b_1 TMS + b_2 Lanes + b_3 Down1 + b_4 Down2 + b_5 Length + b_6 In_out + b_7 U_turn + b_8 Taxi_bay + b_9 Camera + b_{10} Bus_stop + b_{11} Time1 + b_{12} Time2 \quad (6)$$

(3) ขั้นตอนที่สาม นำค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ที่ได้ และค่าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสนจราจร (TMS) มาหาค่า SMS_{bus} 3 ในสมการที่ 7 (ซึ่งพัฒนามาจากสมการที่ 3)

$$SMS_{bus} 3 = \frac{TMS}{2} \pm \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2} \quad (7)$$

2.3.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้มีการสร้างแบบจำลอง จึงต้องมีการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อต้องการทราบว่าแบบจำลองมีความสามารถทำนายหรืออธิบายการหา SMS_{bus} ได้อย่างเหมาะสมเพียงใด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความแม่นยำด้วยวิธี Mean Absolute Percent Error (MAPE) และ Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งมีสูตรที่ใช้คำนวณดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \left| \frac{T_t - Y_t}{T_t} \right| \times 100 \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}} \quad (9)$$

โดย

T_t, y_t = ค่าที่แท้จริง
 $Y_t, \hat{y}_t$ = ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง
 N, n = จำนวนตัวอย่าง

โดยที่แบบจำลองใด มีค่า MAPE น้อยแสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำ และแบบจำลองใด มีค่า RMSE น้อยแสดงว่าแบบจำลองนั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง

4. ผลการศึกษา

แสดงผลการสร้างแบบจำลอง SMS_{bus} ทั้ง 3 รูปแบบ นอกจากนี้ยังได้แสดงกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า Estimate SMS_{bus} ที่ได้จากแบบจำลองกับ SMS_{bus} ที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วย

4.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 1

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2 – ตารางที่ 6

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 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_4	Down2	10.864	0.431	25.214	0.000
b_{10}	Bus_stop	- 0.257	0.126	- 2.048	0.041

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 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_9	Camera	10.163	1.134	8.966	0.000

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 1 ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
<i>a</i>	<i>Constant</i>	6.728	0.828	8.129	0.000
<i>b₁</i>	<i>TMS</i>	0.253	0.016	15.398	0.000
<i>b₄</i>	<i>Down2</i>	12.526	0.513	24.441	0.000
<i>b₁₀</i>	<i>Bus_stop</i>	- 0.325	0.152	- 2.148	0.032

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 1 ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
<i>b₁</i>	<i>TMS</i>	0.327	0.023	13.993	0.000
<i>b₄</i>	<i>Down2</i>	7.020	1.559	4.504	0.000

ตารางที่ 6 สรุปผลการสร้างแบบจำลอง 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	33.44 %	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		

ผลการวิเคราะห์รวมทุกช่วงเวลา (All Day) และช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) และจำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop) โดย ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยกและรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่นๆ

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS จำนวนช่องจราจร (Lanes) และตำแหน่งติดตั้งกล้องอิมเมจโปรเซสซิ่ง (Camera)

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS และลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) โดยลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยก และรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะ อื่นๆ

การวิเคราะห์แบบจำลองที่ 1 (SMS_{bus} 1) ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak) ช่วงนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak) ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak) ได้คำนวณค่า MAPE และ RMSE ใหม่ โดยรวมเป็นค่าเดียว เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1 (SMS_{bus} 1) รวมทุกช่วงเวลา (All Day) และแบบจำลองแบบอื่นๆ ได้ค่า MAPE = 34.44 % และ RMSE = 5.651

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 2

ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 7 – ตารางที่ 8

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 2

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_4	Down2	11.145	0.427	26.110	0.000
b_{10}	Bus_stop	- 0.325	0.152	- 2.148	0.032
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

ตารางที่ 8 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 2

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

ผลการวิเคราะห์ มีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ SMS_{bus} คือ TMS ลักษณะทางแยกปลายทาง (Down2) จำนวนป้ายรถโดยสารประจำทาง (Bus_stop) และช่วงเวลาต่างๆ ของวัน (Time1, Time2) โดย ลักษณะทางแยกปลายทางที่มีสะพานลอยข้ามทางแยก และรถโดยสารประจำทางวิ่งขึ้นทางแยกได้ (Down2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} มากกว่าทางแยกลักษณะอื่นๆ และช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (Time1 = 1, Time2 = 0) กับ ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (Time1 = 0, Time2 = 1) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ SMS_{bus} และมีทิศทางตรงกันข้าม มากกว่าช่วงนอกเวลาเร่งด่วน

4.3 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} แบบที่ 3

วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อหาค่าความแปรปรวนของความเร็วแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 9 และ ตารางที่ 10 นำค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ที่ได้ และค่าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาของกระแสนจราจร (TMS) มาหาค่า SMS_{bus} 3 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 11

จากการวิเคราะห์ SMS_{bus} 3 มีค่าความผิดพลาดร้อยละเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่ารากที่สองเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) สูงมากเนื่องจากหาค่าจากค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ซึ่ง ค่า σ_{SMS}^2 เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ TMS ลักษณะทางกายภาพของถนน และช่วงเวลาต่างๆ ของวัน ซึ่งในแต่ละช่วงถนน ค่า σ_{SMS}^2 จะเป็นค่าคงที่ สำหรับแบบจำลอง SMS_{bus} 3 นี้ ไม่สามารถหาค่าได้ในช่วงความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาที่มีค่าน้อยๆ ได้ เนื่องจากค่าสมการของแบบจำลองมีการหาค่ารากที่สองของความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา ลบด้วยค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2) ถ้าความเร็วเฉลี่ยแบบเวลามีค่าน้อยก็จะทำให้ค่าในรากที่สองมีค่าติดลบ จึงไม่สามารถหาค่าของรากที่สองในสมการแบบจำลองได้ ทำให้ไม่สามารถหาค่า SMS_{bus} 3 ได้ในช่วงความเร็วเฉลี่ยแบบเวลาที่มีค่าน้อยๆ

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ SMS (σ_{SMS}^2)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ค่าสัมประสิทธิ์ (B)	Std. Error	t	Sig.
a	Constant	25.003	0.360	69.456	0.000
b_4	Down2	15.545	0.632	24.610	0.000
b_{11}	Time1	- 12.099	0.712	- 17.000	0.000
b_{12}	Time2	- 12.379	1.381	- 8.962	0.000

ตารางที่ 10 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทาง (σ_{SMS}^2)

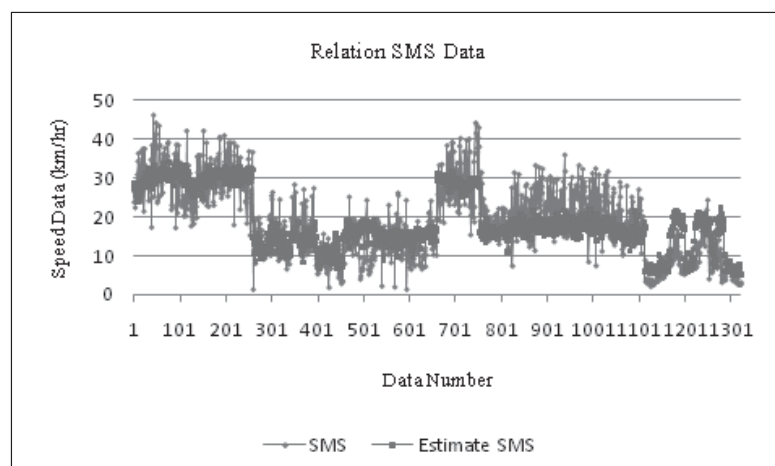
สมการความถดถอย	Adj. R ²
$\sigma_{SMS}^2 = 25.003 + 15.545 \text{ Down2} - 12.099 \text{ Time1} - 12.379 \text{ Time2}$	0.424

ตารางที่ 11 สรุปผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SMS_{bus} 3

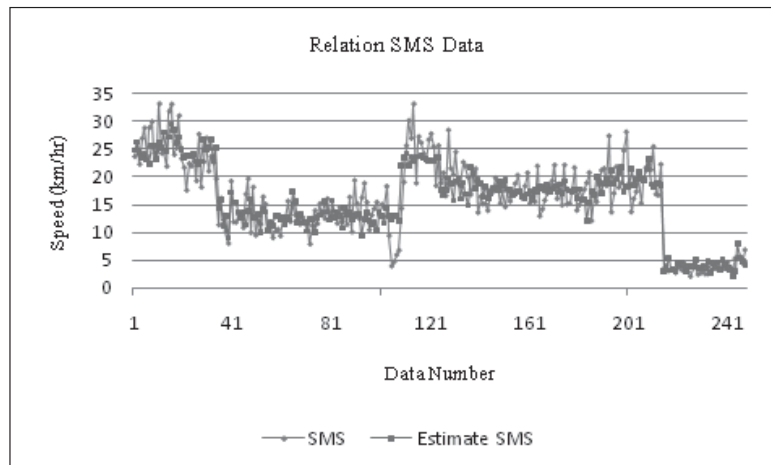
แบบจำลอง SMS _{bus} 3	MAPE	RMSE
$SMS_{bus} 3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$	167.66 %	25.184
$SMS_{bus} 3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$	92.76 %	20.442

4.4 เปรียบเทียบค่า Estimate SMS_{bus} กับ ค่าจริงของ SMS_{bus}

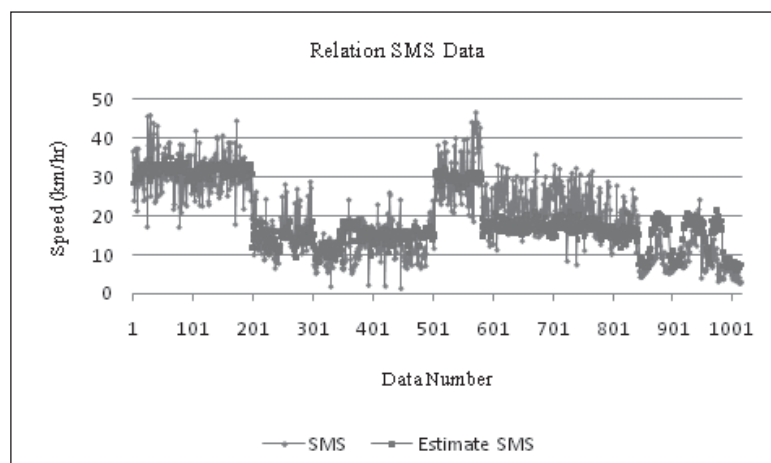
นำค่า Estimate SMS_{bus} ที่ได้จากแบบจำลอง มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับค่าจริงของ SMS_{bus} ที่ได้จากการเก็บข้อมูล เปรียบเทียบกันตามจำนวนข้อมูลของความเร็วทั้งสองแบบดังรูปที่ 1 – รูปที่ 7



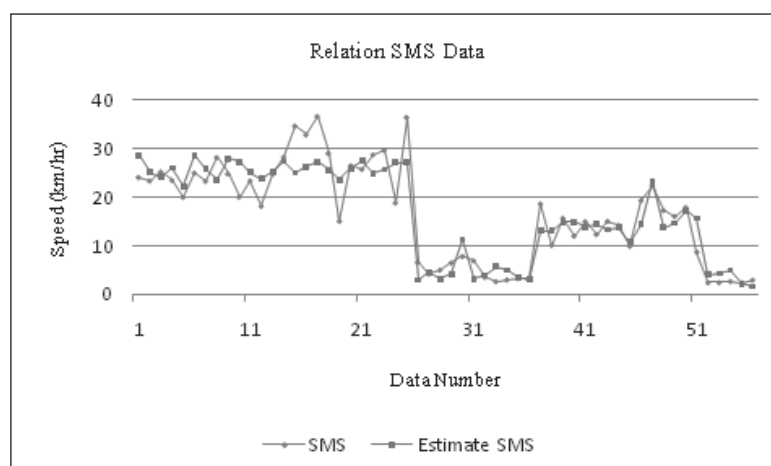
รูปที่ 1 กราฟ Estimate SMS_{bus} 1 กับ SMS_{bus} 1 (All Day)



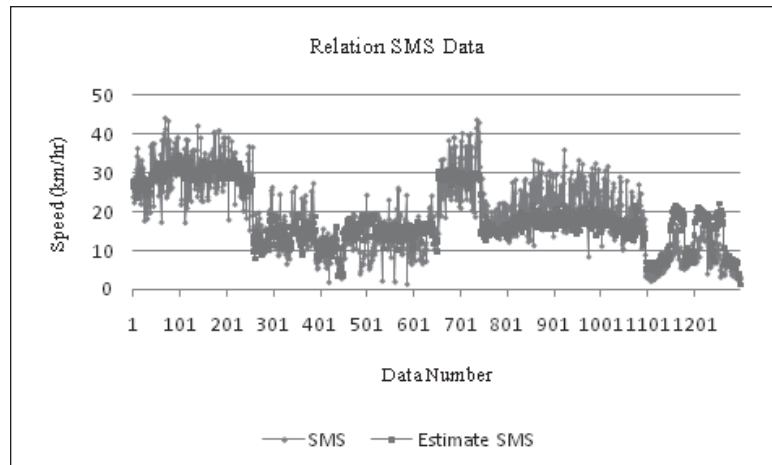
รูปที่ 2 กราฟ Estimate SMS_{bus} 1 กับ SMS_{bus} 1 (A.M. Peak)



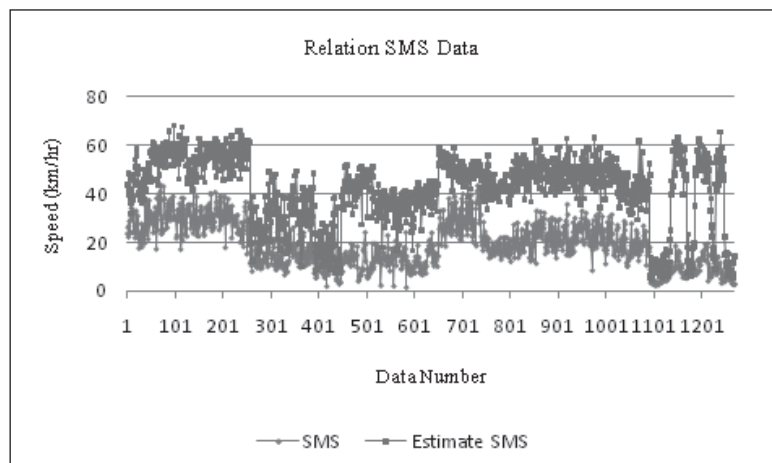
รูปที่ 3 กราฟ Estimate SMS_{bus} 1 กับ SMS_{bus} 1 (Off Peak)



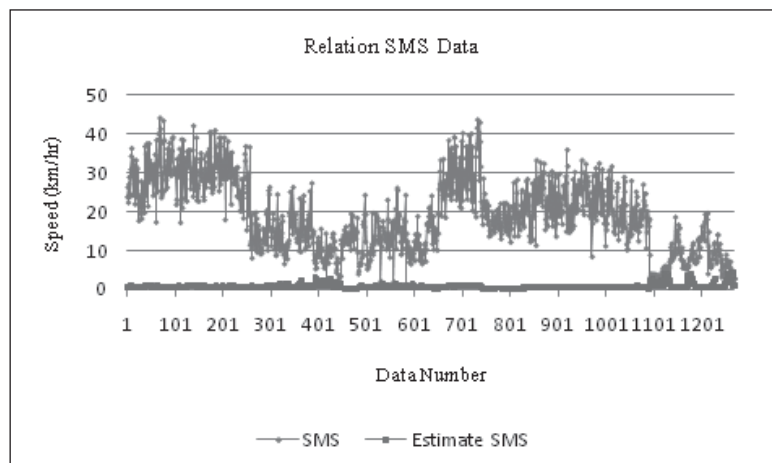
รูปที่ 4 กราฟ Estimate SMS_{bus} 1 กับ SMS_{bus} 1 (P.M. Peak)



รูปที่ 5 กราฟ Estimate SMS_{bus} 2 กับ SMS_{bus} 2



รูปที่ 6 กราฟ Estimate SMS_{bus} 3 กับ SMS_{bus} 3 กรณีเครื่องหมาย (+) ในสมการที่ 7



รูปที่ 7 กราฟ Estimate SMS_{bus} 3 กับ SMS_{bus} 3 กรณีเครื่องหมาย (-) ในสมการที่ 7

จากการเขียนกราฟเปรียบเทียบ ค่า Estimate SMS_{bus} ที่ได้จากแบบจำลอง กับ ค่าจริงของ SMS_{bus} ที่ได้จากการเก็บข้อมูล พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบโดยแบบจำลอง SMS_{bus} 1 ที่แบ่งตามช่วงเวลา (รูปที่ 1 – รูปที่ 4) และจากการเปรียบเทียบโดยแบบจำลอง SMS_{bus} 2 (รูปที่ 5) ค่า Estimate SMS_{bus} จะมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าจริงของ SMS_{bus} ส่วนกรณีการเปรียบเทียบของแบบจำลอง SMS_{bus} 3 (รูปที่ 6 – รูปที่ 7) ค่า Estimate SMS_{bus} จะมีค่าแตกต่างกับค่าจริงของ SMS_{bus} มากโดยในรูปที่ 6 ซึ่งสมการของแบบจำลอง SMS_{bus} 3

คือ $SMS_{bus} 3 = \frac{TMS}{2} + \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$ ค่า Estimate SMS_{bus} จะมีค่ามากกว่าค่าจริงของ SMS_{bus} และในรูปที่ 7 ซึ่งสมการ

แบบจำลอง SMS_{bus} 3 คือ $SMS_{bus} 3 = \frac{TMS}{2} - \sqrt{\frac{TMS^2}{4} - \sigma_{SMS}^2}$ ค่า Estimate SMS_{bus} จะมีค่าน้อยกว่าค่าจริงของ SMS_{bus}

5. สรุปผลการศึกษา

จากการสร้างแบบจำลองความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) แบบที่ 1 และแบบที่ 2 จะได้แบบจำลองในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression) และจากการพัฒนาสมการความสัมพันธ์ของความเร็วทั้งสองแบบของ Wardrop ได้เป็นแบบจำลองที่ 3 นั้น สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปผลการสร้างแบบจำลอง SMS_{bus}

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

จากการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้ค่า MAPE และค่า RMSE จะพบว่าแบบจำลองที่ 1 ที่แยกวิเคราะห์แต่ละช่วงเวลา มีค่า MAPE เท่ากับ 34.44 % และมีค่า RMSE เท่ากับ 5.651 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะนำไปหาความเร็วเฉลี่ยแบบระยะทางของรถโดยสารประจำทาง (SMS_{bus}) ในเขตเมืองจากข้อมูลความเร็วเฉลี่ยแบบเวลา (TMS) และลักษณะทางกายภาพของถนนในเขตเมือง คือแบบจำลองที่ 1 ที่วิเคราะห์แยกแต่ละช่วงเวลา (A.M. Peak, Off Peak, P.M. Peak) ดังนี้

ช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า (A.M. Peak)

$$SMS_{bus} = -15.241 + 0.319 TMS + 4.112 Lanes + 10.163 Camera \quad (10)$$

ชว่่นนอกเวลาเร่งด่วน (Off Peak)

$$SMS_{bus} = 6.728 + 0.253 TMS + 12.526 Down2 - 0.325 Bus_stop \quad (11)$$

ช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น (P.M. Peak)

$$SMS_{bus} = 0.327 TMS + 7.020 Down2 \quad (12)$$

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, “ระบบรายงานสภาพการจราจรแบบ Real Time [ออนไลน์]”, ได้จาก: <http://www.trafinfo.net>, 2553.
- [2] N. J. Garber and L. A. Hoel, “Traffic and Highway Engineering”, 4th ed, Cengage Learning, Connecticut, 2004.
- [3] G. J. Wordrop, “Some theoretical aspect of road traffic research”, Proceeding of the Institute of Civil Engineer, Vol.1(3), 1952, pp 325–362.
- [4] J. Han, J.W. Polak, J. Barria and R. Krishnan, “On the estimation of space–mean–speed from inductive loop detector”, Transportation Planning and Technology. Vol.33(1), 2010, pp. 91–104.
- [5] H. Rakha and W. Zhang, “Estimating traffic stream space mean speed and reliability from dual– and single–loop detectors”, Transportation Research Record 1925, 2005, pp. 36–47.
- [6] P. Chakroborty and S. Kikuchi, “Using bus travel time data to estimate travel times on urban corridors”, Transportation Research Record 1870, 2004, pp. 18–25.
- [7] พรณรงค์ เลื่อนเพชร และ ธีรยุทธ ลิมานนท์, “การประยุกต์ใช้ข้อมูลดำเนินการของรถโดยสารประจำทางเพื่อรายงานความเร็วการจราจรทั่วไปบนช่วงถนน”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, ครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.