

การใช้ข้อมูลจากยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัด (Probe Car) ในการประเมินความล่าช้าของการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร ภายใต้ระดับความอิ่มตัวของถนนที่แตกต่างกัน

Application of Probe Vehicle Data for Traffic Delay Estimation at Signalize Intersections under Varying Degrees of Saturation

พัฒนางค์ จอสอน^{1,*} ชัยณรงค์ เบญจพรทวี² และ ดร.พลเทพ เลิศวรรณิช³

^{1,2,3} สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

*Corresponding author; E-mail address: patta.ng@doh.go.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการตรวจวัดสภาพจราจรต้องพึ่งพาอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งบนถนน ซึ่งมีต้นทุนสูงในการติดตั้งและการบำรุงรักษา อีกทั้งไม่สามารถครอบคลุมทุกพื้นที่ได้อย่างครบถ้วน การใช้ข้อมูลจากยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัด (Probe Cars) จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความยืดหยุ่นในการเก็บข้อมูล อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลจากยานพาหนะทุกคันได้ การศึกษานี้มุ่งศึกษาความคลาดเคลื่อนในการใช้ยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัดเพื่อประเมินความล่าช้า (Delay) ของการจราจร ในสถานการณ์ระดับความอิ่มตัวของถนน (Degree of Saturation: DoS) และร้อยละของยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัดที่สัดส่วนต่างๆ โดยใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Simulation Model) ผ่านโปรแกรม Aimsun เพื่อจำลองสถานการณ์ที่ทางแยกเดี่ยว (Isolated Intersection) ผลการวิเคราะห์พบว่าสัดส่วนข้อมูล Probe ที่มากขึ้นจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินความล่าช้าได้อย่างชัดเจน และยังชี้ให้เห็นว่าการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมของ Probe ควรพิจารณาระดับความอิ่มตัวของถนนร่วมด้วย โดยถนนที่มีระดับความอิ่มตัวต่ำหรือสภาพจราจรเบาบางจำเป็นต้องใช้ Probe ในสัดส่วนที่มากขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ สำหรับถนนที่สภาพจราจรมีความเบาบางมาก (DoS=0.10) ต้องการ Probe ที่เหมาะสมอาจสูงถึงร้อยละ 50 และถนนที่มีระดับความอิ่มตัวสูงหรือมีสภาพจราจรหนาแน่นจะต้องการสัดส่วนของ Probe ที่ต่ำกว่าและยังคงให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ เมื่อสภาพจราจรมีความหนาแน่นสูง (DoS=0.90) จะต้องการสัดส่วนของ Probe เพียงร้อยละ 10 ก็สามารถทำให้ความคลาดเคลื่อนของความล่าช้าต่ำกว่าร้อยละ 10 ได้ การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ข้อมูล Probe เพื่อช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดจราจรเพิ่มเติม และเป็นแนวทางในการนำข้อมูล Probe ไปปรับใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินสภาพจราจร

คำสำคัญ: ความล่าช้าของการจราจร, ระดับความอิ่มตัวของถนน, ยานพาหนะติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัด

Abstract

Currently, traffic monitoring relies heavily on road-installed detection devices, which involve high installation and maintenance costs and often fail to comprehensively cover all areas. An alternative approach is to use data from vehicles equipped with GPS devices (Probe Cars), which offers a cost-effective and flexible solution for data collection. However, this method faces limitations in accuracy due to the inability to capture data from all vehicles. This study investigates the error in using Probe Car data to estimate traffic delays under varying Degrees of Saturation (DoS) and different percentages of GPS-equipped vehicles, using a microscopic traffic simulation model in Aimsun to simulate isolated intersections. The analysis shows that increasing the proportion of Probe Car data significantly reduces delay estimation errors. It also indicates that the optimal proportion of Probe Cars depends on the road's Degree of Saturation (DoS). For roads with low DoS or light traffic, a higher proportion of Probe Cars is needed for accurate data. Specifically, for very light traffic (DoS = 0.10), up to 50% of Probe Cars may be required. In contrast, roads with high DoS or heavy traffic need fewer Probe Cars to achieve accurate results. For high-density traffic (DoS = 0.90), just 10% of Probe Cars is sufficient to keep delay estimation errors below 10%. This study demonstrates the potential of Probe Car data to reduce reliance on additional traffic monitoring devices and provides a framework for improving traffic condition assessments

Keywords: Traffic Delay, Degree of Saturation, Probe Car

1. คำนำ

ในการบริหารจัดการจราจรและปรับปรุงประสิทธิภาพของสัญญาณไฟการติดตามสภาพจราจรที่ทางแยกเป็นปัจจัยสำคัญ โดยทั่วไปการเก็บข้อมูลจราจรที่ทางแยกต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัด เช่น เครื่องตรวจจับแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Loop Detectors) และเซนเซอร์ตรวจวัดความเร็ว ซึ่งมีต้นทุนสูงและอาจไม่สามารถติดตั้งครอบคลุมได้ทุกทางแยก ด้วยเหตุนี้การใช้ข้อมูลจากยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัด (Probe Car) จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าและสามารถเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัด อย่างไรก็ตาม ข้อมูล Probe Car มีข้อจำกัด เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ไม่ได้เก็บจากยานพาหนะทุกคันในระบบจราจร ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินสภาพจราจรที่ทางแยกได้

หนึ่งในพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของทางแยกคือ ค่าความล่าช้า (Delay) ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร ระดับการให้บริการของทางแยก (Level of Service; LOS) และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณต้นทุนด้านเวลาเดินทางของผู้ใช้ทางได้ การประมาณค่าความล่าช้าที่แม่นยำจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนปรับปรุงและบริหารจัดการทางแยก

อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของค่าความล่าช้าที่ได้จาก Probe Car อาจขึ้นอยู่กับ ระดับความอิ่มตัวของถนน (Degree of Saturation; DoS) และ สัดส่วนของยานพาหนะที่เป็น Probe Car การศึกษานี้จึงมีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ โดยใช้แบบจำลองจราจรระดับจุลภาค (Microscopic Traffic Simulation Model) ผ่านโปรแกรม Aimsun เพื่อจำลองสถานการณ์ที่ทางแยกเดี่ยว (Isolated Intersection) และประเมินความคลาดเคลื่อนในการใช้ข้อมูล Probe Car เพื่อคำนวณค่าความล่าช้า ผลการศึกษาคงจะช่วยระบุสัดส่วนของข้อมูล Probe ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินค่าความล่าช้าอย่างแม่นยำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจร และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์สภาพจราจรที่ทางแยกได้

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีทางวิศวกรรมจราจร [1]

2.2.1 ปริมาณจราจร

จำนวนยานพาหนะที่ผ่านจุดใด ๆ บนถนน หรือช่องจราจร หรือทิศทาง ในช่วงเวลาหนึ่ง มีหน่วยวัดเป็นคันต่อเวลา โดยทั่วไปจะใช้เป็น คันต่อวัน หรือ คันต่อชั่วโมง

2.2.2 ความจุ

ความจุถนนเป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ผ่านจุดหรือช่วงถนน ในช่วงระยะเวลาที่กำหนดภายใต้สภาพถนน สภาวะแวดล้อม และอุปกรณ์ควบคุมนั้น

2.2.3 ความล่าช้า

ความล่าช้า คือ เวลาในการเดินทางที่เพิ่มขึ้นสำหรับยานพาหนะ คนเดินเท้า หรือจักรยาน เนื่องจากระบบควบคุมการจราจร เช่น การใช้สัญญาณไฟจราจร ซึ่งถือเป็นหนึ่งในวิธีการควบคุมทางแยก ความล่าช้าสามารถวัดได้จากการเปรียบเทียบผลต่างของเวลาที่ยานพาหนะใช้เพื่อเดินทางข้ามทางแยกระหว่างมีและไม่มีการควบคุมทางแยก

2.2.4 ระดับการให้บริการของทางแยก

ระดับการให้บริการของทางแยก (Level of Service; LOS) คือค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพในการให้บริการของทางแยก ตัวแปรที่ใช้ประเมินค่าระดับการให้บริการผ่านทางแยกและวัดประสิทธิภาพของทางแยก ได้แก่ ความล่าช้า (Delay) โดยตามคู่มือ HCM2010 ระดับการให้บริการ A คือมีความล่าช้าต่อคันต่ำสุด ไปจนถึงระดับการให้บริการ F ที่มีความล่าช้าต่อคันสูงสุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์คุณภาพของการให้บริการที่ทางแยก

ความล่าช้าในการเดินทาง (วินาทีต่อคัน)	ระดับการให้บริการ
≤10	A
> 10 – 20	B
> 20 – 35	C
> 35 – 55	D
> 55 – 80	E
> 80	F

ที่มา : คู่มือ HCM2010

2.2.5 ขีดจำกัดของทางแยก

เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการบริการให้ยวดยานผ่านทางแยกไปได้ เป็นจำนวนยานพาหนะต่อหน่วยเวลา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 1

$$c = S * \frac{g}{C} \quad (1)$$

S คือ อัตราการไหลอิ่มตัว (Saturation Flow rate) , คันต่อชั่วโมง

g คือ ระยะเวลาไฟเขียวประสิทธิภาพ (Effective Green Time) , วินาที

C คือ ระยะเวลาของรอบสัญญาณไฟ (Cycle length) , วินาที

2.2.6 ระดับความอิ่มตัว

ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation; DoS) เป็นค่าบ่งบอกอัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรในแต่ละกลุ่มช่องจราจร คำนวณได้ดังสมการ 2

$$X = \frac{v}{c} = \frac{v}{S * \frac{g}{C}} \quad (2)$$

เมื่อ X คือ ระดับความอิ่มตัว

v คือ ปริมาณจราจร (Traffic Demand) , คันต่อชั่วโมง

c คือ ความจุของถนน (Capacity) , คันต่อชั่วโมง

2.2 โปรแกรมจำลองด้านจราจร

ในการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Aimsun เป็นเครื่องมือหลักในการจำลองสถานะการจราจร โดย Aimsun เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการจำลองจราจรที่มีประสิทธิภาพสูง และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านวิศวกรรมจราจรและการวางแผนระบบขนส่ง เนื่องจากมีความสามารถในการจำลองได้ทั้งแบบจุลภาค (Microscopic), กึ่งจุลภาค (Mesoscopic) และมหภาค (Macroscopic) ในระบบเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ โปรแกรม Aimsun ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองสถานะการจราจรในบริเวณทางแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความล่าช้า (Delay) ของยานพาหนะในระบบจราจรของทางแยกที่สร้างขึ้น

2.3 การทดสอบแบบจำลอง

จากจุดมุ่งหมายในการศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบค่าความล่าช้าที่ได้จากข้อมูลยานพาหนะทั้งหมด เทียบกับค่าความล่าช้าที่ได้จากข้อมูลยานพาหนะประเภท probe เพื่อหาแนวโน้มความเหมาะสมในการใช้ยานพาหนะประเภท probe เป็นตัวแทนในการทำนายค่าความล่าช้าของยานพาหนะทั้งหมด ดังนั้นจะใช้ข้อมูลความล่าช้าที่ได้จากยานพาหนะในแบบจำลอง AIMSUN โดยในการตรวจสอบความถูกต้องของการใช้ probe ทำนาย โดยใช้ค่าร้อยละความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error :MAPE) ซึ่งบ่งบอกเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จากสมการ 3

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Probe_i - All_i}{All_i} \right| \quad (3)$$

โดย Probe คือ ค่าการพยากรณ์ที่ได้จากยานพาหนะประเภท probe และ All คือ ค่าจากข้อมูลยานพาหนะทุกคันในแบบจำลอง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิวข และคณะ [2] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างการประยุกต์ใช้ Mobile Probe กับ Fixed Sensor เพื่อรายงานสภาพจราจรบนทางพิเศษ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเมื่อปริมาณข้อมูลของ Probe Data เพิ่มขึ้นจะยิ่งให้ความแม่นยำในการรายงานความเร็วของกระแสจราจร ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ได้จาก Mobile Probe เพียงร้อยละ 3-5 ของปริมาณยานพาหนะทั้งหมดในระบบ เพียงพอต่อการรายงานสภาพความเร็วบนถนนที่ให้ความแม่นยำมากกว่าร้อยละ 95

Anuar & Cetin [3] ศึกษาการประมาณอัตราการไหลบนทางด่วนด้วยการใช้ข้อมูลจาก probe พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณอัตราการไหลของการจราจร ในสภาวะที่ความหนาแน่นเบาบางจะอยู่ในช่วงร้อยละ -9 ถึงร้อยละ 1 โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ -5 ในขณะที่การประมาณอัตราการไหลของการจราจรในสภาวะที่การจราจรติดขัดจะให้ค่าความผิดพลาดเท่ากับร้อยละ 0 ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้ข้อมูล probe ในการคาดการณ์อัตราการไหลสามารถคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำทั้งในสภาวะที่การจราจรเบาบางและหนาแน่น

ในหลายงานวิจัยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ข้อมูล probe ในการรายงานผลด้วยตัวแปรต่างๆทางด้านวิศวกรรมจราจร แม้ว่าจะมีการศึกษาแนะนำร้อยละที่เหมาะสมกับปริมาณ probe ที่ควรมีเพื่อให้รายงานผลทางจราจรได้อย่างแม่นยำ แต่ไม่ได้คำนึงถึงการมีอุปสรรคหรือการหยุดชะงักของการจราจร เช่น มีจุดตัดทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความจุที่รถสามารถแล่นผ่านทางแยกไปได้ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Lee & Kim [4] ซึ่งทำการประเมินระดับความอึดตัวของถนนโดยใช้เวลาเดินทางโดยเฉลี่ยผ่านทางแยกที่ควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจร พบว่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์จะอยู่ในช่วงระดับความอึดตัวระหว่าง 0.7 ถึง 1.2 ซึ่งขนาดของตัวอย่างมีผลต่อความแม่นยำ

Aljamal et al. [5] ได้ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนยานพาหนะที่เป็น Probe ต่อความแม่นยำของการประมาณจำนวนยานพาหนะที่ทางเข้าทางแยก พบว่าแม้ใช้ข้อมูลจาก Probe Vehicle เพียงร้อยละ 10 ก็สามารถให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยมีค่า RMSE ประมาณร้อยละ 16

Blokpoel & Vreeswijk [6] พบว่าการนำข้อมูล GPS สามารถให้ความแม่นยำในการประเมินความยาวแถวคอยของรถได้ดีกว่าการใช้เครื่องตรวจจับแบบเดิม เนื่องจากสามารถระบุได้ชัดเจนว่ารถแต่ละคันที่มาถึงระหว่างช่วงสัญญาณไฟเขียวอยู่ในกลุ่มสัญญาณใด และการประยุกต์ใช้ probe ที่ทางแยกสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณความยาวแถวคอยได้ดีกว่าเครื่องตรวจจับแบบเดิม และยังชี้ให้เห็นว่าความแม่นยำในการประเมินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อร้อยละของยานพาหนะประเภท probe เพิ่มขึ้น โดยร้อยละของ probe ที่แนะนำคือร้อยละ 30 หรือมากกว่า

Yoshioka et al. [7] พบว่าข้อมูลที่ได้จาก probe cars สามารถนำมาใช้ในการจำแนกได้ว่าความหนาแน่นสูง (Over-saturated) หรือความหนาแน่นต่ำ (Under-saturated) โดยช่วงเวลาที่ข้อมูลจาก probe ประเมินได้ว่าสภาพจราจรหนาแน่นสูง มีความสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มิควรรถสะสมจริงตามการวัดด้วยเครื่องตรวจจับบนถนน จึงกล่าวได้ว่าการใช้ probe cars เพียงอย่างเดียวก็สามารถประเมินสภาพจราจรได้แม่นยำและมีศักยภาพในการทดแทนการติดตั้งเครื่องตรวจจับบนถนน

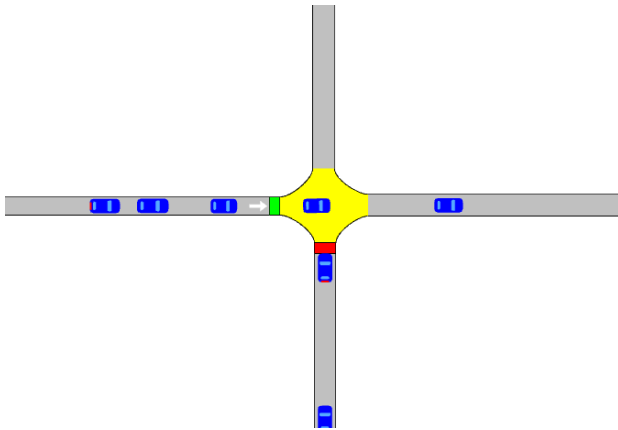
3. วิธีดำเนินการ

ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะประเภท probe มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาที่เลือกใช้เป็นทางแยกสถานการณ์ ณ ทางแยกเดี่ยว (Isolated Intersection) โดยมีลักษณะของทางแยกดังนี้

- ทางแยกเป็นถนนเดินทางเดียว (One-way) มีเฉพาะรถทางตรงจำนวน 1 ช่องจราจรต่อทิศทาง
- มีการควบคุมทางแยกด้วยการใช้สัญญาณไฟจราจรแบบตั้งเวลาคงที่ เพื่อกำหนดลำดับการเคลื่อนตัวของยานพาหนะในแต่ละทิศทาง



รูปที่ 1 ลักษณะของทางแยกที่ใช้ศึกษา

3.2 การสร้างสถานการณ์ของสภาพจราจรที่ทางแยก

ในการสร้างสถานการณ์แบบจำลองเพื่อหาค่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำนายค่าความล่าช้าจากยานพาหนะประเภท Probe จะใช้ตัวแปรหลักในการกำหนดสถานการณ์ประกอบด้วยระดับความอิ่มตัวของถนน (Degree of Saturation, DoS) และ สัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe ดังนี้

2.2.7 ระดับความอิ่มตัวของถนน (Degree of Saturation, DoS)

กำหนดระดับความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละสถานการณ์เพื่อจำลองสภาวะการจราจรที่แตกต่างกัน โดยแบ่งระดับความอิ่มตัวของถนนออกเป็น 5 ระดับเพื่อให้ครอบคลุมตั้งแต่สภาพการจราจรเบาบางไปจนถึงสภาพที่มีความหนาแน่นสูง ได้แก่ 0.1 (การจราจรเบาบาง), 0.3 (การจราจรปานกลาง), 0.5 (การจราจรหนาแน่นปานกลาง), 0.7 (การจราจรหนาแน่น), 0.9 (การจราจรหนาแน่นมาก) โดยค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่ใช้ในการจำลองคือ 1,800 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร

2.2.8 สัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe

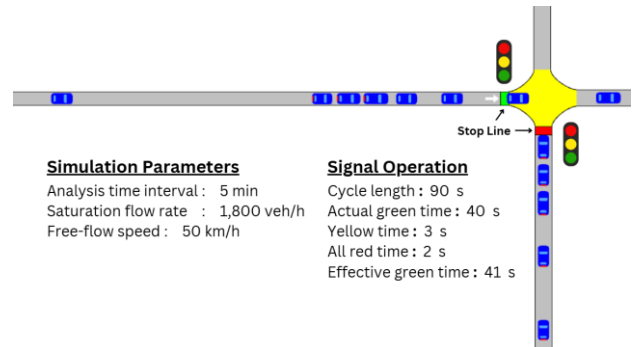
กำหนดสัดส่วนของยานพาหนะที่มีระบบ GPS หรือระบบติดตามตำแหน่งในแต่ละสถานการณ์เพื่อประเมินผลกระทบของสัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อความแม่นยำในการประเมินความล่าช้า โดยแบ่งสัดส่วนออกเป็น 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 1, 10, 25, 50, 75 และ 90

4. ผลการศึกษา

การใช้ข้อมูลจากยานพาหนะ Probe Car ในการประเมินความล่าช้าของการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร ภายใต้ระดับความอิ่มตัวของถนนที่แตกต่างกัน จากการใช้แบบจำลอง AIMSUN ในการจำลองสถานการณ์ตามสถานการณ์ความอิ่มตัวของถนนที่ระดับต่างกันตั้งแต่ปริมาณจราจรเบาบางไปจนหนาแน่นใกล้เคียงความจุ ด้วยสัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe ตั้งแต่น้อยที่สุด 1% ไปจนถึงสัดส่วนมากที่สุดที่ 90% และได้มีการตั้งค่าตัวแปรในแบบจำลองดังรูปที่ 2

ค่าอัตราการไหลอิ่มตัวที่ใช้ในแบบจำลองคือ 1,800 คันต่อชั่วโมงต่อช่องจราจร และไฟเขียวประสิทธิภาพ 41 วินาที รอบสัญญาณไฟยาว 90 วินาที จากสมการที่ 1 จะได้ขีดจำกัดของทางแยก 820 คันต่อชั่วโมง ดังนั้นจะได้

จำนวนสถานการณ์ความอิ่มตัวและสัดส่วนรถประเภท probe ดังตาราง 2 เมื่อ Car คือจำนวนยานพาหนะทั่วไปบนท้องถนน และ Probe คือจำนวนยานพาหนะ



รูปที่ 2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง AIMSUN

ตารางที่ 2 ปริมาณจราจรต่อระดับความอิ่มตัวของถนน (DoS)

ระดับความอิ่มตัว (DoS)	สัดส่วนยานพาหนะประเภท probe (%)	ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)	
		Car	Probe
0.10 (82 คัน/ชั่วโมง)	1	81	1
	10	74	8
	25	62	20
	50	41	41
	75	21	61
	90	8	74
0.30 (246 คัน/ชั่วโมง)	1	244	2
	10	221	25
	25	185	61
	50	123	123
	75	62	184
	90	25	221
0.50 (410 คัน/ชั่วโมง)	1	406	4
	10	369	41
	25	308	102
	50	205	205
	75	103	307
	90	41	369
0.70 (574 คัน/ชั่วโมง)	1	568	6
	10	517	57
	25	431	143
	50	287	287
	75	144	430
	90	57	517
0.90 (738 คัน/ชั่วโมง)	1	731	7
	10	664	74

ระดับความอึดตัว (DoS)	สัดส่วนยานพาหนะ ประเภท probe (%)	ปริมาณจราจร (คันต่อชั่วโมง)	
		Car	Probe
	25	554	184
	50	369	369
	75	185	553
	90	74	664

**ขีดจำกัดทางแยก เท่ากับ 820 คันต่อชั่วโมง

ในการวิเคราะห์แบบจำลองแต่ละชุดของสถานการณ์การจราจรระดับความอึดตัวของถนน (DoS) และ สัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe จะทำการจำลองซ้ำจำนวน 30 ครั้ง (30 replicants) โดยใช้ค่า seed ที่แตกต่างกันในแต่ละครั้ง

4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าจาก probe และค่าจริงในแบบจำลอง

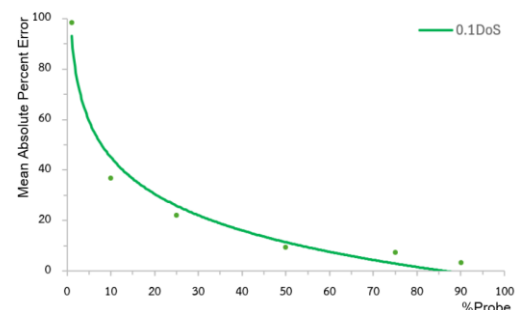
การเทียบค่าความล่าช้าของยานพาหนะทั้งหมดบนท้องถนนเทียบกับค่าความล่าช้าที่ได้จากยานพาหนะประเภท probe ในการศึกษาจะใช้ค่า MAPE เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระดับความอึดตัวของถนนตั้งแต่สภาพจราจรเบาบางไปจนหนาแน่น และสัดส่วนร้อยละยานพาหนะประเภท probe จากน้อยไปมาก ซึ่งค่า MAPE ไม่ควรสูงกว่า 10% จึงถือว่าเป็นร้อยละของ probe ที่เหมาะสมในการสะท้อนถึงค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นจริงบนระดับความอึดตัวของถนน ดังตาราง 3

ตารางที่ 3 ระดับความอึดตัวและสัดส่วน probe ต่อค่า MAPE

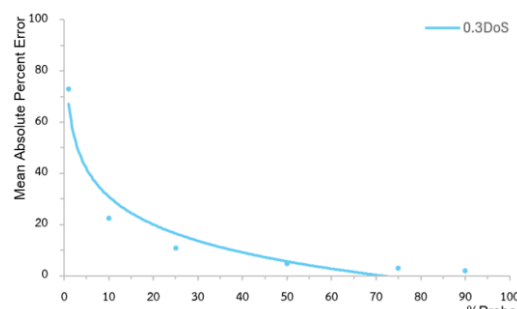
ระดับความอึดตัว (DoS)	สัดส่วนยานพาหนะ ประเภท probe (%)	ค่า MAPE
0.10	1	98.3838273
	10	36.86606704
	25	22.14152853
	50	9.431142306
	75	7.360589389
	90	3.425112889
0.30	1	72.8884889
	10	22.35741219
	25	10.75126479
	50	4.82561171
	75	2.914424001
	90	1.910362176
0.50	1	42.83862495
	10	13.71447218
	25	8.017403716
	50	4.176481602
	75	2.180252978
	90	1.234579741
0.70	1	38.63473051
	10	12.40390877

ระดับความอึดตัว (DoS)	สัดส่วนยานพาหนะ ประเภท probe (%)	ค่า MAPE
	25	5.931573153
	50	2.368632655
	75	1.863874598
	90	0.932384503
0.90	1	24.3293563
	10	7.058985266
	25	4.28161808
	50	1.886865916
	75	1.067087701
	90	0.745056719

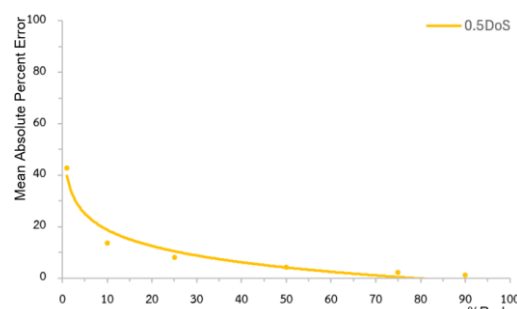
จากตารางที่ 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากค่า MAPE สะท้อนให้เห็นว่ายิ่งสภาพจราจรมีความอึดตัวสูง ค่าความคลาดเคลื่อนจาก probe ยิ่งลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 3-8



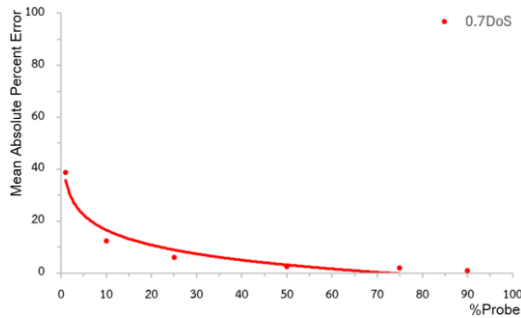
รูปที่ 3 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error เมื่อ DoS = 0.1



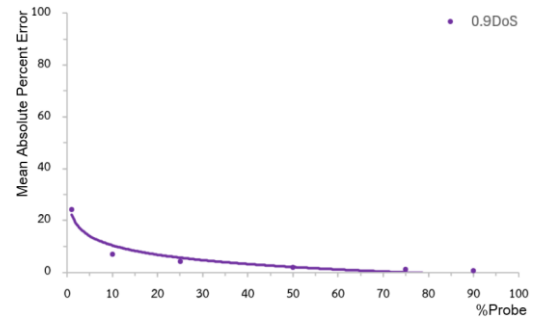
รูปที่ 4 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error เมื่อ DoS = 0.3



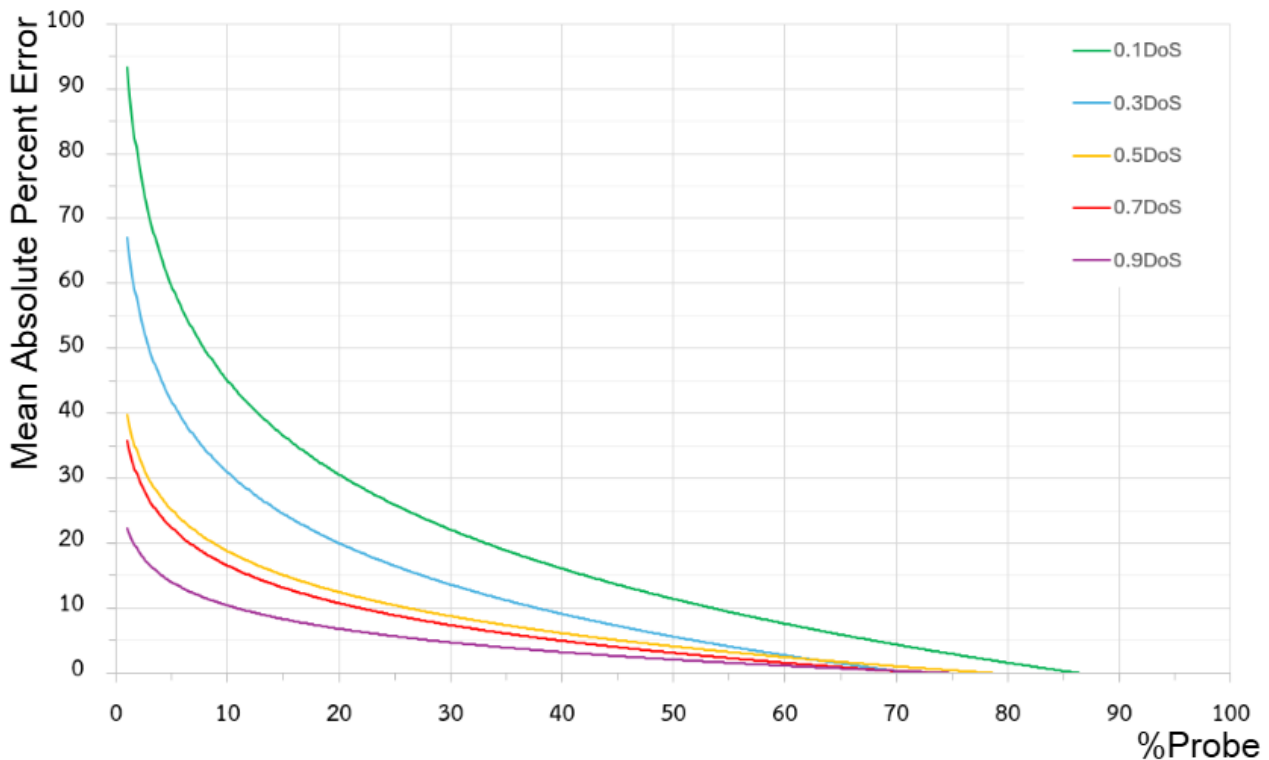
รูปที่ 5 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error เมื่อ DoS = 0.5



รูปที่ 6 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error เมื่อ DoS = 0.7



รูปที่ 7 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error เมื่อ DoS = 0.9



รูปที่ 8 สัดส่วนยานพาหนะประเภท Probe ต่อ %Error ที่ระดับ DoS ต่างๆ

จากรูปที่ 3-8 เมื่อสัดส่วนยานพาหนะประเภท probe เท่ากัน ในระดับความอิ่มตัวที่สูงขึ้น ค่าคลาดเคลื่อนจะลดลง และจากรูปที่ 8 ผลจากการความสัมพันธ์ระหว่างค่า MAPE และสัดส่วนยานพาหนะประเภท probe ได้ผลลัพธ์ของสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้ probe ทำนายค่าความล่าช้าของข้อมูลแล้วได้ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 ดังนี้ สำหรับระดับความอิ่มตัวที่ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ค่าสัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe ที่เหมาะสมโดยประมาณคือร้อยละ 55, 37, 25, 20 และ 10 ตามลำดับ

5. สรุปผล

การศึกษานี้ได้ทำการประเมินความแม่นยำของการใช้ข้อมูลจากยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบุพิกัด (Probe Car) ในการคาดการณ์ค่าความล่าช้าของการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟจราจร ภายใต้ระดับความอิ่มตัวของถนน (Degree of Saturation: DoS) ที่แตกต่างกัน โดยใช้

ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนแบบเฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เป็นเกณฑ์ชี้วัดความแม่นยำของการประเมิน ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามระดับความอิ่มตัวของถนน

ในสภาพจราจรที่มีระดับความอิ่มตัวต่ำ (DoS $\approx$ 0.1) ซึ่งสะท้อนถึงสภาพการจราจรที่คล่องตัว ปริมาณยานพาหนะบนท้องถนนมีจำนวนน้อย ทำให้พฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของรถแต่ละคันมีความแตกต่างและกระจัดกระจายกันมากขึ้น การใช้ probe ในสัดส่วนที่ต่ำสำหรับสถานการณ์นี้อาจทำให้ข้อมูลที่ได้จาก probe ไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของรถทั้งหมดได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากความหลากหลายของความเร็วและการมาถึงที่ทางแยกของรถแต่ละคัน ดังนั้น เพื่อให้ค่า MAPE อยู่ในระดับต่ำ จำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนของ probe ให้สูงขึ้น โดยพบว่าสัดส่วนของ probe ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ประมาณ 50% ในกรณีที่ DoS ต่ำมาก เพื่อให้ข้อมูลจาก probe สามารถสะท้อนพฤติกรรมจราจรโดยรวมได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

กรณีของสภาพจราจรที่มีระดับความอิ่มตัวปานกลาง ($DoS \approx 0.3-0.5$) ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณยานพาหนะบนท้องถนนเริ่มมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่ยังคงมีความคล่องตัวในระดับหนึ่ง พฤติกรรมของยานพาหนะบนท้องถนนเริ่มมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปรูปแบบเดียวกันมากขึ้น เมื่อสภาพการจราจรเริ่มมีความเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ข้อมูลจาก probe จะเริ่มสะท้อนพฤติกรรมของยานพาหนะทั้งหมดได้ดีขึ้น แม้ว่าจะมีสัดส่วน probe น้อยกว่ากรณีที่มี DoS ต่ำมาก ดังนั้น ในระดับนี้พบว่าสัดส่วนของ probe ที่เหมาะสมจะลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 25%–50% ซึ่งยังคงให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำโดยมีค่า MAPE ต่ำกว่า 10%

สำหรับกรณีที่มีระดับความอิ่มตัวของถนนสูงขึ้น ($DoS \approx 0.7$) สภาพการจราจรจะเริ่มมีความหนาแน่นที่ชัดเจน พฤติกรรมของยานพาหนะจะเริ่มมีความเป็นระเบียบมากขึ้น รถจะมีแนวโน้มในการเคลื่อนที่ไปในรูปแบบเดียวกัน ความเร็วของรถจะลดลง และการเปลี่ยนช่องทางหรือการเร่งความเร็วจะลดลง ข้อมูลจาก probe ในระดับนี้จะเริ่มสะท้อนพฤติกรรมของยานพาหนะโดยรวมได้ดีมากขึ้น แม้ว่า probe จะมีสัดส่วนที่น้อยลงก็ตาม เนื่องจากพฤติกรรมของการจราจรมีลักษณะที่เป็นกลุ่มก้อนและมีรูปแบบมากขึ้น สัดส่วนของ probe ที่เหมาะสมในกรณีนี้จะอยู่ที่ประมาณ 25% เพื่อให้ค่า MAPE ต่ำกว่า 10%

ในกรณีของสภาพการจราจรที่มีระดับความอิ่มตัวสูงมาก ($DoS \approx 0.9$) ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความหนาแน่นสูงสุดและใกล้ถึงจุดอิ่มตัว (capacity) ของระบบการจราจร การเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะมีความสม่ำเสมอมากที่สุด ความเร็วของรถจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และพฤติกรรมของยานพาหนะบนท้องถนนจะมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันอย่างชัดเจน ในสภาวะนี้ ข้อมูลจาก probe แม้มีสัดส่วนที่ต่ำก็สามารถสะท้อนพฤติกรรมของยานพาหนะทั้งหมดได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากความแปรปรวนของความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ลดลง สัดส่วนของ probe ที่เหมาะสมในกรณีนี้จะสามารถลดลงเหลือเพียงประมาณ 10%–25% ก็ยังคงให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่า MAPE ต่ำกว่า 10%

จากการศึกษานี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Anuar & Cetin [3] เมื่อปริมาณจราจรหนาแน่นขึ้น ความผิดพลาดจากข้อมูล probe จะลดน้อยลงจึงสามารถสรุปได้ว่า การเลือกสัดส่วนของยานพาหนะประเภท probe ที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงระดับของความอิ่มตัวของถนนในขณะนั้น โดยในสภาพจราจรที่มีความหนาแน่นต่ำ การใช้ปริมาณ probe ในสัดส่วนที่มากขึ้นจะช่วยให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง ในขณะที่ในสภาพการจราจรที่หนาแน่น การใช้ probe ในสัดส่วนที่ต่ำลงยังคงให้ผลที่แม่นยำได้ เนื่องจากพฤติกรรมการจราจรที่มีความเป็นกลุ่มก้อนและเป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น

นอกจากนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้สมมติพื้นที่ศึกษาเป็นทางแยกรูปแบบอย่างง่าย สำหรับการศึกษาในอนาคตอาจจะพิจารณาถึงทางแยกที่ซับซ้อนขึ้นและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง รวมถึงพิจารณาปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการประเมินความล่าช้าจากข้อมูล Probe Car ได้แก่ ความหลากหลายของประเภทยานพาหนะในกระแสจราจร เช่น รถยนต์ รถบรรทุก และรถจักรยานยนต์ ซึ่งมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านความเร็ว ระยะห่างระหว่างคัน (headway) และลักษณะการ

เร่งหรือชะลอ ความแตกต่างเหล่านี้อาจทำให้ข้อมูลจาก Probe Cars ไม่สามารถแทนภาพรวมของการจราจรได้อย่างสมบูรณ์ และหากรถที่ทำหน้าที่เป็น Probe Car มีรูปแบบการเดินทางแตกต่างจากรถทั่วไป เช่น รถแท็กซี่หรือรถขนส่งที่อาจมีการหยุดรับ-ส่งผู้โดยสาร ก็อาจส่งผลต่อความแม่นยำในการประเมินผลเช่นกัน ข้อมูลจาก Probe Cars สามารถนำไปพัฒนาระบบติดตามและประเมินสภาพจราจรแบบ real-time ได้ เพื่อลดการพึ่งพาอุปกรณ์ตรวจวัดที่ต้องติดตั้งบนถนน การพิจารณาปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้การนำข้อมูล Probe ไปใช้งานจริงสะท้อนผลลัพธ์ที่แม่นยำและสอดคล้องกับสภาพการจราจรจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติชัย ธนทรัพย์สิน. (2556). วิศวกรรมจราจรเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 4). ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] ศิวชัย ปัญญาชัยวัฒนากุล, พรณรงค์ เลื่อนเพชร และ เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร. (2563). การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการประยุกต์ใช้ข้อมูล Mobile Probe กับ Fixed Sensor เพื่อรายงานสภาพการจราจรบนทางพิเศษ กรณีศึกษา ทางพิเศษกาญจนาภิเษก (บางพลี-สุขสวัสดิ์). การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25,ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563.
- [3] Anuar, K., & Cetin, M. (2017). Estimating freeway traffic volume using shockwaves and probe vehicle trajectory data. *Transportation Research Procedia*, 25, 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.025>
- [4] Lee, M., & Kim, Y. (2023). Degree of Saturation Estimation Using the Average Travel Time at a Signalized Intersection. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(3), 1298–1311. <https://doi.org/10.1007/S12205-023-0312-9>
- [5] Aljamal, M. A., Abdelghaffar, H. M., & Rakha, H. A. (2021). Real-Time Estimation of Vehicle Counts on Signalized Intersection Approaches Using Probe Vehicle Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22, 2719–2729. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2973954>
- [6] Blokpoel, R., & Vreeswijk, J. (2016). Uses of Probe Vehicle Data in Traffic Light Control. *Transportation Research Procedia*, 14, 4572–4581. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.380>
- [7] Yoshioka, T., Sakakibara, H., Tenhagen, R., Lorkowski, S., & Oguchi, T. (2022). Traffic Signal Control Parameter Calculation Using Probe Data. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 20, 288–298. <https://doi.org/10.1007/s13177-021-00292-z>

