

ผลกระทบของค่าผ่านทางต่อการจราจรในบริเวณเขตชั้นในของกรุงเทพมหานคร

เหมือนมาศ วิเชียรสินธุ์^{1*} และ เกริกเกียรติ อังคนาวิตต์²

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

* Corresponding Author: fengmms@ku.ac.th

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

² นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 25 เมษายน 2561

แก้ไข : 30 พฤษภาคม 2562

ตอบรับ : 24 ตุลาคม 2562

คำสำคัญ :

การเก็บเงินเข้าพื้นที่ที่มี

การจราจรติดขัด /

การจำลองการจราจร /

กรุงเทพมหานคร

บทความนี้เสนอโปรแกรมแบบจำลองจราจรที่สามารถคำนวณได้โดยมีเวลาในการเดินทางระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทางเป็นปัจจัย โปรแกรมดังกล่าวนี้ได้ปรับปรุงและพัฒนาต่อจากโปรแกรมสร้างแบบจำลองของผู้เขียนให้สามารถศึกษาผลกระทบของค่าผ่านทางในราคาต่างๆ ต่อสภาพจราจรในพื้นที่ได้ งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่บริเวณเขตชั้นในของกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ในบริเวณนี้เป็นพื้นที่ที่มีรายได้เฉลี่ยและการจ้างงานสูง และเป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญของกรุงเทพมหานคร มีการเดินทางเข้าออกพื้นที่เป็นจำนวนมาก การวางแผนและบริหารจัดการจราจรจึงเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้ ศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ปริมาณจราจรและความเร็วเฉลี่ย พบว่า การเก็บค่าผ่านทางส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของรถในพื้นที่มากขึ้น ภายใต้สถานการณ์ที่ทำการศึกษา พบว่า ค่าผ่านทาง 10 บาท ทำให้ความเร็วเฉลี่ยของรถในพื้นที่ที่ดีที่สุด คือ 45.96 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าความเร็วเฉลี่ยของรถในพื้นที่เมื่อไม่มีการเก็บค่าผ่านทางร้อยละ 19.82

Effect of Congestion Charging on Traffic Condition in the Inner Area of Bangkok

Muanmas Wichiensin^{1*} and Kroekkiat Angkanawisalya²

Kasetsart University, Ladyaow, Chatuchak, Bangkok 10900

* Corresponding Author: fengmms@ku.ac.th

¹ Assistant Professor, Civil and Environmental Engineering Department.

² Graduate Student, Civil and Environmental Engineering Department.

Article Info

Article History:

Received: April 25, 2018

Revised: May 30, 2019

Accepted: October 24, 2019

Keywords:

Congestion Charging /
Traffic Modeling Software /
Bangkok

Abstract

This paper presents traffic simulation software that can simulate the traffic in a network where congestion charge exists. The software was modified from the existing transportation software, which was previously developed by the authors. The software allows the examination of the effect of congestion charge on a traffic network. In the present investigation, a case study of the inner area of Bangkok was assessed due to its high average income, high employment rate and high traffic density. The model was calibrated using the traffic volume and average speed. It was found that under the condition of this study, 10 baht congestion charge would lead to the highest average network speed at 45.96 km./hr. which are higher than average network speed when no congestion charge about 19.82%.

1. บทนำ

ปัจจุบัน มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ทำให้มีโปรแกรมแบบจำลองจราจรสำเร็จรูปเกิดขึ้นมาเป็นจำนวนมากและหลายหลาย แต่โปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้มีราคาสูง และมีความยืดหยุ่นไม่มาก เนื่องจากไม่สามารถประยุกต์ใช้ตามความต้องการของนักศึกษาและนักวิจัยได้หลายหลายเท่าใดนัก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองจราจรที่มีเวลาในการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทางเป็นปัจจัย โดยโปรแกรมในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อยอดจากโปรแกรมสร้างแบบจำลองของ Angkanawisalya และ Wichiensin [1] ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบจำลองที่ใช้ Frank-Wolfe Algorithms ในการแจกแจงการเดินทางและใช้ Dijkstra's algorithm ในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทาง โดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม และได้ผ่านเกณฑ์การทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์แล้ว งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อยอดโปรแกรมแบบจำลองดังกล่าวโดยเพิ่มปัจจัยในตัดสินใจเลือกเส้นทางของคนจากเฉพาะเวลาเป็นค่าใช้จ่าย ทั้งจากเวลา ตัวเงินและระยะทางวิ่ง โดยการแปลงเวลาในการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทางให้เป็นมูลค่าเงิน ซึ่งทำให้โปรแกรมมีประโยชน์และสะดวกต่อผู้วางแผนจราจรได้มากกว่าเดิม เนื่องจากผู้วางแผนสามารถจำลองสภาพจราจรในพื้นที่ที่มีค่าผ่านทางเป็นปัจจัยร่วมได้ ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้สะท้อนความจริงมากขึ้นทำให้ผู้วางแผนสามารถทำงานได้กว้างขวางขึ้น

งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่บริเวณเขตชั้นในของ กรุงเทพมหานคร เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากปัจจุบันกรุงเทพมหานครเกิดการพัฒนาย่างรวดเร็วในหลายๆด้าน แต่เมืองหลวงอย่างกรุงเทพมหานครนั้นมีพื้นที่จำกัดติดกับปริมาณจราจรที่เพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้ปริมาณจราจรในพื้นที่หนาแน่นโดยเฉพาะบริเวณเขตชั้นในของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญ ดังนั้นผู้วางแผนและบริหารจัดการจราจรจึงต้องทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นในโครงข่ายจากการเก็บค่าผ่านทาง เพื่อจราจรในพื้นที่เกิดความคล่องตัวสูงที่สุด โดยวิเคราะห์จากระยะเวลารวมทั้งระบบ (Vehicle Hour Travel: VHT) ระยะทางวิ่งรวมทั้งระบบ (Vehicle Mile Travel: VMT) และความเร็วเฉลี่ยของคนในพื้นที่ ใช้กรณีศึกษาราคาค่าผ่านทาง 0, 2, 5, 10, 15 และ

20 บาท โดยมีสมมุติฐานว่ารถทุกคันในโครงข่ายถนนเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล (PC) มีค่าทางด่วน 50 บาท งานวิจัยนี้มีการเทียบความถูกต้องด้วยค่าปริมาณจราจร ตามหลักเกณฑ์ของ Department for Transport UK Highways Agency's Design Manual for Roads & Bridges (DMRB) [2] เพื่อให้แบบจำลองใกล้เคียงสภาพความเป็นจริง ก่อนการศึกษาผลกระทบจากการเก็บค่าผ่านทางในราคาต่างๆ

2. จุดประสงค์และขอบเขตของงาน

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองจราจรที่สามารถวิเคราะห์ในรูปแบบเงินได้ ทั้งจากค่าผ่านทาง ค่าเวลา และค่าระยะทางวิ่ง ให้เป็นปัจจัยร่วมได้
- เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าผ่านทางในราคาต่างๆ ต่อสภาพจราจรบริเวณพื้นที่เขตชั้นในของกรุงเทพมหานคร

2.2 ขอบเขตการศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือเขตปทุมวัน ในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า มีสมมุติฐานว่ารถทุกคันในโครงข่ายถนนเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล (PC) และมีค่าทางด่วน 50 บาท ความต้องการเดินทางไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเก็บค่าผ่านทาง เนื่องจากเป็นข้อจำกัดที่ไม่มีข้อมูลการเดินทางที่อาจจะเปลี่ยนแปลงลดจำนวนลง

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยแบบจำลองระดับประเทศในประเทศไทย พบว่า สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [3] ได้พัฒนาแบบจำลองจราจรระดับประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ. 2538 นั่นคือ โครงการพัฒนาแบบจำลองและระบบฐานข้อมูลจราจร (Urban Transport Database and Model Development Project: UTM) โดยโปรแกรม TRIPS ต่อมา พ.ศ. 2540 ได้มีการเปลี่ยนโปรแกรมที่ใช้พัฒนาแบบจำลองเป็น CUBE ในโครงการศูนย์ข้อมูลและแบบจำลองด้านการจราจรและขนส่ง (Transport Data and Model Center: TDMC) หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ TDMC II-VI และโครงการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อเสนอเทศ และแบบจำลอง เพื่อบูรณาการพัฒนาการ

ขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ และระบบโลจิสติกส์ ระยะ 1-2 (Transport Data and Model Integrated with Multimodal Transport and Logistics: TDML I-II) จน พ.ศ. 2558 ได้มีโครงการ (Transport Data and Model Integrated with Multimodal Transport and Logistics: TDL) ซึ่งเป็นโครงการล่าสุด ที่ถูกปรับปรุงให้เพื่อให้แบบจำลองมีความแม่นยำและทันสมัยมากขึ้น

การศึกษาค้นคว้าพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนมากนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม TRIPS พัฒนาโดยบริษัท MVA Systematica ตั้งแต่ปี 1983 โปรแกรมประกอบไปด้วย 4 โปรแกรมย่อย ได้แก่ แบบจำลองความต้องการเดินทาง แบบจำลองวิเคราะห์โครงข่ายถนน แบบจำลองวิเคราะห์โครงข่ายขนส่งมวลชน และแบบจำลองประมาณตารางการเดินทาง ซึ่งโปรแกรมย่อยดังกล่าวมีหน้าที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของผู้ใช้งาน ต่อมาโปรแกรม TransCAD ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท Caliper ตั้งแต่ปี 1985 เป็นโปรแกรมที่ออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้ร่วมกับระบบแผนที่ Geographic Information System (GIS) ต่อมาโปรแกรม CUBE ถูกพัฒนาโดยบริษัท CITILABS โปรแกรมถูกออกแบบมาให้แนะนำสมมติฐานได้หลายมิติ ต่อมาโปรแกรม PTV Visum เป็นโปรแกรมแบบจำลองจราจรระดับ Macroscopic สามารถแสดงผลพร้อมระบบ GIS พัฒนาโดยบริษัท PTV (Planung Transport Verkehr AG) ในเยอรมัน ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้มีจุดประสงค์หลักคือ จำลองสภาพการจราจรในโครงข่ายถนน เพื่อศึกษาผลกระทบในการปรับปรุงหรือออกแบบทางของโครงการด้านขนส่ง พร้อมทั้งประเมินและวิเคราะห์สภาพจราจรในกรณีต่างๆ

งานวิจัยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา Wichiensin และคณะ [4] ได้ทำการศึกษา “การบรรเทาปัญหาการจราจรเมื่อปิดแยกราชประสงค์” จำลองสภาพจราจรในพื้นที่โดยโปรแกรมแบบจำลองระดับจุลภาค VISSIM ใช้หลักเกณฑ์เปรียบเทียบของ (DMRB) ซึ่งได้ผลลัพธ์ คือ ลดจราจรขาเข้าถนนวิทยุร้อยละ 25 ทำให้ความเร็วโดยรวมทั้งระบบมากที่สุด และการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากวิศวกรรมจราจรระหว่างในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาพบว่า พ.ศ.2559 Wichiensin และคณะ [5] ได้ทำการศึกษา “ข้อเสนอแนะเพื่อการแก้ไขปัญหาจราจรสำหรับงานเกษตรแห่งชาติ” จำลองสภาพจราจรในพื้นที่โดยโปรแกรม CORSIM พบว่า การห้ามการจอดรถในถนนสายหลักในมหาวิทยาลัยเป็น

ตัวเลือกที่ส่งผลดีที่สุด ซึ่งสามารถเพิ่มความเร็วเฉลี่ยจากเดิมได้ร้อยละ 10 และลดความล่าช้ารวมจากเดิมได้ร้อยละ 6 ต่อมา พ.ศ.2560 Wichiensin และคณะ [6] ได้ทำการศึกษา “แบบจำลองการจราจรในพื้นที่ธุรกิจของกรุงเทพมหานคร” จำลองสภาพจราจรในพื้นที่เศรษฐกิจ ทั้งหมด 12 แยก โดยโปรแกรม VISSIM และเปรียบเทียบโดยใช้ปริมาณจราจร ความยาวแถวคอย และระยะเวลาในการเดินทาง ตามหลักเกณฑ์ (DMRB) พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง เพราะดัชนีจากการเปรียบเทียบแบบจำลองมีค่า ผ่านมาตรฐาน และใกล้เคียงความเป็นจริงมาก ต่อมา พ.ศ.2560 Yamuang และ Kietkomol [7] ได้ทำการศึกษา “การปรับปรุงระบบช่องเดินรถสี่ทาง ถนนเพชรบุรี” จำลองสภาพการจราจรโดยโปรแกรม VISSIM งานวิจัยนี้ทำการในการเลือกทิศทางจราจรที่มีสิทธิในการใช้งานช่องเดินรถสี่ทาง โดยวิธีช่วงเวลาตายตัว ได้ผลลัพธ์คือ ปริมาณจราจรของทิศทางที่มีสิทธิในการใช้งานช่องเดินรถสี่ทางเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้า 7:15 - 8:15 น. ร้อยละ 12.91 จากเดิมและเพิ่มขึ้นในเวลา 8:15 - 9:15 น. ร้อยละ 3.26 จากเดิม ต่อมา พ.ศ.2561 เกริกเกียรติ อังคนาวีศัลย์ และ เหมือนมาศ วิเชียรสินธุ์ ได้ทำการศึกษา “โปรแกรมเพื่อพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนน” งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนน โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม TAPAS และ Julia พบว่า ผลลัพธ์จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อถือได้ เนื่องจากค่าการเปรียบเทียบไม่เกินร้อยละ 15 ตามหลักเกณฑ์ [8]

3.2 ทฤษฎี

3.2.1 Frank-Wolfe Algorithm

เป็นอัลกอริทึมสำหรับแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนนให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระบบเหลือน้อยที่สุด ถูกคิดขึ้นในปี 1956 โดย Marguerite Frank และ Philip Wolfe [9] อัลกอริทึมนี้มีสมมุติฐานว่าเวลาในการเดินทางเป็นไปตามสมการ BPR ผู้เดินทางรู้จักเส้นทางในพื้นที่เป็นอย่างดีและมีความต้องการเดินทางในระบบคงที่ การทำให้โครงข่ายถนนเกิด Equilibrium หรือสมดุลได้นั้นสามารถทำได้โดยแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear programming) ดังนี้

$$\sum_a \int_0^{x_a} [(t_a(w) \times VOT) + (Distance_a \times VOC) + Charging_a] dw$$

และ

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} ; f_k^{rs} \geq 0$$

โดยที่

- x_a = ปริมาณจราจร (Flow) บน link a
 - t_a = เวลาที่ใช้เดินทาง (Travel Time) บน link a
 - VOT = มูลค่าเวลาในการเดินทาง (Value of Time)
 - Distance_a = ระยะทางของ link a
 - VOC = ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle Operating Cost)
 - Charging_a = ค่าผ่านทางของ link a
 - f_k^{rs} = ปริมาณจราจรบนเส้นทาง k จากจุดเริ่มต้น r ไปปลายทาง s
 - q_{rs} = อัตราปริมาณจราจรระหว่างจุดเริ่มต้น r และปลายทาง s
- ขั้นตอนในการคำนวณ Frank-Wolfe Algorithm สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมพร้อม

ทำ all-or-nothing assignment โดยมี $Z_a(0) = [(t_a(0) \times VOT) + (Distance_a \times VOC) + Charging_a]$
ให้ผลลัพธ์เป็น $\{x_a^1\}$ และกำหนดให้รอบ $n = 1$

ขั้นตอนที่ 2 : อัปเดต

กำหนดให้ $Z_a^n = [(t_a(x_a^n) \times VOT) + (Distance_a \times VOC) + Charging_a]$

ขั้นตอนที่ 3 : หาทิศทาง

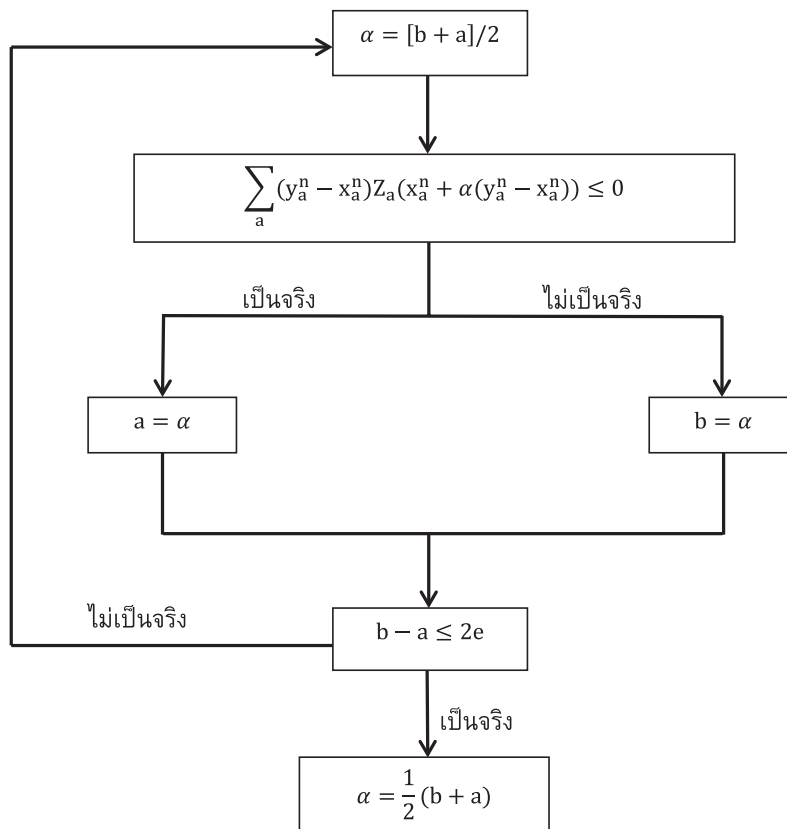
ทำ all-or-nothing assignment จาก $\{Z_a^n\}$ และให้ผลลัพธ์เป็น เซตของปริมาณจราจรชุดเสริม $\{y_a^n\}$

ขั้นตอนที่ 4 : หาเส้นทาง

หา α ที่สามารถแก้สมการ

$$\min_{0 \leq \alpha \leq 1} \sum_a \int_0^{x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n)} Z_a(w) dw$$

สามารถแก้สมการดังกล่าวได้โดยใช้ Bisection Algorithm ซึ่งมีกระบวนการดังนี้
กำหนดให้ $b = 1$, $a = 0$ และ $e = \text{error}$ ที่ยอมรับได้



ขั้นตอนที่ 5 : เคลื่อนที่

กำหนดให้ $x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n), \forall a$

ขั้นตอนที่ 6 : ตรวจสอบคลาดเคลื่อน

เมื่อความต่างของ GAP อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ให้หยุด และให้ x_a^{n+1} เป็นเซตของปริมาณจราจรโครงข่ายถนน หากความต่างของค่า GAP อยู่ไม่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ให้กำหนด $n = n + 1$ และทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

3.2.2 The Bureau of Public Roads

The Bureau of Public Roads [10] หรือเรียกสั้นๆ ว่า BPR เป็นสมการมาตรฐานของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเดินทางและปริมาณจราจรบนถนน มีสมการดังนี้

$$t(x_a) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{x_a}{c} \right)^\beta \right]$$

โดยที่

$t(x_a)$ = เวลาในการเดินทางบนถนน a

t_0 = เวลาในการเดินทางเมื่อไม่มีรถบนถนน (Free Flow Time)

x_a = ปริมาณจราจรบนถนน a (Flow)

c = ความจุถนน (Capacity) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของถนน โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ความจุถนนเป็นไปตามฐานข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

α, β = เป็นค่าคงที่ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้

$$\alpha = 0.15, \beta = 4$$

3.2.3 ค่าใช้จ่าย (Cost)

ในกระบวนการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของ Frank-Wolfe Algorithm จะใช้ค่าใช้จ่าย (Cost) เป็นปัจจัยในการเลือกเส้นทาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

เวลาในการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทาง โดยแปลงมูลค่าของปัจจัยเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของเงินบาท สูตรคำนวณค่า Cost เป็นดังนี้

$$\text{Cost} = [\text{Travel Time} \times \text{VOT}] + [\text{Distance} \times \text{VOC}] + \text{ค่าผ่านทาง}$$

โดยที่

Travel Time = ระยะเวลาเดินทางจากการแจกแจงการเดินทางในโครงข่าย

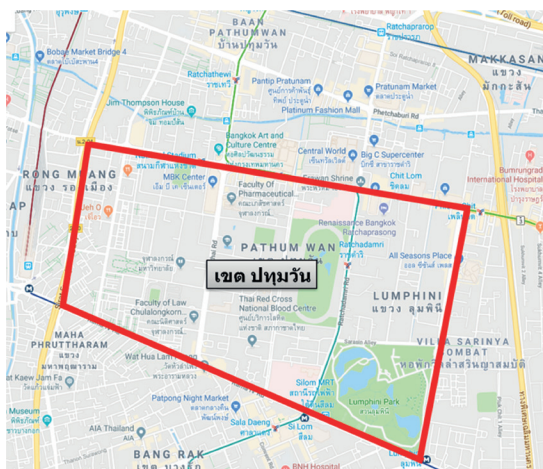
ขนส่งและจราจร การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDL)” สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม พ.ศ. 2558 [3]

Value of Time (VOT) คือ มูลค่าเวลาในการเดินทาง มีหน่วยเป็น (บาท/นาทีก) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ใช้ VOT เท่ากับ 1.28 บาท/นาทีก ส่วน Vehicle Operating Cost (VOC) คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการใช้ยานพาหนะ มีหน่วยเป็น (บาท/กิโลเมตร) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ใช้ (VOC) เท่ากับ 2.977 บาท/กิโลเมตร โดยอ้างอิงจาก “โครงการศึกษาพัฒนาปรับปรุง บำรุงรักษาระบบฐานข้อมูล ข้อเสนอแนะและแบบจำลอง เพื่อบูรณาการพัฒนาระบบ

4. วิธีการดำเนินงาน

4.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ของเขตปทุมวันในปี 2556 เป็นพื้นที่ในการศึกษาความเหมาะสมของราคาค่าผ่านทางเข้า-ออกพื้นที่ ดังรูปที่ 1 ซึ่งโครงข่ายนี้มี 152 Nodes, 54 Zones, 347 Links โดยคิดค่าผ่านทางเมื่อเดินทางผ่านเข้าเขตพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยเส้นทึบ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 6 กรณี ได้แก่ ราคาค่าผ่านทาง 0, 2, 5, 10, 15 และ 20 บาท โดยคิดค่าผ่านทางราคาเต็มหากเดินทางผ่านเข้าเขตพื้นที่ที่ล้อมด้วยเส้นทึบ และคิดค่าผ่านทางร้อยละ 10 ของราคาเต็ม เมื่อเริ่มต้นเดินทางจาก Zone ในพื้นที่ ตามหลักเกณฑ์ของ Transport for London (TfL)

[11] นอกจากนี้ในพื้นที่ศึกษายังมีเส้นทางด่วนขาลง 2 แห่ง ซึ่งกำหนดให้คิดค่าผ่านทาง 50 บาท ในทุกกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้มีดัชนีที่ชี้วัดประสิทธิภาพของราคาค่าผ่านทางต่อสภาพจราจรในพื้นที่ 3 ค่า ได้แก่ VHT, VMT และความเร็วเฉลี่ยของรถในระบบ มีสูตรดังนี้

$$VHT = \sum_a \sum_i t_i^a$$

$$VMT = \sum_a \sum_i d_i^a$$

$$AveSpd = \frac{VMT}{VHT}$$

โดยที่

VHT = ระยะเวลาวิ่งรวมทั้งระบบ

t_i^a = เวลาในการเดินทางของรถ i ใน Link a

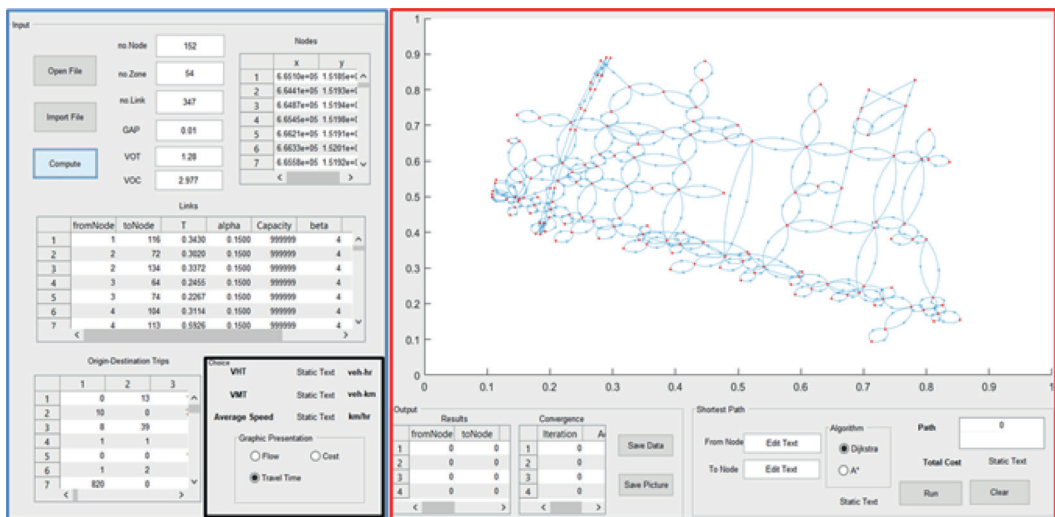
VMT = ระยะทางวิ่งรวมทั้งระบบ

d_i^a = ระยะทางวิ่งของรถ i ใน Link a

AveSpd = ความเร็วเฉลี่ยของรถในระบบ

4.2 โปรแกรมที่ใช้

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้ต้องการ Input ข้อมูลโครงข่ายถนนในรูปแบบ Excel File และโปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์เป็นรูปโครงข่าย เพื่อให้สะดวกต่อการเข้าใจของผู้ใช้ หน้าต่างโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Input, Choice และ Output ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน้าต่างโปรแกรม

ในส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนของ Input นั่นคือ ส่วนที่โปรแกรมรับข้อมูลโครงข่ายถนนเข้ามาเก็บไว้ ซึ่งข้อมูลที่โปรแกรมต้องการได้แก่ จำนวนของ Node, Zone, Link, GAP, VOT และ VOC ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดเองได้ ต่อมาคือ ตำแหน่งพิกัด (X,Y) ของ Node ลำดับถัดมาคือ ข้อมูลของโครงข่ายถนน ซึ่งประกอบด้วย (T, Capacity, α , β , Baht, Distance) โดย T คือเวลาที่ใช้เดินทางเมื่อไม่มีรถบนถนน (Free Flow Travel Time), Capacity คือ ความจุของถนน, (α , β) คือค่าคงที่ นอกจากนี้โปรแกรม

ยังต้องการข้อมูลความต้องการเดินทางในโครงข่ายถนนในรูปแบบของ Excel File โดยงานวิจัยฉบับนี้ใช้ปริมาณการเดินทางในปี 2556 และมี OD Trip matrix ขนาด 54x54 การใส่ข้อมูลนั้นเริ่มแรกผู้ใช้ต้องกดปุ่ม Open File และ Import File ก่อน เพื่อทำการนำข้อมูลโครงข่ายมาเก็บไว้ในโปรแกรม หากข้อมูลครบถ้วนโปรแกรมจะแสดงข้อมูลโครงข่ายขึ้นมาในด้านซ้ายของหน้าต่างโปรแกรม หลังจากนั้นจึง Compute เพื่อให้โปรแกรมเริ่มจำลองสภาพจราจร ซึ่งโปรแกรมจะใช้วิธี Frank-

Wolfe Algorithms ในการแจกแจงการเดินทาง และใช้ Dijkstra's Algorithm ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วในการจำลองสภาพจราจรคือ ขนาดของโครงข่ายถนน ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ใช้เวลาในการจำลองสภาพจราจรทั้งสิ้น 12 นาที ต่อมาในส่วนของการทางเลือกในการแสดงผล Choice นั้นเป็นการเลือกเพื่อให้โปรแกรมแสดงรูปโครงข่ายถนน ในแบบที่ผู้ใช้ต้องการ หลังจากโปรแกรมแสดง VHT, VMT และ Average Speed แล้ว ผู้ใช้สามารถกำหนดให้โปรแกรมแสดงข้อมูลบนรูปโครงข่ายถนนได้ 3 แบบได้แก่ ปริมาณจราจร (Flow), เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Travel Time) และ ค่าใช้จ่ายที่ใช้เดินทาง (Cost) โดยส่วนของ Choice นี้จะอยู่ด้านล่างซ้ายของโปรแกรม

ในส่วนสุดท้ายซึ่งเป็นส่วนของ Output นั้นเป็นส่วนที่แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณของโปรแกรมซึ่งได้แก่ ตาราง Result,

ตาราง Convergence และ รูปโครงข่ายถนน โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ต่างๆในด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรม นอกจากนี้โปรแกรมสามารถบันทึกผลลัพธ์และรูปโครงข่ายถนนได้ โดยการกดปุ่ม Save Data และ Save Picture ตามลำดับ

5. การเปรียบเทียบ

การศึกษานี้ได้ใช้หลักเกณฑ์ของ Department for Transport UK Highways Agency's Design Manual for Roads & Bridges (DMRB) [2] ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากโปรแกรมและผลลัพธ์จริง ซึ่ง DMRB เป็นหลักเกณฑ์ของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมและความน่าเชื่อถือสูง ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบต้องผ่านตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ จึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมนั้นมีความน่าเชื่อถือ โดยมีดัชนีการเปรียบเทียบความถูกต้องดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การเปรียบเทียบของ DMRB

ค่าการเปรียบเทียบ	เกณฑ์การเปรียบเทียบ	เป้าหมายการเปรียบเทียบ
ปริมาณจราจร	GEH < 5	เปรียบเทียบแล้วได้ค่า GEH < 5 เป็นจำนวน > 85% ของ Link ทั้งหมด

ที่มา: Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges (DMRB) Vol. 12 Department for Transport UK. 2018.

GEH นั้นเป็นดัชนีสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณจราจรจากโปรแกรมและปริมาณจราจรจากการสำรวจ ถูกคิดขึ้นในปี 1970 โดย Geoffrey E. Havers และมีสมการดังนี้

$$EH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

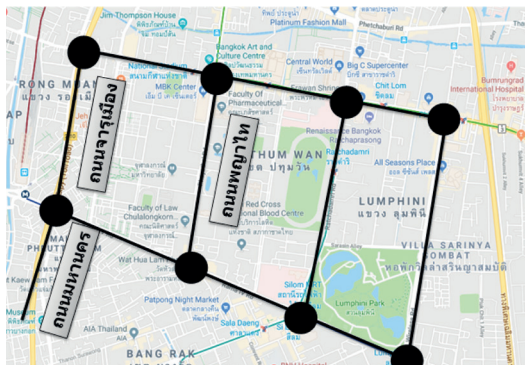
โดยที่

M = ปริมาณจราจรในแต่ละ Link จากโปรแกรม

C = ปริมาณจราจรในแต่ละ Link จากการสำรวจ

เนื่องจากโปรแกรมในงานวิจัยฉบับนี้เป็นโปรแกรมแบบจำลองระดับ Macroscopic ดังนั้นจึงทำการเฉลี่ยปริมาณจราจรบนถนนเปรียบเทียบกับปริมาณจราจรบนถนนจริงจากการ

สำรวจโดย สถิติปริมาณจราจร ปี 2556 ของสำนักงานการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร [12] ซึ่งได้มีการจัดเก็บข้อมูลปริมาณจราจรของถนนจำนวน 3 สาย ได้แก่ ถนนจรัญเมื่องถนนมหานคร และถนนพญาไท ดังรูปที่ 3 สาเหตุที่ใช้ข้อมูลสถิติจราจรปี 2556 เนื่องจากให้เป็นข้อมูลความต้องการเดินทางในปีเดียวกับข้อมูลของงานวิจัยฉบับนี้



รูปที่ 3 ถนนในเขตปทุมวัน

6. ผลการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบในด้านปริมาณจราจรบนถนนจำนวน 3 สาย ได้แก่ ถนนจตุรเมือง ถนนมหาราช และถนนพญาไท ได้ผลว่า GEH น้อยกว่า 5 ในทุกถนน ผ่านเกณฑ์การเปรียบเทียบ

ของ DMRB ดังตารางที่ 2 ทำให้สรุปได้ว่า ผลลัพธ์การคำนวณของโปรแกรมใกล้เคียงสภาพจราจรในพื้นที่จริงและสามารถเชื่อถือได้

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณจราจรบนถนน

ถนน (Link)	ปริมาณจราจร (คัน)		GEH
	จำลอง	จริง	
จตุรเมือง	3,203	3,096	1.90
มหาราช	1,897	1,825	1.66
พญาไท	3,325	3,115	3.70

ในการเปรียบเทียบระยะเวลาในการเดินทางได้เปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองกับผลลัพธ์จากการสำรวจในช่วงเวลาเร่งด่วนเช้าตามช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลการเดินทางที่ใช้ใน

แบบจำลอง ผลจากการเปรียบเทียบพบว่า เวลาในการเดินทางของแบบจำลองและเวลาในการเดินทางของแบบจำลองจริงมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 15 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการเดินทางในพื้นที่ศึกษา

จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	เวลาในการเดินทาง (วินาที)		%ความแตกต่าง
		แบบจำลอง	จริง	
แยกพงษ์พระราม	แยกมหาราช	162	184	11.95
แยกปทุมวัน	แยกสามย่าน	108	117	7.69
แยกราชประสงค์	แยกปทุมวัน	81	95	14.73
แยกสามย่าน	แยกศาลาแดง	83	92	9.78

ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบในด้านปริมาณจราจรและเวลาในการเดินทางทั้ง 2 ด้านผ่านหลักเกณฑ์ของ DMRB ทำให้สรุปได้ว่า ผลลัพธ์การคำนวณของโปรแกรมใกล้เคียงสภาพจราจรในพื้นที่จริงและสามารถเชื่อถือได้

7. ผลกระทบของค่าผ่านทาง

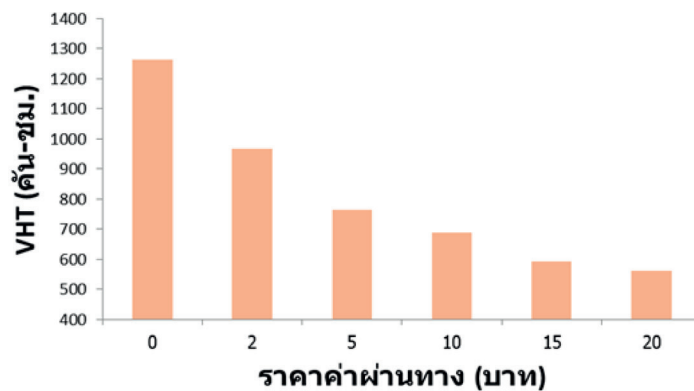
ผลกระทบของค่าผ่านทางต่อ VHT, VMT และความเร็วเฉลี่ยจากโปรแกรมสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลกระทบของราคาค่าผ่านทาง

ค่าผ่านทาง (บาท)	VHT (คัน-ชั่วโมง)	VMT (คัน-กิโลเมตร)	ความเร็วเฉลี่ยของ คนในระบบ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
0	1,263.43	48,459.67	38.35
2	965.57	39,989.36	41.41
5	763.94	34,541.28	45.21
10	688.34	31,636.54	45.96
15	592.36	27,001.75	45.58
20	560.01	25502.70	45.53

เวลาในการเดินทาง VHT รวมทั้งระบบนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า การเก็บค่าผ่านทางส่งผลให้เวลาในการเดินทางรวมทั้งระบบมากขึ้น ดังรูปที่ 4 โดยการเก็บค่าผ่านทาง 2, 5, 10, 15

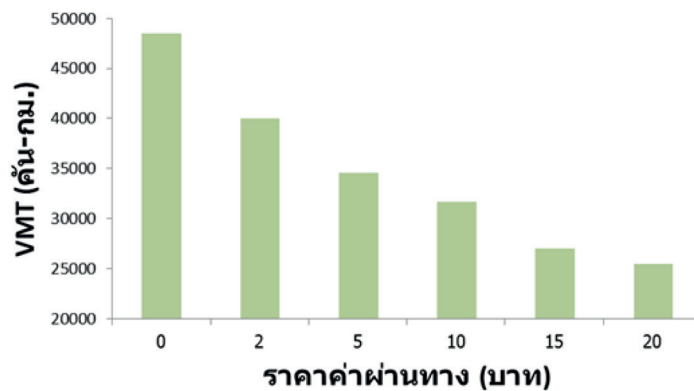
และ 20 บาท ส่งผลให้เวลาในการเดินทางรวมทั้งระบบน้อยลง ร้อยละ 23.57, 39.53, 45.51, 53.11 และ 55.67 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่เก็บค่าผ่านทาง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผ่านทางและ VHT

ต่อมาในด้านระยะเดินทาง VMT รวมทั้งระบบ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การเก็บค่าผ่านทางส่งผลให้ระยะเดินทางรวมทั้งระบบน้อยลง ดังรูปที่ 5 โดยการเก็บค่าผ่านทาง 2, 5, 10, 15

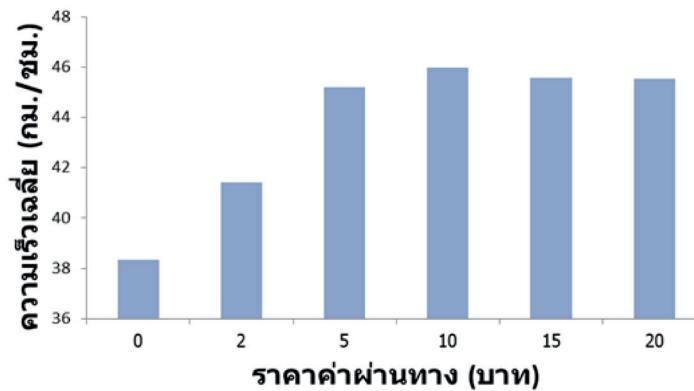
และ 20 บาทส่งผลให้เวลาในการเดินทางรวมทั้งระบบมากขึ้น ร้อยละ 17.47, 28.72, 34.71, 44.27 และ 47.37 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่เก็บค่าผ่านทาง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผ่านทางและ VMT

ในด้านของความเร็วเฉลี่ยของทั้งระบบ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การเก็บค่าผ่านทางส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของทั้งระบบมากขึ้น ดังรูปที่ 6 โดยการเก็บค่าผ่านทาง 2, 5, 10, 15, และ

20 บาท ส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของทั้งระบบน้อยลงร้อยละ 7.97, 17.88, 19.82, 18.84 และ 18.72 ตามลำดับเมื่อเทียบกับการไม่เก็บค่าผ่านทาง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผ่านทางและความเร็วเฉลี่ยของคนในระบบ

จากรูปที่ 4, 5 และ 6 ทำให้ทราบว่า ค่าผ่านทางในช่วง 0 ถึง 5 ซึ่งเป็นช่วงแรกที่เริ่มเก็บ มีความอ่อนไหวต่อผลลัพธ์มากกว่าช่วงหลังจาก 5 บาท อย่างไรก็ตาม หากราคาค่าผ่านทางมีผลต่อความต้องการเดินทางส่งผลให้จำนวนรถในพื้นที่ศึกษาลดลงกว่ากรณีที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยฉบับที่แล้ว VHT และ VMT, จะแปรผกผันกับราคาค่าผ่านทางมากขึ้นกว่าในรูปที่ 4 และ 5 ความเร็วเฉลี่ยของการเดินทางในพื้นที่แปรผันกับราคาค่าผ่านทางมากขึ้นกว่าในรูปที่ 6 ดังนั้นกราฟจะมีความชันเพิ่มขึ้น

8. สรุปผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอโปรแกรมแบบจำลองจราจร ที่สามารถคำนวณโดยมี เวลาในการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทางเป็นปัจจัย โดยปรับปรุงและพัฒนาต่อยอดจากโปรแกรมสร้างแบบจำลองของ Angkanawisalya และ Wichiensin [1] ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำมาวิเคราะห์ผลกระทบของค่าผ่านทางต่อจราจรในพื้นที่ได้ โดยงานวิจัยนี้ใช้เขตปทุมวันเป็นพื้นที่ศึกษาพบว่า โปรแกรมที่พัฒนา

ขึ้นสามารถเชื่อถือได้ เนื่องจากมีผลลัพธ์การเปรียบเทียบผ่านตามหลักเกณฑ์ DMRB และในการศึกษาผลกระทบของราคาค่าผ่านทางต่อสภาพจราจรในพื้นที่พบว่า การเก็บค่าผ่านทางส่งผลให้มีความเร็วเฉลี่ยของรถในระบบมากขึ้น โดยค่าผ่านทาง 10 บาท ทำให้มีความเร็วเฉลี่ยของรถในระบบสูงที่สุดคือ 45.96 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความเร็วเฉลี่ยของรถในระบบเมื่อไม่มีการเก็บค่าผ่านทางร้อยละ 19.82 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การเก็บค่าผ่านทาง 10 บาท ส่งผลให้สภาพจราจรในพื้นที่เกิดความคล่องตัวสูงสุด ข้อดีของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้คือ โปรแกรมมีความยืดหยุ่นสูง สะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และโปรแกรมสามารถคำนวณโดยมี เวลาในการเดินทาง ระยะทางในการเดินทาง และค่าผ่านทางเป็นปัจจัย ส่งผลให้แบบจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้มากกว่าเดิม อย่างไรก็ตามโปรแกรมในงานวิจัยใช้ Frank-Wolfe Algorithm ซึ่งเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานในการแจกแจงจราจรในพื้นที่ สามารถต่อยอดได้โดยเปลี่ยนเป็นอัลกอริทึมอื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า เช่น Origin-Based Algorithm อย่างไรก็ดี ในภาพรวมโปรแกรมในงานวิจัยฉบับนี้มีความถูกต้องเนื่องจากแบบจำลองมีผลลัพธ์จากการปรับเทียบกับแบบจำลองอื่นได้ผ่านตามาตรฐาน ดังนั้นจึงนับว่าเป็นการพัฒนาเครื่องมือที่เป็นประโยชน์แก่วงการการจำลองการจราจร

9. เอกสารอ้างอิง

1. Angkanawisalya, K. and Wichienin, M., 2018, "A Software for Travel Forecasting," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (3), pp. 311-322. (In Thai)
2. Department for Transport, UK, 2018, Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), Vol. 12.
3. Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Ministry of Transport, 2015, Transport Data and Model integrated with Multimodal Transport and Logistics (TDL), pp. 67-68. (In Thai)
4. Wichienin, M., Kanjanavaikoon, K. and Sangkhawut, K., 2017, "Traffic Congestion Alleviation for Ratchaprasong Road Closure," *KMUTT Research and Development Journal*, 10 (2), pp. 315-331. (In Thai)
5. Wichienin, M., Hongsa, P. and Simongkol, S., 2016, "Recommendation for Improvement of Traffic Circulation During "Kaset Fair," *Ladkrabang Engineering Journal*, 33 (1), pp. 72-77. (In Thai)
6. Wichienin, M., Kittivichnan, N. and Pichayakorn, V., 2017, "Traffic Simulation Model for Bangkok Business Area," *Ladkrabang Engineering Journal*, 34 (1), pp. 72-77. (In Thai)
7. Yamuang, C. and Kietkomol, W., 2017, "Improvement of Reversible Lane on Pechaburi Rd.," *Ladkrabang Engineering Journal*, 34 (1), pp. 58-64. (In Thai)
8. Dowling, R., Skabardonis, A. and Alexiadis, V., 2004, Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software, Federal Highway Administration, pp. 1-132.
9. Frank, M. and Wolfe, P.H., 1956, "An Algorithm for Quadratic Programming," *Naval Research Logistics*, 3 (1-2), pp. 95-110.
10. Department of Transportation. Federal Highway Administration, United States [Online], Available: <http://www.fhwa.dot.gov/>. [27 February 2018]
11. Transport for London, Driving, Congestion Charge [Online], Available: <https://tfl.gov.uk/modes/driving/congestion-charge>. [27 February 2018]
12. Traffic and Transportation Department, Bangkok Metropolitan Authority, 2013, Traffic Statistic 2013, p. 16. (In Thai)

