โปรแกรมเพื่อพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนน

เกริกเกียรติ อังคณาวิศัลย์[1] และ เหมือนมาศ วิเชียรสินธุ์[2*]
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมกราฟิกแจกแจงการเดินทางเพื่อพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนโดยใช้ระเบียบวิธี Frank-Wolfe ในการแจกแจงการเดินทางและใช้ระเบียบวิธีของ Dijkstra ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทาง และใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรม ทั้งนี้ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบปริมาณจราจรและเวลาในการเดินทางจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรม TAPAS และโปรแกรม Kwon โดยใช้โครงข่ายถนน Sioux Falls และ Berlin Prenzlauer Berg จากการทดสอบความถูกต้องพบว่าปริมาณจราจรและเวลาในการเดินทางมีความแตกต่างกับโปรแกรมอื่นไม่เกินร้อยละ 15 เมื่อนำเวลาในการเดินทางมาพล็อตกราฟจะมีค่า r ประมาณ 0.99 จึงสรุปได้ว่าโปรแกรมแจกแจงการเดินทางที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องและสามารถนำมาใช้เพื่อประกอบการวางแผนการขนส่งได้ต่อไปโดยไม่ต้องพึ่งพาโปรแกรมราคาสูงจากต่างประเทศ

คำสำคัญ : โปรแกรม / การแจกแจงการเดินทาง / ระเบียบวิธี Frank-Wolfe / MATLAB

* *Corresponding Author : fengmms@ku.ac.th*

[1] *นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

[2] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์*

A Software for Traffic Forecasting on Road Network

Kroekkiat Angkanawisalya[1] and Muanmas Wichiensin[2*]

Kasetsart University, Ngam Wong Wan Road, Ladyaow, Chatuchak, Bangkok 10900

Abstract

This article presentsthe development of the graphical software for traffic forecasting on aroad network. Frank-Wolfe (FW) algorithm was applied for traffic assignment and Dijkstra's algorithm was adopted for finding the shortest travel path. The software was developed on MATLAB and was validated with the actual traffic flows and travel times obtained by other software programs, TAPAS and Kwon; the data of Sioux Falls network and Berlin Prenzlauer Berg network were used for the validation. It was found that the results of traffic flows and travel times were different from those predicted by the other programs by less than 15%. The graphs plotted for the travel times showed the r value of approximately 0.99. It can be concluded that the software is accurate and can be used for transportation planningin lieu of the imported expensive software.

Keywords : Software / Traffic Assignment / Frank-Wolfe Algorithm / MATLAB

* *Corresponding Author : fengmms@ku.ac.th*

[1] *Graduate Student, Civil and Environmental Engineering Department*

[2] *Assistant Professor, Civil and Environmental Engineering Department*

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาของเมืองหรือชุมชนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้จราจรหนาแน่นขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวันและการเดินทางของประชาชนอย่างมาก ปัญหารถติดยังคงเป็นปัญหาเรื้อรังสำหรับกรุงเทพมหานครที่แก้ไขไปตามสถานการณ์ และยังไม่สามารถจัดการกับปัญหาได้อย่างถาวร หนึ่งในวิธีการแก้ไขปัญหารถติดคือการวางแผนและบริหารจราจรในโครงข่ายถนนเพื่อลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางที่เกิดขึ้นในโครงข่ายถนนให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งการวางแผนและบริหารจราจรนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนในสถานการณ์ต่างๆ

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นทำให้มีโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยพยากรณ์ปริมาณจราจรบนถนน โปรแกรมที่ใช้ในหน่วยงานกระทรวงคมนาคมที่ผ่านมาได้แก่ TRIP และ CUBE ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้มีราคาสูงมากและจำกัดการเข้าถึงจากคนทั่วไป ดังนั้นผู้ใช้งานทั่วไปจึงไม่สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้ได้โดยสะดวก นอกจากนี้การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทำให้ยากต่อการต่อยอดทางการวิจัย เนื่องจากไม่สามารถปรับปรุงวิธีการภายในเพื่อการศึกษาเพิ่มเติมได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนนเพื่อพยากรณ์ปริมาณและลักษณะจราจรบนถนนในอนาคตด้วยตัวเอง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาและเปลี่ยนตัวแปรในสมการหาค่าเวลาการเดินทางได้รวมทั้งไม่จำกัดการเข้าถึงในการในงาน ตัวโปรแกรมมีการแสดงผลลัพธ์เป็นรูปโครงข่ายถนนเพื่อความเข้าใจง่าย นอกจากนี้หลังจากโปรแกรมแสดงผลลัพธ์แล้วผู้ใช้งานสามารถแก้ไขข้อมูลโครงข่ายถนนเพื่อผลลัพธ์ใหม่ได้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ ระเบียบวิธี Frank-Wolfe [1] ในการแจกแจงการเดินทาง และใช้ระเบียบวิธีของ Dijkstra [2] ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมเนื่องจากต้องการให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์เป็นรูปโครงข่ายถนนที่มีกราฟิกสวยงาม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็น Software แยกเดี่ยว ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรม MATLAB

2. จุดประสงค์และขอบเขตของงาน

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมแจกแจงการเดินทางเพื่อพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนในอนาคตและเพื่อให้นักศึกษาและนักวิจัยได้มีโปรแกรมแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนนเพื่อการศึกษาหรือการวิจัยโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและถูกจำกัดการเข้าถึง

2.2 ขอบเขตการศึกษา

- พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้ MATLAB
- ทดสอบกับโครงข่าย Sioux Falls และโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg
- ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบผลการทดสอบกับโปรแกรม TAPAS และโปรแกรม Kwon
- Cost Function อยู่ในรูปสมการ BPR

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในเรื่องงานพัฒนาแบบจำลองงานที่เกี่ยวข้องส่วนมากนั้นเป็นงานทางการค้า ได้แก่ โปรแกรม TransCAD [3] ถูกพัฒนาโดยบริษัท Caliper ตั้งแต่ปี 1985 เป็นโปรแกรมที่ออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้รวมกับระบบแผนที่ Geographic Information System (GIS) ต่อมาโปรแกรม CUBE [4] ถูกพัฒนาโดยบริษัท CITILABS โปรแกรมถูกออกแบบมาให้นำเสนอเมตริกซ์ได้หลายมิติต่อมาโปรแกรม PTV VISUM [5] เป็นโปรแกรมแบบจำลองจราจรระดับ Macroscopic สามารถแสดงผลพร้อมระบบ GIS พัฒนาโดยบริษัท PTV (Planung Transport Verkehr AG) ในเยอรมันซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้มีจุดประสงค์หลักคือ จำลองสภาพการจราจรในโครงข่ายถนน เพื่อศึกษาผลกระทบในการปรับปรุงหรือออกแบบทางของโครงการด้านขนส่ง พร้อมทั้งประเมินและวิเคราะห์สภาพจราจรในกรณีต่างๆ สำหรับการวางแผนจราจร โปรแกรมสำเร็จรูปสามารถเปรียบเทียบหลักการได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักการของโปรแกรมสำเร็จรูป

TransCAD	จำลองสภาพการจราจรโดยมีหลายระเบียบวิธีให้เลือก มีผลลัพธ์คือสภาพจราจรและแสดงพร้อมระบบ GIS
CUBE	จำลองสภาพการจราจรโดยมีหลายระเบียบวิธีให้เลือก มีผลลัพธ์คือสภาพจราจรและรูปโครงข่ายถนน
VISUM	จำลองสภาพการจราจรโดยทำ 4 Step Model มีผลลัพธ์คือสภาพจราจรและแสดงรูปโครงข่ายถนนพร้อมระบบ GIS สามารถเชื่อมข้อมูลกับแบบจำลองระดับ Microscopic VISSIM ได้
TAPAS	แบบจำลองแจกแจงจราจร โดยต้องการข้อมูล OD Demand และใช้ระเบียบวิธี Frank-Wolfe มีผลลัพธ์คือ ปริมาณจราจรในแต่ละเส้นทางและรูปโครงข่ายถนน
Kwon	โปรแกรมแบบจำลองแจกแจงจราจรโดยโปรแกรมสามารถดาวน์โหลดข้อมูลโครงข่ายที่ต้องการได้ในตัวและแจกแจงจราจรโดยใช้ระเบียบวิธี Frank-Wolfe มีผลลัพธ์คือปริมาณจราจรในโครงข่ายถนน

ในเรื่องงานพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายถนนของไทยสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม ได้พัฒนาแบบจำลองจราจร [6] ตั้งแต่ พ.ศ. 2538 คือโครงการพัฒนาแบบจำลองและระบบฐานข้อมูลจราจร (Urban Transport Database and Model Development Project, UTDM) ทำการแบ่งพื้นที่ในระดับจังหวัดโดยโปรแกรม TRIP ต่อมา พ.ศ. 2540 โครงการศูนย์ข้อมูลและแบบจำลองด้านการจราจรและขนส่ง (Transport Data and Model Center, TDMC) เปลี่ยนไปใช้โปรแกรม CUBE และต่อมาได้มีการปรับปรุงแบบจำลองเรื่อยมาได้แก่โครงการ TDMC II, TDMC III, TDMC IV,TDMC V, TDMC VI และ Transport Data and Model Integrated with Multimodal Transport and Logistics,TDML จนถึง พ.ศ. 2552 เกิดโครงการศึกษาพัฒนาระบบฐานข้อมูล ข้อสนเทศ และแบบจำลอง เพื่อบูรณะพัฒนาการขนส่งและจราจรการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและระบบโลจิสติกส์ (TDML II) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการขนส่งและกระจายสินค้า

นอกจากนี้ จากงานวิจัยต่างประเทศได้มีการพัฒนาแบบจำลองแจกแจงจราจรในโครงข่ายถนนเช่นกัน เช่น Mahut และคณะ [7] ได้พัฒนาโปรแกรมแบบจำลอง Dynamic Traffic Assignment คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้เดินทางและปริมาณจราจรโดยใช้วิธี Method of Successive Averages (MSA) และใช้โครงข่ายถนน Stockholm ซึ่งเป็นโครงข่ายขนาดกลาง มี 1980 Nodes, 250 Zones และ 4,342 Links ในการทดสอบ ได้ข้อสรุปว่าโปรแกรมมีความน่าเชื่อถือและใช้เวลาในการคำนวณเป็นที่พอใจ ต่อมา Xie และคณะ [8] ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณจราจรในอนาคตของพื้นที่สวนอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ (Logistics Park) เพื่อใช้ในการวางแผนและบริหารจราจร โดยใช้วิธี Non-repeated Coefficient Method และใช้โปรแกรม TransCAD ในการพยากรณ์ปริมาณจราจรในอนาคต ได้ข้อสรุปว่าปริมาณจราจรในอนาคตของพื้นที่สวนอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ไม่เกินความจุถนนที่ออกแบบไว้ ต่อมา Alberto และคณะ [9] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมแจกแจงจราจรในโครงข่ายถนนโดยใช้โปรแกรม Visual Basic. NET และ Excel ในการพัฒนา งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลโครงข่ายถนนจริง ความต้องการเดินทางในโครงข่ายถนนจริงจากพื้นที่ส่วนหนึ่งของเมือง Medellin มาใช้ และเปรียบเทียบความ

ถูกต้องของผลลัพธ์กับโปรแกรม TransCAD ได้ข้อสรุปว่า โปรแกรม TransCAD ใช้เวลาคำนวณน้อยกว่าและมีผลลัพธ์จากการคำนวณที่น่าเชื่อถือกว่า แต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถใช้คำนวณกับพื้นที่ขนาดเล็ก และเป็นโปรแกรมที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับนักศึกษา ต่อมา Li และคณะ [10] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมแจกแจงจราจรในโครงข่ายถนนเพื่อเป็นสื่อการสอนให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเรียนรู้และเข้าใจระเบียบวิธี Frank-Wolfe เองได้ งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Java ในการพัฒนา มีการเตรียมตัวอย่างพื้นฐานอย่างง่ายในโปรแกรม นอกจากนั้นในตัวโปรแกรมนั้นยังมีรูปและคำอธิบายประกอบในแต่ละขั้นตอนการคำนวณ เพื่อให้ดึงดูดความสนใจและผู้ใช้งานสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย เหมาะสำหรับผู้ต้องการเรียนรู้ด้วยตนเอง

ในงานศึกษาทางด้านการจราจรในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวมาแล้วซึ่งมีราคาแพงและงานเหล่านั้นไม่ใช่ลักษณะของการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ได้เอง [11-13]

3.2 ทฤษฎี

3.2.1 ระเบียบวิธี Frank-Wolfe

ระเบียบวิธี Frank-Wolfe [1] เป็นอัลกอริทึมเพื่อแก้ไขปัญหาการแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนนประเภท User Equilibrium เพื่อให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางของทั้งโครงข่ายน้อยที่สุด ถูกพัฒนาโดย Marguerite Frank และ Philip Wolfe ในปี 1956 ในการพิจารณาโครงข่ายถนนนั้น แต่ละ Link ในโครงข่ายจำเป็นต้องคำนวณสมการความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเดินทางในแต่ละ Link, ปริมาณจราจรและความจุถนนซึ่งเรียกว่า สมการ The Bureau of Public Roads (BPR) โดยใช้ $t\,(xa)$ เป็นตัวแทนและมีสมการดังนี้

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

โดยที่

$t\,(x_a)$ = เวลาเดินทางบน link a

t_o = เวลาที่ใช้เดินทางเมื่อไม่มีรถบนถนน (Free Flow Travel Time)

x_a = เที่ยวการเดินทางบนถนน a (trip)

c = ความจุถนน

α, β = ค่าคงที่

การแจกแจงการเดินทางมีสมมุติฐานว่า Travel Time เป็นไปตามสมการที่กำหนดไว้ ผู้เดินทางคุ้นเคยเส้นทางและรู้จักเส้นทางในโครงข่ายถนนเป็นอย่างดี ความต้องการเดินทางในระบบคงที่ การทำให้โครงข่ายถนนเกิด User Equilibrium ได้นั้นสามารถทำได้โดยแก้สมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Programming) ดังนี้

$$\min Z = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(w)dw$$

และ

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

โดยที่

x_a = เที่ยวการเดินทางบน link a (trip)

t_a = เวลาที่ใช้เดินทางบน link a (minute)

f_k^{rs} = เที่ยวการเดินทางบนเส้นทาง k ซึ่งเชื่อมระหว่างจุดเริ่มต้น r และปลายทาง s

q_{rs} = อัตราเที่ยวการเดินทางระหว่างจุดเริ่มต้น r และปลายทาง s

ขั้นตอนของระเบียบวิธี Frank-Wolfe [1] สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพร้อม

ทำ All-or-nothing Assignment จาก ทำ All-or-nothing Assignment จาก $t_a = t_a(0), \forall\, a$ ให้ผลลัพธ์เป็น $\{x_a^1\}$ และกำหนดให้ $n = 1$

ขั้นตอนที่ 2 อัพเดต

กำหนดให้ $t_a^n = t_a(x_a^n), \forall\, a$

ขั้นตอนที่ 3 หาทิศทาง

ทำ All-or-nothing Assignment จาก $\{t_a^n\}$ ให้ผลลัพธ์เป็นเซตของ Flow เสริม $\{y_a^n\}$

ขั้นตอนที่ 4 หาเส้นทาง

หา α ที่สามารถแก้สมการ

$$\min_{0\leq\alpha\leq1} \sum_a \int_0^{x_a^n+\alpha(y_a^n-x_a^n)} t_a(w)dw$$

ขั้นตอนที่ 5 เคลื่อนที่ (Step Size)

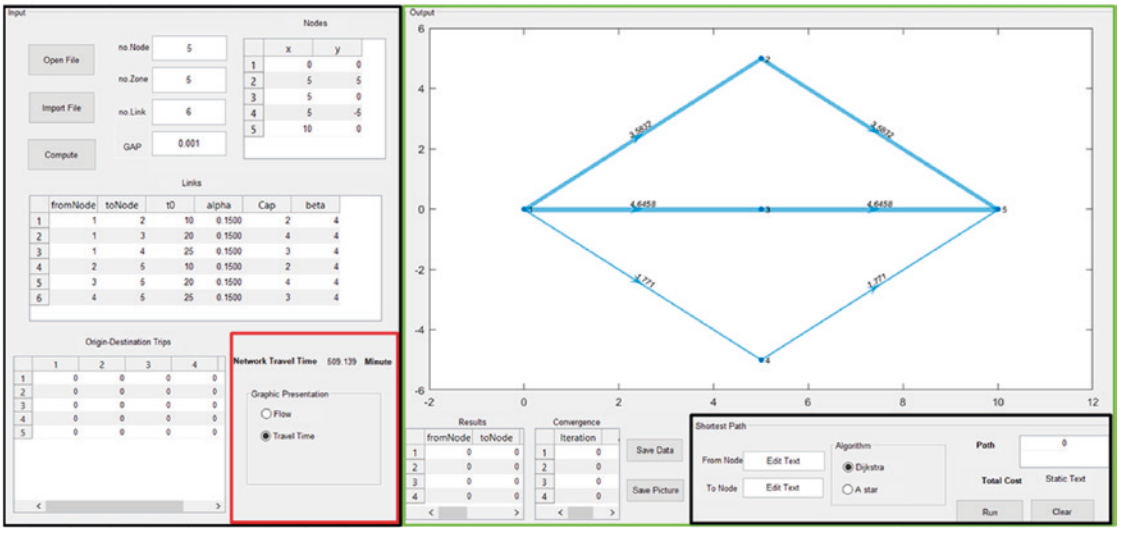
กำหนดให้ $x_a^{n+1} = x_a^n + \alpha(y_a^n - x_a^n), \forall\, a$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบคลาดเคลื่อน

เมื่อความต่างของค่า GAP อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ให้หยุด และให้ x_a^{n+1} เป็นเซตของ Flow ที่ Equilibrium ในแต่ละ Link ถ้าความต่างของค่า GAP ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ให้กำหนด $n = n + 1$ และทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

4. ผลการดำเนินการ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์ให้ใช้งานง่ายดังนั้นข้อมูล Input ที่โปรแกรมต้องการจึงสร้างไว้ในรูปแบบโปรแกรมที่สะดวกและเป็นที่นิยมอย่างในรูปของ Excel File ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขข้อมูลโครงข่ายที่หน้าต่างโปรแกรมได้ตามต้องการหรือนำเข้าทั้ง File ก็ได้ นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงผลลัพธ์การแจกแจงการเดินทางเป็นรูปภาพโครงข่ายเพื่อความกระจ่างในการแสดงผลลัพธ์ได้อีกด้วยจากรูปที่ 1 หน้าต่างโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ Input, Choice และ Output



รูปที่ 1 หน้าต่างโปรแกรม

ในส่วนแรกเป็นส่วนของ Input เนื่องจากโปรแกรมมีการแสดงผลลัพธ์เป็นรูปโครงข่ายถนน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ค่าพิกัด (x, y) ของแต่ละ Node ในการคำนวณด้วย ใน Input ส่วนต่อมาเป็นการใส่ข้อมูลของโครงข่ายที่โปรแกรมต้องการใช้ในการคำนวณได้แก่ตัวแปรในสมการ BPR ซึ่งประกอบด้วย T, c, α, β ความต้องการในการเดินทางของโครงข่าย (Origin-Destination Trips) โดยที่ T คือเวลาที่ใช้เดินทางเมื่อไม่มีรถบนถนน (Free Flow Time), c คือความจุของถนน (Link Capacity), การใส่ข้อมูล Input ในโปรแกรมเริ่มจากกดปุ่ม Open File ที่อยู่ด้านบนซ้ายสุดของโปรแกรม จากนั้นทำการเลือก Excel File ที่มีข้อมูลโครงข่ายถนนที่เราต้องการแจกแจงการเดินทางและกดปุ่ม Import File ตามลำดับ โปรแกรมจะแสดงข้อมูลโครงข่ายขึ้นมาบนจอในกรอบหน้าต่างโปรแกรม หากรูปแบบข้อมูลโครงข่ายที่ใส่นั้นถูกต้องแล้วจึงกดปุ่ม Compute เพื่อเริ่มการแจกแจงการเดินทางในส่วนของ Choice นั้นเป็นการเลือกเพื่อให้โปรแกรมแสดงผลในแบบที่ผู้ใช้ต้องการ โดยหลังจากโปรแกรมแสดงเวลาที่ใช้ทั้งระบบ (Network Travel Time) แล้วสามารถเลือกให้แสดงผลได้โดยเลือก ปริมาณจราจร (Flow) หรือเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Travel Time) ที่ด้านล่างของหน้าต่างโปรแกรม

ในส่วน Output เป็นส่วนแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมได้แก่ ตาราง Result, ตาราง Convergence ซึ่งแสดงที่ด้านล่างของ

หน้าต่างโปรแกรมและรูปโครงข่ายถนนซึ่งแสดงที่ด้านขวาบนของหน้าต่างโปรแกรม ผู้ใช้งานสามารถบันทึกรูปโครงข่ายถนนและผลลัพธ์การคำนวณได้โดยการกดปุ่ม Save Picture และ Save Data ตามลำดับ

5. การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลโครงข่ายของ 2 โครงข่ายมาเปรียบเทียบนั้นคือ Sioux Falls และ Berlin Prenzlauer Berg ซึ่งฐานข้อมูลโครงข่ายได้อ้างอิงมาจากเว็บเพจ https://github.com/bstabler/TransportationNetworks ข้อมูลโครงข่ายแสดงได้ดังตารางที่ 2

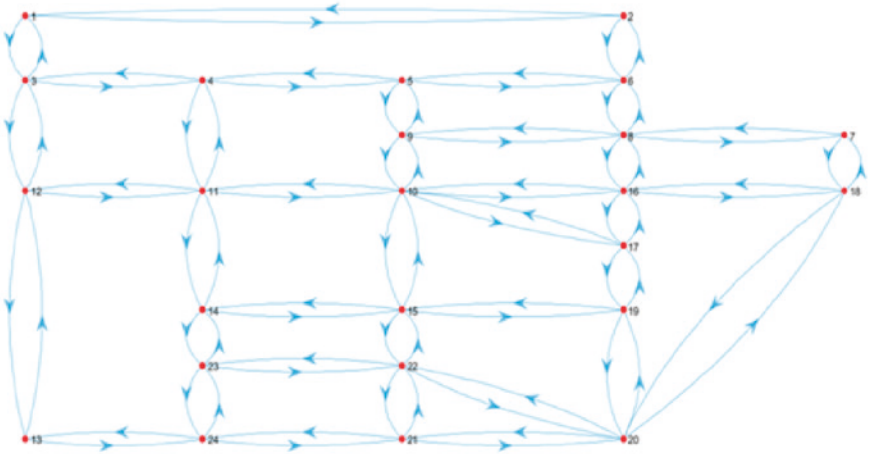
งานวิจัยนี้ได้ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม TAPAS และ Kwon เนื่องจากโปรแกรมทั้ง 2 นี้มีหลักการเหมือนกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นหากผลลัพธ์ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใกล้เคียงกับผลลัพธ์จากโปรแกรม TAPAS และ Kwon สามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อถือได้

(หมายเหตุ โปรแกรม TAPAS พัฒนาโดย Li J. และโปรแกรม Kwon พัฒนาโดย Kwon C.)

ตารางที่ 2 ข้อมูลโครงข่ายที่นำมาทดสอบ

Network	Nodes	Zones	Links	O-DTrips
Sioux Falls	24	24	76	360,600
Berlin Prenzlauer Berg	352	38	749	16,660

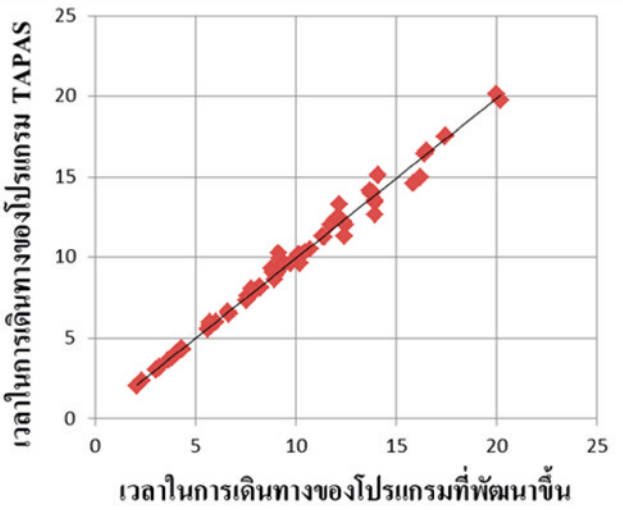
5.1 Sioux Falls network



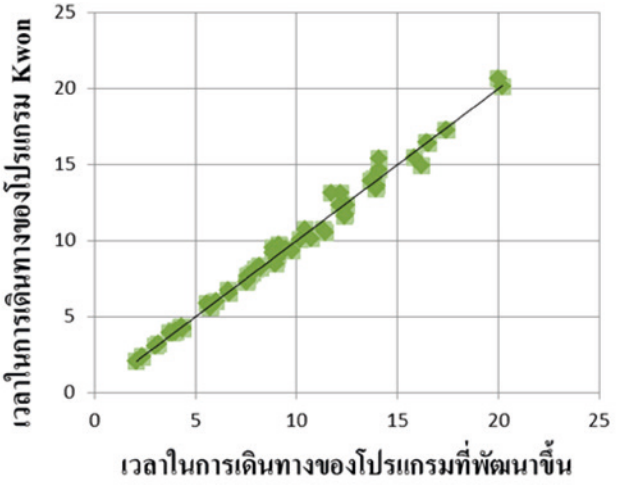
รูปที่ 2 Sioux Falls network

โครงข่ายนี้มี 24 nodes, 24 zones, 76 links และมีความต้องการเดินทางรวมทั้งหมด 360,600 เที่ยว โครงข่าย Sioux Falls ถือว่าเป็นโครงข่ายที่นิยมใช้ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมแจกแจงการเดินทางในโครงข่ายถนน การศึกษานี้เปรียบเทียบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมากับผลลัพธ์ของโครงข่าย Sioux Falls จากโปรแกรม TAPAS และโปรแกรม Kwon

เมื่อนำผลค่าเวลาในการเดินทางของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและโปรแกรมอื่นมาพล็อตกราฟ สามารถสังเกตได้ว่าจุดที่พล็อตอยู่ในแนวใกล้เคียงกับเส้นตรงทำมุม 45 องศามีค่า r เท่ากับ 0.9957 และ 0.9959 ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ แสดงว่าผลลัพธ์จากการคำนวณของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับโปรแกรม TAPAS และ Kwon มีค่าใกล้เคียงกัน

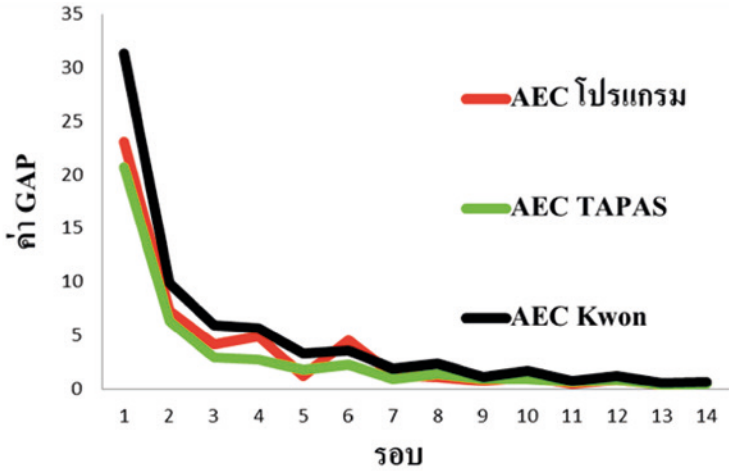


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ระยะเวลาในการเดินทางของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและโปรแกรม TAPAS



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ระยะเวลาในการเดินทางของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและโปรแกรม Kwon

รูปที่ 5 แสดงถึงรอบในการคำนวณของโปรแกรม และความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์การคำนวณในแต่ละรอบ เมื่อค่า Average Excess Cost (AEC) ใกล้เคียงศูนย์มากเท่าไหร่ แสดงว่าผลลัพธ์การคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น ค่า AEC ของโปรแกรม TAPAS ลู่เข้าศูนย์เร็วกว่าโปรแกรมอื่นเล็กน้อยแต่โดยรวมแล้วทุกโปรแกรมมีอัตราลู่เข้าใกล้เคียงกัน และการเปลี่ยนแปลงค่า AEC ของทุกโปรแกรมน้อยกว่า 1 ตั้งแต่รอบที่ 10 เป็นต้นไป



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบการคำนวณและ AEC

เมื่อนำผลลัพธ์จากโปรแกรมในโครงข่าย Sioux Falls มาเปรียบเทียบ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบโครงข่าย Sioux Falls

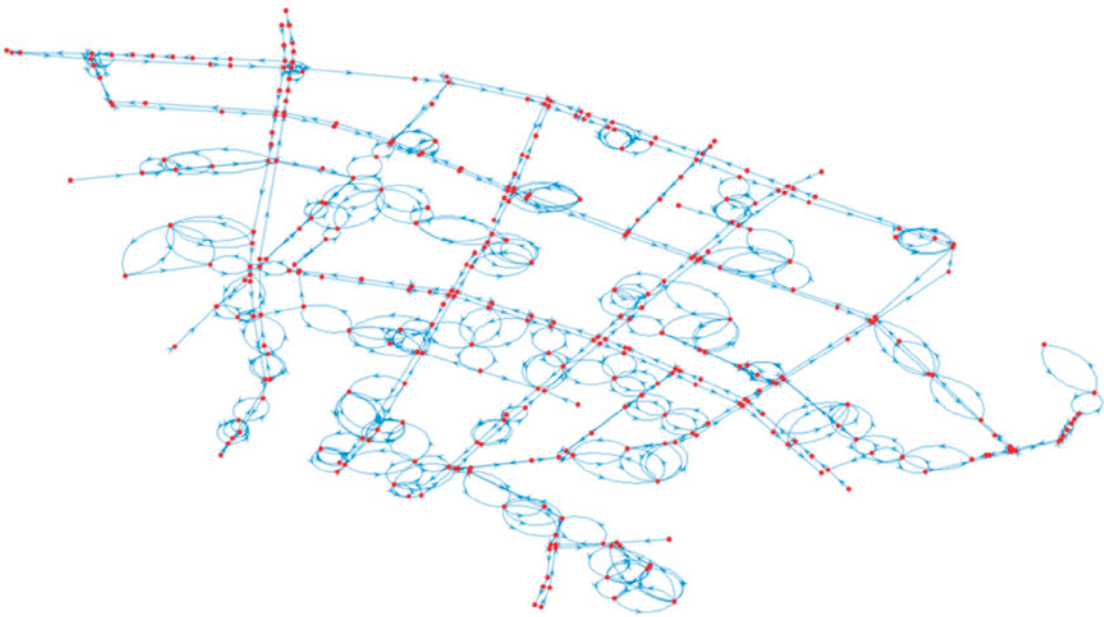
ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบ	เปรียบเทียบกับโปรแกรม TAPAS		เปรียบเทียบกับโปรแกรม Kwon	
	ความแตกต่างมากที่สุด	กรณีทั้งหมดที่แตกต่างไม่เกิน15%	ความแตกต่างมากที่สุด	กรณีทั้งหมดที่แตกต่างไม่เกิน15%
ปริมาณจราจร	6.21%	100%	6.02%	100%
เวลาในการเดินทาง	11.13%	100%	10.46%	100%

ซึ่งผลลัพธ์จากแต่ละโปรแกรมมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เป็นผลมาจากแต่ละโปรแกรมกำหนดค่า error ที่ยอมรับในขั้นตอน Step Size (Yosef Sheffi, 1985) ในระเบียบวิธี Frank-Wolfe ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้โปรแกรม TAPAS โปรแกรม Kwon และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกำหนดให้มีค่า error ที่ยอมรับเท่ากับ 0.001, 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่า α ระหว่างโปรแกรม

รอบการคำนวณ	α จากขั้นตอน Step Size		
	โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น	โปรแกรม TAPAS	โปรแกรม Kwon
1	0.3203	0.3154	0.3437
2	0.2421	0.2412	0.2187
3	0.2109	0.1923	0.2187
	0.3046	0.4111	0.2812

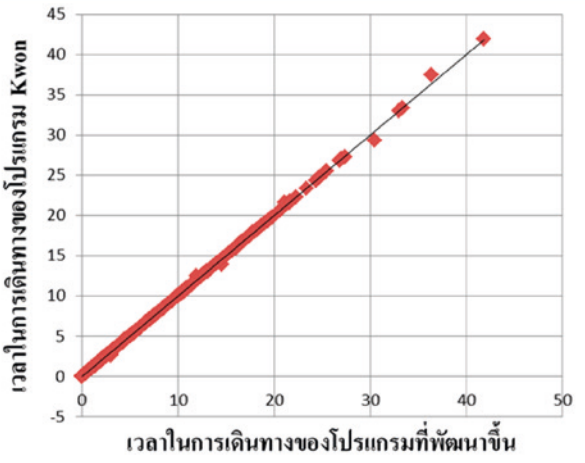
5.2 Berlin Prenzlauer Berg network



รูปที่ 6 Berlin Prenzlauer Berg network

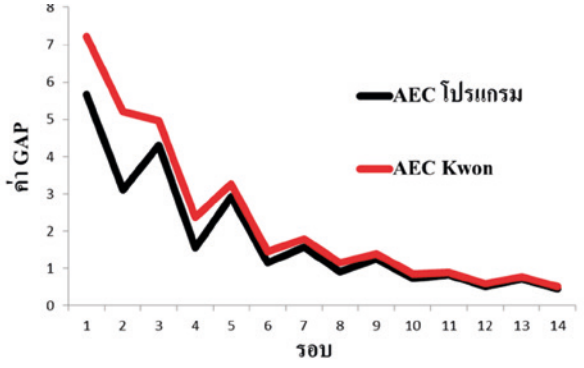
โครงข่ายมีขนาด 352 nodes, 38 zones, 749 links และมีความต้องการเดินทางรวมทั้งหมด 16,659.92 เที่ยว การศึกษานี้นำผลลัพธ์ของโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg ของโปรแกรม Kwon มาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์การแจกแจงการเดินทางจำนวน 30 รอบของโครงข่ายในด้านค่าเวลาในการเดินทาง นำค่ามาพล็อตกราฟ สามารถสังเกตได้ว่าจุดที่พล็อตมีตำแหน่งใกล้เคียงกับเส้นตรงทำมุม 45 องศามีค่า r เท่ากับ 0.9999 ดังรูปที่ 7 แสดงว่าผลลัพธ์จากการคำนวณของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและโปรแกรม Kwon ในโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ระยะเวลาในการเดินทางของโปรแกรมที่พัฒนาและโปรแกรม Kwon

ในรูปที่ 8 ค่า GAP ของทั้งสองโปรแกรมลู่เข้าศูนย์ในอัตราที่ใกล้เคียงกันโดยที่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นลู่เข้าศูนย์เร็วกว่าเล็กน้อยและค่า GAP ของทั้งสองโปรแกรมน้อยกว่า 1 และเริ่มคงที่ตั้งแต่รอบที่ 10 เป็นต้นไป



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ระยะเวลาในการเดินทางของโปรแกรมที่พัฒนาและโปรแกรม Kwon

เมื่อนำผลลัพธ์จากโปรแกรมในโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg มาเปรียบเทียบ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5 ซึ่งผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบนั้นใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg เป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ แต่มีจำนวนเที่ยวการเดินทางน้อย ดังนั้นปริมาณจราจรและเวลาในการเดินทางจึงมีความแตกต่างเฉลี่ยน้อย

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg

ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบ	เปรียบเทียบกับโปรแกรม Kwon	
	ความแตกต่างเฉลี่ย	กรณีทั้งหมดที่แตกต่างไม่เกิน15%
ปริมาณจราจร	2.56%	99.06%
เวลาในการเดินทาง	0.0865%	99.86%

6. สรุปผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมแจกแจงการเดินทางเพื่อพยากรณ์ปริมาณจราจรบนโครงข่ายถนนโดยใช้โปรแกรม MATLAB ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับ โปรแกรม TAPAS และโปรแกรม Kwon โดยใช้ข้อมูลโครงข่าย Sioux Falls และโครงข่าย Berlin Prenzlauer Berg ในการทดสอบพบว่าผลลัพธ์การเปรียบเทียบใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นน่าเชื่อถือ และนำไปใช้ต่อได้

ข้อดีของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้คือใช้ง่ายและสะดวกต่อการปรับปรุงแก้ไขข้อมูล โปรแกรมสามารถแสดงผลลัพธ์เป็นรูปโครงข่ายถนนเพื่อความสวยงามและเข้าใจผลได้ง่าย อนึ่งในส่วนของการคำนวณค่า Cost ในโครงข่ายนั้นใช้เพียงแค่เวลาในการเดินทางมาคำนวณเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่ควรนำมาคำนวณ เช่น เงินค่าผ่านทาง ความยาวของถนนเป็นต้น โดยศึกษาแนวทางที่จะพัฒนาให้ครอบคลุมค่า Cost อื่นๆ ได้ต่อไป เพื่อให้ผลลัพธ์ของโปรแกรมใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น อย่างไรก็ดีโปรแกรมนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปิดให้สามารถใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและไม่จำกัดการเข้าถึง ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับนักศึกษาและนักวิจัย โปรแกรมนี้ผู้วิจัยมีเป้าหมายเพื่อใช้ต่อยอดวิเคราะห์การเดินทางของโครงข่ายจริงในเมืองต่างๆ ของประเทศไทย โดยไม่ต้องซื้อโปรแกรมราคาแพงของต่างประเทศ รวมทั้งผู้วิจัยยังมีเป้าหมายในการต่อยอดในเรื่องการเพิ่มปัจจัยที่ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกเส้นทางก่อนที่เผยแพร่ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

1. Frank, M. and Wolfe, P.H., 1956, "An Algorithm for Quadratic Programming," *Naval Research Logistics Quarterly*, 3, pp. 95-110.

2. Dijkstra, E.W., 1959, "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs" *Numerische Mathematik*, 1, pp. 269-271.

3. Paula, A.F. and Angelo, M., 2010, Analysis of Vehicle Routing via TransCAD, A Contribution to Urban Freight Distribution, LAP LAMBERT Academic Publishing.

4. Song, F. and Wolf, F., 2005, CUBE-User Manual, Generic Display for Application Performance Data, University of Tennessee.

5. PTV Traffic Mobility Logistics, 2011, PTV Vision, VISSIM 5.30-05 User Manual.

6. Ministry of Transport, 2011, Optimal Location for New Freight Transport Yard in Bangkok and Metropolitan Area, Vol. 2, pp. 1-2. (In Thai)

7. Mahut, M., Florian M. and Tremblay, N., 2002, "Application of a Simulation-Based Dynamic Traffic Assignment Model," *The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 439-444.

8. Xie, H., Ji, S., Shen, J. and Han, X., 2008, "Research on Traffic Volume Forecast and Assignment of Logistics Park," *The IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, Vol. 1, pp. 1335-1338.

9. Alberto, C., Calderón, G.and Jairo, J., 2011, "Solving the Traffic Assignment Problem Using Real Data for a Segment of Medellin's Transportation Network," *Univ. Antioquia N.° 59*, June, pp. 47-58.

10. Li, Z. and Sosonkina, M., 2015, "Visualization and Animation for Teaching Frank-Wolfe Transportation Network Equilibrium," *MODSIM World 2015,* 55, 10 p.

11. Wichiensin, M., Kanjanavaikoon, K. and Sangkhawut, K., 2017, "Traffic Congestion Alleviation for Ratchaprasong Road Closure," *KMUTT R&D Journal*, 10 (2), pp. 315-331. (In Thai)

12. Wichiensin, M., Kittivinichnan, N. and Pichayakorn, V., 2017, "Traffic Simulation Model for Bangkok Business Area," *Ladkrabang Engineering Journal*, 34 (1), pp. 72-77. (In Thai)

13. Yamuang, C. and Kietkomol, W., 2017, "Improvement of Reversible Lane on Pechaburi Rd.," *Ladkrabang Engineering Journal*, 34 (1), pp. 58-64. (In Thai)

14. Sheffi, Y., 1985, Urban Transportation Networks, Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 07632, pp. 84-87.