

การเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการรถโดยสารด้วยแบบจำลองสถานการณ์ Improvement of Shuttle Bus Service Using Simulation Modelling

สุขพัฒน์ บัณฑิตธรรมกุล¹

Sookkapat Bandhitthummakul

สิริอร เศรษฐมานิต²

Siri-on Setamanit

กฤษณา วิสมิตะนันท์³

Krisana Visamitanan

Article History

Received: January 3, 2020

Revised: May 30, 2020

Accepted: June 4, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์สภาพการดำเนินงานในปัจจุบันของรถโดยสารภายในของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รถ ปอ.พ) สายที่ 1 เส้นทางศาลาพระเกี้ยวถึงโรงพยาบาลนครลิโด และตรวจสอบแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ระหว่าง 15:30 ถึง 17:00 น. โดยใช้เกณฑ์วัดความมีประสิทธิภาพของระบบการให้บริการ 2 เกณฑ์ ได้แก่ การวัดความจุผู้โดยสารบนรถที่ไม่เกิน 1.72 และเวลารอคอยโดยเฉลี่ยของผู้โดยสารที่สถานีศาลาพระเกี้ยวและสถานีโรงพยาบาลนครลิโดที่ไม่เกิน 10 นาที ผู้วิจัยสำรวจสภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน พบว่ามีปัญหาผู้โดยสารแออัดบนรถ จำนวนมากกว่า 36 คน และมีเวลารอคอยเฉลี่ยที่สถานีมากกว่า 10 นาที ซึ่งมากกว่าเวลาที่ผู้โดยสารส่วนใหญ่ยอมรับได้ และมากกว่าเวลาที่ระบบประกันตามตารางการเดินรถ ทำให้ผู้วิจัยเสนอวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารจัดการระบบรถ ปอ.พ. จำนวน 4 แนวคิด ได้แก่ (1) การลดจำนวนที่นั่งโดยสารภายในรถ (2) การนำรถสำรองมาเสริม (3) การลดจำนวนจุดจอดรถ และ (4) การปรับเปลี่ยนเส้นทางในการวิ่งโดยเลี่ยงเส้นทางที่สภาพการจราจรติดขัด โดยเริ่มต้นสร้างแบบจำลองภายใต้เกณฑ์ความจุผู้โดยสารบนรถ ตามเกณฑ์ที่กำหนด 1.72 หรือ 36 คน แบบจำลองสถานการณ์ถูกกำหนดไว้ที่อัตราสูงสุดของความจุเป็น 36 ผู้โดยสารหรือ 1.72 ตัวประกอบภาระ ผลการศึกษาพบว่า มีเพียง 3 จาก 4 แนวคิด ที่สามารถ

¹ มหบัณฑิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Master student, Master of Science in Supply Chain and Logistics Management Program, Chulalongkorn University
E-mail: b.sookkapat@gmail.com

² ภาควิชาพาณิชยศาสตร์ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Department of Commerce, Chulalongkorn Business School, Chulalongkorn University
E-mail: siri-on@cbs.chula.ac.th

³ ภาควิชาพาณิชยศาสตร์ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Department of Commerce, Chulalongkorn Business School, Chulalongkorn University
E-mail: krisana@cbs.chula.ac.th

ลดระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยได้ตามเกณฑ์เมื่อเทียบกับระบบปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเรียงลำดับร้อยละการรอคอยที่ลดลงเมื่อเทียบกับระบบปัจจุบันจากมากที่น้อยที่สุดดังนี้ (1) แนวคิดปรับเปลี่ยนเส้นทางในการวิ่งเลี้ยวเส้นทางที่สภาพการจราจรติดขัด ลดระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยลงร้อยละ 53 ในสถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 40 ในสถานีโรงภาพยนตร์ลิโด (2) แนวคิดนำรถสำรองมาใช้ ลดระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยลงร้อยละ 34 ในสถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 23 ในสถานีโรงภาพยนตร์ลิโด และ (3) แนวคิดการย้ายเก้าอี้โดยสารภายในรถออก ลดระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยลงร้อยละ 23 ในสถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 20 ในสถานีโรงภาพยนตร์ลิโด ซึ่งแนวคิดในการปรับเปลี่ยนเส้นทางในการวิ่งนั้นเป็นแนวคิดที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพมากที่สุด จึงเป็นแนวคิดที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: รถโดยสารภายในมหาวิทยาลัย เกณฑ์การวัดความจุผู้โดยสาร การปรับปรุงประสิทธิภาพรถโดยสาร แบบจำลองสถานการณ์

Abstract

This research aims to explore and analyze the current operation of Chulalongkorn University bus service system (CU Pop Bus), Route 1 (Sala Prakeaw to Lido Theater) and to examine methods to improve the service efficiency during a rush hour of 3:30 to 5:00 pm, using two criteria including (i) load Factor, which should be no more than 1.72 and (ii) average waiting time at the two stations, which should be less than 10 minutes. The investigation of current situations revealed more than 36 passengers on the bus, which was too crowded. Moreover, passengers waited for the bus more than 10 minutes, which was unacceptable and also greater than the guarantee time on the bus's timetable. Researchers proposed four ways to improve the CU Pop Bus, including (1) reducing a number of bus seats, (2) using additional buses, (3) reducing a number of bus stops, and (4) changing the bus route to avoid traffic congestion. Simulation models were set at the maximum rate of bus capacity as 36 passengers or 1.72 load factor. The result showed that only three methods can significantly reduce the average waiting time to less than 10 minutes. Arranging from the most reduction of average waiting time to the least, the first one is the concept of changing the route to avoid traffic jam that can reduce average waiting time by 53 percent at Sala Prakeaw station and by 40 percent at Lido Theatre station. Secondly, the concept of using additional bus can reduce average waiting time by 34 percent at Sala Prakeaw station and by 23 percent at Lido Theatre station. The third one is the concept of reorganizing bus seats which can reduce average waiting time by 23 percent at Sala Prakeaw station and by 20 percent at Lido Theatre station. The changing of bus route method requires less implementation cost and is the most effective way to reduce the average waiting time; thus, it is the most appropriate method to improve the CU Pop Bus route 1.

Keywords: Shuttle Bus, Load Factor, Bus Service Improvement, Simulation Modelling

บทนำ

รถโดยสารภายในของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หรือ รถ ปอ.พ. เป็นสวัสดิการที่จัดขึ้นเพื่อให้บริการโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายแก่นิสิต นักเรียน อาจารย์ บุคลากรของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคคลภายนอก ที่มาติดต่อกับหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย รถ ปอ.พ. มีเส้นทางเดินรถเชื่อมต่อระหว่างสถานที่ต่างๆ ของมหาวิทยาลัยกับระบบขนส่งมวลชนสาธารณะทางถนนและแบบราง ไม่ว่าจะเป็นรถไฟฟ้า BTS หรือรถไฟฟ้า MRT นอกเหนือจากวัตถุประสงค์หลักของ รถ ปอ.พ. ที่อำนวยความสะดวกแก่กลุ่มผู้โดยสารเป้าหมายแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมให้ผู้โดยสารใช้บริการรถสาธารณะแทนรถยนต์ส่วนบุคคล เพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดภายในมหาวิทยาลัยและพื้นที่โดยรอบ ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ ประหยัดค่าใช้จ่าย และสร้างจิตสำนึกอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Chulalongkorn University, 2016)

แม้ว่าการให้บริการรถ ปอ.พ. ในปัจจุบัน สามารถบรรลุวัตถุประสงค์บางประการได้ แต่ความพึงพอใจของผู้โดยสารยังอยู่ในระดับไม่สูงมาก ผู้วิจัยวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้โดยสารในเฟซบุ๊ก CU POP BUS

ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 จำนวน 78 ข้อความ พบว่า ผู้โดยสารส่วนใหญ่ไม่พึงพอใจ เมื่อรถ ปอ.พ. มาถึงสถานีไม่ตรงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ณ สถานีโรงพยาบาลนครลิโด ระหว่างเวลา 7:00 ถึง 9:00 น. และสถานีศาลาพระแก้ว ระหว่างเวลา 15:30 ถึง 17:00 น. นอกจากนี้ ผู้วิจัยสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของบริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผู้ให้บริการรถ ปอ.พ. และสัมภาษณ์ผู้โดยสารบริเวณสถานีศาลาพระแก้ว และสถานีโรงพยาบาลนครลิโด จำนวน 90 คน ระหว่างวันที่ 3 ถึง 7 กันยายน พ.ศ. 2561 รวมทั้งสังเกตสภาพการให้บริการรถ ปอ.พ. ในช่วงเร่งด่วนระหว่าง 7:00 ถึง 9:00 น. และ 15:30 ถึง 17:00 น. พบว่า ระบบรถ ปอ.พ. มีปัญหาที่สำคัญ 4 ประการ กล่าวคือ ประการแรก รถ ปอ.พ. ไม่มีตารางเวลาเดินรถที่ชัดเจน มีเพียงกำหนดการว่าจะออกจากสถานีต้นทางศาลาพระแก้ว ทุกๆ 5 ถึง 10 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลการสังเกตโดยผู้วิจัย พบว่าในบางครั้ง รถ ปอ.พ. ไม่สามารถออกจากสถานีได้ตามเวลาที่กำหนดไว้

ตารางที่ 1 ตารางการเดินรถของ รถ ปอ.พ. สายที่ 1 ศาลาพระแก้ว - ลิโด (สยาม)

วัน เวลา	7:00 ถึง 9:00 น.	9:00 ถึง 11:30 น.	11:30 ถึง 13:30 น.	13:30 ถึง 15:30 น.	15:30 ถึง 17:30 น.	17:30 ถึง 19:00 น.	19:00 ถึง 21:45 น.
จันทร์-ศุกร์	รถออก ทุก 5-10 นาที	รถออก ทุก 10-15 นาที	รถออก ทุก 5-10 นาที	รถออก ทุก 10-15 นาที	รถออก ทุก 5-10 นาที	รถออก ทุก 10-15 นาที	19:15 น. 19:45 น. 20:15 น. 20:45 น. 21:15 น.
เสาร์	รถออกทุก 10-15 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:45 น.						ไม่บริการ

ที่มา: CU POP BUS (2018)

ประการสอง คือ จำนวนรถไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงเวลา 15:30 ถึง 17:00 น. บริเวณสถานีศาลาพระเกี้ยว มีผู้รอใช้บริการในแถวคอยสูงสุดถึง 100 คน และมีผู้โดยสารอยู่ในระบบรถ ปอ.พ. สูงถึง 900 คน ส่งผลให้ผู้รอใช้บริการในบางสถานีที่อยู่ระหว่างสถานีศาลาพระเกี้ยว และสถานีโรงพยาบาลนครลิโดไม่สามารถขึ้นรถได้ ประการสาม คือ มีผู้รอใช้บริการตัดสินใจเดินออกจากแถวคอยเที่ยวละ 3 ถึง 20 คน เมื่อไม่สามารถขึ้นรถในเที่ยวที่กำลังมาถึงได้ และประการสุดท้าย คือ รถ ปอ.พ. มีเส้นทางการเดินรถในบริเวณที่มีการจราจรติดขัด จึงทำให้รถมาถึงแต่ละสถานีล่าช้า

จากผลการสำรวจ สังเกต และวิเคราะห์สภาพการให้บริการและปัญหาของระบบของรถ ปอ.พ. โดยผู้วิจัยข้างต้น สะท้อนถึงความจำเป็นในการค้นหาแนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของรถ ปอ.พ. ภายใต้สภาพและทรัพยากรที่มีอยู่เดิมของระบบรถ ปอ.พ. ได้แก่ การให้บริการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และจำนวนรถที่มีอยู่ในปัจจุบัน ดังนั้น ผู้วิจัยเลือกปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการให้บริการรถ ปอ.พ. เฉพาะสายที่ 1 ด้วยสาเหตุสำคัญสองประการ คือ ประการแรก จากผลการสำรวจ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยผู้วิจัย พบว่าสายที่ 1 เป็นเส้นทางที่มีจำนวนผู้ใช้บริการรอใช้บริการในแถวคอยมากที่สุด และเป็นเส้นทางที่มีผู้โดยสารแออัดมากที่สุด โดยเฉพาะสถานีศาลาพระเกี้ยว ที่มีผู้โดยสารบนรถต่อเที่ยวสูงสุด ระหว่าง 36 ถึง 40 คน จากจำนวนที่นั่งบนรถ 21 ที่นั่ง ซึ่งส่งผลต่อความไม่สะดวกสบายของผู้โดยสาร เนื่องจากมีผู้โดยสารต้องยืนตลอดเส้นทางและเป็นเวลานานในสภาพการจราจรติดขัด และทำให้ผู้โดยสารไม่พึงพอใจการให้บริการรถ ปอ.พ. และประการที่ 2 คือ จากผลการสำรวจโดยผู้วิจัย พบว่าผู้โดยสารส่วนใหญ่ใช้เวลารออยู่ในแถวคอยมากกว่า 10 นาที ทำให้ผู้โดยสารไม่สามารถวางแผนการเดินทางได้อย่างแม่นยำ และไม่สามารถวางแผนการใช้บริการรถ ปอ.พ. เพื่อหลีกเลี่ยงช่วงเวลาเร่งด่วนและสภาพรถแออัดได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจและวิเคราะห์สภาพการให้บริการในปัจจุบันของระบบรถ ปอ.พ. ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการในชั่วโมงเร่งด่วน
2. เพื่อเสนอแนะวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการ รถ ปอ.พ. ด้วยวิธีสร้างแบบจำลองสถานการณ์

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย การวัดประสิทธิภาพของการขนส่งผู้โดยสารด้วยรถสาธารณะ และแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินรถสาธารณะ รายละเอียดโดยสรุปมีดังนี้

1. การวัดประสิทธิภาพของการขนส่งผู้โดยสารด้วยรถสาธารณะ

ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพรถ ปอ.พ. ตามทฤษฎีความจุผู้โดยสาร (load factor) จากคู่มือ Transit Capacity and Quantity of Service ของคณะกรรมการวิจัยด้านขนส่ง ประเทศสหรัฐอเมริกา (Transportation Research Board [TRB], 2003) ค่าความจุผู้โดยสารเป็นเกณฑ์ประเมินความสะดวกสบายของผู้โดยสารขณะที่อยู่บนรถ ดัชนีดังกล่าวคำนวณจากจำนวนผู้โดยสารหารด้วยจำนวนที่นั่งภายในรถ แล้วจึงนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับระดับการให้บริการตามเกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ระดับความสะดวกสบายมี 6 ระดับ จากระดับ F ซึ่งเป็นระดับต่ำสุด ไปจนถึงระดับ A ซึ่งเป็นระดับมากที่สุด ค่าความจุผู้โดยสารต่ำกว่า 1 หมายถึง มีจำนวนที่นั่งบนรถมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนผู้โดยสาร นั่นหมายความว่า ผู้โดยสารทุกคนมีที่นั่งของตัวเอง เมื่อมีผู้โดยสารเพิ่มขึ้น จะทำให้ดัชนีดังกล่าวมีค่ามากกว่า 1 และเมื่อมีค่าสูงมากกว่า 1.5 นั้นหมายความว่าสภาพบนรถโดยสารแออัด และสะท้อนถึงประสิทธิภาพการให้บริการของรถโดยสารในระดับต่ำด้วย

ตารางที่ 2 ระดับความสะดวกสบายของผู้โดยสาร ขณะใช้บริการรถสาธารณะ

ระดับความสะดวกสบาย	ค่าความจุผู้โดยสาร (จำนวนผู้โดยสารต่อจำนวนที่นั่ง)	ขนาดพื้นที่ตารางฟุต ต่อผู้โดยสาร 1 คน	คำอธิบาย
A	0.00 – 0.50	มากกว่า 10.8	ผู้โดยสารเลือกที่นั่งได้ หรือผู้โดยสารยืนห่างจากผู้โดยสารคนอื่น มีพื้นที่ว่างบนรถมาก
B	0.51 – 0.75	8.2 – 10.8	ผู้โดยสารเลือกที่นั่งได้ หรือผู้โดยสารยืนห่างจากผู้โดยสารคนอื่นอย่างสบาย
C	0.76 – 1.00	5.5 – 8.1	ผู้โดยสารทุกคนได้นั่ง หรือผู้โดยสารยืนอย่างสบาย มีพื้นที่ว่างระหว่างผู้โดยสารพอเหมาะ
D	1.01 – 1.25	3.9 – 5.4	มีผู้โดยสารที่ได้นั่งและยืนบนรถอย่างสบาย แต่มีระยะห่างน้อยระหว่างผู้โดยสารที่ยืน
E	1.26 – 1.50	2.2 – 3.8	มีผู้โดยสารจำนวนมาก ผู้โดยสารยืนใกล้กัน
F	มากกว่า 1.50	น้อยกว่า 2.2	มีผู้โดยสารหนาแน่นและแออัด

ที่มา: Transportation Research Board: TRB (2003)

นอกจากนี้ ตารางที่ 2 ยังแสดงขนาดพื้นที่ที่ไม่ได้ติดตั้งเก้าอี้ที่นั่งไว้เลยเป็นตารางฟุต ที่ผู้โดยสาร 1 คน ใช้ยืนบนรถโดยสาร นั้นหมายความว่า ผู้โดยสารที่ขึ้นรถจะต้องยืนทั้งหมด เมื่อผู้โดยสาร 1 คนมีพื้นที่ยืนน้อยกว่า 2.2 ตารางฟุต จะหมายถึง รถโดยสารคันนั้นมีผู้โดยสารหนาแน่นและแออัดมาก และสะท้อนประสิทธิภาพการให้บริการของรถในระดับต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Li and Hensher (2013) ที่สำรวจเกณฑ์ชี้วัดความแออัดของผู้โดยสารที่ใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะทางถนนในประเทศอังกฤษ สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย โดยพบว่า นิยมใช้เกณฑ์ผู้โดยสารที่ยืน 1 คนต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าความจุผู้โดยสารเป็นเกณฑ์สำคัญของงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและยืดหยุ่นได้มากกว่าการกำหนดขนาดพื้นที่สำหรับผู้โดยสารที่ยืน (Transportation Research Board [TRB], 2003) และมีวิธีคำนวณไม่ซับซ้อน และสะดวกต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยนำหลักการวัดความแออัดของผู้โดยสารที่ยืนต่อพื้นที่บนรถ มาใช้

เป็นแนวทางปรับเปลี่ยนสภาพกายภาพของรถ ปอ.พ. เช่น การนำที่นั่งในรถออกเพื่อเพิ่มพื้นที่ยืน นอกจากนี้ ผู้วิจัยใช้ค่าเฉลี่ย ระยะเวลารอคอยของผู้โดยสาร ณ สถานี ศาลาพระแก้ว และสถานีโรงพยาบาลนตร์ลิได้ ไม่เกิน 10 นาที เป็นเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพด้านเวลา ทั้งนี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยดังกล่าวจากข้อมูลที่ผู้วิจัยสำรวจ และสัมภาษณ์ผู้รอใช้บริการรถ ปอ.พ. ประกอบด้วย เวลาสูงสุดที่ยืนติดรถ (expected duration) และเวลาที่รถจริง (actual duration) นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ย ระยะเวลารอคอยยังตรงกับจุดกึ่งกลางของระยะเวลาออกรถ (headway) ระหว่าง 5-15 นาที ในช่วง 15:30 - 19:00 น. (แสดงในตารางที่ 1)

2. แนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินรถสาธารณะ

งานวิจัยของ Khokhuntod (2014) เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินรถโดยสารสวัสดิการ ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 4 สาย โดย ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena 14.0

เกิดขึ้นจากความไม่พึงพอใจของผู้โดยสารที่รอคอยรถเฉลี่ยมากกว่า 10 นาทีในการนี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์จำนวนรถสวัสดิการที่เหมาะสมในแต่ละสาย (สูงสุดไม่เกิน 17 คัน) ของช่วงเวลาเร่งด่วน 3 ช่วง ได้แก่ เวลา 7:30 - 9:30 น., 11:30 - 13:30 น. และ 15:30 - 17:30 น. เพื่อให้ความพึงพอใจของผู้โดยสารอยู่ในระดับที่รับได้ร้อยละ 79.60 ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลา 7:30 - 9:30 น. ใช้รถจำนวน 16 คัน ช่วงเวลา 11:30 - 13:30 น. ใช้รถจำนวน 14 คัน แต่ช่วงเวลา 15:30 - 17:30 น. กลับมีระดับความพึงพอใจต่ำกว่าที่ยอมรับ แม้ว่าจะใช้รถทุกคันก็ตาม ผลวิจัยนี้นำไปสู่การเปลี่ยนการเดินรถจากปกติเป็นรถด่วน จุดเฉพาะจุดที่มีจำนวนผู้โดยสารขึ้นลงมากกว่าร้อยละ 10 ของจำนวนผู้โดยสารทั้งหมดต่อเที่ยว ผลการจำลองสถานการณ์สรุปว่า สายที่ 3 และ 4 ต้องใช้รถ 1 คันจาก 4 คัน เพื่อเป็นรถด่วน จึงสามารถเพิ่มความพึงพอใจของผู้โดยสารให้ถึงระดับที่ยอมรับได้

ผู้วิจัยนำข้อค้นพบจาก Khokhantod (2014) มาออกแบบแนวทางปรับปรุงระบบการให้บริการของรถ ปอ.พ. ได้แก่ แนวคิดการเพิ่มจำนวนรถโดยนำรถสำรองมาใช้ที่ละคัน และการลดจำนวนจุดจอดที่มีจำนวนผู้โดยสารขึ้นลงต่ำกว่าร้อยละ 10 อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การสรุปว่ารถโดยสารของมหาวิทยาลัยไม่เพียงพอ โดยพิจารณาจากดัชนีเวลารอเฉลี่ยของผู้โดยสารมากกว่า 10 นาทีเพียงอย่างเดียว อาจไม่ครอบคลุมสภาพที่เป็นจริงของการให้บริการรถ ปอ.พ. ผู้วิจัยเชื่อว่าควรพิจารณาความจุของรถด้วย เพราะให้สารสนเทศเพิ่มเติมเกี่ยวกับพื้นที่ให้บริการบนรถต่อผู้โดยสาร และจำนวนผู้โดยสารในขณะนั้น

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงเสนอวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพรถ ปอ.พ. สาย 1 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) การจัดเรียงที่นั่งผู้โดยสารภายในรถเพื่อเพิ่มความจุของรถ (2) การนำรถสำรองจากเส้นทางอื่นมาสนับสนุน (3) การยกเลิกจุดจอดรับผู้โดยสารที่มีผู้ใช้บริการน้อยชั่วคราว และ (4) การเปลี่ยนเส้นทางเดินรถบางช่วง เพื่อหลีกเลี่ยงการจราจรติดขัด สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีนั้น ผู้วิจัยพิจารณาจากความสามารถของระบบรถ ปอ.พ. ในการขนส่งผู้โดยสารได้จำนวนมากขึ้น

และไม่เกินความจุของรถ ตามข้อกำหนดในคู่มือ Transit Capacity and Quantity of Service (Transportation Research Board [TRB], 2003) และพิจารณาจากเวลารอคอยรวมโดยเฉลี่ยไม่เกิน 10 นาที ของผู้รอใช้บริการในสถานีศาลาพระเกี้ยวและสถานีโรงพยาบาลนครลิโด

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนวิจัย โดยเริ่มต้นจากการสำรวจสภาพการดำเนินงานและการให้บริการในปัจจุบันของระบบรถ ปอ.พ. ด้วยการสังเกต สัมภาษณ์ และให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถาม รวมทั้งทดลองให้บริการรถ ปอ.พ. ด้วยตนเอง เพื่อเลือกช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์มากที่สุด จากนั้นผู้วิจัยเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรถ ปอ.พ. และตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของแนวทางต่าง ๆ ด้วยการจำลองสถานการณ์ รายละเอียดของขั้นตอนวิจัย มีดังนี้

ขั้นที่ 1 การสำรวจสภาพการดำเนินงานและการให้บริการในปัจจุบันของระบบรถ ปอ.พ.

เนื่องจากการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ต้นแบบที่นำเพื่อถือและใกล้เคียงกับระบบรถ ปอ.พ. ปัจจุบันจำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานหลายด้าน เช่น จำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นและลงรถ ปอ.พ. ในแต่ละสถานี และจำนวนผู้โดยสารที่นั่งและยืนบนรถแต่ละรอบการเดินรถ อย่างไรก็ตาม สภาพการดำเนินงานในปัจจุบันของระบบรถ ปอ.พ. ไม่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง รวมถึงผู้วิจัยมีข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวจากบริษัท รถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานใหม่ โดยผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนการสำรวจสภาพการดำเนินงานของระบบรถ ปอ.พ. ดังต่อไปนี้

(1) สำรวจความคิดเห็นย้อนหลังของผู้ใช้บริการในเฟซบุ๊ก CU POP CHULA (สำรวจเมื่อวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2561) จำนวน 78 ข้อความ เพื่อวิเคราะห์ว่า รถสายใดถูกร้องเรียนและต้องการเพิ่มจำนวนรถสูงสุด และสถานีหรือจุดจอดใดที่มีการร้องเรียนเกี่ยวกับการรอคอยรถสูงที่สุด

(2) สัมภาษณ์คนในในพื้นที่จริงและสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้บริการ จำนวน 90 คน แบ่งเป็น นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ร้อยละ 90 บุคลากรและบุคคล

ภายนอกร้อยละ 8 และอาจารย์ร้อยละ 2 โดยผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 วัน ระหว่างวันที่ 3-7 กันยายน พ.ศ. 2561 ระหว่างเวลา 7:00 - 9:00 น. และ 15:30 - 17:00 น. และมีประเด็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับช่วงเวลาที่มีผู้ใช้บริการสูงสุด ระยะเวลาสูงสุดที่สามารถรอคอยรถได้ ณ ช่วงเวลาเร่งด่วน และระยะเวลาเฉลี่ยในการรอคอยรถ ณ ช่วงเวลาเร่งด่วน

(3) ทดลองใช้บริการรถ ปอ.พ. จริง ตามเวลาที่ระบุในข้อ 2 เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อค้นพบเบื้องต้น รวมทั้งรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับสร้างแบบจำลองต้นแบบ ได้แก่ จำนวนผู้โดยสารที่ขึ้นและลงในแต่ละจุดจอด แนวโน้มของสถานีที่มีผู้ใช้บริการสูงสุด เส้นทางการวิ่งของรถ ปอ.พ. และสภาพการจราจรในช่วงเวลาเร่งด่วน

(4) สัมภาษณ์ผู้ให้บริการรถ ปอ.พ. (บริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด) เมื่อวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2561 เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในมุมมองผู้ให้บริการ และเพื่อนำข้อมูลทฤษฎีที่ได้มาช่วยสร้างแบบจำลองสถานการณ์ต้นแบบ

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ช่วงเวลาเร่งด่วนที่สนใจศึกษา

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 พบว่า จากตารางที่ 3 รถสายที่ 1 ช่วงเวลา 15:30 - 17:00 เป็นช่วงเวลาที่ถูกร้องเรียนให้เพิ่มจำนวนรถและให้ปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ รวมถึงมีจำนวนผู้โดยสารและผู้รอใช้บริการสูงสุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกปรับปรุงประสิทธิภาพระบบรถ ปอ.พ. ในช่วงดังกล่าว

ตารางที่ 3 ช่วงเวลาที่พบปัญหาการร้องเรียนและจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดของรถสายที่ 1

วิธีการ	ช่วงเวลาที่ถูกร้องเรียน และมีผู้ใช้บริการสูงสุด
วิเคราะห์ความคิดเห็นจากเฟซบุ๊ก CU POP CHULA	7:00 - 8:00 น. และ 16:00 - 18:00 น.
สำรวจพื้นที่จริง สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้บริการ และทดลองใช้บริการรถ ปอ.พ.	15:30 - 17:00 น.
สัมภาษณ์ตัวแทนของบริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด	15:30 - 17:00 น.
วิเคราะห์ข้อมูลทฤษฎีจากบริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด	15:30 - 17:00 น.

นอกจากนี้ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเพิ่มเติมวันที่ 17, 19, 20, 28 กันยายน และ 1, 2, 3 ตุลาคม พ.ศ. 2561 เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพด้านความสะดวกสบายของผู้โดยสาร โดยพิจารณาจากค่าความจุผู้โดยสาร (Transportation Research Board [TRB], 2003) ของรถ ปอ.พ. สายที่ 1 ในช่วงเวลาเร่งด่วนระหว่าง 15:30 ถึง 17:00 น. และพบว่าค่าความจุผู้โดยสารสูงเกินมาตรฐาน คือเท่ากับ 1.72 ดังแสดงในตารางที่ 4 ตามเกณฑ์ในตารางที่ 1 ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 หรือเท่ากับจำนวนผู้โดยสาร 32 คน ต่อคัน อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยเลือกใช้เกณฑ์ค่าความจุผู้โดยสารเท่ากับ 1.72 หรือเท่ากับจำนวนผู้โดยสาร 36 คน เนื่องจากผลการสังเกตสภาพจริงและข้อมูล

จากการทดลองใช้ยืนยันตรงกันว่า จำนวนผู้โดยสารสูงสุดที่เริ่มแออัด จนทำให้ผู้โดยสารยืนไม่สามารถหยิบของใช้ส่วนตัวได้ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือกระเป๋าเงินเท่ากับ 36 คน และระยะทางการเดินทาง ปอ.พ. สายที่ 1 ก่อนข้างสั้น ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนผู้โดยสารให้มากกว่าเกณฑ์ของ Transportation Research Board [TRB] (2003) นอกจากนี้ผลสำรวจยังแสดงให้เห็นว่า ผู้ใช้บริการให้ความสำคัญกับความแออัดของผู้โดยสารบนรถน้อยกว่าการยืนรอรถโดยสารเป็นเวลานาน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้จำนวนผู้โดยสารสูงสุด 36 คน หรือเท่ากับค่าความจุผู้โดยสาร 1.72 เป็นเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 ผลสำรวจและผลวิเคราะห์เกี่ยวกับสภาพการให้บริการของรถ ปอ.พ. สายที่ 1

วันที่สำรวจ	จำนวนเที่ยว ที่สังเกตทั้งหมดระหว่าง 15:00 - 17:00 น.	จำนวน ผู้โดยสารสูงสุด บนรถต่อเที่ยว	จำนวนเที่ยวที่พบ ค่าความจุผู้โดยสาร สูงกว่า 1.72	ค่าความจุผู้โดยสาร สูงสุด
17 กันยายน 2561	20	45	15	2.14
19 กันยายน 2561	23	45	16	2.14
20 กันยายน 2561	23	45	17	2.17
28 กันยายน 2561	22	41	14	1.95
1 ตุลาคม 2561	23	44	14	2.10
2 ตุลาคม 2561	17	42	12	2.00
3 ตุลาคม 2561	23	44	13	2.10

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า ค่าความจุผู้โดยสารของรถ ปอ.พ. สาย 1 เกิน 1.72 มากกว่าร้อยละ 50 ของจำนวนเที่ยวที่สังเกตทั้งหมด นั่นหมายความว่า ปัจจุบันมีผู้ใช้บริการรถ ปอ.พ. สาย 1 ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนจำนวนมาก และสภาพในรถโดยสารแออัด จึงควรปรับปรุงแก้ไขรถ ปอ.พ. สาย 1

ขั้นที่ 3 การออกแบบแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพระบบรถ ปอ.พ.

ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้แนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพระบบรถ ปอ.พ. ที่เสนอทั้งหมด มีค่าความจุผู้โดยสารไม่เกิน 1.72 หรือ 36 คน จึงทำให้แบบจำลองทั้งหมดผ่านเกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพด้านความจุผู้โดยสารด้วย ผู้วิจัยจึงตรวจสอบเฉพาะประสิทธิภาพด้านเวลา โดยกำหนดให้

ค่าเวลารอคอยเฉลี่ย (average waiting time) ที่สถานีศาลาพระแก้วและที่สถานีโรงพยาบาลนครลิได้ต้องไม่เกิน 10 นาที รายละเอียดของแต่ละแนวทางมีดังต่อไปนี้

แนวทางที่ 1 การปรับเก้าอี้โดยสารภายในรถ

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการเพิ่มความจุภายในรถ เพื่อลดจำนวนผู้รอใช้บริการในแถวคอย เพิ่มจำนวนผู้โดยสารที่เดินทางไปกลับ และลดจำนวนผู้รอใช้บริการที่เดินออกจากแถวคอย ผู้วิจัยจึงลดจำนวนที่นั่งผู้โดยสารภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า สามารถนำที่นั่งออกได้สูงสุดจำนวน 9 ที่ ได้แก่ ด้านขวาของตัวรถ 5 ที่ และด้านซ้ายของตัวรถ 4 ที่ ส่วนที่นั่งอื่นไม่สามารถนำออกได้เนื่องจากถูกติดตั้งบนพื้นที่สูงกว่าพื้นรถปกติ โดยแม้ว่าจะนำที่นั่งดังกล่าวออก ผู้โดยสารก็ไม่สามารถยืนตรงพื้นที่ดังกล่าวได้ เพราะมีความสูงจากพื้นถึงเพดานรถเพียง 1.30 เมตร



ก่อนลดจำนวนที่นั่ง



หลังลดจำนวนที่นั่ง

ภาพที่ 1 การปรับลดจำนวนที่นั่งผู้โดยสาร
ที่มา: Chulalongkorn University (2016)

แนวทางที่ 2 การนำรถสำรองมาเสริม

ผู้วิจัยออกแบบแนวทางที่ 2 โดยนำรถสำรองที่มีอยู่แล้วในระบบรถ ปอ.พ. จำนวน 6 คัน ซึ่งจะใช้เฉพาะกรณีรถปกติในระบบ จำนวน 28 คัน ขาดรถต้องซ่อมแซม โดยจำลองสถานการณ์ที่เพิ่มรถสำรองทีละ 1 คัน เข้ามาในระบบ แต่ไม่เกิน 6 คัน จนกระทั่งมีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยที่สถานีศาลาพระแก้วและที่สถานีโรงพยาบาลนครลิโด์ ไม่เกิน 10 นาที

แนวทางที่ 3 การลดจำนวนจุดจอดรถชั่วคราวเฉพาะช่วงเวลา 15:30 - 17:00 น.

ผู้วิจัยออกแบบแนวทางที่ 3 โดยให้ยกเลิกจุดจอดรถบางจุดชั่วคราว เพื่อลดระยะเวลาการเดินทางต่อรอบ (cycle time) โดยผู้วิจัยจำลองสถานการณ์โดยให้รถ ปอ.พ. วิ่งรับส่งเฉพาะบางจุดจอด ในช่วง 15:30 - 17:00 น. และยกเลิกเฉพาะบางจุดจอดที่อยู่ภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีผู้โดยสารน้อยกว่าร้อยละ 10 ของ

จำนวนผู้โดยสารขึ้นและลงทั้งหมด จากจำนวนจุดจอด 10 จุด เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อผู้โดยสารน้อยที่สุด จุดจอดที่ยกเลิกชั่วคราว ได้แก่ สถานีสาธิตปทุมวัน สถานีคณะสัตวแพทยศาสตร์ และสถานีคณะเภสัชศาสตร์

แนวทางที่ 4 การปรับเส้นทางรถโดยสาร โดยเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด

ผู้วิจัยพบว่า สาเหตุหนึ่งที่ทำให้รถล่าช้าเกิดจากรถ ปอ.พ. สายที่ 1 มีเส้นทางเดินรถร่วมกับเส้นทางที่มีการจราจรติดขัดภายนอกมหาวิทยาลัย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงจำลองสถานการณ์ โดยปรับให้รถ ปอ.พ. ใช้เส้นทางเลี่ยงลัดผ่านคณะสัตวแพทยศาสตร์ ที่มีถนนขนานกับถนนสุขุมวิท บริเวณหน้าสถานีโรงพยาบาลนครลิโด์ ผ่านศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะเภสัชศาสตร์ และผ่านโอสถศาลา ไปจอดรับที่จุดจอดสถานีคณะเภสัชศาสตร์ ดังภาพที่ 2 ผู้วิจัยสำรวจเส้นทางเลี่ยงนี้พบว่า เป็นเส้นทางที่การจราจรไม่ติดขัด เนื่องจากเป็น

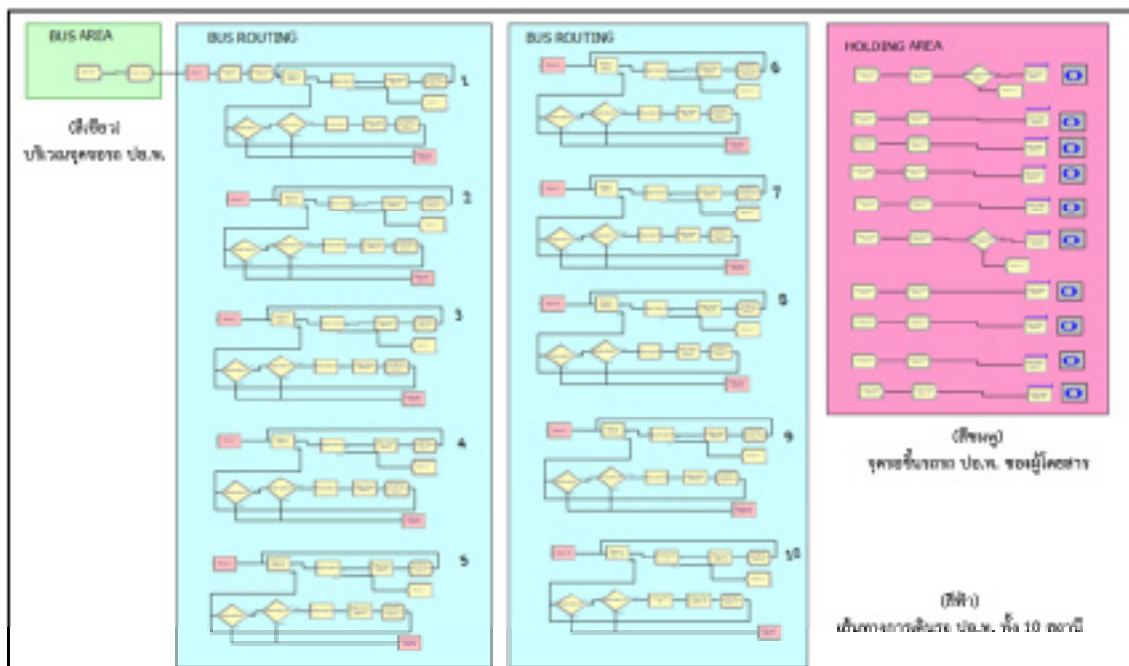
ถนนส่วนบุคคล มีเพียงเฉพาะบุคคลที่เดินทางภายในพื้นที่
สยามสแควร์หรือบริเวณใกล้เคียง ดังนั้น การใช้เส้นทาง

ดังกล่าวจะช่วยลดระยะเวลาการวิ่งรถในช่วงการจราจร
ติดขัดลงได้



ภาพที่ 2 เส้นทางรถโดยสารเพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีสภาพการจราจรติดขัด
ที่มา: CU POP BUS (2019)

ขั้นที่ 4 การสร้างแบบจำลองต้นแบบและการออกแบบระบบแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์ของระบบรถ ปอ.พ. สาย 1 ในปัจจุบัน ที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้
ที่มา: โดยผู้วิจัย

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองสถานการณ์ระบบรถ ปอ.พ. ด้วยโปรแกรม Arena 14.0 (Rockwell Automation, 2014) โดยเริ่มต้นจากการสร้างระบบการให้บริการของรถสาย 1 ณ ปัจจุบัน ดังภาพที่ 3 ซึ่งมีจุดจอดรถทั้งหมด 10 สถานี ได้แก่ (1) สถานีศาลาพระเกี้ยว (2) สถานีคณะรัฐศาสตร์ (3) สถานีสาธิตปทุมวัน (4) สถานีคณะสัตวแพทยศาสตร์ (5) สถานีแยกเฉลิมเผ่า (6) สถานีโรงหนังลิโด้ (7) สถานีคณะเภสัชศาสตร์ (8) สถานีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (9) สถานีคณะอักษรศาสตร์ และ (10) สถานีคณะวิศวกรรมศาสตร์

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า แบบจำลองสถานการณ์ระบบการให้บริการรถ ปอ.พ. ในปัจจุบันประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) บริเวณจุดจอดรถ (bus area) ซึ่งเป็นส่วนเริ่มของการให้บริการของรถ ปอ.พ. สาย 1 โดยทำหน้าที่ปล่อยรถเข้าในระบบ (2) เส้นทางรถเดินรถ (bus routing) ประกอบไปด้วยสถานีต่างๆ ของรถสายที่ 1 และโมดูลที่กำหนดความเร็วในการวิ่งรถและเงื่อนไขต่างๆ รวมทั้งการรับและปล่อยผู้โดยสารลงจากรถ จนกระทั่งรถเดินทางไปยังจุดจอดสถานีต่างๆ และวนกลับเข้ามาที่จุดเริ่มต้น ณ สถานีต้นทาง และ (3) จุดรอขึ้นรถ (holding area) เป็นส่วนของการเข้ามาของผู้โดยสารในแถวคอยของสถานีต่างๆ

ขั้นที่ 5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต้นแบบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต้นแบบ แบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการตรวจสอบว่า แบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นถูกต้องและเป็นไปตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนดหรือไม่ (verification) โดยตรวจสอบจากการเคลื่อนที่ของสัญลักษณ์ (animation) และส่วนที่สองเป็นการตรวจสอบว่า แบบจำลองต้นแบบใกล้เคียงกับระบบจริงหรือไม่ (validation) โดยเริ่มจากการกำหนดรอบทำซ้ำ และเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) ของค่าเฉลี่ยระยะเวลารอคอยในสถานีระหว่างแบบจำลองและระบบปัจจุบันว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ขั้นที่ 6 การทดสอบแนวทางการปรับปรุงของแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพ

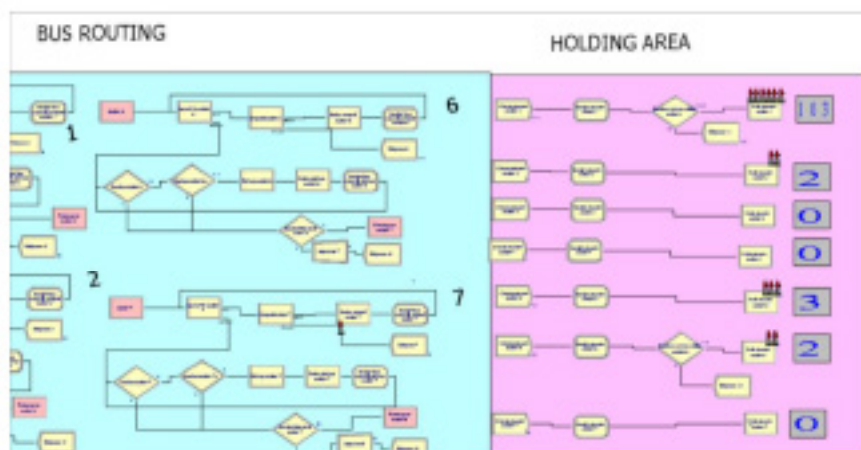
ผู้วิจัยทดสอบแนวคิดการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้ง 4 แนวทางข้างต้น ด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละแนวคิดว่าจะแตกต่างจากสถานการณ์ดั้งเดิมหรือไม่ โดยพิจารณาจากระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้โดยสาร และทดสอบนัยสำคัญของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ แต่ไม่อิสระต่อกัน (paired t-test) ด้วยโปรแกรม Output Analyzer

ผลการวิจัย

เกณฑ์ที่ผู้วิจัยใช้ประเมินประสิทธิภาพของรถ ปอ.พ. ประกอบด้วยค่าความจุผู้โดยสาร และระยะเวลารอคอยเฉลี่ย โดยในกระบวนการสร้างแบบจำลองวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของรถ ปอ.พ. นั้น ทุกแนวทางกำหนดให้มีค่าความจุผู้โดยสารเท่ากับ 1.72 หรือมีจำนวนผู้โดยสารสูงสุดเท่ากับ 36 คน ต่อรถโดยสารหนึ่งคัน ตามผลวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์โดยผู้วิจัยนั้นหมายความว่า แบบจำลองจะมีความจุผู้โดยสารเท่ากับค่าสูงสุดตั้งแต่ต้น ทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง พิเคราะห์เฉพาะระยะเวลารอคอยเฉลี่ยไม่เกิน 10 นาที ผลการวิจัยมีดังนี้

1. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของสัญลักษณ์สีแดง ที่เคลื่อนที่เข้าใช้บริการรถ ปอ.พ. ในระบบของผู้รอใช้บริการจากแถวคอย ณ สถานีต้นทางศาลาพระเกี้ยว พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับในระบบจริง โดยมีจำนวนสัญลักษณ์รูปคนสีแดง ซึ่งใช้แทนจำนวนผู้รับใช้บริการอยู่ในแถวคอยเกิดขึ้น และมีจำนวนมากที่สุด ณ สถานีต้นทาง ตามข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังแสดงไว้ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นแสดงการเข้ามาใช้บริการ รถ ปอ.พ. ของผู้โดยสารจากแถวคอยที่สถานีต่างๆ
ที่มา: โดยผู้วิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์กับผลลัพธ์จากระบบจริง โดยพิจารณาจากช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) ของค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเดินทางในหนึ่งรอบ และค่าเฉลี่ยเวลารอคอยของผู้โดยสารบริการ ดังตารางที่ 5 และพบว่าช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของระยะเวลาการเดินทางของรถหนึ่งรอบในระบบจริง อยู่ในช่วง 28.86 ถึง 32.17 และแบบจำลองสถานการณ์อยู่ในช่วง 31.54 ถึง 31.78 ซึ่งช่วงในแบบจำลองสถานการณ์ตกอยู่ในช่วงเดียวกัน

กับช่วงของระบบจริง ส่วนช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของระยะเวลาในการรออยู่ในแถวคอยเฉลี่ยของผู้โดยสารในระบบจริงอยู่ที่ 10.82 ถึง 13.52 ในขณะที่แบบจำลองสถานการณ์มีช่วงตกอยู่ที่ 11.63 ถึง 12.33 ซึ่งช่วงในแบบจำลองต้นแบบตกอยู่ในช่วงเดียวกับระบบจริงเช่นกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า แบบจำลองต้นแบบที่สร้างขึ้นไม่แตกต่างจากระบบจริง จึงสามารถใช้แทนระบบจริงของการให้บริการรถ ปอ.พ. ในปัจจุบันและใช้ทดสอบแนวคิดการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ระหว่างระบบจริงและแบบจำลองสถานการณ์

การเปรียบเทียบ	Mean	ค่า Half width	Lower bound	Upper bound
ระยะเวลาการเดินทางของรถหนึ่งรอบ				
ระบบจริง	30.52	± 1.66	28.86	32.17
แบบจำลองต้นแบบ	31.66	± 0.12	31.54	31.78
ระยะเวลาในแถวคอยเฉลี่ย				
ระบบจริง	12.17	± 1.35	10.82	13.52
แบบจำลองต้นแบบ	11.98	± 0.35	11.63	12.33

หมายเหตุ: ผลลัพธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ผลทดสอบแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยแบบจำลองสถานการณ์

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองสถานการณ์การทดสอบการปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการของรถโดยสารภายในของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รถ ปอ.พ) สายที่ 1 จำนวน 4 แนวทาง ได้แก่ แนวทางที่ 1 การปรับเก้าอี้โดยสารภายในรถ แนวทางที่ 2 การนำรถสำรองมาเสริมแนวทางที่ 3 การลดจำนวน bus stop (ยกเลิกชั่วคราวเฉพาะช่วงเวลา 15:30 น. ถึง 17:30 น.) และแนวทางที่ 4 ปรับเปลี่ยนเส้นทางในการวิ่งเพื่อเลี่ยงเส้นทางที่สภาพการจราจรติดขัด

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์จากแนวทางทั้งหมดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ทำให้ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลดลงที่สถานีศาลาพระเกี้ยว

และสถานีโรงภาพยนตร์ลิโด้ ดังแสดงตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการรอคอยเฉลี่ยในระบบปัจจุบันและมีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยไม่เกิน 10 นาที พบว่าแนวทางที่ 4 สามารถลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 53 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 46 ที่สถานีโรงภาพยนตร์ลิโด้ (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 46) อันดับที่ 2 คือ แนวทางที่ 2 ลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลงร้อยละ 34 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 23 ที่สถานีโรงภาพยนตร์ลิโด้ (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 28) และอันดับที่ 3 คือ แนวทางที่ 1 ลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลงร้อยละ 23 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 20 ที่สถานีโรงภาพยนตร์ลิโด้ (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 21) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์และผลทดสอบทางสถิติที่สถานีศาลาพระเกี้ยว

แนวทาง	ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยที่สถานี		ความแตกต่าง (นาที)	ร้อยละ ความแตกต่าง	ผลการทดสอบ สมมติฐาน ทางสถิติ
	จากแบบจำลอง สถานการณ์ ปัจจุบัน	จากแบบจำลอง สถานการณ์เพิ่ม ประสิทธิภาพ			
สถานีศาลาพระเกี้ยว					
1. ลดจำนวนที่นั่ง	11.99 ± 0.35	9.24 ± 0.27	2.75	ลดลง 22.9	p < 0.05
2. ใช้รถสำรองเสริม	11.99 ± 0.35	8.05 ± 0.27	3.94	ลดลง 33.8	p < 0.05
3. ลดจำนวนจุดจอด	11.99 ± 0.35	11.94 ± 0.38	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	p > 0.05
4. ใช้เส้นทางเลี่ยง	11.99 ± 0.35	5.63 ± 0.16	6.36	ลดลง 53.1	p < 0.05
สถานีโรงภาพยนตร์ลิโด้					
1. ลดจำนวนที่นั่ง	11.18 ± 0.54	8.96 ± 0.39	2.22	ลดลง 19.9	p < 0.05
2. ใช้รถสำรองเสริม	11.18 ± 0.54	8.64 ± 0.47	2.54	ลดลง 22.7	p < 0.05
3. ลดจำนวนจุดจอด	11.18 ± 0.54	10.85 ± 0.60	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	p > 0.05
4. ใช้เส้นทางเลี่ยง	11.18 ± 0.54	6.69 ± 0.25	4.49	ลดลง 40.2	p < 0.05

หมายเหตุ: ผลลัพธ์ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สำหรับผลทดสอบทางสถิติด้วยวิธีทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองประชากรที่มีการกระจายแบบปกติแต่ไม่อิสระต่อกันพบว่าแนวทางที่ 1 (ลดจำนวนที่นั่ง) แนวทางที่ 2 (ใช้รถสำรองเสริม) และแนวทางที่ 4 (ใช้เส้นทางเลี่ยง) มีผลทดสอบเหมือนกันทั้งที่สถานีศาลาพระเกี้ยวและสถานีโรงพยาบาลนครลิโด โดยมีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยแตกต่างจากระบบในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 มีเพียงแนวทางที่ 3 (ลดจำนวนจุดจอด) ที่ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยในแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากระบบในปัจจุบัน ทั้งที่สถานีศาลาพระเกี้ยวและสถานีโรงพยาบาลนครลิโด

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์สภาพการให้บริการในปัจจุบันของรถ ปอ.พ. ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และเสนอวิธีปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารจัดการระบบรถ ปอ.พ. โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

ปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบรถ ปอ.พ. สาย 1 ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน คือ จำนวนรถไม่เพียงพอสำหรับผู้ให้บริการ โดยผู้วิจัยประเมินจากค่าความจุผู้โดยสารที่มากกว่าระดับมาตรฐาน (Transportation Research Board [TRB], 2003) และความล่าช้าของรถที่วนกลับมารับผู้โดยสารที่สถานีต้นทาง ได้แก่ สถานีศาลาพระเกี้ยว และสถานีโรงพยาบาลนครลิโด ซึ่งอยู่ใกล้กับสถานีรถไฟฟ้า BTS สยาม เนื่องจากรถ ปอ.พ. ใช้เส้นทางที่มีการจราจรติดขัดทำให้มีผู้โดยสารในแถวคอยจำนวนมาก และเกิดการเดินออกจากแถวเมื่อไม่สามารถรอใช้บริการได้ ในการนี้ผู้วิจัยเสนอแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพระบบรถ ปอ.พ. โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ 4 แนวทาง ได้แก่ (1) การลดจำนวนที่นั่งโดยสารภายในรถ (2) การนำ

รถสำรองมาเสริม (3) การลดจำนวนจุดจอดชั่วคราว และ (4) การเลี่ยงใช้เส้นทางจราจรที่ไม่ติดขัด โดยกำหนดให้ทั้งสี่แนวทางมีค่าความจุผู้โดยสารเท่ากับ 1.72 หรือมีผู้โดยสารสูงสุดจำนวน 36 คน และผู้โดยสารมีระยะเวลารอคอยเฉลี่ยอยู่ในสถานีทั้งสองไม่เกิน 10 นาที

ผลวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ โดยเรียงลำดับแนวทางที่ช่วยลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยที่สถานีทั้งสองจากมากไปน้อย คือ แนวทางที่ 4 2 1 และ 3 ทั้งนี้ สาเหตุที่ทำให้แนวทางที่ 4 ลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยได้มากที่สุด คือ การวิ่งเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรติดขัด โดยลดลงจากแบบจำลองระบบปัจจุบัน ร้อยละ 53 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 40 ที่สถานีโรงพยาบาลนครลิโด

ส่วนสาเหตุที่ทำให้แนวทางที่ 2 ลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยได้เป็นอันดับที่สอง คือ การนำรถสำรองมาใช้เป็นรถเสริมในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ทำให้เพิ่มจำนวนการบรรทุกผู้โดยสารในระบบให้สูงขึ้น ลดจำนวนผู้โดยสารในแถวคอย และลดระยะเวลารอคอยเฉลี่ยในท้ายที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรถ ปอ.พ. ยังคงใช้เส้นทางที่มีการจราจรติดขัด จึงทำให้ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลดลงน้อยกว่าแนวทางที่ 4 โดยระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลดลงจากระบบปัจจุบัน ร้อยละ 34 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 23 ที่สถานีโรงพยาบาลนครลิโด

ส่วนแนวทางที่ 1 ที่ลดจำนวนที่นั่งโดยสารในรถนั้นใช้จำนวนรถเท่าเดิม ซึ่งจะช่วยเพิ่มความจุผู้โดยสารได้น้อยกว่าแนวทางที่ 2 จึงส่งผลต่อระยะเวลารอคอยเฉลี่ยลดลงน้อยกว่าแนวทางที่ 2 และ 4 ด้วย โดยลดลงจากระบบปัจจุบัน ร้อยละ 23 ที่สถานีศาลาพระเกี้ยว และร้อยละ 20 ที่สถานีโรงพยาบาลนครลิโด

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลารอคอยเฉลี่ยของแนวทางที่ 1 2 และ 4 พบว่า ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยจากแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพแตกต่างจากระยะเวลารอคอยเฉลี่ยระบบในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลารอคอยเฉลี่ยและผลทดสอบทางสถิติ

แนวทาง	ร้อยละความแตกต่างของระยะเวลา
	รอคอยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับระบบปัจจุบัน
สถานีศาลาพระเกี้ยว	
4. ใช้เส้นทางเลี้ยว	ลดลง 53.1
2. ใช้รถสำรองเสริม	ลดลง 33.8
1. ลดจำนวนที่นั่ง	ลดลง 22.9
3. ลดจำนวนจุดจอด	ไม่แตกต่าง
สถานีโรงพยาบาลตรังใต้	
4. ใช้เส้นทางเลี้ยว	ลดลง 40.2
2. ใช้รถสำรองเสริม	ลดลง 22.7
1. ลดจำนวนที่นั่ง	ลดลง 19.9
3. ลดจำนวนจุดจอด	ไม่แตกต่าง

สำหรับแนวทางที่ 3 การลดจำนวนจุดจอด โดยยกเลิกจุดจอดตรอกชั่วคราวเฉพาะช่วงเวลา 15:30 น. ถึง 17:30 น. พบว่า ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยจากแบบจำลองสถานการณ์ลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับระบบในปัจจุบัน และไม่บรรลุตามเกณฑ์ระยะเวลารอคอยที่ต้องลดลงต่ำกว่า 10 นาที รวมถึงผลการทดสอบทางสถิติพบว่า ระยะเวลารอคอยเฉลี่ยในแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากระยะเวลารอคอยเฉลี่ยระบบในปัจจุบัน เมื่อพิจารณาจากระบบในปัจจุบันพบว่า ผู้รอใช้บริการบางสถานี โดยเฉพาะสถานีคณะรัฐศาสตร์ สถานีโรงเรียนสาธิตปทุมวัน และสถานีคณะสัตวแพทยศาสตร์ ไม่สามารถขึ้นรถได้ในช่วงเวลาเร่งด่วน 15:30 น. ถึง 17:30 น. เนื่องจากมีผู้โดยสารเกินความจุของรถตั้งแต่สถานีต้นทางศาลาพระเกี้ยว ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า แนวทางการยกเลิกจุดจอดที่มีผู้โดยสารเลือกลงน้อยที่สุดชั่วคราว ทั้ง 3 สถานีที่ผู้รอใช้บริการไม่ได้ขึ้นรถอยู่แล้ว จึงเป็นสาเหตุที่ผลการทดสอบ

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระยะเวลารอคอยเฉลี่ยในแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากระยะเวลารอคอยเฉลี่ยระบบในปัจจุบัน แนวทางที่ 3 จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการให้บริการรถ ปอ.พ. ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้วิจัยจึงเสนอให้ใช้แนวทางที่ 4 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการของรถ ปอ.พ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปัจจุบัน นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้จัดการโครงการของบริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด พบว่า แนวทางที่ 4 สามารถนำมาปรับใช้ได้ทันที และมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแนวทางอื่นอีกด้วย โดยมีเพียงค่าใช้จ่ายในการประชาสัมพันธ์ เช่น การติดป้ายประชาสัมพันธ์ที่สถานีศาลาพระเกี้ยวซึ่งเป็นสถานีต้นทางและที่รถ ปอ.พ. สาย 1 เพื่อให้ผู้ใช้บริการทราบเกี่ยวกับการใช้เส้นทางเลี้ยวการจราจรติดขัดในช่วงเวลาเร่งด่วน 15:30 น. ถึง 17:30 น. เท่านั้น ในขณะที่แนวทางอื่นมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายประมาณการของแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพและข้อจำกัด

แนวทาง	รายละเอียดการดำเนินงาน	ค่าใช้จ่ายโดยประมาณ	ข้อจำกัด
4. ใช้เส้นทางเลี่ยง	1. จัดทำป้ายประชาสัมพันธ์ติดที่สถานีต้นทาง และที่ตัวรถ 2. แก้ไขข้อมูลเส้นทางรถใน จุฬาฯ ปอ.พ. บัส แอปพลิเคชัน	2,000 บาท และเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งเดียว	ไม่มีข้อจำกัด สามารถปรับใช้ได้ทันทีเมื่อประชาสัมพันธ์
2. ใช้รถสำรองเสริม	จ้างคนขับรถเพิ่ม 1 คน เมื่อนำรถสำรองมาใช้ 1 คัน	มากกว่า 20,000 บาท และต้องเสียค่าใช้จ่ายทุกเดือน	1. ต้องแก้ไขสัญญาและพิจารณางบประมาณในสัญญาใหม่ 2. บริษัทรถไฟฟ้าฯ อาจขอเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอื่นๆ เพราะเปลี่ยนรถสำรองเป็นรถหลัก
1. ลดจำนวนที่นั่ง	ค่าจ้างรถอเนกประสงค์ 9 ที่นั่ง และค่ารวบจับ 2 ราย ที่ต้องติดเพิ่มเติม คันละ 5,000 บาท จำนวน 7 คัน	35,000 บาท และเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งเดียว	1. ต้องแก้ไขสัญญาและพิจารณางบประมาณในสัญญาใหม่ 2. บริษัทรถไฟฟ้าฯ ต้องดำเนินการจดทะเบียนประเภทรถใหม่ เพราะจำนวนที่นั่งลดลง 3. ใช้เวลารอรถอเนกประสงค์ และติดตั้งรวบจับเพิ่มเติม

ข้อจำกัดในงานวิจัย

แบบจำลองสถานการณ์นี้ครอบคลุมเฉพาะการปรับปรุงการให้บริการของรถ ปอ.พ. สาย 1 ซึ่งเป็นสายที่มีปัญหามากที่สุดเท่านั้น หากจะมีการปรับปรุงการให้บริการของรถ ปอ.พ. สายอื่น สามารถใช้แบบจำลองนี้เป็นต้นแบบแต่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์เฉพาะของแต่ละสาย

แบบจำลองสถานการณ์นี้เป็นการจำลองการให้บริการในช่วงเวลาและสภาพอากาศปกติ มิได้ครอบคลุมถึงช่วงสภาพอากาศแปรปรวน เช่น ฝนตกหนัก ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการให้บริการของรถ ปอ.พ. แม้การสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลพบว่า โอกาสเกิดสภาพอากาศแปรปรวนมีค่อนข้างน้อยมาก แต่อาจเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการให้บริการและเวลารอคอยของผู้โดยสาร

ข้อเสนอแนะ ประโยชน์และการประยุกต์ใช้

ผู้วิจัยพิจารณาว่า การใช้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพด้านความจุผู้โดยสารบนรถเท่ากับ 1.72 หรือจำนวนสูงสุด 36 คน เป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ จากข้อมูลเชิงประจักษ์ เนื่องจากกำหนดจำนวนผู้โดยสารไม่แออัดมากเกินไป ถึงแม้ว่าในบางครั้ง จะพบจำนวนผู้โดยสารบนรถมากกว่า 36 คน (ระหว่าง 37 คน ถึง 45 คน) ซึ่งรถสามารถบรรทุกได้ เพราะเป็นเส้นทาง การเดินทางสั้นก็ตาม ดังนั้น หากบริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด สนใจนำผลวิจัยนี้ไปปรับปรุงระบบรถ ปอ.พ. ในอนาคต ก็ควรคำนึงถึงจำนวนผู้โดยสารสูงสุดบนรถเช่นกัน แต่ถ้าบริษัทต้องการเพิ่มจำนวนผู้โดยสารสูงสุดบนรถมากกว่า 36 คน ก็จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแบบจำลองใหม่ และทดสอบผลลัพธ์ใหม่อีกครั้ง

ผู้วิจัยเสนอแนะให้บริษัทรถไฟฟ้า (ประเทศไทย) จำกัด ทดลองนำแนวทางปรับเปลี่ยนเส้นทางเดินรถเพื่อการจราจรติดขัดมาใช้เป็นแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการของรถ ปอ.พ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปัจจุบัน ซึ่งสามารถปรับใช้ได้ทันที มีต้นทุนในการบริหารจัดการไม่เกิน 2000 บาท คือการติดตั้งป้ายประชาสัมพันธ์ และการประกาศผ่านเฟซบุ๊ก โดยเบื้องต้นกำหนดจำนวนผู้โดยสารสูงสุดบนรถไม่เกิน 36 คน จากนั้นทดสอบผลลัพธ์จากเวลารอคอยเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างผู้โดยสารในสถานีด่านทางศาลาพระเกี้ยว และสถานีโรงพยาบาลนตร์ลิได้ ในช่วงโมงเร่งด่วน 15:30 น. ถึง 17:30 น. เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้านเวลาที่เกิดขึ้นว่าตรงตามแบบจำลองหรือไม่ รวมทั้งการสอบถามความพึงพอใจในภาพรวมของผู้โดยสาร เพื่อนำมาพัฒนาและปรับปรุงรูปแบบการให้บริการในอนาคตต่อไป

อย่างไรก็ดี ผลวิจัยนี้อาจไม่สามารถนำไปใช้สรุปอ้างอิงรถ ปอ.พ. สายอื่นได้ เนื่องจากผู้วิจัยมุ่งเน้นสร้างแบบจำลองสถานการณ์เฉพาะรถ ปอ.พ. สาย 1 ซึ่งเป็นสายที่มีปัญหามากที่สุดเท่านั้น ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพการดำเนินการของรถสายอื่นเพิ่มเติม และสร้างแบบจำลองที่ครอบคลุมการดำเนินงานของรถทุกสายเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการของรถ ปอ.พ. ในภาพรวมทั้งหมด

บรรณานุกรม

Chulalongkorn University. (2016). *Rāṅg khōpkhet khōṅg ngān (TOR) chabap thī sōṅg chāṅg boṛikān dōenrot dōisān phāinai Chulalongkorn mahawitthayalai bāp mai mī kānchatkep khā dōisān duai withikān thāṅg 'ileksōṅik* [Term of reference No.2 of hiring the free internal shuttle buses service of Chulalongkorn University by e-bidding]. Bangkok: Office of Physical Resources Management Chulalongkorn University.

CU POP BUS. (2018). *Tārāṅg kān dōenrot khōṅg rot ปอ.พ. sāi thī nung sālā phrakiao - lido (Sayām)* [The CU pop bus schedule of route 1]. Retrieved October 15, 2019, from <https://www.facebook.com/CUPOPBUS>

CU POP BUS. (2019). *Sēnthāṅg kān dōenrot phūa likliāṅg sēnthāṅg thī mī saphāp kānchārā chōṅ titkhat* [The bus route of idea changing the bus route to avoid traffic congestion]. Retrieved October 15, 2019, from <https://www.facebook.com/CUPOPBUS>

Khokhuntut, N. (2014). *Kān prapprung prasitthiphāp kān dōenrot dōisān sawatdikan phāinai mahawitthayalai kasetsat dōi chai bāpchamlōṅg sathanakān* [Improving Kasetsart University bus routes by simulation modeling and analysis] (Master's thesis, Kasetsart University).

Li, Z., & Hensher, D. A. (2013). Crowding in public transport: A review of objective and subjective measures. *Journal of Public Transportation*, 16(2), 107-134.

Rockwell Automation. (2014). *Arena simulation software (Version 14.0)* [Computer software]. Retrieved May 29, 2019, from <https://www.arenasimulation.com>

Transportation Research Board [TRB]. (2003). *Transit capacity and quality of service manual* (2nd ed.). Washington, DC: National Research Council.