

อิทธิพลของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าต่อการให้บริการ ride sharing
ในพื้นที่จุฬา-สามย่าน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2566

The influence of vehicle range and charging rate on ride sharing service: case study of
Chulalongkorn University-Samyang areas



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty Of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าต่อการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นายภูมิรพี ชัดศรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ จันทรานัฐวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อังคิรี ศรีภคการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ นฤปิติ)

ภูมिरพี ขัตศรี : อิทธิพลของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าต่อการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬา-สามย่าน. (The influence of vehicle range and charging rate on ride sharing service: case study of Chulalongkorn University-Samyen areas) อ. ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อังคีร์ ศรีภคการ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.สรวิศ นฤปิติ

หนึ่งในรูปแบบการเดินทางสมัยใหม่คือ ride sharing ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญร่วมกับระบบขนส่งสาธารณะที่จะนำไปสู่รูปแบบ Mobility as a Service ที่จะยกระดับคุณภาพและความสะดวกสบายในการเดินทางในเมืองได้มาก งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้งานบริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬา-สามย่าน ที่จะตอบสนองพฤติกรรมการเดินทางในพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยมีการนำข้อมูลจากบริการจริงมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าในการให้บริการ ride sharing ผ่านการจำลอง การจำลองบริการใน ride sharing ในพื้นที่จุฬามีขนาด 6.88 ตารางกิโลเมตร ในส่วนของ range มี 3 ขนาดได้แก่ long range, medium range, short range ตามลำดับ อัตราการชาร์จแบ่งออกเป็น 3 ขนาดได้แก่ fast charge, medium charge, slow charge ดังนั้น การจำลองจึงมี 9 สถานการณ์จำลองด้วยกันและใช้ยานพาหนะ 20 คัน ตัวชี้วัดสำหรับการจำลองการให้บริการ ได้แก่ Vehicle Kilometer Traveled (VKT) , service distance, %served และรายได้จากการให้บริการ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์พฤติกรรมและรูปแบบการเดินทางในพื้นที่ด้วย ride sharing ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าในช่วงการใช้งานสูงสุดอยู่ในช่วง 11:30-12:30 น. โดยมีจำนวนการเรียก 1 คนราว 70% และราว 92% คือการเรียกรถแบบไม่เกิน 3 คน ระยะเดินทางด้วย ride sharing ขึ้นต่ำอยู่ที่ระยะทาง 400 เมตร สำหรับผลลัพธ์จากการจำลองทั้ง 9 สถานการณ์จำลองนั้นพบว่าผลกระทบจากการปรับอัตราการชาร์จนั้นส่งผลต่อการให้บริการมากกว่า range อย่างเห็นได้ชัดในทุกกรณี ซึ่งจากการสอบถามผลลัพธ์กับผู้ประกอบการ ผลลัพธ์สอดคล้องกับการให้บริการจริง นอกจากนั้นจากผลลัพธ์พบว่า การเพิ่ม Range นั้นไม่ได้ให้ผลลัพธ์การบริการที่ดีขึ้นเสมอไป โดยกรณี short range:medium charge มี %served และรายได้มากกว่า medium range:medium charge เพียงเล็กน้อย โดยพบว่ากรณี short range:medium charge จัดการส่งยานพาหนะไปชาร์จกับช่วงพีคของการให้บริการได้เหมาะสมมากกว่า จาก 9 สถานการณ์จำลองนั้น มีกรณี short range:medium charge กรณีเดียวเท่านั้นที่สามารถให้บริการได้สอดคล้องกับกฎหมายแรงงาน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2566

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6470063621 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: Ride sharing; Mobility as a Service; PTV VISUM; Next generation automotive; Electric vehicle

One of the important modes of future mobility is the ride sharing service. It is a crucial component along with public transportation that will lead to the Mobility as a Service (MaaS) which will greatly improve the quality and convenience of urban travel. This research studies the use of ride sharing services in the Chulalongkorn-Samyan area to respond to the travel behavior in the university area. Real-world data from the service operator will be used to study the impact of vehicle range and charging rate of electric vehicles on ride sharing services through simulation. The ride sharing service area for the present study covers 6.88 square kilometers. In terms of the vehicle range, there are three sizes: long range, medium range, and short range, respectively. The three charging rates are covered: fast charge, medium charge, and slow charge. As a result, there are 9 simulation scenarios using 20 vehicles. The key service indicators include Vehicle Kilometer Traveled (VKT), service distance, %served, and revenue from service. The results, in terms of the travel behaviors and patterns in the area for the ride sharing service within Chulalongkorn University, demonstrated that the peak usage period is between 11:30 am and 12:30 pm, with about 70% of calls for one person and 92% of calls for no more than three people. The minimum travel distance for the service is 400 meters. For the results of the simulation from all 9 scenarios, it was found that the impact of adjusting the charging rate had a greater impact on service than the vehicle range in all cases. This result is validated with the service operator to be consistent with real-world service. Additionally, the results found that increasing range does not always lead to better service results. In the case of short range:medium charge, %served and revenue are only slightly higher than the case of medium range:medium charge. It was found that the case of short range:medium charge manages to send vehicles to charge during peak service hours more appropriately. Of the nine simulation scenarios, only the short range:medium charge case can be provided in service in accordance with labor laws.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Mechanical Engineering

Academic Year: 2023

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องอิทธิพลของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าต่อการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬา-สามย่านนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือ และการได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์หลายท่าน ซึ่งประกอบด้วย รศ.ดร. อังคีร์ ศรีภคากกร อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สรวิศ นฤปิติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. สัณห์พศ จันทรานูวัฒน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. นักสิทธิ์ นุ่มวงษ์ และ ผศ.ดร. สราวุธ จันท์สุวรรณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ซึ่งคอยให้ความรู้ และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งมีส่วนสำคัญที่ทำให้การวิจัยในครั้งนี้สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาของผู้วิจัย ที่ช่วยชี้แนะแนวทาง และแนวความคิดในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำไปต่อยอดทั้งในส่วนของ การเรียนในระดับที่สูงขึ้น และสามารถประยุกต์แนวทางในการวิจัย เพื่อใช้ในการทำงานในวันข้างหน้า และขอขอบคุณบุคคลท่านอื่น ๆ ที่มีส่วนร่วมให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสิ้น ได้แก่ ดร. กฤษดา กฤตยาภิรม และ ดร.ธาวิต แสงวีระพันธุ์ศิริ ได้ให้ข้อมูลบริการมาใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จและบุคลากรของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุก ๆ ท่านที่อำนวยความสะดวกในการส่งเอกสาร สดท้ายนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงการศึกษาของผู้วิจัย จะสำเร็จไม่ได้เลย หากขาดกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ จาก บิดา มารดา สมาชิกในครอบครัว รวมถึง บุคคลอันเป็นที่รักของข้าพเจ้า ทั้งที่คอยสนับสนุนในการเรียน เป็นกำลังใจในยามที่ผู้วิจัยเหนื่อยล้า และอยู่ข้าง ๆ โดยเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณจากใจจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภูมिरพี ชัดศรี

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 รูปแบบการให้บริการ ride sharing.....	5
2.2 การศึกษาร่วมระหว่างระบบขนส่งสาธารณะกับ ride sharing.....	5
2.2.1 การเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนมาใช้บริการการเดินทางแบบ ride sharing แทน การใช้รถยนต์ส่วนบุคคล.....	6
2.2.2 ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางสำหรับ SAV, SAEV.....	7
2.2.3 การปรับเพิ่มต้นทุนรถยนต์ส่วนบุคคล.....	9
2.2.4 คุณค่าของเวลาเดินทาง.....	9

2.2.5 เวลาในการรอใช้บริการ	10
2.2.6 การปรับค่าตัวแปรพร้อมกันหลายตัวแปร	10
2.3 การศึกษาการจำลองการให้บริการโหมต ride sharing	11
2.3.1 ค่าใช้จ่ายต้นทุนโดยรวมของ SAV และ SAEV.....	12
2.3.2 จำนวน SAV และ SAEV ในการให้บริการ	12
2.3.3 จำนวนที่นั่งใน SAV ในการให้บริการ	14
2.3.4 การปรับตำแหน่งยานพาหนะระหว่างบริการ	14
2.3.5 การจัดพื้นที่สำหรับพักของยานพาหนะให้บริการ	15
2.3.6 ตัวแปรในกระบวนการชาร์จไฟฟ้า SAEV	16
2.4 ช่องว่างการศึกษา.....	20
บทที่ 3 ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง	22
3.1 ซอฟต์แวร์การจำลอง	22
3.2 กรอบงานในการจำลองการให้บริการ ride sharing ใน PTV VISUM	22
3.2.1 แบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายของโหมต ride sharing.....	23
3.2.1.1 การประมาณขอบเขตของพื้นที่สำหรับรองรับแบบความต้องการเดินทางของโหมต ride sharing	23
3.2.1.2 โครงข่ายถนนบนแบบจำลอง	26
3.2.2 แบบความต้องการเดินทางของโหมต ride sharing	28
3.2.3 การจำลอง	32
3.2.3.1 MaaS Modeller	32
3.2.3.2 ขั้นตอนการจำลองบริการใน MaaS modeller	32
3.2.4 การกำหนดค่าตัวแปรในการจำลอง.....	34
3.2.4.1 การกำหนดค่าจำนวนยานพาหนะ	34
3.2.4.2 ระยะเวลาต่อการชาร์จและความจุของยานพาหนะ	36

3.2.4.3	กรอบเวลาการให้บริการจากสมการ Maximum arrival time	36
3.2.4.4	Maximum waiting time	38
3.2.4.5	เงื่อนไขการชาร์จ	39
3.2.4.6	สถานีเติมน้ำมันและชาร์จไฟฟ้า	39
3.2.4.7	ราคาบริการ.....	43
3.2.4.8	ช่วงเวลาจำลอง	43
3.2.4.9	การกำหนดค่ารายละเอียดเพิ่มเติม	44
3.3	ตัวชี้วัดของการให้บริการ ride sharing.....	44
3.3.1	ตัวชี้วัดฝั่งผู้ให้บริการ	44
3.3.2	ตัวชี้วัดฝั่งผู้ใช้บริการ.....	45
บทที่ 4	การดำเนินการจำลอง	48
4.1	การประเมินความเพียงพอของข้อมูลที่ได้รับมา	48
4.2	การสร้างแบบจำลองโครงสร้างเครือข่าย	50
4.2.1	การแบ่งโซน.....	50
4.2.2	การระบุตำแหน่ง PUDO และสถานีชาร์จ	55
4.2.3	การสร้างโครงข่ายถนน	56
4.3	การสร้างแบบความต้องการเดินทาง.....	57
4.4	การกำหนดตัวแปรในการจำลอง	66
4.4.1	ตัวแปรต้น.....	66
4.4.2	ตัวแปรควบคุม.....	69
4.4.2.1	การวิเคราะห์กรอบการให้บริการด้วยเงื่อนไขในสมการ Maximal arrival time.....	70
4.4.2.2	การวิเคราะห์ค่า travel time	73
4.4.2.3	การวิเคราะห์ค่า wait time	77

4.4.2.4 การกำหนดค่าตัวแปรอื่นเพิ่มเติม..... 79

4.5 ตัวชี้วัด 81

บทที่ 5 ผลลัพธ์และการอภิปรายผล..... 82

5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... 82

5.2 พฤติกรรมการเรียกใช้บริการ ride sharing ของพื้นที่จุฬา-สามย่าน 83

5.3 คุณภาพการให้บริการของผู้ใช้บริการ 89

5.4 การวิเคราะห์แง่มุมค่าใช้จ่าย 91

5.4.1 Vehicle Kilometers Traveled (VKT)..... 91

5.4.2 ระยะทางในการให้บริการ..... 93

5.4.3 ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการ 94

5.5 การวิเคราะห์แง่มุมรายได้..... 98

5.5.1 Passenger Kilometers Traveled (PKT) 98

5.6 การวิเคราะห์กลยุทธ์ในการส่งยานพาหนะไปชาร์จ..... 99

5.7 กรณีที่เหมาะสมต่อการให้บริการในพื้นที่ 101

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 103

6.1 สรุปผลการวิจัย..... 103

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต..... 104

ภาคผนวก ก..... 106

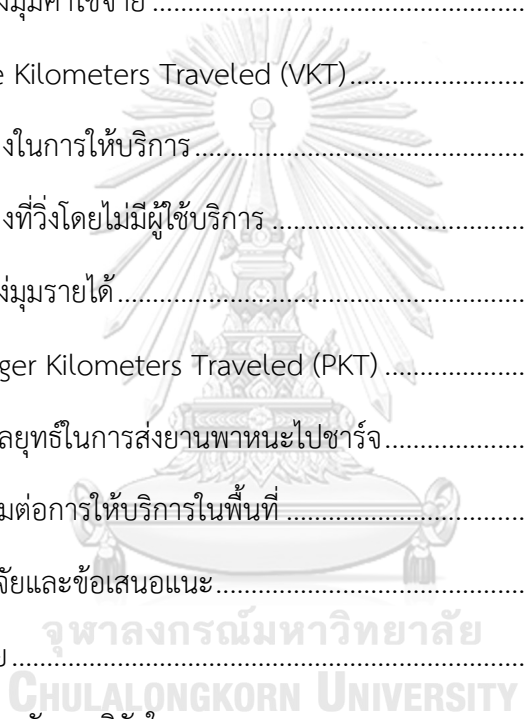
ภาคผนวก ข..... 122

ภาคผนวก ค..... 125

ภาคผนวก ง 126

บรรณานุกรม..... 135

ประวัติผู้เขียน..... 140



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การศึกษาโหมดการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะร่วมกับโหมดอื่นๆ	6
ตารางที่ 2 ตัวอย่างการปรับค่าตัวแปรหลายตัวพร้อมกันในการจำลอง	11
ตารางที่ 3 ความแตกต่างของลักษณะของเต้าชาร์จจากการทบทวนวรรณกรรม	17
ตารางที่ 4 ระยะต่อการชาร์จของ SAEV หรือขนาดความจุแบตเตอรี่จากการทบทวนวรรณกรรม ...	17
ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากการปรับจำนวนเต้าชาร์จ.....	19
ตารางที่ 6 ตัวอย่างความหนาแน่นและจำนวนการเดินทางเฉลี่ยจากในแต่ละเขตของเมือง	28
ตารางที่ 7 การกำหนดค่า Maximum waiting time, Maximum detour factor และ Maximum detour time จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรม.....	38
ตารางที่ 8 ช่วงเวลาจำลองจากการทบทวนวรรณกรรม	44
ตารางที่ 9 ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลที่ได้รับ	49
ตารางที่ 10 การกำหนดความเร็วแต่ละประเภทถนนในพื้นที่ศึกษา	56
ตารางที่ 11 การตรวจสอบคำขอซ้ำ.....	58
ตารางที่ 12 การสุ่มนาฬิกาในเวลาค่าขอใช้บริการที่ถูกขยาย.....	62
ตารางที่ 13 การสุ่มจำนวนคนเรียก 1-6 คนในเวลาค่าขอใช้บริการที่ถูกขยาย	64
ตารางที่ 14 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลขยายจากการสุ่ม 5%	65
ตารางที่ 15 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลขยายจากสัดส่วนจำนวนคนเรียก 1 ถึง 6 คน	65
ตารางที่ 16 สถานการณ์จำลองการเปลี่ยน Range และอัตราการชาร์จ	69
ตารางที่ 17 จำนวน travel time จากข้อมูลที่ได้รับในแต่ละช่วง	74
ตารางที่ 18 จำนวน travel time จาก Google map ในแต่ละช่วง.....	75
ตารางที่ 19 จำนวน Request time – onboard time ในแต่ละช่วง.....	78
ตารางที่ 20 จำนวนยานพาหนะที่น้อยที่สุดในการให้บริการครบ 100% ของแต่ละกรณี	79

ตารางที่ 21	สรุปการกำหนดค่าตัวแปรควบคุม.....	81
ตารางที่ 22	การเปรียบเทียบปริมาณค่าขอในแต่ละชั่วโมงของข้อมูลทั้ง 2 วัน	84
ตารางที่ 23	การเปรียบเทียบจำนวนคนเรียก 1-6 คนของข้อมูลทั้ง 2 วัน	86
ตารางที่ 24	ตารางการเปรียบเทียบการซ้ำกันของค่าขอจากข้อมูลทั้ง 2 วัน.....	86
ตารางที่ 25	ผลลัพธ์ VKT และ service ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี	92
ตารางที่ 26	ผลลัพธ์ empty distance ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี.....	96
ตารางที่ 27	ผลลัพธ์เกี่ยวกับการชาร์จที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี	97
ตารางที่ 28	ผลลัพธ์ PKT ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี	98
ตารางที่ 29	การหมุนเวียนยานพาหนะในระบบระหว่าง Rs:Pm และ Rm:Pm	100



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์จำนวน SAV ที่ได้จากการจำลอง	13
รูปที่ 2 กรอบงานในการจำลองการให้บริการ ride sharing ใน PTV VISUM.....	23
รูปที่ 3 การแบ่งโซนเมืองที่ใช้ในการจำลองเป็น 4 โซนตามรัศมี	24
รูปที่ 4 การแบ่งโซนเมืองรูปทรงหกเหลี่ยม	25
รูปที่ 5 ตัวอย่างการตำแหน่งจุด PUDO ตามบริเวณทางแยกของถนน.....	26
รูปที่ 6 ตัวอย่างโครงข่ายถนนในมหาวิทยาลัย	27
รูปที่ 7 ตัวอย่างเส้นทางเดินเท้า.....	28
รูปที่ 8 แผนผัง demand stratum.....	30
รูปที่ 9 การแบ่งโซนรูปทรงตามความหนาแน่นการจราจร.....	31
รูปที่ 10 การจัดการการให้บริการ ride sharing	34
รูปที่ 11 แผนผังการสร้างสถานีชาร์จ.....	35
รูปที่ 12 เส้นเวลาของสมการ Maximum arrival time.....	37
รูปที่ 13 ตัวอย่างความต้องการการเดินทางในพื้นที่ศึกษา	41
รูปที่ 14 ตำแหน่งสถานีโดยใช้รูปทรงหกเหลี่ยม	42
รูปที่ 15 ตัวอย่างการตำแหน่งพื้นที่จอด SAV และสถานีชาร์จ	43
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบช่วงเวลาในมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการของการเดินทางทั้งหมด	46
รูปที่ 17 ปริมาณความต้องการเดินทางด้วยบริการ ride sharing.....	48
รูปที่ 18 พื้นที่ศึกษาและจุดขึ้นลงบริการ	51
รูปที่ 19 การแบ่งโซนในพื้นที่ศึกษา.....	52
รูปที่ 20 การสร้าง A) ตำแหน่ง PUDO และ B)สถานีชาร์จ	55
รูปที่ 21 โครงข่ายถนนที่ถูกสร้างใน PTV VISUM.....	57

รูปที่ 22 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2566.....	59
รูปที่ 23 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2566.....	59
รูปที่ 24 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของทั้งสองวันมารวมกันได้.....	60
รูปที่ 25 กรอบการให้บริการของงานวิจัยนี้.....	73
รูปที่ 26 cumulative distribution plot of travel time ของข้อมูลที่ได้รับ.....	74
รูปที่ 27 cumulative distribution travel time ของแต่ละคำขอผ่าน google map.....	75
รูปที่ 28 cumulative distribution ของผลต่างของเวลาเรียกและเวลาขึ้นยานพาหนะ.....	77
รูปที่ 29 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	83
รูปที่ 30 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของทั้งสองวันมารวมกันได้.....	85
รูปที่ 31 Demand profile for private vehicle trips in Ann Arbor, MI.....	85
รูปที่ 32 cumulative distribution ของข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยใช้การเดินทางในโหมดรถยนต์.....	87
รูปที่ 33 cumulative distribution ของข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยใช้การเดินทางในโหมดการเดิน.....	88
รูปที่ 34 detour time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง.....	90
รูปที่ 35 Travel time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง.....	90
รูปที่ 36 Wait time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง.....	91
รูปที่ 37 ระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งในการให้บริการแต่ละวัตถุประสงค์.....	93
รูปที่ 38 การเกิด empty distance.....	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

Mobility as a Service (MaaS) คือการรวมบริการการเดินทางและความสะดวกสบายในการใช้งานไว้ในแอปพลิเคชันเดียว ((UITP), 2019) ตัวอย่างบริการการเดินทางประกอบด้วยระบบขนส่งสาธารณะ การให้บริการการเดินทางด้วยยานพาหนะร่วมกัน (Shared mobility) เป็นต้น การเดินทางด้วยยานพาหนะร่วมกันเป็นรูปแบบการเดินทางแบบใหม่ ซึ่งหนึ่งในนั้นมีรูปแบบการเดินทางที่สำคัญคือการใช้พาหนะร่วมกันหรือ ride sharing โดย ride sharing คือการเรียกบริการให้มารับไปส่งจุดหมายปลายทางที่ต้องการ โดยมีการใช้ยานพาหนะบริการร่วมกับผู้ใช้บริการรายอื่นที่มีจุดหมายปลายทางที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน

การใช้ยานพาหนะร่วมกันสามารถลดจำนวนของยานพาหนะบนถนนได้มาก และรถยนต์ไร้คนขับที่สามารถลดการบริโภคเชื้อเพลิงมารวมกันจะได้เทคโนโลยีที่เรียกว่า รถยนต์ไร้คนขับใช้ร่วมกัน (Shared Autonomous Vehicle: SAV) โดยบริษัท SAV มีลักษณะการให้บริการเป็น ride sharing จากการจำลองการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษของ Fagnant และ Kockelman ระหว่างกลุ่มรถยนต์ขนาดเล็ก (Light duty vehicle : ประกอบด้วย รถยนต์ส่วนบุคคล, รถกระบะ, รถ SUV, มินิแวน) กับรถยนต์ไร้คนขับใช้ร่วมกัน (SAV) ที่เมืองออสติน รัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลจากการจำลองพบว่า การให้บริการ SAV สามารถลดการบริโภคพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas : GHG) เมื่อเทียบกับการใช้งานรถยนต์ขนาดเล็ก (Light duty vehicle) 12% และ 5.6% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ SAV จำนวน 1 คันสามารถแทนที่การใช้รถยนต์ส่วนบุคคลประมาณ 11 คัน แต่ด้วยการที่ใช้งานรถจำนวนมากครั้งในการให้บริการ SAV ทำให้อายุการใช้งานลดลง ซึ่งเมื่อหมดอายุการใช้งานรถรุ่นใหม่กับเทคโนโลยีใหม่คาดว่าจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Fagnant & Kockelman, 2014)

สำหรับการเดินทางขนส่งในวันนี้ เทคโนโลยีล่าสุดที่คาดว่าจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและมาแทนที่รถยนต์สันดาปภายในในอนาคตอันใกล้คือ ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV) ถึงแม้ว่าจากข้างต้น SAV จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับการใช้งานรถยนต์ขนาดเล็ก (Light duty vehicle) การเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบในเฉพาะประเภทรถยนต์สันดาปภายใน หากเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างรถยนต์สันดาปภายในกับยานยนต์

ไฟฟ้า แนวน้ำมันยานยนต์ไฟฟ้ากำลังจะมาแทนที่รถยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นเมื่อนำยานยนต์ไฟฟ้าที่สามารถลดการปล่อยมลพิษมาแทนที่รถยนต์สันดาปภายในใน SAV จึงเรียกได้ว่า ยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับโดยใช้ร่วมกัน (Shared Autonomous Electric Vehicle : SAEV)

จากการคาดการณ์ข้างต้นว่าการใช้บริการ SAEV จะเกิดขึ้นในอนาคตจึงมีการนำยานยนต์ไฟฟ้าทดแทนการใช้รถยนต์สันดาปภายในมาใช้ในการให้บริการ ride sharing โดย Chen และ Kockelman จึงได้ทำการจำลองการให้บริการ SAEV ด้วยการปรับระยะที่ยานพาหนะวิ่งได้สูงสุดต่อการชาร์จเต็ม 1 ครั้ง (Range) และอัตราการชาร์จที่แตกต่างกัน โดยได้เปรียบเทียบประมาณการค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่อไมล์ (cost per occupied mile traveled) ของ SAEV พบว่าค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่สามารถให้บริการ SAEV เฉลี่ยอยู่ที่ 0.41–0.47 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์ เมื่อนำ SAV เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกับ SAEV พบว่า SAEV จะสามารถแข่งขันด้านราคาได้กับ SAV เมื่อน้ำมันเบนซินราคา 4.35–5.70 ดอลลาร์สหรัฐต่อแกลลอน แต่ในปัจจุบันราคาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ ยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น ราคาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าได้ปรับตัวลดลงอย่างมาก และจึงคาดว่า SAEV จะสามารถมาแทนที่การให้บริการ SAV ได้ (Chen et al., 2016) นอกจากนี้ Vosoghi และคณะทำการจำลองด้วยการปรับใช้ขนาดแบตเตอรี่และโครงสร้างการชาร์จได้แก่ ตำแหน่งและจำนวนสถานี, ขนาดการชาร์จและจำนวนตัวชาร์จ โดยผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสำคัญนอกจากการเลือกขนาดแบตเตอรี่และโครงสร้างที่เหมาะสมแล้วต้องพิจารณาการส่งไปชาร์จให้เหมาะสม (Vosoghi et al., 2020)

นอกจากนี้มีการศึกษาแง่มุมการเชื่อมต่อการเดินทางมากยิ่งขึ้น โดยจำลองการให้บริการ SAV กับโหมดการเดินทางอื่นๆ ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Lau และ Susilawati ได้ทำการจำลองการใช้เดินทางแบบไม่มี SAV และนำมาเปรียบเทียบการจำลองการเพิ่มโหมดการเดินทาง SAV เข้ามา โดยจำลองร่วมกับรถยนต์ส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะของเมืองกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย ผลลัพธ์พบว่า การจำลองจากการเข้ามาของ SAV ส่งผลให้จำนวนเที่ยวเพิ่มขึ้น 143 เที่ยวสำหรับรถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail Transit) และ 149 เที่ยวสำหรับรถไฟฟ้ารางหนัก (Mass Rapid Transit) หรือทำให้เพิ่มขึ้น 3.2% สำหรับการใช้งานบริการด้วยระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ นอกจากนี้แล้วจำนวนระยะทางการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลทั้งหมดหรือค่า vehicle kilometers traveled (VKT) ของรถยนต์ส่วนบุคคลลดลงเหลือประมาณ 17,000 กิโลเมตรหรือลดลงประมาณ 6% ของ VKT ของการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลเมื่อไม่มี SAV เข้ามา ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า SAV ช่วยเพิ่มจำนวนผู้โดยสารการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะและเปลี่ยนการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลไปสู่การเดินทางของ SAV (Lau & Susilawati, 2021)

พื้นที่มหาวิทยาลัยเป็นพื้นที่ที่ได้รับการศึกษาเกี่ยวกับการให้บริการการเดินทางขนส่งสมัยใหม่อยู่มาก ทั้งนี้ด้วยลักษณะเฉพาะของพื้นที่ และด้วยผู้ใช้บริการเป็นกลุ่มคนที่น่าจะตอบรับเทคโนโลยีได้ดี เช่น Altıntaşı จำลองการใช้จักรยานและรถรับ-ส่ง (shuttle) ภายในมหาวิทยาลัยบนพื้นที่มหาวิทยาลัย MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY (METU) เพื่อลดความแออัดในการเดินทางในพื้นที่และเตรียมความพร้อมสำหรับการเชื่อมต่อรถไฟฟ้าใต้ดินที่กำลังจะเปิดสถานีแห่งใหม่ในบริเวณดังกล่าว (Altıntaşı, 2013) พื้นที่จุฬา-สามย่านเป็นพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมีการให้บริการเดินทางระบบขนส่งสาธารณะอยู่ในพื้นที่ โดยมีรถไฟฟ้าของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ Bangkok Mass Transit System Public Company Limited (BTS) และรถไฟฟ้ามหานคร (Metropolitan Rapid Transit : MRT) นอกจากนี้พื้นที่จุฬา-สามย่านมีการใช้ยานพาหนะร่วมกันที่หลากหลาย ทั้งสำหรับการเดินทางไปในพื้นที่และสำหรับการเชื่อมต่อในช่วงต้นและท้ายของการเดินทางจากรถไฟฟ้ามาสู่ภายในพื้นที่ โดยมีบริการด้วยยานยนต์ไฟฟ้า จากเหตุผลทั้งหมดข้างต้นพื้นที่จุฬา-สามย่านจึงมีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing ด้วยยานยนต์ไฟฟ้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้งานบริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬา-สามย่าน ที่จะตอบสนองพฤติกรรมการเดินทางในพื้นที่มหาวิทยาลัย โดยจะมีการนำข้อมูลจากบริการจริงมาใช้ในการศึกษาผลกระทบของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้าในการให้บริการ ride sharing ผ่านการจำลอง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 วิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและรูปแบบการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่ศึกษา
- 1.2.2 วิเคราะห์การให้บริการ ride sharing ด้วยยานยนต์ไฟฟ้า โดยการปรับระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จผ่านการจำลอง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1. ศึกษาการให้บริการ ride sharing โดยใช้โปรแกรม PTV VISUM ในการจำลอง โดยใช้ข้อมูลบริการจริง
- 1.3.2. ศึกษาพฤติกรรมการเดินทางและรูปแบบการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่บริเวณจุฬา-สามย่าน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถนำผลการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการใช้พื้นที่
จุฬา-สามารถนำไปใช้ในแนะนำการปรับปรุงการให้บริการจริง
- 2.เป็นแนวทางการศึกษาการจำลองการให้บริการ ride sharing ในประเทศไทยให้กว้างขวาง
มากยิ่งขึ้น



บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการจำลองการให้บริการ ride sharing มีประโยชน์สำหรับการจำลองด้วยการนำข้อดีข้อเสียของตัวแปรมาปรับใช้ในการจำลองเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมมากที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าตัวแปรแต่ละตัวนั้นส่งผลต่อการจำลองการให้บริการโดยมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.1 รูปแบบการให้บริการ ride sharing

การให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing มีหลายรูปแบบ ได้แก่ การให้บริการด้วยรถยนต์โดยจองผ่านแอปพลิเคชันคือ demand responsive transport (DRT), การให้บริการด้วยรถยนต์แบบไร้คนขับ (Autonomous Vehicle : AV) คือ SAV และการให้บริการด้วยยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับ (Autonomous Electric Vehicle : AEV) คือ SAEV โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาการจำลอง ride sharing ร่วมกับระบบขนส่งสาธารณะและการให้บริการการเดินทางเฉพาะ ride sharing โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 การศึกษาร่วมระหว่างระบบขนส่งสาธารณะกับ ride sharing

จากการทบทวนวรรณกรรมการศึกษาการให้บริการร่วมระหว่างระบบขนส่งสาธารณะกับ ride sharing โดยยานพาหนะในการศึกษาด้วยระบบขนส่งสาธารณะได้แก่ รถโดยสาร (bus), รถไฟฟ้าใต้ดิน (Metro หรือ underground), รถไฟชานเมือง (suburban rail), รถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail), รถราง (tram) และรถไฟ (train) ดังตารางที่ 1

ในการศึกษาการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะร่วมกับการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing พบว่ามีลักษณะการศึกษาได้แก่ จำนวนการเปลี่ยนมาใช้บริการการเดินทางแบบ ride sharing แทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล, ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางสำหรับ SAV และ SAEV, การปรับเพิ่มต้นทุนรถยนต์ส่วนบุคคล, คุณค่าของเวลาเดินทาง, เวลาในการรอใช้บริการ และการปรับค่าตัวแปรพร้อมกันหลายตัวแปร

ตารางที่ 1 การศึกษาโหมดการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะร่วมกับโหมดอื่นๆ

โหมด \ งานวิจัย	Public Transport	ridesharing
(Liu et al., 2017)	Public Transport	SAV
(Romero LÓPez, 2020)	bus, metro, suburban rail, light rail, tram	SAEV
(Friedrich et al., 2018)	Bus	ride sharing
(Bürstlein et al., 2021)	Train	SAV
(Lau & Susilawati, 2021)	light rail, metro	SAV
(Stevens et al., 2022)	bus, metro, tram and train station	SAEV
(Chen & Kockelman, 2016)	Public Transport	SAEV
(Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)	Bus	DRT
(Lorig et al., 2023)	Public Transport	Ridesharing

2.2.1 การเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนมาใช้บริการการเดินทางแบบ ride sharing แทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล

จำนวนการเปลี่ยนมาใช้บริการการเดินทางแบบ ride sharing แทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมีความสำคัญต่อการนำมาใช้ในพื้นที่ เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมต่อการนำมาให้บริการและดูผลกระทบต่อระบบการเดินทางหาจำนวนที่เหมาะสมต่อการนำมาให้บริการในพื้นที่นั้นๆ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาหลากหลายสัดส่วนการแทนที่ด้วยกัน ตัวอย่างเช่นในการศึกษาของ Twumasi-Boakye และคณะได้ศึกษาการให้บริการ DRT เข้ามาแทนที่รถยนต์ส่วนบุคคลที่ 3, 9 และ 15% จากนั้นนำไปจำลอง 4 สถานการณ์ด้วยกันเพื่อดูผลกระทบทางจราจรและที่จอดรถ โดยสถานการณ์จำลองที่ 1 เป็นสถานการณ์จำลองตั้งต้นสำหรับการนำมาเปรียบเทียบสถานการณ์จำลองที่ 2 ถึง 4 เป็นการนำการให้บริการ DRT มาใช้ในการจำลอง ในสถานการณ์จำลองที่ 2 เป็นสถานการณ์ที่ต้องการลดความแออัดของจราจรขาเข้าเมืองกับเขตพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูงจึงรวมการเดินทางให้เดินทางด้วยรถบัสรับส่ง (shuttle) ระหว่างพื้นที่ข้างต้นแทน ในสถานการณ์จำลองที่ 3 เป็นสถานการณ์ที่ต้องการลดความแออัดของจราจรขาเข้าเมืองและลดพื้นที่ในการจอดรถในตัวเมือง โดยรวมรวมการเดินทางขาเข้าและให้จอดนอกตัวเมืองที่มีอยู่ด้วยกัน 3 จุดสำหรับใช้รถบัสรับส่งในการเข้าพื้นที่ตัวเมือง ส่วนในสถานการณ์จำลองที่ 4 เป็นสถานการณ์ที่ต้องการ

ปรับคุณภาพของการเดินทางด้วยรถโดยสารโดยหาเส้นทางที่ใช้เวลาในการเดินทางสูงกว่ารถยนต์ 4 เท่า เพื่อปรับคุณภาพเส้นทางที่ผู้เดินทางจะเลือกใช้การเดินทางด้วยรถยนต์มากกว่าการเดินทางด้วยรถโดยสารรับส่งแทน (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Lau และ Susilawati โดยได้ทำการศึกษาค่าใช้จ่ายในการเดินทางแบบไม่มี SAV และนำมาเปรียบเทียบการจำลองการเพิ่มโหมดการเดินทางด้วย SAV เข้ามาเช่นกัน โดยจำลองร่วมกับรถยนต์ส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะ โดยนำข้อมูลจากการสำรวจสถานการณ์สมมติ (stated preference survey) หากมีการให้บริการ SAV เกี่ยวกับการตั้งค่าตัวแปรที่พึงพอใจในการให้บริการ SAV ของผู้เดินทางเมืองกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย จำนวน 161 คนมาใช้ผลลัพธ์พบว่าการศึกษาจากการเข้ามาของ SAV ส่งผลให้จำนวนเที่ยวเพิ่มขึ้น 143 เที่ยวสำหรับรถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail Transit) และ 149 เที่ยวสำหรับรถไฟฟ้ารางหนัก (Mass Rapid Transit) หรือทำให้เพิ่มขึ้น 3.2% สำหรับการใช้งานบริการด้วยระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ นอกจากนี้แล้วจำนวนระยะทางการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลทั้งหมดหรือค่า vehicle kilometers traveled (VKT) ของรถยนต์ส่วนบุคคลลดลงเหลือประมาณ 17,000 กิโลเมตร หรือลดลงประมาณ 6% ของค่า VKT ของรถยนต์ส่วนบุคคลเมื่อไม่มี SAV เข้ามา ชำ้ต้นแสดงให้เห็นว่า SAV ช่วยเพิ่มจำนวนผู้โดยสารการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะและเปลี่ยนการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลไปสู่การเดินทางของ SAV (Lau & Susilawati, 2021) ต่อมาในการศึกษาของ Matalqah และคณะได้ศึกษาการเข้ามาของ SAEV โดยแทนที่ด้วยจำนวน 2, 17 และ 32% ของการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลเปรียบเทียบกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล 100% หรือโดยไม่มีการเดินทางด้วย SAEV (Matalqah et al., 2022)

มากไปกว่านั้น Lorig และคณะได้ทำการจำลองโดยการเปลี่ยนมาใช้บริการ ride sharing จากการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนมาใช้บริการ ride sharing จากการใช้ระบบขนส่งสาธารณะ นอกจากนี้มีการจำลองการเปลี่ยนจากใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมาใช้บริการ car sharing มาเปรียบเทียบกับอีกด้วย โดยพบว่าค่า VKT จากการใช้บริการ ride sharing ลดลง 17% เมื่อเทียบกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล ในทางกลับกัน ค่า VKT จากการใช้บริการ car sharing เพิ่มขึ้น 13% เมื่อเทียบกับการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล (Lorig et al., 2023)

2.2.2 ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางสำหรับ SAV, SAEV

ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินทางซึ่งขึ้นอยู่กับระยะการเดินทางที่ถูกใช้บริการ โดยค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางนั้นมีผลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทาง

ตัวอย่างเช่น การเดินทางไปยังปลายทางหากการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ การใช้บริการ SAV คนมีแนวโน้มที่อาจจะหันมาเลือกใช้บริการ SAV มากกว่าหากไม่ต้องเสียเวลาในการหาที่จอดหรือเป็นเจ้าของรถยนต์ส่วนบุคคล ตัวอย่างเช่น Liu และคณะได้ทำการจำลองการใช้งาน SAV โดยมีการปรับค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางเพื่อดูผลกระทบของการใช้งาน SAV และระบบขนส่งสาธารณะจากความพึงพอใจผู้ใช้บริการ โดยจำลองการเดินทางระหว่างการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลแบบ human-driven vehicles (HV), การเลือกบริการจาก SAV และระบบขนส่งสาธารณะ โดยเมื่อนำการเดินทางจาก SAV กับ HV มาเปรียบเทียบกันพบว่าอัตราค่าโดยสารของ SAV ต่ำ (0.5 และ 0.75 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์) SAV เป็นที่นิยมในเขตชนบทมากกว่า HV ในทางตรงกันข้ามสำหรับอัตราค่าโดยสารของ SAV สูง (1.0 หรือ 1.25 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์) HV มีแนวโน้มที่ถูกเลือกใช้บริการในเขตเมืองที่มีการเดินทางระยะสั้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อนำการเดินทางจาก SAV กับระบบขนส่งสาธารณะมาเปรียบเทียบพบว่ามีแนวโน้มการเลือกใช้งาน SAV มากกว่าระบบขนส่งสาธารณะในระยะน้อยกว่า 5 ไมล์ แต่เมื่อการเดินทางระยะมากกว่า 5 ไมล์ระบบขนส่งสาธารณะเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจกว่าเนื่องจากราคาและเวลาในการเดินทางคงที่ (Liu et al., 2017) นอกจากนี้ยังมีการจำลองปรับลดค่าบริการเป็นเปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น Lau และ Susilawati ได้ทำการจำลองลดค่าบริการ SAV ช่วง 5-15% ส่งผลให้การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะสูงขึ้นเฉพาะช่วงลดค่าบริการ SAV 5-10% เพราะเนื่องจากลดค่าบริการ SAV ที่ 15% การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะลดลงสาเหตุอาจเกิดจากผู้เดินทางหันไปใช้ SAV เพิ่มขึ้นแทนและส่วนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลลดลงอย่างต่อเนื่อง (Lau & Susilawati, 2021)

สำหรับใน SAEV ก็มีการใช้ในการจำลองร่วมกับระบบขนส่งสาธารณะเช่นกัน โดย Chen และ Kockelman ได้ทำการจำลองปรับค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางของการใช้บริการ SAEV ด้วยการกำหนดราคาตามระยะทางดังนี้ 0.75, 0.85, 1.00 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์ โดยให้ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางที่ 0.85 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์เป็นตัวตั้งต้นในการเปรียบเทียบ จากการจำลองด้วยค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทาง 0.75, 0.85, 1.00 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์พบว่าเวลารอของการใช้บริการ SAEV เฉลี่ยมีดังนี้ 2.73, 3.11, 3.62 นาทีตามลำดับ เมื่อเวลารอที่การบริการและค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางที่น้อยกว่านั้นสามารถให้บริการได้มากกว่าส่งผลให้รายได้ที่สูงกว่าตามลำดับดังนี้ 16.2, 9.4, 4.29 ล้านดอลลาร์สหรัฐ แต่สำหรับอัตราส่วนรายได้ต่อรายจ่าย (Revenue-to-cost ratio) ของการจำลองด้วยค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทาง 0.75, 0.85, 1.00 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์พบว่ามีอัตราส่วนตามลำดับดังนี้ 1.85, 2.00, 2.19 โดยแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางสูงกว่าให้อัตราการส่วนรายได้ต่อรายจ่ายตอบแทนที่สูงกว่า นอกจากนี้มีการกำหนดราคาตามระยะทางแล้วการจำลองนี้ได้ศึกษาวิธีการกำหนดราคา 3 แบบได้แก่ กำหนดราคาตามจุดเริ่มต้น, กำหนดราคาตามจุดหมายปลายทาง

และการกำหนดราคาแบบผสมเพิ่มเติมเพื่อดูผลกระทบต่อรายได้และกำไรของระบบบริการ (Chen & Kockelman, 2016)

2.2.3 การปรับเพิ่มต้นทุนรถยนต์ส่วนบุคคล

การปรับเพิ่มต้นทุนของรถยนต์ในการจำลองเป็นการลดความต้องการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล และเลือกการเดินทางด้วยโหมดอื่นมากยิ่งขึ้น โดยตัวอย่างเช่น Lau และ Susilawati ได้ทำการจำลองด้วยการเพิ่มขึ้นของต้นทุนของรถยนต์ 5-15 % ส่งผลให้ VKT ของรถยนต์ส่วนบุคคลมีแนวโน้มลดลงและส่งผลให้การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะและ SAV เพิ่มขึ้น (Lau & Susilawati, 2021)

2.2.4 คุณค่าของเวลาเดินทาง

คุณค่าของเวลาเดินทาง (Value of Travel Time : VOTT) คือจำนวนเงินที่เทียบเท่ากับที่ผู้เดินทางยอมจ่ายเพื่อลดระยะเวลาในการเดินทาง โดย VOTT เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจหลายๆ อย่างของผู้เดินทางในแง่ของรูปแบบการเดินทาง, เส้นทางที่ใช้และเวลาเดินทาง ดังนั้นนักวางแผนการขนส่ง, วิศวกรและนักเศรษฐศาสตร์จึงพยายามประเมินมูลค่าการประหยัดเวลาในการเดินทางของผู้เดินทาง

ตัวอย่างเช่น หากผู้เดินทางยอมจ่าย 1 ดอลลาร์สหรัฐ เพื่อลดเวลาในการเดินทางลง 6 นาที ผู้เดินทางจะมี VOTT 10 ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมง VOTT อนุญาตให้วัดผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการขนส่งที่ลดความแออัดและเวลาในการเดินทาง (Burriss et al., 2016) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าในการจำลองของ Chen และ Kockelman ได้ทำการจำลอง SAEV ร่วมกับรถยนต์ส่วนบุคคลและระบบขนส่งสาธารณะ โดยปรับค่าอัตราส่วน VOTT ของ SAEV ต่อ VOTT ของรถยนต์ส่วนบุคคลดังนี้ 0.25, 0.35, 0.5 โดยให้อัตราส่วนดังกล่าวที่ 0.35 เป็นตัวตั้งต้นในการเปรียบเทียบจากการจำลองด้วยค่าอัตราส่วน VOTT ของ SAEV ต่อ VOTT ของรถยนต์ส่วนบุคคลทั้ง 3 ค่า ผลการจำลองพบว่าเวลารอของการใช้บริการ SAEV เฉลี่ยมีดังนี้ 2.96, 3.11, 3.36 นาทีตามลำดับ ส่งผลให้เวลารอที่การบริการที่น้อยกว่านั้นสามารถให้บริการได้มากกว่าและได้รายได้ที่สูงกว่าตามลำดับดังนี้ 12.8, 9.4, 5.24 ล้านดอลลาร์สหรัฐ แต่สำหรับอัตราส่วนรายได้ต่อรายจ่ายของการจำลองค่าอัตราส่วน VOTT ของ SAEV ต่อ VOTT ของรถยนต์ส่วนบุคคล 0.25, 0.35, 0.5 ตามลำดับ พบว่ามีอัตราส่วนตามลำดับดังนี้ 2.04, 2.00, 1.92 โดยแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ค่าอัตราส่วน VOTT ของ SAEV ต่อ VOTT ของรถยนต์ส่วนบุคคลสูงกว่าให้อัตราส่วนรายได้ต่อรายจ่ายตอบแทนที่น้อยกว่า (Chen & Kockelman, 2016)

2.2.5 เวลาในการรอใช้บริการ

เวลาในการรอใช้บริการ (waiting time) มีผลต่อการให้บริการในด้านรายได้ หากเวลาในการรอใช้บริการน้อยลงส่งผลให้ผู้ใช้บริการเข้าสู่กระบวนการขนส่งได้เร็วมากขึ้น ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากันกรณีที่เวลาในการให้บริการที่น้อยกว่าสามารถรับจำนวนผู้ให้บริการได้มากกว่ากรณีที่เวลาในการให้บริการที่มากกว่า เมื่อการให้บริการผู้ให้บริการที่มากกว่าส่งผลให้ได้รับรายได้ที่มากกว่าตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น Lau และ Susilawati ได้ทำการจำลองลดเวลาการรอใช้บริการ 5-20% พบว่าการลดลงของระยะเวลาการรอใช้บริการ ส่งผลให้การใช้จ่ายการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะมากขึ้น จนถึงการลดระยะเวลาการรอใช้บริการที่ 15% เนื่องจากพบว่าเมื่อลดระยะเวลาการรอใช้บริการที่ 20% นั้นส่งผลให้การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะลดลง สาเหตุอาจเป็นเพราะเมื่อเวลารอต่ำเกินไป ผู้เดินทางจะเลือกใช้ SAV ตลอดการเดินทางแทนที่การใช้การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะในพื้นที่ ในส่วนของรถยนต์ส่วนบุคคลเมื่อลดระยะเวลาการรอใช้บริการที่ 20% ผลลัพธ์การเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลยังคงลดลง แต่การเดินทางของ SAV ที่พุ่งสูงขึ้นซึ่งอาจนำไปสู่ความแออัดของการจราจรมากขึ้น (Lau & Susilawati, 2021)

2.2.6 การปรับค่าตัวแปรพร้อมกันหลายตัวแปร

การใช้หลายตัวแปรที่ส่งผลต่อการจำลองและมีการปรับค่าแต่ละตัวแปรในการจำลองการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing นั้น เพื่อที่จะหาค่าของแต่ละตัวแปรที่แสดงความคุ้มค่าในการลงทุนของผู้ให้บริการมากที่สุด ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Bürstlein และคณะได้ทำการปรับ 4 ตัวแปรในการจำลองการให้บริการ DRT กับการเชื่อมต่อสถานีรถไฟ โดย 4 ตัวแปรได้แก่ จำนวนที่นั่งของยานพาหนะให้บริการ, จำนวนยานพาหนะให้บริการในระบบให้บริการ (Optimal supply), ค่าแพกเตอร์ในการเพิ่มเวลาในการเดินทาง (Detour factor), เวลาที่สามารถเพิ่มจากการเดินทางปกติสูงสุด (maximum detour times) เพื่อดูผลกระทบของการผสมค่าต่างๆในแต่ละตัวแปร

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการปรับค่าตัวแปรหลายตัวพร้อมกันในการจำลอง

Simulation group	Vehicle type	Optimal supply	% of optimal supply	Detour factor	Maximum detour time	Passengers per trip request
1	Van (7 seats)	165	100% 75% 50%	1.5	30	50% of the request expect 1 passenger and 50% of the request expect 2 passengers
2	Car (4 seats)	215	100% 75% 50%			
3	Van (7 seats)	165	100% 75% 50%	5	60	
4	Car (4 seats)	215	100% 75% 50%			

ที่มา: (Bürstlein et al., 2021)

สำหรับตัวแปรจำนวนที่นั่งยานพาหนะให้บริการและจำนวนยานพาหนะให้บริการในการจำลอง Bürstlein และคณะได้ปรับจำนวนที่นั่งของยานพาหนะให้บริการให้มีขนาด 7 ที่นั่งและ 4 ที่นั่ง โดยมี optimal supply ของยานพาหนะให้บริการ 7 และ 4 ที่นั่งจำนวน 165 คันและ 215 คัน ตามลำดับ สำหรับตัวแปร optimal supply นั้น Bürstlein และคณะได้กำหนด 50-100% ของ Optimal supply ของแต่ละความจุที่นั่งยานพาหนะให้บริการนั้นๆ สำหรับตัวแปร Detour factor, maximum detour times ถ้ายานพาหนะ (ขนาด 7 หรือ 4 ที่นั่ง) ทำการให้บริการทุกการเดินทาง เวลาที่เพิ่มขึ้นจากเวลาเดินทางปกติเกิดขึ้นระหว่างการใช้บริการ (detour time) และเวลาใช้ในการเดินทาง (travel time) จะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ถ้าหากไม่มีการกำหนดค่า detour factor จะส่งผลให้เกิดการล่าช้าและส่งผลเสียต่อระบบบริการ ดังนั้นในเครื่องมือ MaaS Modeller จึงบังคับในการกำหนดค่าแพ็คเกจในการเพิ่มเวลาในการเดินทาง โดย Bürstlein และคณะได้กำหนดค่า detour factor คู่กับ maximum detour times โดย detour factor 1.5 คู่กับ maximum detour times 30 นาที และ detour factor 5 คู่กับ maximum detour times 60 จากนั้นจัดกลุ่ม 4 ดังตารางที่ 2 (Bürstlein et al., 2021)

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า การจำลองการให้บริการ MaaS ด้วยโหมดการเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะที่ร่วมกับโหมดการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing ด้วย DRT, SAV และ SAEV เพื่อแสดงให้เห็นมุมมองในด้านการให้บริการที่เหมาะสมแก่ผู้ใช้บริการและด้านความคุ้มค่าในการลงทุนในการให้บริการการเดินทางของผู้ให้บริการ

2.3 การศึกษาการจำลองการให้บริการโหมด ride sharing

จากการทบทวนวรรณกรรมการจำลองการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางใหม่และมีลักษณะเฉพาะของการจำลองพบว่ามีตัวแปรในการจำลองได้แก่ ค่าใช้จ่ายต้นทุนโดยรวมของ SAV และ SAEV, จำนวน SAV, SAEV ในการให้บริการ, จำนวนที่นั่งใน

SAV ในการให้บริการ, การปรับสมดุล, การจัดพื้นที่สำหรับพักของยานพาหนะให้บริการ และตัวแปร ในกระบวนการชาร์จไฟฟ้า SAEV

2.3.1 ค่าใช้จ่ายต้นทุนโดยรวมของ SAV และ SAEV

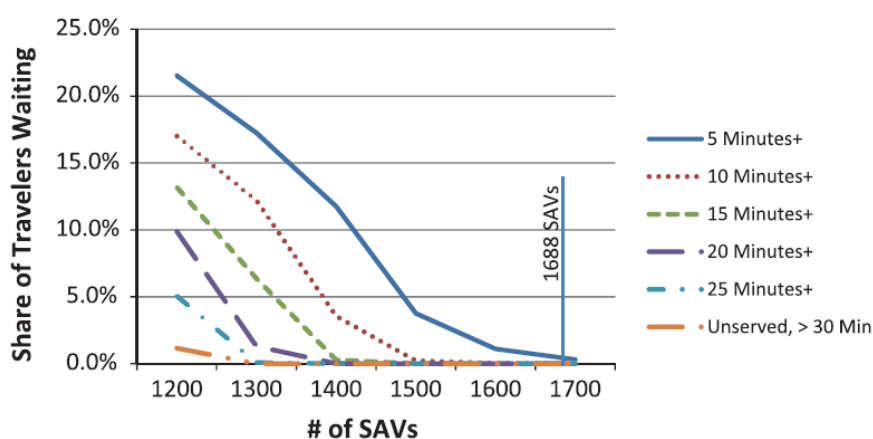
ค่าใช้จ่ายต้นทุนเป็นรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการให้บริการ โดยสมมติฐานมีระดับราคาแต่ละค่าใช้จ่ายอย่างละ 3 ระดับได้แก่ Low-cost, Mid-cost, High-cost โดย Low-cost คือกรณีที่สมมติให้รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ ในส่วน High-cost คือกรณีที่สมมติให้รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้ ในส่วน Mid-cost คือกรณีที่สมมติให้รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เป็นกลางซึ่งอยู่ระหว่าง Low-cost และ High-cost ในการจำลองของ Chen และคณะกำหนดรายละเอียดในการคิดค่าใช้จ่ายได้แก่ ทั่วยานพาหนะและแบตเตอรี่, ค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะ, ค่าประกัน, ค่าการชาร์จไฟฟ้า, ค่าสถานี และค่าซ่อมบำรุงสถานี ในการเปรียบเทียบค่าเดินทางต่อระยะเดินทางของการให้บริการการเดินทางด้วย SAV กับ SAEV (Chen et al., 2016) ต่อมา Loeb และ Kockelman ได้เพิ่มความละเอียดค่าใช้จ่ายเข้าไปในการเปรียบเทียบค่าเดินทางต่อระยะเดินทางของการให้บริการการเดินทางด้วย HEV-SAV (รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด) กับ SAEV ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวได้แก่ ค่าบริหารจัดการและค่าที่ดินในการตั้งสถานี เพื่อแสดงให้เห็นความสมจริงของการเปรียบเทียบมากยิ่งขึ้นหากนำ SAEV มาใช้ในอนาคต (Loeb & Kockelman, 2019)

2.3.2 จำนวน SAV และ SAEV ในการให้บริการ

จำนวนยานพาหนะนั้นเป็นส่วนของต้นทุนการให้บริการ หากมีจำนวน SAV มากส่งผลให้ต้นทุนการให้บริการนั้นสูงตามไปด้วย เพื่อประโยชน์ต่อผู้ใช้บริการและความคุ้มค่าของผู้ให้บริการในการลงทุนสูงสุด ในการจำลองจึงมีการนำจำนวน SAV มาจำลองเพื่อผลกระทบต่อระบบการให้บริการ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการเปรียบเทียบจำนวน SAV ในการจำลอง 2 แบบด้วยกันดังต่อไปนี้

การประมาณจำนวน SAV ในระบบแบบแรกนั้นไม่ได้มีการกำหนดจำนวน SAV แต่ได้จำนวน SAV จากการจำลองและใช้เป็นบรรทัดฐาน (Fagnant & Kockelman, 2014) โดยจำนวน SAV บรรทัดฐานนั้นได้จากการจำลองใน 100 วันแล้วหาค่าเฉลี่ยต่อวัน โดยได้จำนวนบริการ SAV เฉลี่ยต่อวันประมาณ 1,688 คัน จำนวนนี้เป็นจำนวนตั้งต้นไว้สำหรับเปรียบเทียบกรณีอื่นๆที่ส่งผลต่อระบบ โดยการลดจำนวนบริการ SAV เป็น 1 ในกรณีที่ถูกลำมาเปรียบเทียบ การจำกัดจำนวนบริการ SAV ทั้งหมดของระบบนั้นเปรียบเหมือนการกำหนดค่าใช้จ่ายสำหรับจำนวนบริการ SAV ในระบบ โดยจำนวนที่ถูกลำมาในการจำลองมีดังนี้ 1,200, 1,300, 1,400, 1,500, 1,600 คัน เมื่อกำหนดให้มีจำนวนบริการ SAV 1,600 คันในระบบพบว่าผู้ใช้บริการที่รอการใช้บริการนานกว่า 5 นาทีมีเพียง

1.1% ของผู้ใช้บริการทั้งหมด เมื่อมีจำนวนบริการ SAV 1,500 คันในระบบพบว่าผู้ใช้บริการที่รอนานกว่า 5 และ 10 นาทีเพิ่มขึ้นเป็น 3.8% และ 0.2% ของผู้ใช้บริการทั้งหมดตามลำดับและมีประมาณ 3 คนต่อวันในการรอนานกว่า 15 นาที แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีจำนวนบริการ SAV บริการเพียง 1,400 คันพบว่าทำให้บริการลดลงอย่างมาก เนื่องจากจำนวนผู้ใช้บริการที่รอ 5, 10 และ 15 นาทีหรือมากกว่านั้นเพิ่มขึ้นเป็น 11.8%, 3.6% และ 0.3% ของผู้ใช้บริการทั้งหมดตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 1 โดยแสดงให้เห็นความสำคัญของความเหมาะสมของจำนวน SAV ส่งผลให้เวลารอการใช้บริการนานขึ้น ซึ่งหากเวลารอการใช้บริการนานนอกจากผู้ใช้บริการเสียเวลาในการรอนานส่งผลให้รายได้ของผู้ให้บริการจากการให้บริการจะน้อยลง



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์จำนวน SAV ที่ได้จากการจำลอง

ที่มา: (Fagnant & Kockelman, 2014)

การประมาณจำนวน SAV ในระบบอีกแบบนั้นกำหนดจำนวน SAV โดยไม่มีการหาจำนวนอ้างอิงแบบแรก รูปแบบการประมาณจำนวน SAV นี้กำหนดช่วงในการปรับจำนวน SAV ในระบบการบริการ เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมที่สุดในการให้บริการในพื้นที่ที่ใช้จำลอง จากนั้นปล่อยตามจุดที่ถูกสมมติในการจำลองโดยมีทั้งหมด 4 จุด (Vosooghi, Kamel, et al., 2019; Vosooghi, Puchinger, et al., 2019) ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Vosooghi และคณะได้ทำการจำลองด้วยจำนวน SAV ตั้งแต่ 2,000-6,000 คัน โดยเพิ่มจำนวน SAV ในการจำลองครั้งละ 500 คัน เพื่อดูการตอบสนองของระบบการให้บริการเมื่อมีจำนวน SAV ที่เปลี่ยนไปอย่างไร ผลลัพธ์ของการจำลองพบว่าจำนวน SAV ประมาณ 3,000 คันเป็นจำนวนที่ให้ประโยชน์สูงสุดทั้งผู้ให้และผู้ใช้ระบบการบริการ SAV ในพื้นที่จำลองนั้น (Vosooghi, Puchinger, et al., 2019) นอกจากนี้ในการจำลองมีการนำจำนวน SAEV มาจำลองเช่นกันแต่กำหนดจำนวน SAEV ในระบบด้วยอัตราส่วนผู้ใช้บริการต่อ SAEV ซึ่งแตกต่างจาก

ข้างต้น ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Loeb และคณะพบว่าการเพิ่มจำนวน SAEV มีผลอย่างมากต่อเวลาตอบสนองคำขอการให้บริการ ในการจำลองด้วย SAEV ที่มี ระยะวิ่งต่อการชาร์จ 150 กิโลเมตร ด้วยระยะเวลาในการชาร์จ 30 นาที โดยอัตราส่วนผู้ให้บริการต่อ SAEV คือ 10, 7, 3 คนต่อคัน ตามลำดับ ใช้เวลาตอบสนองคำขอการให้บริการ 41.6, 6.52, 2.16 นาทีตามลำดับ (Loeb et al., 2018)

2.3.3 จำนวนที่นิ่งใน SAV ในการให้บริการ

จำนวนที่นิ่งบน SAV นั้นเป็นจำนวนความจุที่ SAV สามารถให้บริการแก่ผู้ให้บริการมากที่สุด ดังนั้นการกำหนดความจุที่นิ่งเหมือนการจำกัดคำขอรับบริการต่อ SAV 1 คัน หากความจุของ SAV มีจำนวนมาก SAV สามารถรับผู้ให้บริการได้จำนวนมากส่งผลต่อรายได้ของการให้บริการ SAV สูงขึ้น แต่ด้วย SAV นั้นไม่มีจุดจอดเหมือนรถโดยสารประจำทาง เนื่องจากการแวะรับ-ส่งนั้นขึ้นอยู่กับคำขอใช้บริการต่างกับรถโดยสารประจำทางที่ผู้ให้บริการมารวมตัวกับที่จุดจอดส่งผลให้ SAV เสียเวลาการเดินทางไปรับ-ส่งผู้โดยสารรายอื่นและผู้ให้บริการเสียเวลาการบริการ ดังนั้นในการจำลองจึงมีการหาจำนวนที่เหมาะสมในพื้นที่ให้บริการนั้นๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดต่อระบบ ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Bischoff และคณะได้ปรับค่าความจุของ SAV ตั้งแต่ 2 ถึง 4 ที่นิ่ง โดยเปรียบเทียบกับความจุ 1 ที่นิ่งที่เปรียบเหมือนแท็กซี่ ผลลัพธ์ที่ได้คือเมื่อความจุของ SAV เพิ่มขึ้นสามารถลดระยะเวลาเดินทางของยานพาหนะในระบบบริการทั้งหมด 15-20% (Bischoff et al., 2017) ต่อมาในการจำลองของ Vosoghi และคณะได้เพิ่มความจุเป็น 1, 2, 4, 6 ที่นิ่ง โดยพบว่าความจุเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เวลารอของผู้ใช้บริการนั้นลดลง แต่ส่วนสำหรับเวลาเฉลี่ยบนยานพาหนะ (average in-vehicle time) และเวลาเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากเวลาเดินทางปกติเกิดระหว่างการให้บริการ (average detour time) ของทุกความจุ SAV ในการจำลองนั้นอยู่ในช่วง 37-48 นาทีและ 4-7 นาที ตามลำดับ (Vosoghi, Puchinger, et al., 2019)

2.3.4 การปรับตำแหน่งยานพาหนะระหว่างบริการ

การปรับตำแหน่งยานพาหนะระหว่างบริการ (Rebalancing หรือ Relocation) เป็นกลยุทธ์ที่ช่วยให้ SAV มีความพร้อมให้บริการ โดยการปรับตำแหน่ง SAV ในระบบให้กระจายตำแหน่งกันทั่วพื้นที่จำลอง แต่การปรับตำแหน่งอาจไม่ใช่ว่าประโยชน์ต่อระบบการให้บริการเสมอไป หากการเคลื่อนที่ของ SAV ทั้งระบบนั้นได้ใช้พลังงานในการปรับตำแหน่งมากเกินไปซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ตามมา และรายได้ของการให้บริการนั้นน้อยกว่าค่าใช้จ่ายส่งผลให้ไม่คุ้มค่าต่อการให้บริการ ดังนั้นจึงมีการเปรียบเทียบการใช้กลยุทธ์ปรับสมดุลและไม่ปรับสมดุลเพื่อแสดงให้เห็นข้อดีข้อเสียของกลยุทธ์ปรับสมดุล ตัวอย่างการจำลองของ Vosoghi และคณะเปรียบเทียบการจำลองเมื่อมีการปรับสมดุลและ

ไม่มีปรับสมดุล ผลการจำลองพบว่าเวลารอโดยเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการให้บริการ SAV ที่มีการปรับสมดุล โดยการลดลงเวลารอเฉลี่ยนี้เกิดขึ้นเมื่อ SAV ที่ไม่มีผู้ให้บริการซึ่งอยู่ไกลจาก ศูนย์กลางความต้องการใช้บริการได้รับการจัดสรรใหม่ไปยังบริเวณดังกล่าว การให้บริการ SAV ที่มีการปรับสมดุลส่งผลให้มีรถมากขึ้นในบริเวณความต้องการใช้บริการภายในเวลารอที่น้อยลงและส่งผลให้ระยะทางที่ถูกใช้บริการทั้งหมด (passenger kilometer traveled : PKT) ของ SAV เพิ่มขึ้นทุกสถานการณ์เมื่อการให้บริการ SAV ได้รับการปรับสมดุล โดยค่า PKT สามารถสื่อถึงรายได้การให้บริการทั้งหมดของระบบได้ เนื่องจากค่า PKT ที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการปรับสมดุล หมายถึงมีจำนวนการให้บริการเพิ่มขึ้นส่งผลให้รายได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนระยะทางที่ไม่มีผู้ให้บริการ (empty distance ratio) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน ซึ่งการวิ่งโดยไม่มีผู้โดยสารถือว่าเป็นรายจ่ายเพิ่มเติมในการดำเนินการของระบบ ดังนั้นการตัดสินใจใช้กลยุทธ์การปรับสมดุลในระบบต้องเปรียบเทียบรายจ่ายสำหรับต้นทุนและรายได้ของผู้ให้บริการ โดยทั้งรายจ่ายและรายได้นั้นขึ้นกับราคาต่อกิโลเมตรของด้านต้นทุนและการใช้บริการ แต่ Vosoghi และคณะไม่ได้ลงรายละเอียดในการวิเคราะห์ทางการเงินด้านต้นทุน ดังนั้น สำหรับการประเมินการใช้และไม่ใช้กลยุทธ์ปรับสมดุลนั้น จำเป็นต้องกำหนดรายละเอียดด้านการเงิน จึงประกอบการตัดสินใจเลือกใช้หรือไม่ใช้กลยุทธ์การปรับสมดุล (Vosoghi, Puchinger, et al., 2019)

2.3.5 การจัดพื้นที่สำหรับพักของยานพาหนะให้บริการ

การจัดพื้นที่สำหรับพักของยานพาหนะให้บริการ (holding area) บนการจำลองมีวัตถุประสงค์ให้มีพื้นที่พักของยานพาหนะให้บริการสำหรับรอให้บริการ เพื่อไม่ให้ยานพาหนะให้บริการที่ไม่ได้รับการทำการปรับตำแหน่งโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ยานพาหนะให้บริการที่ไม่ถูกใช้บริการอาจมีสาเหตุจากอยู่ในตำแหน่งที่อาจไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการให้บริการ ดังนั้น Twumasi-Boakye และคณะได้ทำการจำลองด้วยใช้แหล่งอ้างอิงต่างๆในพื้นที่เป็นจุดพัก SAV โดยแหล่งใช้อ้างอิงมี 4 จุด จุดแรกคือจุดรอของ Taxi ภายในบริเวณจำลองซึ่งมีทั้งหมด 110 จุด โดยแบ่งจำนวน SAV กระจายไปยังจุดทุกจุดเท่ากัน ต่อมาจุดที่สองคือจุดรอของ Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) จุดนี้มีวิธีการจัดกลุ่มตามวิธี DBSCAN โดยมีจำนวนด้วยกัน 10 จุดและแบ่งจำนวน SAV กระจายไปตามความหนาแน่นของคำขอใช้บริการแต่ละจุด ในส่วนของจุดที่สามคือจุดรอของ Agglomerative clustering (AC) จุดนี้มีวิธีการจัดกลุ่มตามวิธี AC โดยมีจำนวนด้วยกัน 10 จุดและแบ่งจำนวน SAV กระจายไปตามความหนาแน่นของคำขอใช้บริการแต่ละจุด ส่วนจุดสุดท้ายจุดที่สี่คือการมีจุดรอจุดเดียวโดยเลือกจากจุดที่มีความต้องการบริการสูงสุดในพื้นที่

จากการกระจายจุดพักรถหลากหลายรูปแบบข้างต้น การเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจาก 4 สถานการณ์จำลองข้างต้นพบว่าการใช้ Agglomerative Clustering เป็นสถานการณ์จำลองที่ดีที่สุด จากนั้นทำการจำลองเฉพาะสถานการณ์ข้างต้นอีกครั้งโดยใส่ข้อมูลนำเข้าไปเหมือนเดิม แต่มีการปรับเวลาที่ SAV รอรับที่จุดรับส่งก่อนจะกลับไปยัง holding area (dwell time) โดยปรับค่า 5, 10 และ 15 นาที ผลลัพธ์การปรับ dwell time ไม่ได้มีผลลัพธ์แตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ ผู้จำลองจึงแนะนำว่าผู้ให้บริการอาจสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานบางส่วนได้ด้วยการจำกัดเวลาพักเครื่องไว้ประมาณ 5 นาที เนื่องจากวิธีนี้จะช่วยลดระยะที่ SAV วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการได้ (Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021)

2.3.6 ตัวแปรในกระบวนการชาร์จไฟฟ้า SAEV

เนื่องจากในปัจจุบันรถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีระยะทางที่สามารถวิ่งได้น้อยกว่ารถยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นเมื่อนำรถยนต์พลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการให้บริการ SAEV นั้น SAEV จะถูกใช้บริการและเคลื่อนที่ตลอดวันจึงมีความจำเป็นต้องมีการชาร์จระหว่างวัน ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการชาร์จนั้นต้องเข้าเงื่อนไขการชาร์จเสียก่อน เมื่อเข้าเงื่อนไขสำหรับไปชาร์จแล้วจากนั้นเดินทางไปสถานีเพื่อเข้ากระบวนการชาร์จ โดยกระบวนการชาร์จนั้นเป็นขั้นตอนก่อนการกลับไปให้บริการอีกครั้งซึ่งการกลับไปให้บริการเร็วหรือช้าขึ้นขึ้นอยู่กับขั้นตอนนี้ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าตัวแปรในกระบวนการชาร์จที่ส่งผลต่อการให้บริการ SAEV ได้แก่ การชาร์จแบบเร็วและแบบปกติ ระยะวิ่งต่อการชาร์จของ SAEV จำนวนเต้าชาร์จ และการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่

การชาร์จแบบเร็วและแบบปกติ

การชาร์จที่สถานีชาร์จนั้นมีอยู่ 2 แบบคือ การชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสสลับหรือการชาร์จแบบปกติ (Normal Charging) และการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือการชาร์จแบบเร็ว (Rapid Charging) ซึ่งทั้ง 2 แบบมีเต้าชาร์จที่แตกต่างกัน หากกำหนดจำนวนความต้องการบริการเท่ากันและขนาดแบตเตอรี่ของ SAEV เท่ากัน ลักษณะการชาร์จส่งผลต่อเวลาในการชาร์จ ถ้าหากใช้ลักษณะการชาร์จที่ต่างกันซึ่งมีผลต่อความเร็วในการชาร์จ การชาร์จที่ทำให้ SAEV พร้อมใช้งานก่อนสามารถออกไปรับผู้ใช้บริการได้ก่อนส่งผลให้เกิดการบริการที่สูงกว่ากรณีที่ชาร์จเสร็จช้ากว่า ถึงแม้รายได้จากการรับผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นจากความเร็วในการชาร์จ แต่ราคาการติดตั้งอุปกรณ์และการซ่อมบำรุงของการชาร์จแบบเร็วก่อนข้างมีราคาสูงกว่าการชาร์จแบบปกติ จึงเป็นเหตุผลที่ทำการจำลองการชาร์จแบบปกติเปรียบเทียบการชาร์จแบบเร็ว ในการจำลองมีการกำหนดขนาดเต้าชาร์จอยู่ 2 แบบ โดยแบบแรกคือกำหนดขนาดเต้าชาร์จด้วยแรงดันไฟฟ้า สำหรับการชาร์จแบบปกติกำหนดเป็นเต้า

ชาร์จระดับ 2 (240-volt AC) โดยให้การชาร์จแบตเตอรี่ของ SAEV ทุกขนาดนั้นเวลาที่ใช้ในการชาร์จคือ 240 นาทีหรือ 4 ชั่วโมง (Chen et al., 2016; Farhan & Chen, 2018; Loeb & Kockelman, 2019; Loeb et al., 2018) และการชาร์จแบบเร็วกำหนดเป็นเต้าชาร์จระดับ 3 (480-volt DC) มีเวลาที่ใช้ในการชาร์จ 30 นาที (Chen et al., 2016; Loeb & Kockelman, 2019; Loeb et al., 2018) และกำหนดเวลาที่ใช้ในการชาร์จ 45 นาที (Farhan & Chen, 2018) แบบที่ 2 คือกำหนดขนาดเต้าชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้า ในการจำลองของ Vosooghi และคณะกำหนดการชาร์จแบบปกติเต้าชาร์จขนาด 22 kW เวลาที่ใช้ในการชาร์จคือ 180 นาทีหรือ 3 ชั่วโมง และกำหนดเต้าชาร์จขนาด 43 kW เวลาที่ใช้ในการชาร์จคือ 30 นาที (Vosooghi et al., 2020) โดยอ้างอิงข้อมูลจาก (Renault Zoe technical sheet, 2019) โดยความหมายเวลาที่ใช้ในการชาร์จข้างต้นมีดังนี้ เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบบปกติคือเวลาที่ใช้ในการชาร์จจนเต็มความจุแบตเตอรี่จึงจะออกจากสถานีได้ ส่วนเวลาที่ใช้ในการชาร์จแบบเร็วคือเวลาที่ใช้ในการชาร์จได้เพียง 80% ของความจุแบตเตอรี่จึงจะออกจากสถานีได้ เพื่อลดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่เนื่องจากการชาร์จด้วยไฟฟ้ากระแสตรง โดยสรุปเต้าชาร์จจากการทบทวนวรรณกรรมตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความแตกต่างของลักษณะของเต้าชาร์จจากการทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัย	เต้าชาร์จ	Power charger1/ charging time (min)	Power charger2/ charging time (min)
(Chen et al., 2016)		240volt/240	480volt/30
(Loeb et al., 2018)		240volt/240	480volt/30
(Farhan & Chen, 2018)		240volt/240	480volt/45
(Loeb & Kockelman, 2019)		240volt/240	480volt/30
(Vosooghi et al., 2020)		22kW/180	43kW/30

ตารางที่ 4 ระยะต่อการชาร์จของ SAEV หรือขนาดความจุแบตเตอรี่จากการทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัย	Range	Range 1	Range 2
(Chen et al., 2016)		80 miles	200 miles
(Loeb et al., 2018)		100 km	325 km
(Farhan & Chen, 2018)		80 miles	190 miles
(Loeb & Kockelman, 2019)		60 miles	200 miles
(Vosooghi et al., 2020)		41 kWh	50 kWh

ระยะวิ่งต่อการชาร์จของ SAEV

ระยะวิ่งต่อการชาร์จของ SAEV หรือขนาดความจุแบตเตอรี่นั้นมีความสำคัญต่อระบบการให้บริการ เนื่องจากแบตเตอรี่ที่มีความจุแบตเตอรี่ที่สูงนั้นมีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุแบตเตอรี่ที่ต่ำกว่า จึงต้องเลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการนั้น เช่น พื้นที่ให้บริการนั้นมีความต้องการบริการระยะสั้น ความจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจึงไม่จำเป็นต้องมีความจุมากจนเกินไปเพื่อควบคุมต้นทุนของระบบ SAEV ให้มีความเหมาะสมและเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด เพื่อให้สามารถประมาณต้นทุนของระบบ SAEV จากขนาดความจุแบตเตอรี่ ในการจำลองจึงมีการกำหนดความจุแบตเตอรี่ด้วยกันอยู่หลายขนาดเพื่อเปรียบเทียบและหาความจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อพื้นที่ที่ต้องการให้บริการนั้นมากที่สุด โดยการจำลองส่วนใหญ่มักกำหนดอย่างน้อย 2 ขนาดความจุแบตเตอรี่ เพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบ จากการทบทวนวรรณกรรมพบความจุแบตเตอรี่และระยะที่ SAEV สามารถวิ่งได้ถูกใช้ในการจำลองดังตารางที่ 4

ตัวอย่างการจำลองของ Vossooghi และคณะกำหนดขนาดแบตเตอรี่ 41 kWh และ 50 kWh ด้วยการชาร์จแบบปกติเต้าชาร์จขนาด 22 kW และสำหรับช่วงเวลาเร่งด่วนช่วงเช้า (8.00-10.00 น.) และช่วงบ่าย (16.00-20.00 น.) พบว่าสำหรับ SAEV ขนาด 41 kWh หลังจากช่วงเวลาเร่งด่วนช่วงเช้า SAEV ส่วนใหญ่ต้องเผชิญกับสถานะแบตเตอรี่ (State of Charge : SoC) ที่กำหนดให้ที่จำกัดความจุที่ 20% ของความจุแบตเตอรี่ทั้งหมด และถูกส่งไปยังสถานีชาร์จใกล้เคียง ในกรณีนี้ SAEV ส่วนใหญ่ชาร์จในช่วงนอกชั่วโมงเร่งด่วน และพร้อมสำหรับการให้บริการในช่วงเวลาเร่งด่วนในช่วงเย็น ส่วนในกรณีของ SAEV ขนาด 50 kWh เนื่องจาก SAEV ส่วนใหญ่ SoC นั้นเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการในช่วงนอกเวลาเร่งด่วนช่วงกลางวัน SAEV ยังคงให้บริการและยังไม่ได้ไปชาร์จที่สถานีชาร์จ ดังนั้นส่งผลให้ในช่วงเวลาเร่งด่วนช่วงเย็นจึงค่อนข้างมี SAEV จำนวนมากที่ต้องการชาร์จ ส่งผลให้ SAEV ส่วนใหญ่ไม่พร้อมใช้งานและมีการให้บริการลดลง จากเหตุผลข้างต้นบ่งบอกถึงความสำคัญของความจุของแบตเตอรี่และผลกระทบต่อการใช้งาน ถ้าหากลดความจุของแบตเตอรี่ SAEV ลงจากที่กรณีข้างต้นอาจส่งผลให้บริการไม่เพียงพอในช่วงเช้า และถ้าหากเพิ่มความจุของแบตเตอรี่ SAEV ขึ้นอาจไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการให้บริการ เนื่องจาก SAEV นั้นพร้อมให้บริการจำนวนมากในช่วงนอกเวลาเร่งด่วน แต่มี SAEV เพียงบางส่วนที่ให้บริการตามความต้องการของผู้ใช้บริการ ผู้ให้บริการอาจส่ง SAEV ที่ว่างไปยังสถานีชาร์จเพื่อลดจำนวน SAEV บนถนน แต่หากเพิ่มข้อจำกัด SoC มากกว่า 20% ของความจุแบตเตอรี่ทั้งหมด ในกรณีของ SAEV ขนาด 50 kWh อาจส่งผลให้

SAEV สามารถไปชาร์จในช่วงนอกเวลาเร่งด่วนเหมือนกรณี SAEV ขนาด 41 kWh และช่วยลดจำนวน SAEV ที่ในช่วงเวลาเร่งด่วนช่วงเย็น (Vosooghi et al., 2020)

จำนวนเต้าชาร์จ

จำนวนเต้าชาร์จเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อเวลาในการชาร์จ หากมีจำนวนเต้าชาร์จแต่ละสถานีไม่เพียงพอต่อความต้องการชาร์จจะส่งผลให้เกิดการรอการชาร์จและ SAEV ไปกองรวมกันที่สถานี โดยส่งผลให้ SAEV ที่พร้อมให้บริการในระบบมีจำนวนน้อย การเพิ่มจำนวนเต้าชาร์จต่อสถานีช่วยให้จำนวนการรอคิวลดลงและเพิ่มปริมาณของการให้บริการมากยิ่งขึ้น แต่ในการเพิ่มจำนวนเต้าชาร์จนั้นมีค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณทุน ดังนั้นจำนวนเต้าชาร์จจำเป็นต้องมีความเหมาะสมและส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งด้านผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ ในการจำลองของ Vosooghi และคณะได้จำลองจำนวนเต้าชาร์จต่อสถานี โดยผลลัพธ์ที่ได้คือเมื่อเพิ่มจำนวนเต้าชาร์จเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้การรอคิวชาร์จลดลงและเพิ่มปริมาณการให้บริการ แต่เมื่อถึงจำนวนเต้าชาร์จจำนวนหนึ่งพบว่าการมีจำนวนเต้าชาร์จมากขึ้นส่งผลให้เวลารอการชาร์จรวมที่น้อยลง แต่ไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณการบริการสูงขึ้นหรือได้รายได้จากการให้บริการไม่คุ้มค่าในการเพิ่มรายจ่ายจากการเพิ่มจำนวนเต้าชาร์จ ดังตัวอย่างผลลัพธ์ในการจำลองของ Vosooghi และคณะในกรณีใช้ตำแหน่งของสถานีจากวิธี P-median พบว่าจำนวนเต้าชาร์จที่ 90 และ 100 ในแต่ละสถานีมีระยะทางการเดินทางเฉลี่ยของผู้ใช้ SAEV อยู่ที่ 35.6 กิโลเมตรเท่ากันตามตารางที่ 5 (Vosooghi et al., 2020)

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากการปรับจำนวนเต้าชาร์จ

Scenario	P-Median		P-Median with constraint					
	Medium-Range	Long-Range	Medium-Range	Long-Range	Medium-Range	Long-Range		
Number of outlets per station	90	100	90	100	80	100	90	100
SAEV user average trip distance (km)	32.5	32.6	35.6	35.6	33.6	32.9	33.6	33.4

ที่มา: (Vosooghi et al., 2020)

การสับเปลี่ยนแบตเตอรี่

การสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swap) คือการเปลี่ยนแบตเตอรี่ชุดใหม่ที่มีความจุแบตเตอรี่เต็มแทนที่แบตเตอรี่ที่มีพลังงานต่ำจาก SAEV ภายในระยะเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นแบตเตอรี่ที่ถูกเปลี่ยนออกจะถูกนำไปชาร์จจนความจุเต็มแล้วพร้อมใช้งานอีกครั้ง โดยการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ถูกนำมาจำลองครั้งแรกใน (Vosooghi et al., 2020) เนื่องจากการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่นั้น

เป็นวิธีการที่เมื่อเปรียบเทียบกับชาร์จแล้วถือว่าเร็วกว่ามากในเรื่องเปลี่ยนสถานะจากสถานะจำเป็นต้องไปชาร์จเปลี่ยนเป็นสถานะพร้อมใช้งานและทำให้จำนวน SAEV ถูกใช้มากยิ่งขึ้น ในเปรียบเทียบผลลัพธ์การจำลองระหว่างสถานการณ์การชาร์จแบบปกติ, การชาร์จแบบเร็วและการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยกรณีที่ดีที่สุดของแต่ละการจำลอง ซึ่งทั้ง 3 สถานการณ์การชาร์จมีกรณีที่ดีที่สุดคือการใช้ SAEV ที่มีความจุแบตเตอรี่ 50 kWh โดยใช้วิธี P-Median สำหรับตำแหน่งของสถานีด้วยเงื่อนไขอยู่นอกบริเวณที่มีพื้นที่จอดรถน้อย โดยพบว่าค่า PKT ของการชาร์จแบบปกติ, การชาร์จแบบเร็วและการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่คือ 1.44, 1.56, 1.88 ล้านกิโลเมตรตามลำดับ ซึ่งเห็นว่าผลลัพธ์การให้บริการของการจำลองด้วยสถานการณ์การสับเปลี่ยนแบตเตอรี่นั้นให้บริการผู้ใช้บริการสูงที่สุด

2.4 ช่องว่างการศึกษา

การให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing เป็นแนวทางการเดินทางรูปแบบใหม่ ดังนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมการจำลองการให้บริการ ride sharing จึงให้สนใจผลกระทบการเข้ามาของบริการอยู่ 2 ด้านได้แก่ ด้านการให้บริการที่เหมาะสมและด้านความคุ้มค่าในการลงทุนในการให้บริการการเดินทาง ในด้านการให้บริการที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาในมุมมองของผู้ใช้บริการ โดยมุมมองของผู้ใช้บริการนั้นจะเลือกใช้บริการด้วยการเปรียบเทียบกับตัวเลือกการเดินทางอื่นเพื่อให้เกิดประโยชน์กับผู้เดินทางสูงสุด โดยจะตั้งจุดการใช้บริการการเดินทางจากโหมดอื่น ส่วนในด้านความคุ้มค่าในการลงทุนในการให้บริการการเดินทางจะพิจารณาในมุมมองของผู้ให้บริการ เนื่องจากการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing เป็นแนวทางการเดินทางรูปแบบใหม่จึงต้องแสดงให้เห็นว่ามีความน่าสนใจต่อผู้ต้องการลงทุนในการให้บริการ โดยคาดการณ์ว่าการให้บริการการเดินทางจะให้ผลประโยชน์แก่ผู้ลงทุนในการให้บริการอย่างไร ตัวอย่างการจำลองที่แสดงได้ทั้ง 2 ด้านข้างต้นเช่น Chen และ Kockelman จำลองด้วยค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทาง 0.75, 0.85, 1.00 ดอลลาร์สหรัฐต่อไมล์ ผลการจำลองในด้านการให้บริการพบว่าเมื่อเวลารอที่การบริการและค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางที่น้อยกว่านั้นสามารถให้บริการได้มากกว่า แต่ในด้านความคุ้มค่าในการลงทุนในการให้บริการพบว่าการให้บริการในกรณีที่ค่าใช้จ่ายต่อระยะเดินทางสูงกว่านั้นให้อัตราส่วนรายได้ต่อรายจ่ายตอบแทนที่สูงตามไปด้วย จากข้างต้นเห็นได้ว่าผลการจำลองทั้ง 2 ด้านมีทิศทางที่ตรงกันข้าม ดังนั้นหากทั้ง 2 ด้านสามารถหาผลประโยชน์สูงสุดร่วมกันได้จะส่งผลให้การให้บริการการเดินทาง ride sharing เติบโตมากขึ้น

พื้นที่ที่น่าสนใจที่ใช้ในการจำลองการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing นั้นมีความหลากหลายของลักษณะพื้นที่ เช่น พื้นที่มหาวิทยาลัยและพื้นที่ที่มีการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะ

โดยตัวอย่างพื้นที่มหาวิทยาลัยและพื้นที่ที่มีการให้บริการระบบขนส่งสาธารณะเช่น Altıntaş จำลองการใช้จักรยานและรถรับ-ส่ง (shuttle) ภายในมหาวิทยาลัยบนพื้นที่มหาวิทยาลัย MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY (METU) เพื่อลดความแออัดในการเดินทางในพื้นที่และเตรียมความพร้อมสำหรับการเชื่อมต่อรถไฟฟ้าใต้ดินที่กำลังจะเปิดสถานีแห่งใหม่บริเวณดังกล่าว (Altıntaş, 2013) นอกจากนี้ตัวอย่างการใช้จักรยานและรถรับ-ส่งภายในมหาวิทยาลัยข้างต้นแล้ว ยังมีบริการการเดินทางที่น่าสนใจในการลดความแออัดจากการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลตัวอย่าง Fagnant และ Kockelman ทำการจำลอง SAV และอ้างว่า SAV แทนที่ประมาณ 12 รถยนต์ส่วนบุคคลได้และส่งผลกระทบต่อความแออัดจากการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลได้ (Fagnant & Kockelman, 2014) ส่วนการเชื่อมต่อให้บริการระบบขนส่งสาธารณะด้วยบริการการเดินทางแบบ ride sharing เช่น Bürstlein จำลองการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing บนพื้นที่บริเวณโดยรอบของสถานีรถไฟ (Bürstlein et al., 2021)

เนื่องจากพื้นที่จตุฬา-สามย่านเป็นพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมีการให้บริการเดินทางระบบขนส่งสาธารณะอยู่ในพื้นที่ โดยพื้นที่บริเวณนี้มีรถไฟฟ้าของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) หรือ Bangkok Mass Transit System Public Company Limited (BTS) และรถไฟฟ้ามหานคร (Metropolitan Rapid Transit : MRT) นอกจากนี้พื้นที่จตุฬา-สามย่านมีการใช้ยานพาหนะร่วมกันที่หลากหลายและรูปแบบการเดินทางใหม่อย่าง ride sharing ในพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อในช่วงต้นและท้ายของการเดินทางจากรถไฟฟ้าและใช้เดินทางภายในพื้นที่ จากเหตุผลทั้งหมดข้างต้นดังนั้นพื้นที่จตุฬา-สามย่านจึงมีความน่าสนใจและเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการจำลองการให้บริการการเดินทางแบบ ride sharing

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางและรูปแบบการใช้บริการ ride sharing ในพื้นที่จตุฬา-สามย่านและศึกษาผลกระทบของการปรับระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จของยานพาหนะไฟฟ้าผ่านการจำลอง

บทที่ 3

ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

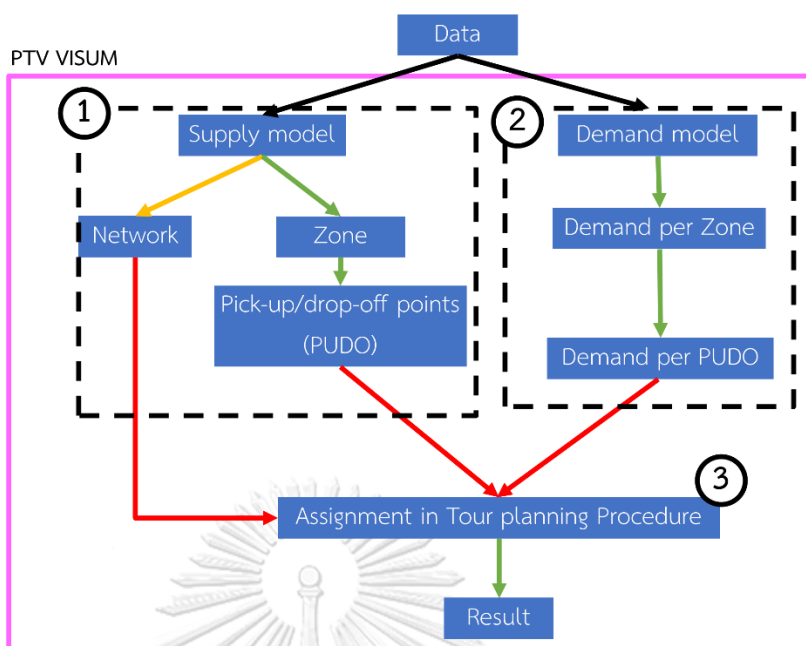
3.1 ซอฟต์แวร์การจำลอง

สำหรับซอฟต์แวร์การจำลองบริการ ride sharing ซอฟต์แวร์ในลักษณะนี้มีความสามารถในการจัดสรรความต้องการเดินทางและเส้นทางการเดินทางให้เหมาะสมกับทรัพยากร (เช่น จำนวนยานพาหนะ จำนวนที่นั่งของยานพาหนะ) ที่มีอยู่ในการให้บริการ ride sharing ซึ่งหากทำเองด้วยมือเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและมีความละเอียดสูงดังนั้นการใช้ซอฟต์แวร์จะเข้ามาช่วยให้การหาผลลัพธ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยซอฟต์แวร์จะทำการคำนวณและวิเคราะห์เงื่อนไขการให้บริการ ในทุกๆ ยานพาหนะ และทุกคำขอใช้บริการในเวลานั้นๆ ของวัน ตัวอย่างเช่น ยานพาหนะใช้ระยะทางวิ่งรวมตลอดการให้บริการเท่าไร ระยะทางที่ยานพาหนะใช้ในการวิ่งไปชาร์จที่สถานีจะมีระยะทางวิ่งรวมตลอดการให้บริการเท่าไร ผู้ใช้บริการรอบริการนานแค่ไหน ผู้ใช้บริการเดินทางด้วยระยะทางเท่าไร เป็นต้น ซึ่งทำเองด้วยมือ นั้นต้องนับวิเคราะห์ทีละคำขอและแน่นอนว่าสามารถเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่ายทุกเงื่อนไข นอกจากนี้ประโยชน์ของการจำลองนั้นช่วยในการประเมินและวิเคราะห์การให้บริการได้ก่อนการทดสอบในทางปฏิบัติจริง

จากการทบทวนวรรณกรรมนั้นพบว่าซอฟต์แวร์การจำลองบริการ ride sharing ที่เป็นที่ยอมรับในการศึกษาวิจัย มี 2 ซอฟต์แวร์ด้วยกันได้แก่ MATSim และ PTV VISUM โดยจากการสืบค้น พบว่าชุมชนนักวิจัยในเครือข่ายมีการใช้ซอฟต์แวร์ PTV VISUM มากกว่า อันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา งานวิจัยนี้ อีกทั้งภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ PTV VISUM ดังนั้นการเข้าถึงการใช้งานของ PTV VISUM จึงสะดวกกว่า MATSim แต่ด้วยทั้งสองซอฟต์แวร์นั้นมีโครงสร้างแบบจำลองคล้ายๆ กัน โดยจะมีบางส่วนของการทำงานใน MATSim สามารถนำมาประยุกต์ใช้ใน PTV VISUM ได้ด้วย

3.2 กรอบงานในการจำลองการให้บริการ ride sharing ใน PTV VISUM

กรอบงานของการจำลองการให้บริการ ride sharing มี 3 ส่วนด้วยกันได้แก่ แบบจำลองโครงสร้างเครือข่าย (supply model), แบบความต้องการเดินทาง (demand model), การจำลอง (assignment step) ดังรูปที่ 2 จากการทบทวนวรรณกรรมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 กรอบงานในการจำลองการให้บริการ ride sharing ใน PTV VISUM

3.2.1 แบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายของโหนด ride sharing

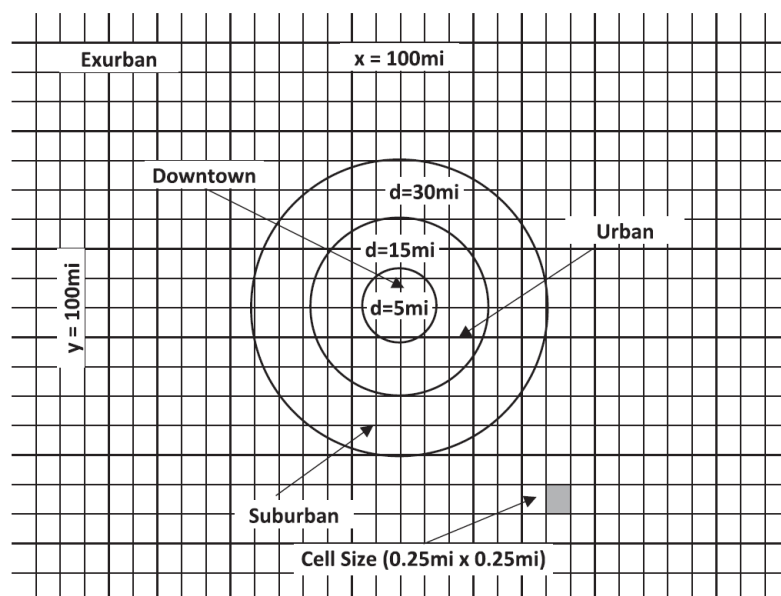
แบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายประกอบด้วยพื้นที่สำหรับรองรับแบบความต้องการเดินทางและแบบโครงข่ายถนนโดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1.1 การประมาณขอบเขตของพื้นที่สำหรับรองรับแบบความต้องการเดินทางของโหนด ride sharing

การประมาณขอบเขตของพื้นที่สำหรับรองรับแบบความต้องการเดินทางของโหนด ride sharing ใช้ในการจำลองคือการนำพื้นที่ที่มีอยู่จริงมาใช้เป็นพื้นที่อ้างอิงในการจำลอง (service area) เนื่องจากในการจำลองไม่สามารถจะนำรายละเอียดของพื้นที่จริงทั้งหมดมาจำลองได้จึงเกิดการประมาณขอบเขตของพื้นที่หรือแบ่งเป็นบริเวณในการวิเคราะห์ (Traffic Analysis Zones : TAZ) โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการประมาณขอบเขตของพื้นที่ที่ต้องการจำลอง 3 แบบด้วยกัน

การประมาณขอบเขตของพื้นที่รูปแบบแรกเป็นการกำหนดแบ่งโซนเมืองที่ใช้ในการจำลองเป็น 4 โซนตามรัศมี ดังนี้ ตัวเมือง (downtown) รัศมี 2.5 ไมล์, ในเมือง (urban) รัศมี 7.5 ไมล์, ชานเมือง (suburban) รัศมี 15 ไมล์ และพื้นที่ที่เหลือคือนอกเมือง (exurban) จากนั้นแบ่งพื้นที่เมืองที่ต้องการจำลองด้วยเซลล์ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ลักษณะตามรูปที่ 3 ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ

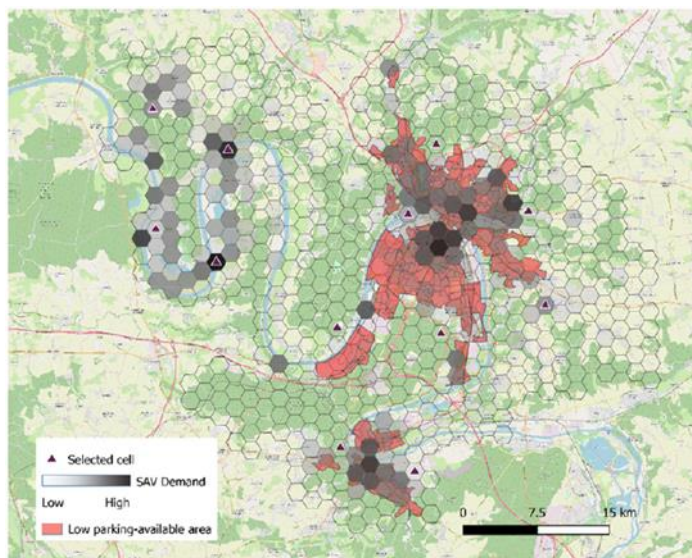
Fagnant และ Kockelman ใช้ขนาดพื้นที่ในการจำลอง 10x10 ตารางไมล์ (Fagnant & Kockelman, 2014) ต่อมา Farhan และ Chen ได้ปรับมาใช้ขนาดพื้นที่เป็น 100x100 ตารางไมล์ แทนและขนาดเซลล์ทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.25x0.25 ตารางไมล์จำนวน 160,000 เซลล์ (Farhan & Chen, 2018)



รูปที่ 3 การแบ่งโซนเมืองที่ใช้ในการจำลองเป็น 4 โซนตามรัศมี

ที่มา: (Farhan & Chen, 2018)

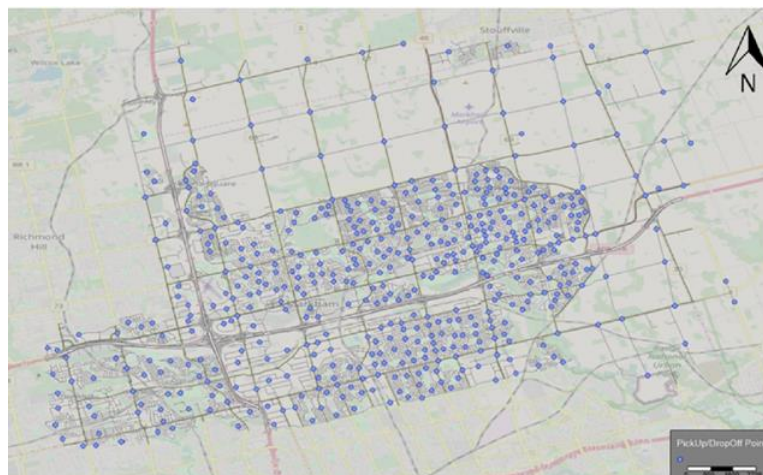
อีกรูปแบบหนึ่งของการประมาณขอบเขตของพื้นที่เป็นการแบ่งพื้นที่เมืองด้วยเซลล์ทรงหกเหลี่ยม เนื่องจากรูปทรงหกเหลี่ยมนั้นมีจุดเซนทรอยด์ห่างจากเซลล์หกเหลี่ยมโดยรอบเท่ากัน (Vosooghi et al., 2020) โดยมีวัตถุประสงค์ให้สะดวกในการตั้งตำแหน่งสถานีและการเดินทางจากเซลล์โดยรอบมีระยะทางมายังสถานีใกล้เคียงกัน ดังนั้นสถานีจึงถูกวางอยู่ที่เซนทรอยด์ของหกเหลี่ยมในเซลล์กริดที่ถูกเลือกตามรูปที่ 4 เพื่อให้ระยะทางและเวลาเดินทางสถานีน้อยที่สุดจึงเลือกเซลล์เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 กิโลเมตร โดยกำหนดเวลามากที่สุดในการเดินทางในระยะ 1 กิโลเมตร คือ 4 นาทีจากการอ้างอิงความเร็วเฉลี่ยในเมืองโซนยุโรป 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Asamer et al., 2016)



รูปที่ 4 การแบ่งโซนเมืองรูปทรงหกเหลี่ยม

ที่มา: (Vosooghi et al., 2020)

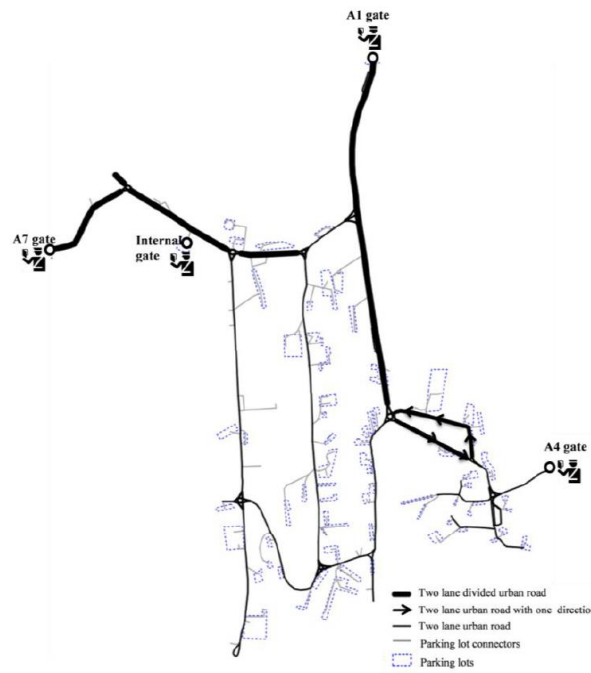
รูปแบบสุดท้ายของการประมาณขอบเขตของพื้นที่เป็นการเลือกใช้รูปทรงตามผังเมืองจริง ตัวอย่างการจำลองของ Bürstlein และคณะได้ประมาณขอบเขตพื้นที่ด้วยรูปทรงตามผังเมือง เนื่องจากผังเมืองที่มีซอยตันจำนวนมากทำให้คนที่อาศัยในรัศมี 400 เมตรรอบสถานีรถไฟมีจำนวนน้อยที่เดินมายังสถานี ดังนั้นการจำลองได้กำหนดจุดตำแหน่งของจุดรับ/ส่งของบริการ ride sharing (Pick-up/drop-off point : PUDO) เพื่อให้สนับสนุนคนเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะมากยิ่งขึ้นด้วยบริการ ride sharing แทนการเดินทางสถานีที่ไม่สะดวกและช่วยลดการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล สำหรับการจำลองไม่ได้มีระดับความยืดหยุ่นให้ SAV เท่ากรณีจริงที่สามารถระบุทุกตำแหน่งที่มีการคำขอใช้บริการเกิดขึ้นจริงได้ ดังนั้นการจำลองของ Bürstlein และคณะได้กำหนดตำแหน่ง PUDO บริเวณทางแยกของถนน เพื่อให้จุดเหล่านี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 200 เมตรจากทุกครัวเรือนในทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเดินในการใช้บริการด้วยระยะทางที่ไม่ไกลเกินจริงดังรูปที่ 5 (Bürstlein et al., 2021)



รูปที่ 5 ตัวอย่างการตำแหน่งจุด PUDO ตามบริเวณทางแยกของถนน
ที่มา: (Bürstlein et al., 2021)

3.2.1.2 โครงข่ายถนนแบบจำลอง

โครงข่ายถนนแบบจำลอง (road network) แสดงถนนที่ใช้ในการจำลองโดยคุณสมบัติของถนนสามารถระบุความยาว จำนวนเลน ทิศทาง และความเร็วที่จำกัดบนถนนนั้น ตัวอย่างเช่นการจำลองของ Altıntaş ได้สร้างโครงข่ายถนนแบบจำลองของมหาวิทยาลัย METU โดยใช้ความหนาของเส้นโครงข่ายต่างกันเพื่อแสดงจำนวนเลนของเส้นถนนที่แตกต่างกันไว้ในรูปที่ 6 โดยเส้นถนนสีดำหนาแสดงถึง 2 เลนที่มีเกาะกลางแบ่งแยกทิศทางซึ่งมีความยาว 2.58 กิโลเมตรและจำกัดความเร็วไว้ที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนถนนที่มีลูกศรแสดงถึงถนนในเมืองแบบทิศทางเดียวซึ่งมีความยาว 2.0 กิโลเมตร โดยมี 2 เลนและจำกัดความเร็วไว้ที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนเส้นถนนสีดำบางคือถนน 2 เลนที่ไม่มีเกาะกลางแบ่งแยกทิศทางซึ่งมีความยาวประมาณ 8.85 กิโลเมตรและจำกัดความเร็วไว้ที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สุดท้ายเส้นถนนสีเทาแสดงถึงจุดเชื่อมต่อที่จอดรถที่มีการจำกัดความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สรุปรวมความยาวถนนในมหาวิทยาลัยคำนวณเป็น 20.92 กิโลเมตร (รวมความยาวของทางเชื่อมลานจอดรถ) (Altıntaş, 2013)



รูปที่ 6 ตัวอย่างโครงข่ายถนนในมหาวิทยาลัย

ที่มา: (Altıntaşı, 2013)

นอกจากนั้นการจำลองการให้บริการ ride sharing มีโครงข่ายถนนแบบจำลองเพิ่มเติมคือเส้นทางการเดินเท้า โดยเส้นทางของผู้ใช้บริการ SAV ประกอบด้วยเส้นทางเดิน 3 ทาง ได้แก่ การเดินมายังจุดรับ (pick up point) ที่ใกล้ที่สุด, การเดินทางด้วย SAV ไปยังจุดส่ง (drop off point) และการเดินไปยังจุดหมาย ดังนั้นโครงข่ายถนนแบบจำลองในโหมดนี้มีเส้นทางการเดินเท้าและถนนสำหรับ SAV ที่สามารถใช้ร่วมกับเส้นทางรถยนต์ส่วนบุคคล โดยความจำเป็นในการระบุเส้นทางการเดินเท้าที่ได้รับอนุญาตสำหรับเดินเท้าเหล่านี้ดังรูปที่ 7 เพื่อรับประกันว่าการค้นหาเส้นทางทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการเดินทางของ SAV (Matalqah et al., 2022)



รูปที่ 7 ตัวอย่างเส้นทางเดินเท้า
ที่มา: (Matalqah et al., 2022)

3.2.2 แบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing

แบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing คือการประมาณจำนวนความต้องการเดินทางและการสร้างการเดินทางในแบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing จากทบทวนวรรณกรรมพบว่ามี 3 รูปแบบด้วยกัน

ตารางที่ 6 ตัวอย่างความหนาแน่นและจำนวนการเดินทางเฉลี่ยจากในแต่ละเขตของเมือง

Trip generation rates and travel speeds for zones considered in case study.

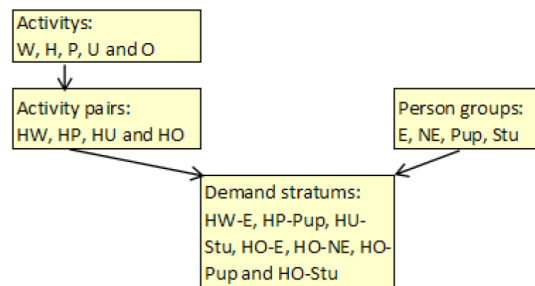
Zones	Population Density (persons/mi ²)	Avg. Trip Gen. Rate (trips/cell/day)	Travel Speed (mi/h)	
			Peak (7–8 am) & (4:30–6 pm)	Off-Peak
Downtown	7500–50,000	129	15	15
Urban	2000–7499	39	24	24
Suburban	500–1999	11	30	33
Exurban	< 499	1	33	36

ที่มา: (Farhan & Chen, 2018)

แบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing แบบแรกคือกำหนดความหนาแน่นและจำนวนการเดินทางเฉลี่ยของโหมด ride sharing ในแต่ละเขตของเมืองหรือปริมาณความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing ตัวอย่างเช่นตารางที่ 6 ที่มาจากการวิเคราะห์การเดินทาง (travel analysis) ของเมืองออสติน รัฐเท็กซัส ประเทศสหรัฐอเมริกา กรณีเซลล์ที่อยู่บนขอบเขตของสองโซนเซลล์ดังกล่าวจะถูกกำหนดโซนตามตำแหน่งของเซนทรอยด์ของเซลล์ เช่น เซลล์ที่อยู่บนขอบเขตในเมืองและชานเมืองในรูปที่ 3 หากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์นั้นอยู่ในโซนเขตในเมือง เซลล์ดังกล่าวใช้เกณฑ์ในเมืองตามตารางที่ 6 (Chen et al., 2016; Fagnant & Kockelman, 2014; Farhan & Chen, 2018) จากนั้นสร้างการเดินทางจำลองแบบแรกนั้นใช้จำนวน 10% ของจำนวนการเดินทาง

จริงทั้งหมดใช้สำหรับการจำลองเพื่อลดปริมาณข้อมูลในการประมวลผล เมื่อได้จำนวนการเดินทางแล้วส่วนต่อไปคือระยะทางของการเดินทาง ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Fagnant และ Kockelman สร้างการเดินทางจำลองโดยสุ่มระยะทางของการเดินทางในระยะไม่เกิน 15 ไมล์ โดยใช้ระยะไม่เกิน 15 ไมล์เพื่อไม่ให้เกินพื้นที่ให้บริการ โดยการสุ่มในการสร้างการเดินทางอ้างอิงข้อมูลจาก (US National Household Travel Survey data : NHTS 2009) (Fagnant & Kockelman, 2014)

แบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing แบบต่อมาคือการแบ่งปริมาณความต้องการเดินทางของทุกโซนแบบไม่ได้รับุโหมตในพื้นที่ (O-D demand matrix) ด้วย Utility function โดย Utility function สร้างจากข้อมูลการสำรวจเพื่อหาปริมาณความต้องการเดินทางเป็นแบบโหมด ride sharing ในพื้นที่ (O-D demand matrix ของโหมด ride sharing) โดยมีรายละเอียดดังนี้ เริ่มจากการนำปริมาณความต้องการเดินทางโดยรวมในพื้นที่มาแบ่งกลุ่มบุคคล (Person groups) จากนั้นจับคู่กิจกรรมของกลุ่มบุคคลนั้น (Activity pairs) หรือเรียก demand stratum การจับคู่ข้างต้นแสดงถึงการรวมวัตถุประสงค์การเดินทางกับกลุ่มบุคคลเพื่อสร้างความต้องการเดินทางสำหรับการจำลอง ในการรวมกลุ่มบุคคลคือการจัดกลุ่มผู้ใช้ถนนที่มีพฤติกรรมการเดินทางที่ใกล้เคียงกัน โดยพฤติกรรมการเดินทางจะแตกต่างกันตามลักษณะกลุ่มอาชีพ โดยแบ่งเป็น ลูกจ้าง (E) คนที่ไม่ได้ทำงาน (NE) นักเรียน (Stu) และนักเรียนระดับประถมศึกษา (Pup) การแบ่งนักเรียนออกเป็นสองกลุ่มคือนักเรียนและนักเรียนชั้นประถมศึกษาเนื่องจากนักเรียนอายุ 17 ปีขึ้นไปส่วนใหญ่มีใบขับขี่และมีพฤติกรรมการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกัน ในส่วนของการแบ่งกิจกรรม (Activities) ใช้อธิบายตำแหน่งของกลุ่มอาชีพในช่วงเวลาของวัน โดยตำแหน่งที่ใช้จะเป็นที่ทำงาน โรงเรียน บ้าน และสถานที่อื่น (Other) นอกเหนือจากที่กล่าวข้างต้น จากนั้นจึงจับคู่กิจกรรมเพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ของการเดินทาง โดยแบ่งเป็น Home-Primary School (HP), Home-Further education (HU), Home-Work (HW), Home-Other (HO) จากนั้นจะแบ่ง demand stratum ได้ 7 แบบดังรูปที่ 8 ตัวอย่างเช่น การสื่อความหมายของ HW-E คือพนักงาน (E) ออกบ้าน (H) ไปทำงาน (W) (Skarphedinsson, 2013) ต่อมา Vosoghi และคณะเพิ่มการระบุกิจกรรมอื่นๆ ภายในวัน นอกจากกิจกรรมตามข้อมูลอาชีพจากการสำรวจการเดินทาง (Transport Survey) ด้วยข้อมูลลักษณะที่สำคัญเช่น เพศ, อายุ, รายได้ เป็นต้น เพื่อความสมจริงมากขึ้น (Vosoghi, Puchinger, et al., 2019)



รูปที่ 8 แผนผัง demand stratum

ที่มา: (Skarphedinsson, 2013)

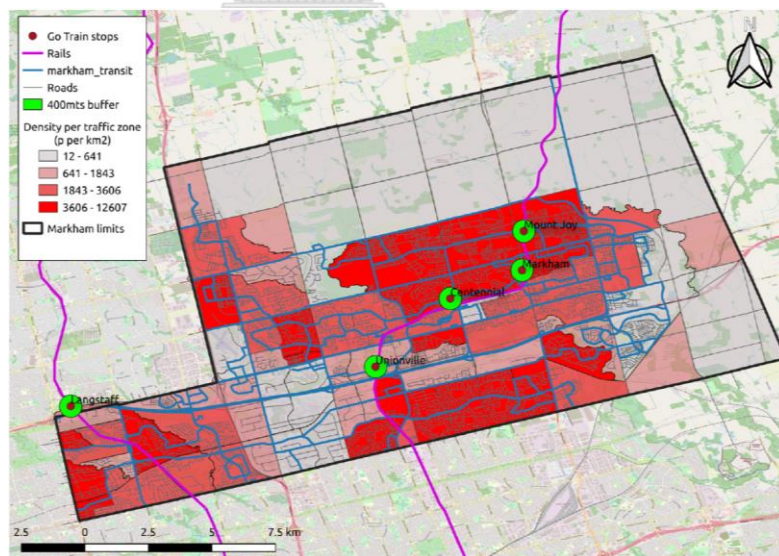
หลังจากทราบจุดประสงค์การเดินทางของกลุ่มคนในพื้นที่จากคำอธิบายข้างต้นจากนั้นทำการสร้างสมการ Utility function เพื่อระบุโหมดการเดินทางของ ride sharing ว่าควรมีสัดส่วนเท่าไรในการเดินทางโดยรวมในพื้นที่ โดยการสร้าง Utility function แต่ละโหมดเกิดจากปัจจัยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางของคนในพื้นที่ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจนั้นเกี่ยวข้องกับราคาบริการและคุณค่าของเวลาเดินทางที่คนในพื้นที่พึงพอใจ โดยราคาบริการ (fare) ขึ้นอยู่กับโครงสร้างการคิดบริการของแต่ละการเดินทางซึ่งโดยทั่วไปมี 2 ส่วนได้แก่ ค่าบริการเริ่มต้น (Fix fare) และค่าบริการตามระยะทาง (f) ตัวอย่างเช่น ราคาบริการจักรยาน 5 บาทต่อ 1 กิโลเมตร ส่วนในคุณค่าเวลาการเดินทาง (Value of time) เป็นจำนวนเงินที่เทียบเท่ากับที่ผู้เดินทางยอมจ่ายเพื่อลดระยะเวลาในการเดินทางมี 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ คุณค่าของเวลาบนยานพาหนะ (VOT_1) และคุณค่าของเวลานอกยานพาหนะ (VOT_2) โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลสำรวจ (Liu et al., 2017) จากข้างต้นโครงสร้างสมการ Utility function โหมดการเดินทางแสดงดังสมการ:

$$Utility\ function = -(fix\ fare) - (f * Distance) - (VOT_1 * IVTT) - (VOT_2 * OVTT) \quad (3.1)$$

โดย Distance คือระยะทางที่ยานพาหนะวิ่ง, ระยะเวลาที่อยู่บนยานพาหนะ (in vehicle travel time : IVTT) และระยะเวลาที่อยู่นอกยานพาหนะ (out of vehicle time : OVTT) เช่น เวลารอใช้บริการ เวลาเดินไปยังจุดบริการ เป็นต้น

แบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing แบบสุดท้ายคือการแบ่งความต้องการเดินทางรายโซนกระจายลงไปยังตำแหน่ง PUDO ของโซนนั้นๆ จากนั้นสร้างการเดินทางในโหมดการเดินทาง ride sharing โดยรายละเอียดมีดังนี้ การประมาณจำนวนความต้องการเดินทางในโหมดการเดินทาง ride sharing สุดท้ายคือการประมาณจำนวนค่าขอการใช้บริการ ride sharing ตามความหนาแน่นการจราจรของพื้นที่โซนนั้นๆ ดังรูปที่ 9 จากนั้นกระจายตามตำแหน่ง PUDO ที่ได้รับ

ในพื้นที่ในรูปที่ 5 นอกจากนั้นค่าขอการใช้บริการสามารถกำหนดค่าขอสำหรับของผู้โดยสารคนเดียว หรือผู้โดยสารหลายคนให้กับยานพาหนะ หากผู้โดยสารอยู่ใกล้พอที่จะรวบรวมไว้ที่จุด PUDO แห่งเดียวกัน ตัวอย่างเช่น Twumasi-Boakye และคณะสมมติให้มีจำนวนค่าขอใช้บริการในการจำลองเป็น 3, 9 และ 15% ของการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021) นอกจากนั้น Bürstlein และคณะกำหนดค่าขอใช้บริการด้วยการสมมติฐานเช่นกัน โดยสมมติให้ค่าขอใช้บริการ ride sharing แทนที่การเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลในการเดินทางไปสถานีรถไฟทั้งหมด แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลรถยนต์ส่วนบุคคลที่มายังสถานีรถไฟถูกแบ่งเป็นผู้ขับ 52% และผู้โดยสาร 48% ซึ่งไม่สามารถรู้ได้เลยว่าผู้ขับมาพร้อมกับผู้โดยสารหรือผู้ขับเพียงแะมาส่งผู้โดยสารที่สถานีหรือผู้ขับขับรถมาเพียงคนเดียว ส่งผลให้ไม่สามารถจะสกัดออกมาเป็นตัวเลขที่แน่ชัดได้ ดังนั้นในการจำลองของ Bürstlein และคณะจึงสมมติให้ 50% ของการเดินทางมายังสถานีรถไฟทั้งหมดเป็นการเดินทางเพียง 1 คน (เฉพาะคนขับรถมาจอดเองที่สถานีรถไฟหรือผู้โดยสารที่ถูกมาส่ง) ในขณะที่อีก 50% นั้นเป็นการเดินทางของ 2 คน (ทั้งคนขับและผู้โดยสารในรถกำลังเดินทางไปสถานีรถไฟ) หรือสรุปได้ว่าในแต่ละกรณีของการจำลองสมมติว่า 50% ของค่าขอสำหรับ 1 คน ในขณะที่อีก 50% สำหรับ 2 คน (Bürstlein et al., 2021) ส่วนในการสร้างการเดินทางในโหมดการเดินทาง ride sharing เกิดจากการสุ่มจากปริมาณการเดินทางตามตำแหน่ง PUDO ที่มีอยู่



รูปที่ 9 การแบ่งโซนรูปทรงตามความหนาแน่นการจราจร
ที่มา: (Bürstlein et al., 2021)

3.2.3 การจำลอง

การจำลองคือการรวมแบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายกับแบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing เพื่อนำไปคำนวณผลกระทบของการจำลองการเดินทาง โดยในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือเสริม MaaS modeller ใน PTV VISUM ในการช่วยจำลอง

3.2.3.1 MaaS Modeller

MaaS Modeller คือเครื่องมือเสริมของ PTV VISUM โดยทำงานเปรียบเสมือนผู้ประกอบการของการให้บริการที่ทำการจัดหายานพาหนะเพื่อตอบสนองความต้องการการเดินทาง และสามารถกำหนดค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการให้บริการได้ โดย MaaS Modeller ปฏิบัติตามสองขั้นตอน 1. การสร้างคำขอการบริการ (Trip request generation) โดยใช้จำนวนเต็มในการคำนวณเท่านั้น (โดยรายละเอียดขั้นตอนอยู่ในหัวข้อแบบความต้องการเดินทางของโหมด ride sharing แบบสุดท้ายก่อนหน้า) และ 2. การวางแผนการเดินทาง (Tour planning) โดยสามารถกำหนดค่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการให้บริการได้

ขั้นตอน tour planning คือการจับคู่กันระหว่างแบบความต้องการเดินทางกับแบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายหรือแบบจำลองผลกระทบในโหมด ride sharing โดยมีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ ride sharing จากการตอบสนองคำขอใช้บริการให้ได้มากที่สุดภายในพื้นที่และระยะเวลาที่กำหนดและจากการใช้ยานพาหนะจำนวนน้อยที่สุด โดยต้องกำหนดการตั้งค่าตัวแปรหลายอย่างใน MaaS Modeller ก่อนการจำลอง เพื่อกำหนดข้อจำกัดของตัวแปรในบริการตามสมมติฐานที่กำลังทดสอบ เช่น จำนวนยานพาหนะให้บริการ, ความจุที่นั่งของยานพาหนะ, เวลาการใช้งานบริการสูงสุด, detour factor และ maximum detour time เป็นต้น

3.2.3.2 ขั้นตอนการจำลองบริการใน MaaS modeller

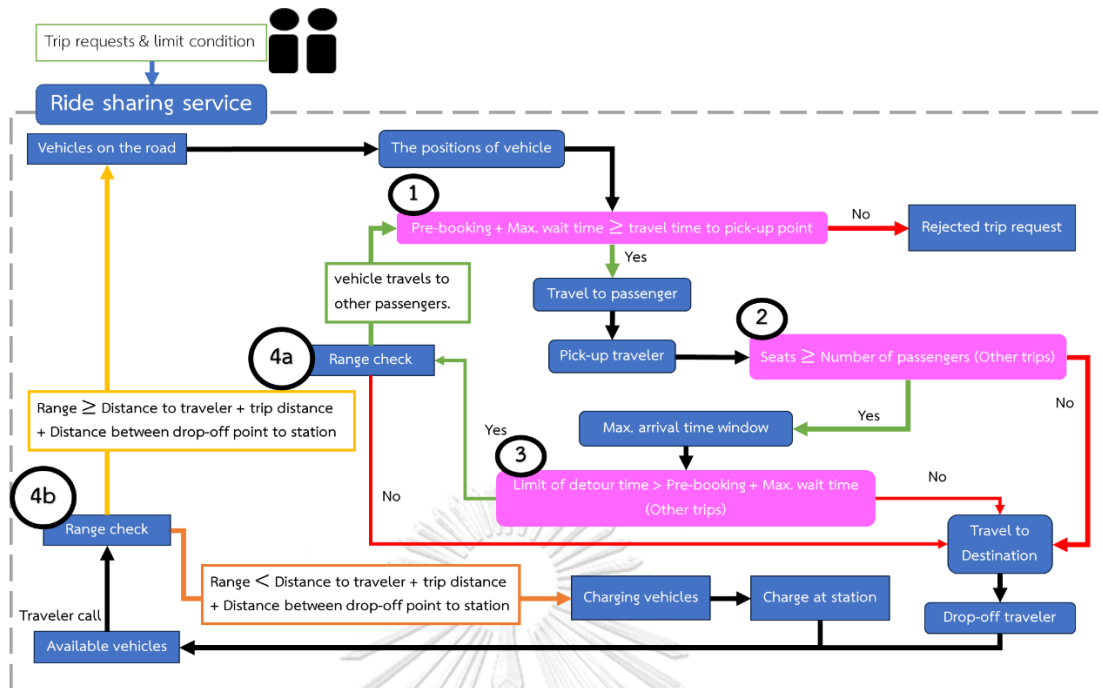
ขั้นตอนการจำลองบริการใน MaaS modeller จะเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้บริการส่งคำขอใช้บริการมายังผู้ให้บริการ ผู้ให้บริการได้ทำการตรวจสอบจำนวนและตำแหน่งของยานพาหนะที่อยู่บนถนน จากนั้นยานพาหนะตรวจสอบและประเมินผลรวมของเวลาที่ผู้ใช้บริการจองล่วงหน้ากับเวลาที่รอมากที่สุดของผู้ใช้บริภรณ์นั้นยานพาหนะที่ใกล้ที่สุดสามารถไปทันหรือไม่ตั้งเงื่อนไขหมายเลข 1 ในรูปที่ 10 โดยถ้ายานพาหนะประเมินว่าไปไม่ทันเวลาคำขอใช้บริการดังกล่าวจะถูกปฏิเสธไป แต่หากผ่านเงื่อนไขข้างต้นแล้วยานพาหนะจะสามารถไปรับผู้ใช้บริการได้

ต่อมายานพาหนะจะทำการประเมินจำนวนที่นั่งบนยานพาหนะหลังจากรับผู้ใช้บริการคำขอนั้นๆเหลือเพียงพอรับผู้ใช้บริการคำขออื่นๆ ในระบบหรือไม่ตั้งเงื่อนไขหมายเลข 2 ในรูปที่ 10 โดยถ้า

ยานพาหนะประเมินว่าที่นั่งบนยานพาหนะนั้นไม่สามารถรองรับคำขอใหม่ได้ ตัวอย่างเช่น หากมีคำขอใช้บริการจำนวน 6 คน ดังนั้นยานพาหนะจะไม่สามารถไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นได้ต้องส่งคำขอนี้ให้จบเสียก่อนเพราะที่นั่งบนยานพาหนะไม่เพียงพอ คำขอใช้บริการใหม่จะถูกปฏิเสธโดยยานพาหนะคันดังกล่าว เป็นต้น

แต่หากผ่านเงื่อนไขข้างต้นแล้วยานพาหนะจะประเมินกรอบเวลาการให้บริการที่ได้กำหนดค่าไว้เพื่อได้ขอบเขตเวลาในการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นด้วยตามเส้นทางเดินทางที่ใช้เวลาสั้นที่สุดของคำขอนั้น เมื่อได้ขอบเขตเวลาในการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการอื่นของคำขอนั้นๆ แล้วยานพาหนะจะทำการประเมินขอบเขตเวลาในการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการอื่นนั้นมีค่ามากกว่าผลรวมของเวลาที่ผู้ใช้บริการจองล่วงหน้ากับเวลาที่รอมากที่สุดของผู้ใช้บริการรายอื่น เพื่อยานพาหนะจะสามารถอ้อมไปรับคำขออื่นทันหรือไม่ตั้งเงื่อนไขหมายเลข 3 ในรูปที่ 10 โดยถ้ายานพาหนะประเมินว่าไม่สามารถอ้อมไปรับคำขอใหม่ได้ คำขอใช้บริการใหม่นั้นจะถูกปฏิเสธและไปส่งเฉพาะคำขอใช้บริการแรก แต่หากผ่านเงื่อนไขข้างต้นแล้ว ยานพาหนะจะทำการตรวจสอบระยะทางที่เหลือว่าสามารถให้บริการอ้อมไปรับได้อยู่หรือไม่ตามเงื่อนไขการส่งไปชาร์จของซอฟต์แวร์ หากระยะทางที่เหลือไม่สามารถให้บริการคำขออื่นได้ ยานพาหนะจะเดินทางตามเส้นทางเดินทางที่ใช้เวลาสั้นที่สุดของคำขอนั้นดังเดิมตั้งเงื่อนไข 4a ในรูปที่ 10 แต่หากผ่านเงื่อนไขข้างต้นยานพาหนะจะประเมินผลรวมของเวลาที่ผู้ใช้บริการจองล่วงหน้ากับเวลาที่รอมากที่สุดของผู้ใช้บริการรายใหม่ ยานพาหนะคันนี้สามารถไปทันหรือไม่ตั้งเงื่อนไขหมายเลข 1 อีกครั้ง โดยถ้ายานพาหนะประเมินว่าไปไม่ทันเวลาคำขอใช้บริการใหม่นี้จะถูกปฏิเสธไป แต่หากผ่านเงื่อนไขข้างต้นแล้วยานพาหนะจะสามารถอ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายใหม่ได้ โดยจะวนเงื่อนไขต่อเนื่องจนจบรอบขอบเขตเวลาของคำขอแรกนั้นๆ

หลังจากการให้บริการเรียบร้อยแล้วยานพาหนะดังกล่าวจะต้องถูกตรวจสอบสถานะว่าพร้อมให้บริการครั้งต่อไปหรือไม่หลังจากมีผู้ใช้บริการรายใหม่ส่งคำขอใช้บริการมายังผู้ให้บริการ โดยตรวจสอบระยะวงที่เหลือของยานพาหนะกับผลรวมของระยะทางในการเดินทางไปยังคำขอใช้บริการของผู้ใช้บริการรายใหม่ ระยะทางของการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทาง และระยะทางระหว่างจุดหมายปลายทางไปยังสถานีชาร์จที่ไกลที่สุด หากระยะวงที่เหลือของยานพาหนะเหลือมากกว่าผลรวมระยะทางข้างต้น ยานพาหนะจะสามารถให้ไปรับคำขอใช้บริการใหม่ได้ ในทางกลับกันหากระยะวงที่เหลือของยานพาหนะเหลือน้อยกว่าผลรวมระยะทางข้างต้น ยานพาหนะจะถูกส่งไปชาร์จที่สถานี



รูปที่ 10 การจัดการการให้บริการ ride sharing

3.2.4 การกำหนดค่าตัวแปรในการจำลอง

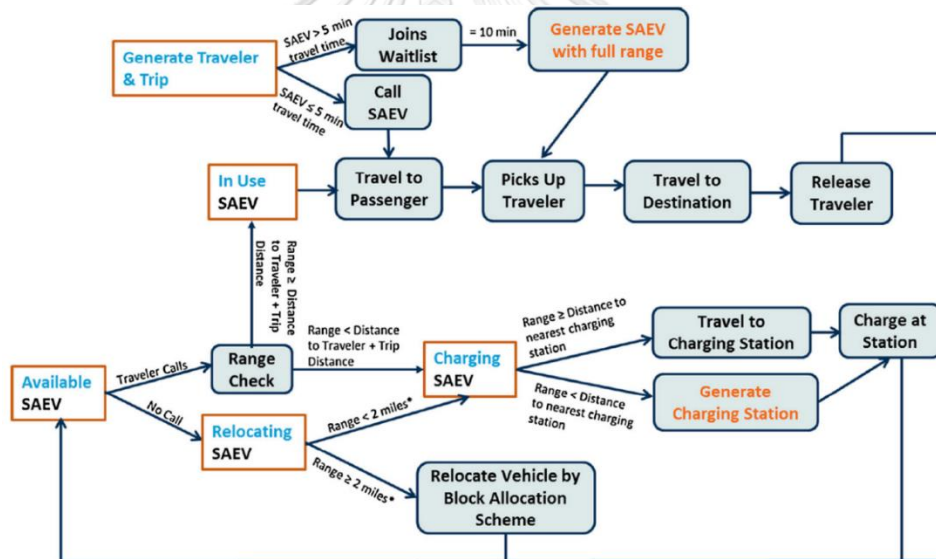
การกำหนดค่าตัวแปรในการให้บริการคือการกำหนดค่าข้อจำกัดของแต่ละตัวแปรในการจำลองตามสมมุติฐานที่กำลังทดสอบอยู่ โดยการกำหนดค่านี้สามารถใช้ได้ทุกโหมดการเดินทาง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีตัวแปรสำคัญเช่น การกำหนดค่าจำนวนยานพาหนะในการจำลอง, ระยะเวลาต่อการชาร์จของยานพาหนะ, ความจุของยานพาหนะ, Maximum waiting time, Detour time always accepted, Maximum detour time, Maximum detour factor, เงื่อนไขการชาร์จ, สถานีเติมน้ำมันและชาร์จไฟฟ้า, ราคาบริการและช่วงเวลาจำลอง

3.2.4.1 การกำหนดค่าจำนวนยานพาหนะ

การกำหนดค่าจำนวนยานพาหนะที่ใช้สำหรับการจำลองสามารถนำมาจากการประมาณจำนวนยานพาหนะจากการทบทวนวรรณกรรมนั้นมีที่มาจากอยู่ 2 แบบด้วยกัน

รูปแบบแรกของที่มาของจำนวนยานพาหนะในการจำลองคือการประมาณจำนวนยานพาหนะในการจำลองซึ่งเกิดจากการสร้างยานพาหนะในช่วงก่อนการจำลองเต็มรูปแบบ (phase of warm up) ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Fagnant และ Kockelman ทำการจำลองโดยสร้าง SAV ในช่วงก่อนการจำลองเพื่อทราบจำนวน SAV ในระบบสำหรับการจำลอง โดยเงื่อนไขในการ

สร้าง SAV นั้นคือเมื่อมีผู้ขอใช้บริการรอนานเกิน 10 นาที SAV จะถูกสร้างที่ตำแหน่งที่ผู้ขอใช้บริการ รอดด้วยพลังงานเต็มความจุของยานพาหนะ เมื่อทำการจำลองเสร็จในแต่ละวันจะได้จำนวน SAV ที่ถูก สร้างในการจำลอง โดยทำการจำลอง 20 ครั้งแล้วนำจำนวน SAV มาหาค่าเฉลี่ยจึงจะได้จำนวน SAV สำหรับใช้ในการจำลองเต็มรูปแบบ (full run) ของการให้บริการ SAV (Fagnant & Kockelman, 2014) ต่อมา Chen และคณะได้ปรับการจำลองโดยแบ่งช่วงก่อนจำลองเต็มรูปแบบเป็น 2 ส่วน ส่วน ที่ 1 ของช่วงนี้คือการสร้างจำนวน SAEV ไปพร้อมกับสร้างสถานีชาร์จตามรูปที่ 11 ต่อมาส่วนที่ 2 ไม่ มีการสร้างสถานีชาร์จในส่วนนี้และลบจำนวน SAEV ของส่วนที่ 1 จากนั้นทำการสร้าง SAEV ใหม่ โดยทำส่วนที่ 2 นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับจำนวน SAEV ให้เหมาะสมกับจำนวนสถานี เนื่องจาก จำนวน SAEV ในส่วนที่ 1 นั้นมีจำนวนมากเกินจำเป็น ในการหาจำนวน SAEV ที่เหมาะสมนี้ได้จาก การรันส่วนที่ 2 ทั้งหมด 20 วัน จากนั้นนำจำนวน SAEV ที่ได้จากการรันส่วนที่ 2 มาหาค่าเฉลี่ยและ นำไปใช้ในส่วนจำนวน SAEV ในการจำลองเต็มรูปแบบต่อไป (Chen et al., 2016)



รูปที่ 11 แผนผังการสร้างสถานีชาร์จ

ที่มา: (Chen2016)

อีกรูปแบบหนึ่งของที่มาของจำนวนยานพาหนะในการจำลอง คือการกำหนดจำนวน ยานพาหนะในการจำลองจากแหล่งอ้างอิงโดยมีอยู่ 2 รูปแบบย่อย การกำหนดจำนวนยานพาหนะ แบบแรกคือการกำหนดจำนวนยานพาหนะจากแหล่งอ้างอิง ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Vosooghi และคณะได้กำหนดจำนวน SAEV ในการจำลองด้วยจำนวนยานพาหนะ 3,000 คัน (Vosooghi et al., 2020) โดยจำนวนยานพาหนะถูกอ้างอิงจากจำนวน SAV ที่ให้บริการสูงที่สุดใน

(Vosooghi, Puchinger, et al., 2019) สำหรับการกำหนดจำนวนยานพาหนะอีกรูปแบบคือการนำอัตราส่วนผู้ใช้บริการต่อ SAEV (traveler per SAEV) มากำหนด โดยจำนวน SAEV ในระบบที่ได้เกิดจากการนำอัตราส่วนผู้ใช้บริการต่อ SAEV คูณกับจำนวนผู้ใช้บริการผลลัพธ์ได้ SAEV ในระบบ ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Loeb และ Kockelman กำหนดผู้ใช้บริการ 41,242 คนซึ่งเป็นจำนวน 2% ที่สุ่มจากจำนวนประชากรทั้งหมดในพื้นที่ 6 เขตที่อยู่รอบเมือง Austin รัฐ Texas ประเทศสหรัฐอเมริกา (Burnet, Bastrop, Caldwell, Hays, Williamson and Travis counties) จากการกำหนดอัตราส่วนผู้ใช้บริการต่อ SAEV คือ 7 คนต่อคัน ดังนั้นจำนวน SAEV ในระบบคือ 5,893 คัน (Loeb & Kockelman, 2019)

3.2.4.2 ระยะเวลาต่อการชาร์จและความจุของยานพาหนะ

ระยะเวลาต่อการชาร์จของยานพาหนะให้บริการคือค่าระยะที่ยานพาหนะที่ใช้ในการจำลองวิ่งได้มากที่สุด โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าหลากหลายระยะขึ้นอยู่กับแหล่งอ้างอิงหรือการสมมติฐาน ตัวอย่างเช่น ในการจำลองของ Matalqah และคณะได้กำหนดให้ระยะวิ่งต่อการชาร์จสูงสุดของ SAEV คือ 150 กิโลเมตร (Matalqah et al., 2022) เป็นต้นและสามารถดูระยะเวลาต่อการชาร์จของยานพาหนะระยะอื่นๆเพิ่มเติมได้ในหัวข้อระยะเวลาต่อการชาร์จของ SAEV ในบทที่ 2 ในส่วนของความจุยานพาหนะมีตัวอย่างการกำหนด 4 ที่นั่ง (Matalqah et al., 2022) และ 6 ที่นั่ง (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021; Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021)

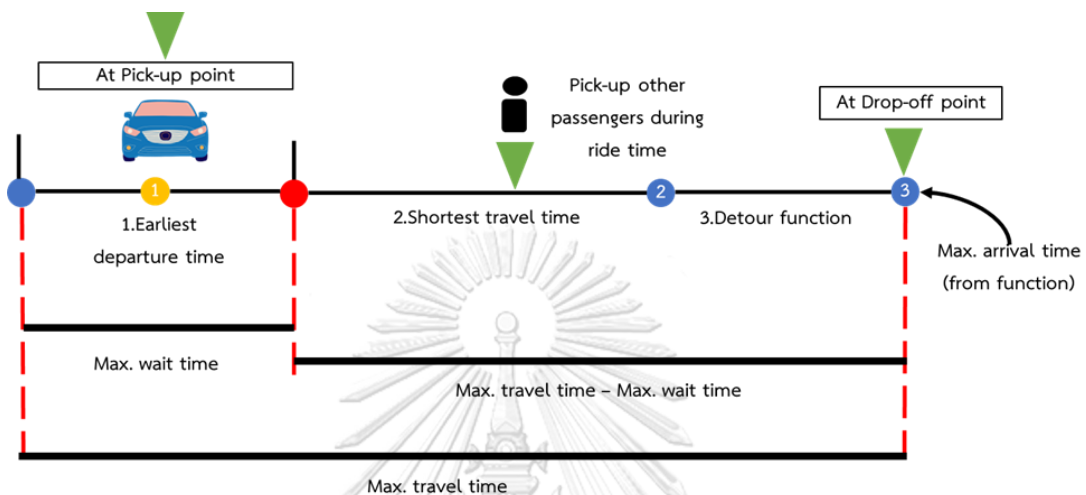
3.2.4.3 กรอบเวลาการให้บริการจากสมการ Maximum arrival time

กรอบเวลาการให้บริการจากสมการ Maximum arrival time ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตเวลาสูงสุดที่ผู้ใช้บริการเดินทางไปถึงจุดหมาย โดยประกอบไปด้วย 3 ตัวแปรได้แก่ Max. detour factor, Detour time always accepted, Maximum detour time โดยคำนวณหาจากฟังก์ชันเวลาทั้ง 3 ค่าข้างต้นโดย

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximum arrival time} \\
 & = \text{earliest departure time} + \text{shortest travel time} \\
 & + \min(\max(\text{Max. detour factor} - 1) \\
 & \times \text{shortest travel time, detour time always accepted}), \text{maximum detour time}
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Earliest departure time จากพจน์ที่ 1 ของสมการที่ (3.2) หรือหมายเลข 1 ในรูปที่ 12 คือเวลาที่เร็วที่สุดที่ยานพาหนะจะมาถึง shortest travel time จากพจน์ที่ 2 ของสมการที่ (3.2) หรือหมายเลข 2 ในรูปที่ 12 คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดระหว่างจุดเริ่มต้นโดยมีปัจจัยภายนอก

มาเกี่ยวข้องเช่น การจราจรติดขัด คุณลักษณะของถนน Detour function จากพจน์ที่ 3 ของสมการที่ (3.2) หรือหมายเลข 3 ในรูปที่ 12 เป็นเงื่อนไขขอบเขตที่เกิดจากค่า Maximum detour factor, Detour time always accepted , Maximum detour time กำหนดให้ของบริการในพื้นที่ศึกษา นั้นๆ โดยความหมายและการกำหนดค่าจากการทบทวนวรรณกรรมมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 12 เส้นเวลาของสมการ Maximum arrival time

Maximum detour time คือเวลามากที่สุดที่เพิ่มขึ้นจากเวลาเดินทางปกติเกิดระหว่างการให้บริการ โดยหากมีค่า Maximum detour time สูงจะส่งผลต่อการให้บริการครั้งต่อไปและผู้ใช้บริการถึงจุดหมายล่าช้า จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การกำหนดค่าเวลาที่เพิ่มจากการเดินทางปกติขั้นต่ำที่คนยอมรับได้ (Detour time always accepted) ที่ 10 นาที และ Maximum detour time ที่ 30 นาที (Matalqah et al., 2022; PTV Planung Transport Verkehr AG & COWI, 2019) มากไปกว่านั้น Lorig และคณะ ได้มีปรับเวลาที่เพิ่มจากการเดินทางปกติขั้นต่ำที่คนยอมรับได้จาก 10 เป็น 15 และ Maximum detour time 30 นาที เป็น 45 นาที เพื่อเปรียบเทียบ (Lorig et al., 2023) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การกำหนดค่า Maximum waiting time, Maximum detour factor และ Maximum detour time จากการทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัย	Maximum waiting time	Maximum detour factor	Detour time always accepted	Maximum detour time
(Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021) และ (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)	15 นาที	3		
(Matalqah et al., 2022)		2	10 นาที	30 นาที
(PTV Planung Transport Verkehr AG & COWI, 2019)	10 นาที	1.5	10 นาที	30 นาที
(Bürstlein et al., 2021)	15 นาที	1.5 และ 5		30 และ 60 นาที
(Lorig et al., 2023)	10 นาที	1.5 และ 1.75	10 และ 15 นาที	30 และ 45 นาที

Maximum detour factor เป็นอัตราส่วนสูงสุดระหว่างเวลาเดินทางจริงในการจำลอง (journey travel time) กับเวลาเดินทางที่น้อยที่สุดในการเดินทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดหมายปลายทาง (shortest travel time) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการกำหนดค่า Maximum detour factor ด้วยกันหลายค่าดัง**ตารางที่ 7** โดย Maximum detour factor มีสูตรดัง**สมการ:**

$$\text{Maximum detour factor} = \frac{\text{journey travel time}}{\text{shortest travel time}} \quad (3.3)$$

3.2.4.4 Maximum waiting time

Maximum waiting time คือเวลาที่มากที่สุดในการรอใช้บริการ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการกำหนดค่า Maximum waiting time ที่ 10 นาที (Lorig et al., 2023; PTV Planung Transport Verkehr AG & COWI, 2019) และ 15 นาที (Bürstlein et al., 2021; Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021; Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021) ดัง**ตารางที่ 7**

3.2.4.5 เงื่อนไขการชาร์จ

เงื่อนไขสำหรับการไปชาร์จคือเมื่อระยะทางที่ SAEV สามารถวิ่งได้ขณะนั้นเปรียบเทียบกับระยะทางที่ขอใช้บริการ แล้วพบว่าระยะทางที่ SAEV สามารถวิ่งได้นั้นน้อยกว่าระยะทางที่ขอใช้บริการ SAEV จะถูกส่งไปยังสถานีชาร์จ (Chen et al., 2016) ต่อมาในการจำลองของ Loeb และคณะได้ปรับแต่งโค้ด (code) จากการจำลองของ Bösch และคณะ (Bösch et al., 2016) โดยการปรับแต่งเพิ่มเติมคือให้ตรวจสอบระยะทางที่ SAEV สามารถวิ่งได้นั้นมากกว่าระยะทางที่ขอใช้บริการเมื่อให้บริการเสร็จ จากนั้นตรวจสอบว่าหากให้บริการคำขอใช้บริการดังกล่าวแล้วพบว่า SAEV ไม่สามารถเดินทางไปสถานีชาร์จได้คำขอใช้บริการนั้นจะถูกปฏิเสธ (Loeb et al., 2018) ต่อมาในการจำลองของ Vosoghi และคณะได้เพิ่มเงื่อนไขเพิ่มเติมในการไปชาร์จจากการจำลองของ Chen และคณะ (Chen et al., 2016) คือหากระยะทางที่ SAEV สามารถวิ่งได้นั้นน้อยกว่าระยะทางที่ขอใช้บริการหรือเมื่อ SAEV มีสถานะแบตเตอรี่ (State of Charge : SoC) ต่ำกว่า 20% (Vosoghi et al., 2020) และนอกจากนั้น Stevens และคณะกำหนด SoC ต่ำกว่า 25% (Stevens et al., 2022)

นอกจากเงื่อนไขสำหรับการไปชาร์จแล้วมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขระหว่างการชาร์จด้วย ในการจำลองของ Loeb และคณะมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขในระหว่างการชาร์จ โดยเงื่อนไขระหว่างการชาร์จคือเมื่อแบตเตอรี่มีความจุขณะนั้นต่ำกว่า 80% ของความจุทั้งหมดนั้นใช้อัตราการชาร์จสูง ส่วนเมื่อความจุขณะนั้นสูงกว่า 80% ของความจุทั้งหมดนั้นใช้อัตราการชาร์จต่ำ (Loeb et al., 2018) นอกจากนี้ในการจำลองของ Matalqah และคณะได้กำหนดให้ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ในลักษณะคล้ายๆกันแต่มีการระบุระยะเวลาการชาร์จที่ชัดเจนโดยกำหนดให้ช่วงแบตเตอรี่มีความจุ 0-80% และ 80-100% คือ 4 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมงตามลำดับ (Matalqah et al., 2022) ส่วน Stevens และคณะสมมติให้ SoC 80% ถือว่าชาร์จเต็มแล้ว (Stevens et al., 2022)

3.2.4.6 สถานีเติมน้ำมันและชาร์จไฟฟ้า

สถานีเติมน้ำมันและชาร์จไฟฟ้าเป็นสถานที่สำหรับเติมพลังงานให้ทั้ง SAV และ SAEV ตามลำดับ เมื่อ SAV และ SAEV ให้บริการจนพลังงานเหลือไม่เพียงพอต่อการให้บริการครั้งต่อไป สถานีเติมน้ำมันและชาร์จไฟฟ้าจึงถูกระบุตำแหน่งและจำนวนในการจำลองอยู่ 2 แบบ

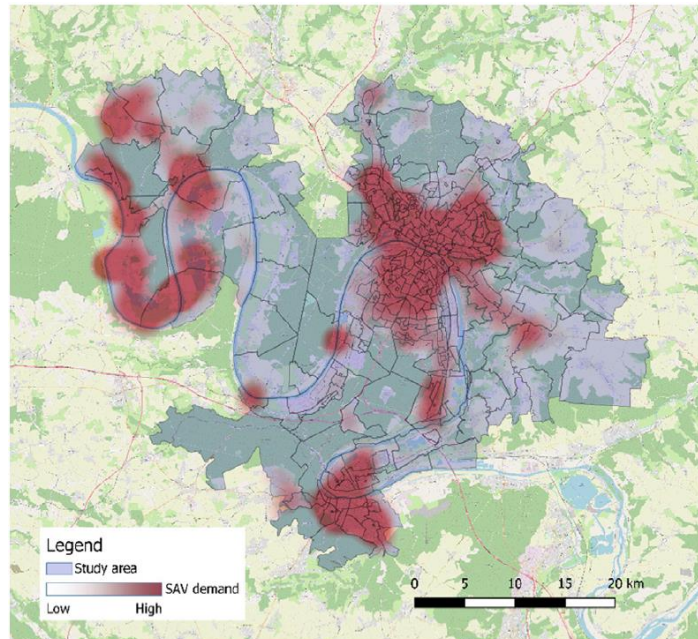
รูปแบบแรกเป็นการจำลองโดยไม่ได้ระบุตำแหน่งและจำนวนของสถานี แต่สร้างเงื่อนไขให้มีการทำความสะอาดและเติมพลังงานช่วงที่มีความต้องการบริการต่ำ เช่น ตอนกลางคืน ตอนที่รถไม่มีคำขอบริการ เป็นต้น (Fagnant & Kockelman, 2014) อีกรูปแบบหนึ่งมีการระบุให้ชัดเจนใน

ตำแหน่งและจำนวนของสถานี เพื่อให้การจำลองการบริการ SAV และ SAEV สมจริงมากยิ่งขึ้นกว่ารูปแบบแรก โดยมี 3 วิธีในการสร้าง

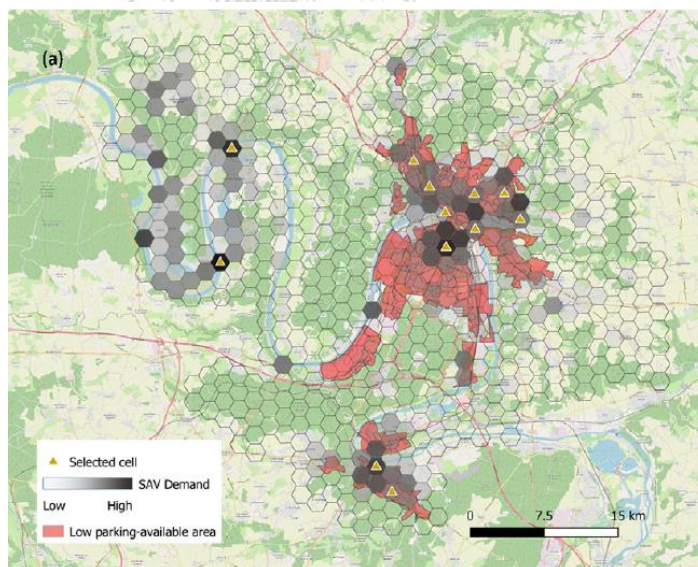
วิธีแรกคือการหาสถานีโดยการสร้างสถานีจากการจำลองนั้นเป็นช่วงก่อนการจำลองเต็มรูปแบบ (phase of warm up) โดยการสร้างสถานีจากการจำลองการให้บริการใน 24 ชั่วโมง (Chen et al., 2016; Farhan & Chen, 2018) เมื่อหาก SAEV คำนวณระยะทางไปสถานีแล้วพบว่าไม่สามารถวิ่งไปถึงสถานีได้ สถานีจะถูกสร้างตรงบริเวณนั้นทันที เมื่อครบ 24 ชั่วโมงจำนวนสถานีที่ถูกสร้างและตำแหน่งถูกนำไปใช้ในการจำลองการให้บริการแบบเต็มรูปแบบต่อไป ต่อมาในการจำลองของ Loeb และคณะได้ทำการจำลองคล้ายกันแต่มีการเพิ่มรายละเอียด โดยใช้เวลาช่วงก่อนการจำลองเต็มรูปแบบ 30 วันของการจำลองและตั้งแต่วันที่ 21 ถึง 30 ของช่วงจะเริ่มมีการบันทึกการเข้าใช้งานของแต่ละสถานีที่ถูกสร้าง เมื่อครบ 30 วันสำหรับสถานีที่มีค่าเฉลี่ยการเข้าใช้งานน้อยกว่า 1 ครั้งต่อชั่วโมงจะถูกลบทิ้ง (Loeb et al., 2018)

วิธีที่ใช้ในการสร้างสถานีรูปแบบต่อมาคือกำหนดจำนวนสถานีสำหรับใช้ในการจำลอง ส่วนตำแหน่งของสถานีนั้นหาโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ โดยอ้างอิงกับความต้องการการเดินทางตามรูปที่ 13 จากนั้นใช้วิธี maximal covering location problem (MCLP) และวิธี P-median ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการสร้างสถานีตามรูปที่ 14 โดยวิธี MCLP นั้นต้องการให้สถานีครอบคลุมความต้องการการเดินทางให้มากที่สุด (Asamer et al., 2016) ใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX 12.6.1. ส่วนวิธี P-median นั้นต้องการให้ระยะทางระหว่างความต้องการการเดินทางและสถานีมีระยะใกล้กันมากที่สุดและมีเงื่อนไขพิเศษให้ตั้งสถานีเว้นบริเวณที่มีที่จอดรถน้อยเพื่อให้ลดต้นทุนการลงทุนของสถานี (Vosooghi et al., 2020)

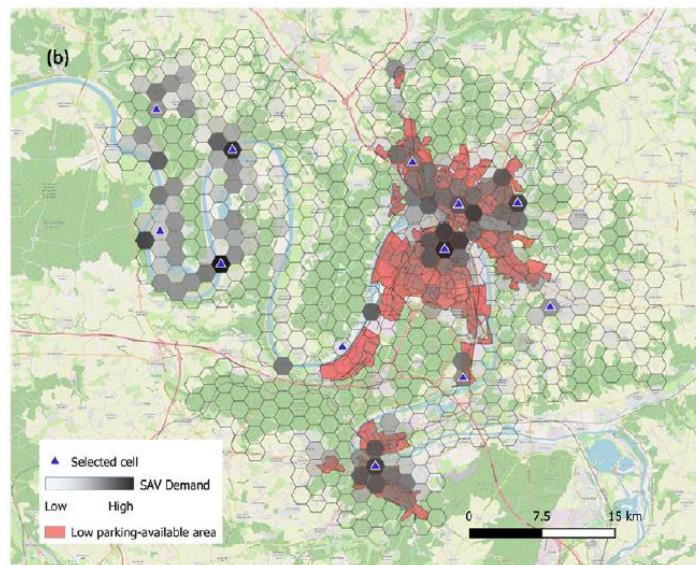
วิธีที่ใช้ในการสร้างสถานีรูปแบบสุดท้ายคือการกำหนดสถานีชาร์จโดยอ้างอิงตำแหน่งและจำนวนจากสถานีเติมน้ำมัน (Bischoff et al., 2019) นอกจากนั้นในการจำลองของ Matalqah และคณะมีสถานีชาร์จอยู่ 3 จุดและกำหนดสถานีชาร์จเพิ่มเติมคือพื้นที่จอดรถของ SAV ประมาณ 7 แห่งของสถานที่จอดรถที่มีอยู่ในพื้นที่ปัจจุบัน เนื่องจากคาดว่าการทำงานของระบบ SAV จะทำให้ความต้องการพื้นที่จอดรถลดลง โดยระบุตำแหน่งจุดสี่เหลี่ยมคือตำแหน่งสถานีชาร์จและสีน้ำเงินคือตำแหน่งพื้นที่จอดรถ SAV ดังรูปที่ 15 (Matalqah et al., 2022)



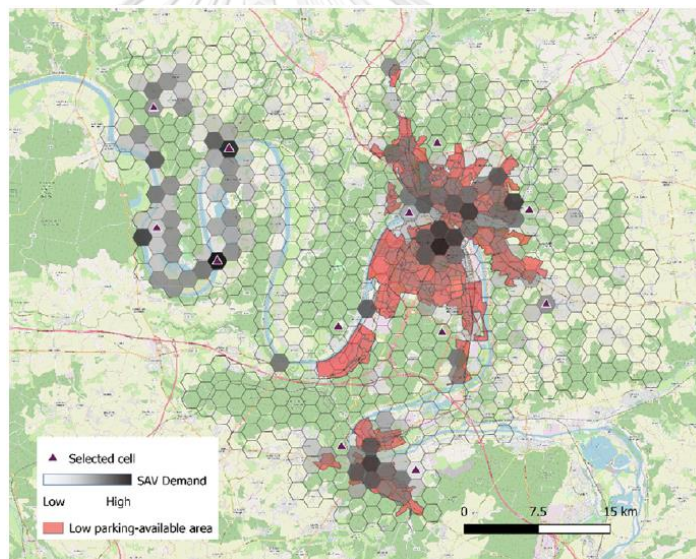
รูปที่ 13 ตัวอย่างความต้องการการเดินทางในพื้นที่ศึกษา
ที่มา: (Vosooghi et al., 2020)



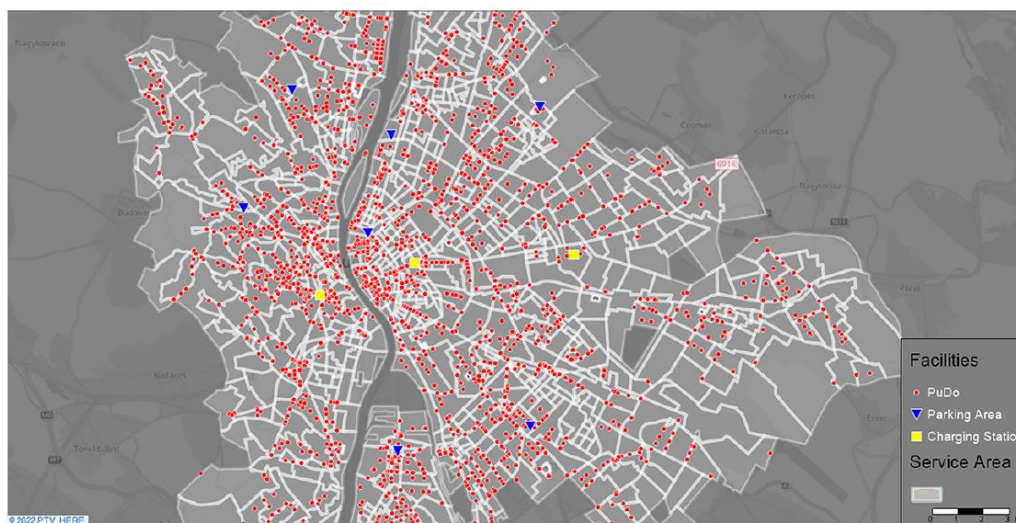
A) วิธี MCLP



B) วิธี P-median



C) วิธี P-median นอกพื้นที่ที่มีที่จอดรถน้อย
 รูปที่ 14 ตำแหน่งสถานีโดยใช้รูปทรงหกเหลี่ยม
 ที่มา: (Vosooghi et al., 2020)



รูปที่ 15 ตัวอย่างการตำแหน่งพื้นที่จอด SAV และสถานีชาร์จ
ที่มา: (Matalqah et al., 2022)

3.2.4.7 ราคาบริการ

ในการให้บริการ มีรูปแบบการคิดราคาบริการอยู่ 2 แบบคือ ระบบค่าโดยสารเชิงพื้นที่ (อ้างอิงจุดเริ่มต้น จุดหมายปลายทาง) และระบบค่าโดยสารตามเวลาควบคู่ไปกับความยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับระดับความต้องการในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนและนอกช่วงชั่วโมงเร่งด่วนของวันซึ่งค่อนข้างซับซ้อน ตัวอย่างเช่นในการจำลองของ Matalqah และคณะกรรมการลดความซับซ้อนของแบบจำลองที่ออกแบบ โดยให้ระบบค่าโดยสารสำหรับระบบ SAV ให้สมมติฐานว่าเป็นระบบคำนวณค่าโดยสารจากระยะทางโดยตรงระหว่างจุด PUDO โดยระบุจำนวนเงินเริ่มต้นเป็นค่าเงินค่าหนึ่งและคิดค่าโดยสารการเดินทางในหน่วยค่าเงินนั้นๆ ต่อกิโลเมตร เช่น จำนวนเงินเริ่มต้นการเดินทาง 15 บาท สำหรับการเดินทางคิด 5 บาทต่อกิโลเมตร (Matalqah et al., 2022)

3.2.4.8 ช่วงเวลาจำลอง

สำหรับช่วงเวลาในการจำลองจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามี 2 แบบคือ ช่วงเวลาที่ครอบคลุมทั้งในและนอกช่วงชั่วโมงเร่งด่วนในช่วงเช้าและช่วงเวลาที่ครอบคลุมทั้งในและนอกช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตลอดวัน ตัวอย่างช่วงเวลาที่ครอบคลุมทั้งในและนอกช่วงชั่วโมงเร่งด่วนในช่วงเช้า เช่น ในการจำลองของ Matalqah และคณะได้กำหนดช่วงเวลาในการจำลองคือ 05.00-10.00 น. (Matalqah et al., 2022) และ 07.00-10.00 น. (Bürstlein et al., 2021) ส่วนตัวอย่างช่วงเวลาที่ครอบคลุมทั้งในและนอกช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตลอดวัน เช่น ในการจำลองของ Twumasi-Boakye และคณะได้กำหนดช่วงเวลาในการจำลองคือ 06:00-22:00 น. (Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al.,

2021) นอกจากนี้ในอีกการจำลองของ Twumasi-Boakye และคณะได้กำหนดช่วงเวลาในการจำลองเพิ่มเติม โดยเพิ่มช่วงเวลาในการจำลองคือ 22:00-6:00 น. ดังตารางที่ 8 (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)

ตารางที่ 8 ช่วงเวลาจำลองจากการทบทวนวรรณกรรม

ช่วงเวลา งานวิจัย	05.00-10.00 น.	07.00-10.00 น.	06:00-22:00 น.	22:00-6:00 น.
(Matalqah et al., 2022)				
(Bürstlein et al., 2021)				
(Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021)				
(Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)				

3.2.4.9 การกำหนดค่ารายละเอียดเพิ่มเติม

การกำหนดค่ารายละเอียดเพิ่มเติมคือการกำหนดความเร็วสูงสุดของ SAV และเวลาขึ้นลงยานพาหนะ ในการจำลองของ Twumasi-Boakye และคณะกำหนดความเร็วสูงสุดของ SAV ที่ 35 ไมล์ต่อชั่วโมง (Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021) นอกจากนี้ Matalqah และคณะกำหนดเวลาขึ้นลงยานพาหนะ (Time for boarding and alighting) 20 วินาทีต่อผู้ใช้บริการ (Matalqah et al., 2022)

3.3 ตัวชี้วัดของการให้บริการ ride sharing

ตัวชี้วัดของการให้บริการ ride sharing คือตัวชี้วัดที่ประสิทธิภาพการให้บริการโดยให้ประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ โดยตัวชี้วัดของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการมีดังนี้

3.3.1 ตัวชี้วัดฝั่งผู้ให้บริการ

ด้านค่าใช้จ่ายของการให้บริการ

ด้านค่าใช้จ่ายของการให้บริการแสดงถึงผลการให้บริการซึ่งนำไปสู่รายจ่ายทั้งหมดของการให้บริการ จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่ามีทั้งหมด 3 ส่วนด้วยกันดังนี้ ส่วนแรกคือต้นทุนยานพาหนะประกอบด้วย ค่ายานพาหนะคือค่าใช้จ่ายของยานพาหนะทั้งหมดในการให้บริการ และค่าเบตเตอร์คือค่าใช้จ่ายสำหรับการเปลี่ยนเบตเตอร์ ส่วนต่อมาต้นทุนสำหรับสถานีการเติม

พลังงานประกอบด้วย ค่าที่ดินคือค่าใช้จ่ายสำหรับพื้นที่สำหรับการตั้งเป็นสถานีการเติมพลังงาน, ค่าเต้าชาร์จไฟฟ้าคือค่าใช้จ่ายของเต้าชาร์จไฟฟ้าทุกสถานีและค่าซ่อมบำรุงเต้าชาร์จไฟฟ้าคือค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงเต้าชาร์จไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนสุดท้ายคือต้นทุนด้านการดำเนินการประกอบด้วย ค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะคือค่าใช้จ่ายสำหรับการซ่อมบำรุงยานพาหนะทั้งหมด, ค่าประกันภัยคือค่าใช้จ่ายสำหรับการประกันภัยของยานพาหนะทั้งหมด, ค่าบริหารจัดการคือค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้แก่พนักงานที่มีส่วนในการดำเนินการให้บริการทั้งหมดและค่าพลังงานคือค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานทั้งหมดของยานพาหนะในการให้บริการ

ในงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะค่าใช้จ่ายสำหรับการใช้พลังงานทั้งหมดของยานพาหนะในการให้บริการเท่านั้น โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินการให้บริการมี 3 ตัวแปรได้แก่ Vehicle Kilometers Traveled (VKT), service distance และ empty distance โดย Vehicle Kilometers Traveled (VKT) คือผลรวมของระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งในระบบ ซึ่งสามารถสื่อถึงการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการวิ่งของยานพาหนะทั้งหมดของผู้ให้บริการ มากไปกว่านั้นยังเป็นผลรวมของระยะทางให้บริการ (service distance) และระยะที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการ (empty distance) ในส่วนของ service distance คือตัวแปรที่ประเมินระยะที่ถูกให้บริการทั้งหมด สื่อถึงรายได้โดยนัยของบริการในทางกลับกันการวิ่งให้บริการก็ถือเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายอีกด้วย ในส่วนของ empty distance คือระยะที่ยานพาหนะวิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการ สื่อถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างให้บริการ

ด้านรายได้ของการให้บริการ

ด้านรายได้ของการให้บริการแสดงถึงผลการให้บริการซึ่งนำไปสู่รายได้ของการให้บริการ รายได้นั้นเกิดจากราคาการให้บริการต่อกิโลเมตรคูณกับระยะทางที่ถูกให้บริการทั้งหมดหรือผลรวมของระยะทางที่ใช้บริการของผู้ใช้บริการแต่ละบุคคลเพื่อนำไปคิดรายได้ของการให้บริการ (passenger kilometer traveled :PKT)

3.3.2 ตัวชี้วัดฝั่งผู้ใช้บริการ

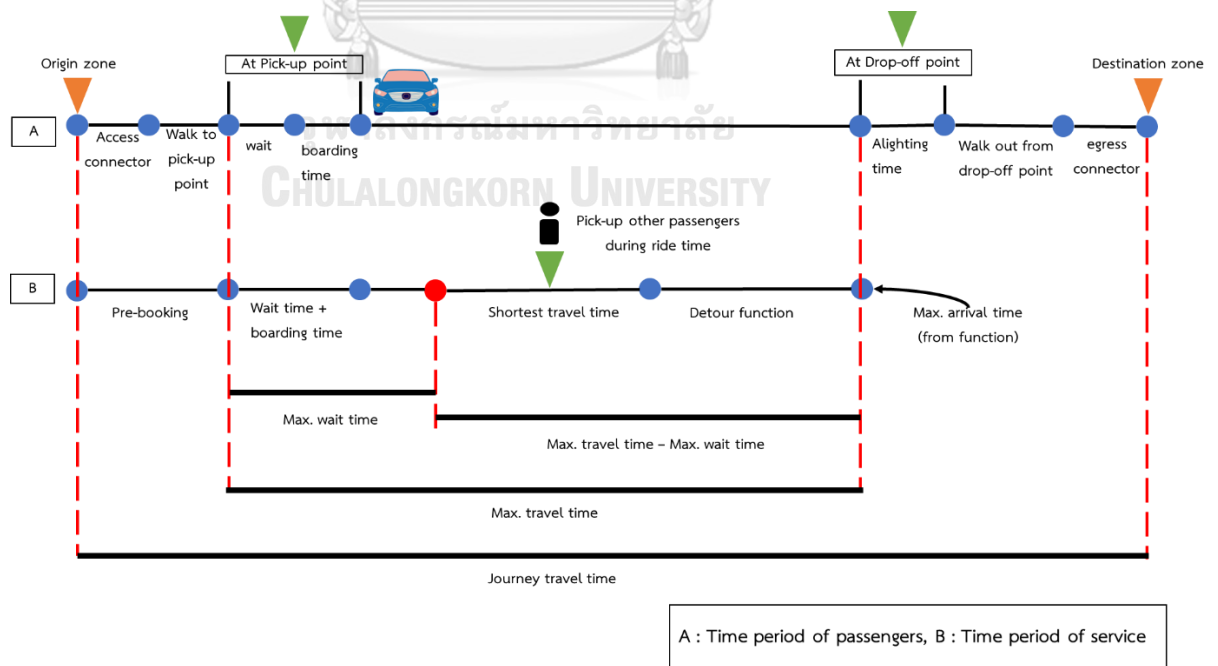
ตัวชี้วัดฝั่งผู้ใช้บริการนั้นมีความสำคัญต่อพฤติกรรมของของผู้ใช้บริการ โดยส่งผลต่อการเลือกโหมดการเดินทางของผู้ใช้บริการนั้นๆ หากตัวชี้วัดนั้นมีค่าในทางลบต่อการให้บริการนอกจากจะส่งผลต่อประสบการณ์การเดินทางที่แย่แก่ผู้ใช้บริการแล้วยังส่งผลต่อการให้บริการทั้งระบบในอนาคตได้ ดังนั้นเมื่อค่าตัวชี้วัดออกมาในทิศทางที่ลบต่อการให้บริการ ผู้ให้บริการสามารถปรับปรุงแก้ไขปัญหาให้แก่ผู้ใช้บริการพึงพอใจต่อการเดินทางดังเดิมได้ สำหรับการตัวชี้วัดการให้บริการ ride sharing

นอกจากผลลัพธ์ระหว่างการให้บริการแล้วจะต้องดูการอ้อมไปรับผู้ให้บริการอื่นตามลักษณะเฉพาะของการเดินทางด้วยโหมดนี้

จากการกำหนดค่ากรอบเวลา max arrival time ดังในหัวข้อ 3.2.4.3 ที่กล่าวไปข้างต้น เมื่อทำการจำลองผลลัพธ์ระยะทางแต่ละส่วนของทั้งการเดินทางในมุมมองของผู้ใช้บริการระหว่างการเดินทางจะถูกคำนวณโดยมีตัวแปรหลายตัวแปรดังสมการ:

$$JRT = ACT + OWT + \sum IVT \text{ or } travel \text{ time} + \sum TWT + \sum WKT + EGT \quad (3.3)$$

โดยที่ Journey travel time (JRT) คือเวลาการเดินทางทั้งหมด ในส่วนของ Access time (ACT) เวลาที่ใช้จากโซนเริ่มต้นมายังจุดเริ่มต้นผ่าน connector ในส่วนของ Egress time (EGT) เวลาที่ใช้จากจุดหมายปลายมายังโซนจุดหมายปลายทางผ่าน connector ในส่วนของ in vehicle time หรือ Travel time คือเวลาที่อยู่บนยานพาหนะ ของรายการเดินทางนั้นๆ ในส่วนของ Origin Wait time (OWT) คือเวลารอานพาหนะมาถึงจุดจอดรับ ในส่วนของ Boarding & Alighting time per passenger หรือ transfer wait time (TWT) คือเวลาที่ผู้ให้บริการใช้ในการขึ้นและลงยานพาหนะ ในส่วนของ Walk time (WKT) คือเวลาในการเดินเท้าเพื่อเปลี่ยนไปเชื่อมต่อกับระบบขนส่งสาธารณะ จากสมการที่ (3.3) สามารถดูการเปรียบเทียบช่วงเวลาในมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการเพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายแสดงดังรูปที่ 16 ที่สัญลักษณ์ A และ B ตามลำดับ



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบช่วงเวลาในมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการของการเดินทางทั้งหมด

ส่วนในการดูการอ้อมไปรับผู้ให้บริการอื่นได้แก่ detour time, Shortest travel time และ Experienced detour factor โดย detour time คือตัวแปรที่ประเมินเวลาที่เพิ่มขึ้นจากเวลาเดินทางปกติของผู้ใช้บริการที่เกิดระหว่างการให้บริการของแต่ละคำขอ ดังสมการ:

$$\text{Detour time} = \text{journey travel time} - (\text{No. passenger}) \times (\text{boarding} + \text{alighting time per passenger}) - \text{wait time} \quad (3.4)$$

ในส่วนของ Shortest travel time คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยที่สุดระหว่างจุดเริ่มต้น โดยมีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้องเช่น การจราจรติดขัด คุณลักษณะของถนน ในส่วนของ Experienced detour factor คือตัวแปรที่ใช้แสดงผลว่ามีการอ้อมไปรับผู้ให้บริการรายอื่นเป็นเวลาที่เท่าของระยะเวลาเดินทางที่สั้นที่สุดของคำขอใช้บริการนั้นๆ ดังสมการ:

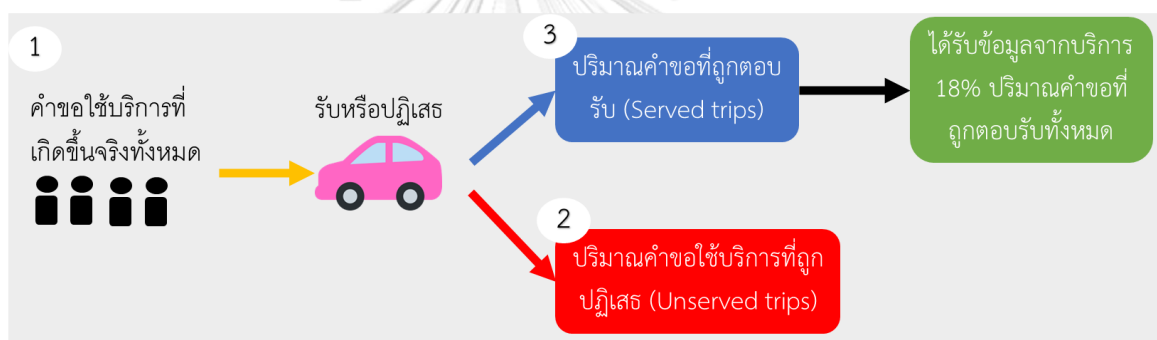
$$\text{Exp. D. F} = \frac{\text{journey travel time} - (\text{No. passenger}) \times (\text{boarding} + \text{alighting time per passenger}) - \text{wait time}}{\text{shortest travel time}} \quad (3.5)$$

บทที่ 4

การดำเนินการจำลอง

4.1 การประเมินความเพียงพอของข้อมูลที่ได้รับมา

การดำเนินการจำลองจะได้ดำเนินการตามกรอบการจำลองในหัวข้อ 3.2 อย่างเป็นลำดับขั้นต่อไป อย่างไรก็ตาม ด้วยการศึกษาที่ได้รับข้อมูลจากบริการ ride sharing จริงมาเป็นข้อมูลขาเข้าสำหรับการจำลอง จึงจำเป็นต้องประเมินข้อมูลก่อนว่ามีความเพียงพอและเหมาะสมเพื่อทำการจำลองแล้วหรือยัง โดยการจำลองจำเป็นต้องทราบปริมาณความต้องการการเดินทางของโหนด ride sharing หรือคำขอใช้บริการที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดนั้นในพื้นที่ศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการจำลองดังหมายเลข 1 ในรูปที่ 17 โดยหากต้องการทราบปริมาณความต้องการการเดินทางของโหนด ride sharing จำเป็นต้องทราบปริมาณที่คำขอใช้บริการถูกที่ถูกรับ (Served trips) ดังหมายเลข 2 ในรูปที่ 17 และคำขอใช้บริการที่ถูกปฏิเสธหรือยกเลิก (Unserved trips) ดังหมายเลข 3 ในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ปริมาณความต้องการเดินทางด้วยบริการ ride sharing

แต่เนื่องจากเป็นเรื่องของธุรกิจของบริษัทที่อาจทำให้ข้อมูลรั่วไหลออกสู่สาธารณะส่งผลให้สามารถเสียประโยชน์ต่อบริการได้ในอนาคต ดังนั้นข้อมูลไม่สามารถได้รับทั้งหมดผู้วิจัยจึงได้รับเฉพาะข้อมูลการตอบรับคำขอใช้บริการด้วยข้อมูลที่ถูกสุ่มด้วยปริมาณประมาณ 18 % ของแต่ละช่วงเวลาตลอดทั้งวัน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลของวันอังคารที่ 28 และวันพุธที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2566 (รวมจำนวน 681 คำขอ) โดยผู้ให้บริการได้ตรวจสอบความแม่นยำของกลุ่มตัวอย่างด้วยการเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ย wait time และ travel time กับค่า wait time และ travel time ของแต่ละคำขอใช้บริการให้อยู่ในช่วงไม่เกิน $\pm 10\%$

ถึงแม้จะไม่ได้ข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการ แต่ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงของการให้บริการ ride sharing อยู่แล้วและใช้จุดที่มีการให้บริการจริงในพื้นที่ศึกษา มากไปกว่านั้นข้อมูลเป็นวันธรรมดา (วันอังคารและพุธ) และอยู่ในช่วงเปิดภาคเรียนซึ่งสะท้อนพฤติกรรมของนักศึกษาและคนในพื้นที่ได้อย่างดี ทั้งนี้การได้รับข้อมูลสามารถรู้พฤติกรรมการเดินทางของคนในพื้นที่ศึกษานำมาจำลอง

และไม่ได้มีความเหมือนกับทางบริการจริงทุกรายละเอียดเกิดผลดีต่อการจำลองนี้โดยได้รับข้อมูลที่สามารถนำมาเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ได้ ด้วยการจัดเส้นทางในแบบฉบับของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มากไปกว่านั้นการได้ข้อมูลดังกล่าวสามารถเป็นจุดตั้งต้นสำหรับการต่อยอดในการพัฒนาหากในอนาคตสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่มีความละเอียดและหลากหลายมากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะตั้งสมมติฐานให้ปริมาณที่ตอบรับคำขอเป็นปริมาณความต้องการเดินทางเบื้องต้นของพื้นที่

สำหรับรายละเอียดข้อมูลการตอบรับคำขอใช้บริการที่ได้รับประกอบด้วย จำนวนผู้ใช้บริการ ณ จุดให้บริการ (Groupsize), ตำแหน่งขึ้น/ลงของการเดินทาง (From/To Point), เวลาส่งคำขอใช้บริการของผู้ใช้บริการ (Requested at), และเวลาที่การขึ้น/ลงของผู้ใช้บริการ (On board/Done At) ตัวอย่างดังตารางที่ 9 เช่น คำขอใช้บริการแรกที่ใช้บริการจำนวน 1 คนต้องการเดินทางจาก A129 ไป A216 ในเวลา 6:00 น.จากนั้นได้ขึ้นและลงยานพาหนะบริการเวลา 6:31 และ 6:37 น. ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลที่ได้รับ

groupSize	From Point	To Point	Requested At	On Board At	Done At
1	A129	A216	28/3/2023 6:30	28/3/2023 6:31	28/3/2023 6:37
2	A230	A327	28/3/2023 6:30	28/3/2023 6:38	28/3/2023 6:43
1	A170	A327	28/3/2023 6:39	28/3/2023 6:45	28/3/2023 6:52
1	A253	A326	28/3/2023 6:50	28/3/2023 7:04	28/3/2023 7:16
1	A230	A327	28/3/2023 6:55	28/3/2023 7:05	28/3/2023 7:09
1	A756	A523	28/3/2023 6:55	28/3/2023 7:00	28/3/2023 7:06
1	A216	A402	28/3/2023 7:06	28/3/2023 7:08	28/3/2023 7:15
1	A505	A206	28/3/2023 7:07	28/3/2023 7:11	28/3/2023 7:16
1	A608	A504	28/3/2023 7:12	28/3/2023 7:18	28/3/2023 7:24
1	A756	A130	28/3/2023 7:16	28/3/2023 7:21	28/3/2023 9:35
1	A145	A523	28/3/2023 7:20	28/3/2023 7:25	28/3/2023 7:40
2	A183	A187	28/3/2023 7:23	28/3/2023 7:32	28/3/2023 7:38
1	A521	A303	28/3/2023 7:24	28/3/2023 7:32	28/3/2023 7:44
6	A106	A119	28/3/2023 7:24	28/3/2023 7:29	28/3/2023 7:31
1	A603	A327	28/3/2023 7:25	28/3/2023 7:32	28/3/2023 7:44

สำหรับจำนวนจุดขึ้น/ลงบริการ ride sharing ที่ได้รับมีทั้งหมด 171 ตำแหน่งหรือเป็น 80.66% ของจุดทั้งหมด 212 จุดที่ถูกเรียกใช้บ่อย (Hotspot) ซึ่งครอบคลุมพฤติกรรมการใช้งานส่วนใหญ่ในพื้นที่ นอกจากข้อมูลการเดินทางแล้วผู้วิจัยได้รับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับยานพาหนะและการ

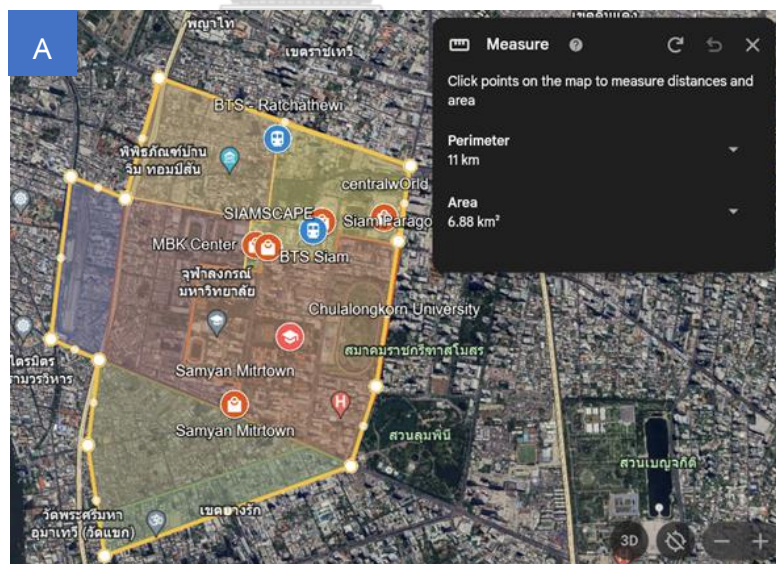
ชาร์จที่มีเกิดขึ้นในระบบข้อมูลที่ได้รับได้แก่ จำนวนรถ ขนาดแบตเตอรี่ เวลาในการชาร์จ โดยข้อมูลที่ได้รับมีรายละเอียดดังนี้ จำนวนยานพาหนะที่ให้บริการในพื้นที่ศึกษามีประมาณ 60 คัน ส่วนขนาดแบตเตอรี่ของยานพาหนะจริงในการให้บริการมีขนาดที่ 76.8V 135Ah หรือ 10.4 kWh ตามลำดับ และเวลาในการชาร์จจาก 20-100% แบบเร็ว 30 นาที แบบธรรมดา 150 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการจำลองงานวิจัยนี้ในส่วนของยานพาหนะและการชาร์จ

4.2 การสร้างแบบจำลองโครงสร้างเครือข่าย

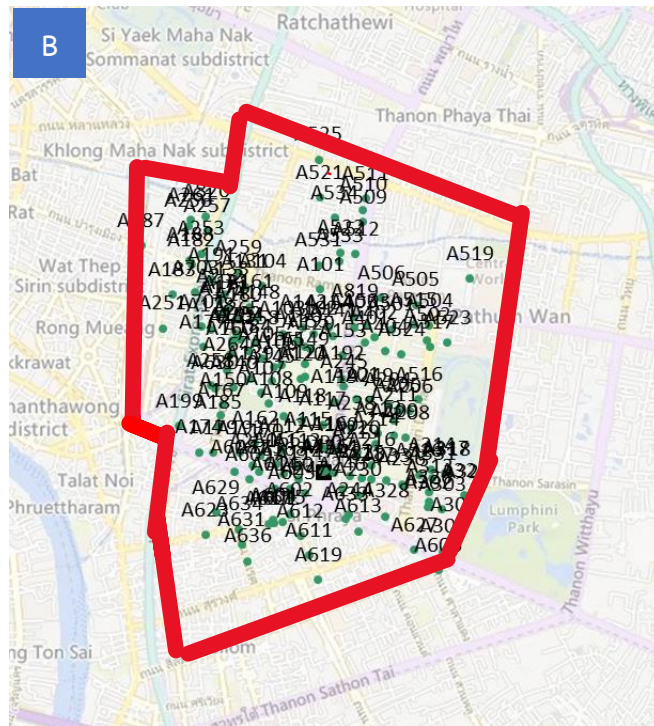
การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างเครือข่ายนั้นมี 3 ส่วนด้วยกันได้แก่ การแบ่งโซนที่พิจารณาในพื้นที่ศึกษา, การระบุตำแหน่งจุดขึ้น/ลงบริการ ride sharing และการสร้างโครงข่ายถนนแบบจำลอง

4.2.1 การแบ่งโซน

พื้นที่ศึกษามีขนาด 6.88 ตารางกิโลเมตรดังรูปที่ 18A) โดยครอบคลุมพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตการพาณิชย์ด้านทิศเหนือบริเวณพระรามหนึ่ง และด้านทิศใต้บริเวณสามย่าน และเมื่อได้รับตำแหน่งจุดให้บริการจากข้อมูลบริการ ride sharing ที่ได้รับตำแหน่ง PUDO ทั้งหมดตามข้อมูลการให้บริการจริงที่ได้รับมาแสดงได้บนแผนที่ดังรูปที่ 18B)



A) ขอบเขตพื้นที่ศึกษา



B) ตำแหน่ง PUDO ที่ได้รับ
รูปที่ 18 พื้นที่ศึกษาและจุดขึ้นลงบริการ

จากข้อมูลบริการจริงที่ได้รับข้างต้นแสดงถึงกลุ่มตำแหน่งของจุดบริการ จึงทำการแบ่งโซนสำหรับศึกษาตามโครงสร้างแผนผังตามถนนภายในพื้นที่ศึกษาได้แก่ ถนนพระรามที่ 1, ถนนพระรามที่ 4, ถนนอังรีดูนังต์, ถนนพญาไท, ถนนเพชรบุรี, ถนนพระราม 6 หรือทางพิเศษศรีรัช, ถนนสีลม, ถนนราชดำริและถนนบรรทัดทอง โดยโซนหลักได้แก่ 1.ราชเทวี, 2.ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้ามจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 3.บรรทัดทอง, 4.จุฬาฝั่งเล็ก, 5.วัดหัวลำโพง, 6.จุฬาฝั่งใหญ่ (สระน้ำ), 7.โรงพยาบาลจุฬา, 8.โรงพยาบาลตำรวจและ Central World ตามรูปที่ 19 โดยรหัสตำแหน่งภายในแต่ละโซนดูได้ที่ ภาคผนวก ก.

ride sharing ภายในโซนได้ โดยพื้นที่ปิดไม่ให้เดินทางด้วย ride sharing ภายในโซนได้คือพื้นที่ไม่มีความจำเป็นต้องเดินทางด้วยยานพาหนะ ride sharing เนื่องจากลักษณะของพื้นที่นั้นๆ โดยรายละเอียดแต่ละลักษณะประกอบด้วยโซนดังนี้

1. พื้นที่ปิดในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแบ่งโซนย่อย 3 โซนที่กล่าวไปข้างต้นด้วยลักษณะเฉพาะของแต่ละโซน ดังนี้

1.1.1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โซนนี้จะประกอบไปด้วยคณะเภสัชศาสตร์, คณะสัตวแพทยศาสตร์, คณะทันตแพทยศาสตร์ มากไปกว่านั้นคณะข้างต้นติดกับห้างสรรพสินค้าสามารถเดินทางภายในโซน ดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

1.1.2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โซนนี้จะประกอบไปด้วยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, คณะศิลปกรรมศาสตร์, คณะอักษรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, คณะรัฐศาสตร์, คณะเศรษฐศาสตร์และคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี เนื่องจากโซนนี้มีคณะติดกันซึ่งนักศึกษาสามารถที่เดินข้ามคณะได้อย่างง่ายดาย มากไปกว่านั้นภายในโซนนี้มีสกายวอล์กและจักรยานให้บริการอยู่ในพื้นที่ ดังนั้นในการเดินทางภายในพื้นที่นี้จะเป็นการเดินทางและใช้สกายวอล์กและจักรยาน มากไปกว่านั้นโซนนี้มี CU shuttle bus วิ่งเข้าและออกครบทุกสายเนื่องจากมีคณะหลายคณะในโซนนี้ และแต่ละสายผ่านหลายคณะเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการเดินทางข้ามคณะในโซนนี้ก็สามารรถขึ้น CU shuttle bus ได้จากเหตุผลข้างต้นดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

1.1.3 จามจุรีสแควร์และสภาคณาเขต

โซนนี้ประกอบด้วยจามจุรีสแควร์และสภาคณาเขตซึ่งผู้วิจัยจัดแยกออกมาเนื่องจากไม่ใช่สถานศึกษาและอยากสังเกตพฤติกรรมจากข้อมูลที่ได้รับ โดยโซนย่อย

นี้สามารถเดินทางกันได้ ดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

1.2 บรรทัดทองเป็นย่านร้านอาหารถนนเส้นทาง นักศึกษาและคนภายนอกเดินทางเดินทางของกินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

1.3 โรงพยาบาลจุฬาฯ ภายในรพจุฬาไม่จำเป็นต้องใช้ยานพาหนะในการเดินทางภายในพื้นที่เนื่องจากแต่ละจุดที่เป็นตึกสามารถเดินทางกันได้ ดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

1.4 โรงพยาบาลตำรวจและ CentralWorld นั้นตั้งอยู่ในละแวกเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถเดินทางภายในโซนเพียงข้ามถนน ดังนั้นโซนนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้บริการ ride sharing ในการเดินทางภายในโซน

โดยรายละเอียดแต่ละโซนสามารถศึกษาต่อที่ภาคผนวก ก.

2.พื้นที่ที่เปิดให้เดินทางด้วย ride sharing ภายในโซนได้ (พบว่ามีการเดินทางภายในโซนหลักที่ผู้วิจัยแบ่งไว้)

ได้แก่ พื้นที่เปิดในเขตพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและพื้นที่เปิดนอกพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นโซนที่ปักและอยู่อาศัย

2.1 พื้นที่เปิดในเขตพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นโซนที่มีชอยและรถจักรยานจำนวนมากคือจุฬาฝั่งเล็ก โดยจากที่แบ่งโซนย่อย 3 โซนที่กล่าวไปข้างต้นด้วยลักษณะเฉพาะของแต่ละโซนดังนี้

จุฬาฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง ได้แก่ คณะสหเวชศาสตร์, คณะจิตวิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ การกีฬาและห้างมาบุญครอง

จุฬาฝั่งเล็กติดสยามมิตรทาวน์ ได้แก่ คณะนิติศาสตร์, คณะนิเทศศาสตร์, คณะครุศาสตร์, โรงเรียนสาธิตจุฬาฯ และมีสยามมิตรทาวน์ block28 ร้านอาหารตามชอย

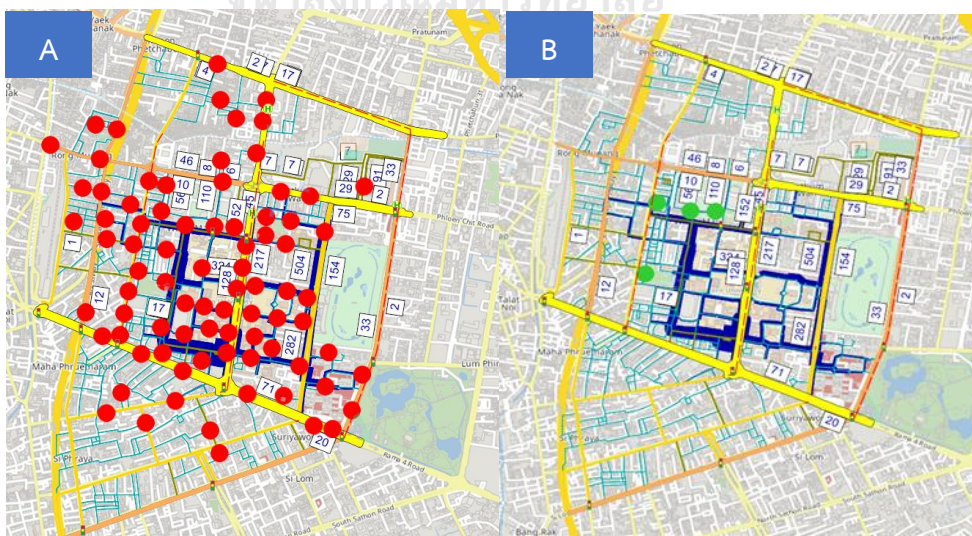
จุฬาฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา ได้แก่ หอพักนักศึกษา, สำนักงานมหาวิทยาลัย, และอุทยาน 100 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยรายละเอียดแต่ละโซนสามารถศึกษาต่อที่ภาคผนวก ก.

2.2 พื้นที่เปิดนอกพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นโซนที่พักและอยู่อาศัยประกอบด้วยโซนวัดหัวลำโพง, โซนราชเทวี และโซนทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้ามจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยโซนวัดหัวลำโพงเป็นโซนที่พักที่อยู่อาศัย โดยโซนนี้มีคอนโดมิเนียมและโรงแรมจำนวนมาก ส่วนโซนราชเทวีเป็นโซนที่พักที่อยู่อาศัย โดยโซนนี้มีคอนโดมิเนียมและโรงแรม มากกว่านั้น จุดเชื่อมต่อบริการการเดินทางอื่นได้แก่ ท่าเรือ และสถานีรถไฟฟ้าวราชเทวี ส่วนโซนทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้ามจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นโซนที่พักที่อยู่อาศัย โดยโซนนี้มีอพาร์ทเมนท์จำนวนมากสำหรับนักศึกษา โดยรายละเอียดแต่ละโซนสามารถศึกษาต่อที่ภาคผนวก ก.

4.2.2 การระบุตำแหน่ง PUDO และสถานีชาร์จ

การแบ่งความต้องการเดินทางรายโซน (ระดับ Macroscopic) กระจายลงไปยังตำแหน่ง PUDO (ระดับ Microscopic) ของโซนนั้นๆ ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ในการจำลอง ride sharing ของ PTV VISUM แต่เนื่องจากผู้วิจัยได้รับจุดตำแหน่งและจำนวนจุดขึ้นลงมาแล้ว ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลระดับ Microscopic แล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่มีความจำเป็นในการสร้างโซนขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยจุด PUDO หลายตำแหน่งแล้วกระจายความต้องการของโซนลงไปตามจุดต่างๆภายในโซนตามหลักการจำลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงสร้าง 1 โซนต่อ PUDO เพื่อง่ายต่อการสร้างคำขอใช้บริการหรือ trip request ตามหลักการใน PTV VISUM ดังรูปที่ 24A) ในส่วนของสถานีผู้วิจัยทำการสร้างตามตำแหน่งจริงดังรูปที่ 24B)



รูปที่ 20 การสร้าง A) ตำแหน่ง PUDO และ B) สถานีชาร์จ

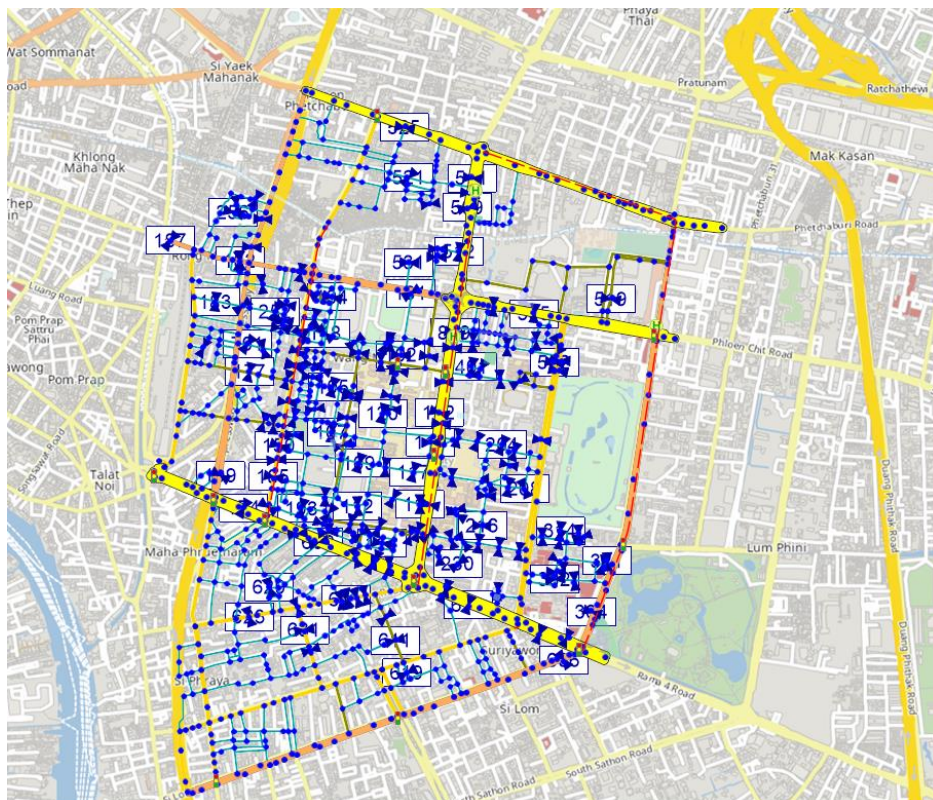
4.2.3 การสร้างโครงข่ายถนน

การสร้างโครงข่ายถนนนั้นเริ่มด้วยการนำไฟล์ข้อมูลถนนจาก OpenStreetMap ของพื้นที่เข้ามาและลบส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องและซอยตันออก หลังจากนั้นทำการกำหนดคุณสมบัติ link ให้มีความเหมือนกับสถานการณ์จริงมากที่สุด โดยกำหนด Capacity และ Max Velocity ภายใน Link ในการกำหนด Capacity ผู้วิจัยเลือกค่าตั้งต้นจาก OpenStreetMap และผู้วิจัยไม่ได้ทำการปรับแก้ค่าเนื่องจาก Capacity นั้นไม่ส่งผลเพราะในการจำลอง ผู้วิจัยไม่ได้ใส่ปริมาณความต้องการเดินทางจากโหมดการเดินทางอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อการแออัดการจราจรในแต่ละ link แต่ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานความเร็วจำกัดสูงสุดในแต่ละ link ให้เปรียบเสมือนมีการจราจรของโหมดอื่นๆ แทนการใส่ปริมาณความต้องการเดินทางโหมดอื่นๆ จริง โดยในส่วนการกำหนด Max Velocity เนื่องจากยานพาหนะของบริการนั้นถูกจำกัดความเร็วไม่ให้เกิน 50 km/h การกำหนดความเร็วสูงสุดใน link จะไม่เกิน 50 km/h ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดรายละเอียดกลุ่ม link แต่ละ link โดยการประมาณความเร็วสูงสุดในแต่ละกลุ่มให้สะท้อนลักษณะการจราจรตามแต่ละพื้นที่มากที่สุดดังแสดงในตารางที่ 10 และสร้างใน PTV VISUM ดังรูปที่ 21 โดยรายละเอียดการกำหนดค่าในแต่ละประเภท link ใน PTV VISUM แสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 10 การกำหนดความเร็วแต่ละประเภทถนนในพื้นที่ศึกษา

Link	ความเร็วสูงสุด
จุดตัดของสี่แยกจราจร	15 km/h
จุดเลี้ยวกลับรถ (U-turn)	10 km/h
ถนนพระรามที่ 1	15 km/h
ถนนพระรามที่ 4	20 km/h
พื้นที่มหาวิทยาลัยและเขตที่อยู่อาศัย	30 km/h
พื้นที่ที่เหลือ	35 km/h

ส่วนเส้นทางการเดินของคนในการเข้าถึงจุด PUDO ผู้วิจัยไม่ทำการสร้างเพิ่มเข้าไปในแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับนั้นรู้จุดตำแหน่งและจำนวนจุดขึ้นลง แต่ไม่สามารถทราบและระบุได้ว่าคนเดินมาจากตึกไหนหรือตำแหน่งไหนเพื่อมาขึ้น/ลงที่จุด PUDO



รูปที่ 21 โครงข่ายถนนที่ถูกสร้างใน PTV VISUM

4.3 การสร้างแบบความต้องการเดินทาง

การสร้างแบบความต้องการเดินทางจะสร้างจากข้อมูลและการวิเคราะห์ที่กล่าวไปในบทที่ 4 จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยที่ใช้เพียงจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางนำข้อมูลที่มีมาใช้เทคนิคการสุ่มด้วยความน่าจะเป็นที่ชื่อว่า Monte Carlo simulation (Twumasi-Boakye, Cai, Joshi, et al., 2021) จากนั้นผู้วิจัยเห็นว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้นเพียงพอและสามารถทำการขยายปริมาณข้อมูลที่ได้รับด้วยการใช้เทคนิคการสุ่ม Monte Carlo simulation ได้ โดยการขยายประมาณการให้บริการใน 1 วันของงานวิจัยนี้มีขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอนได้แก่

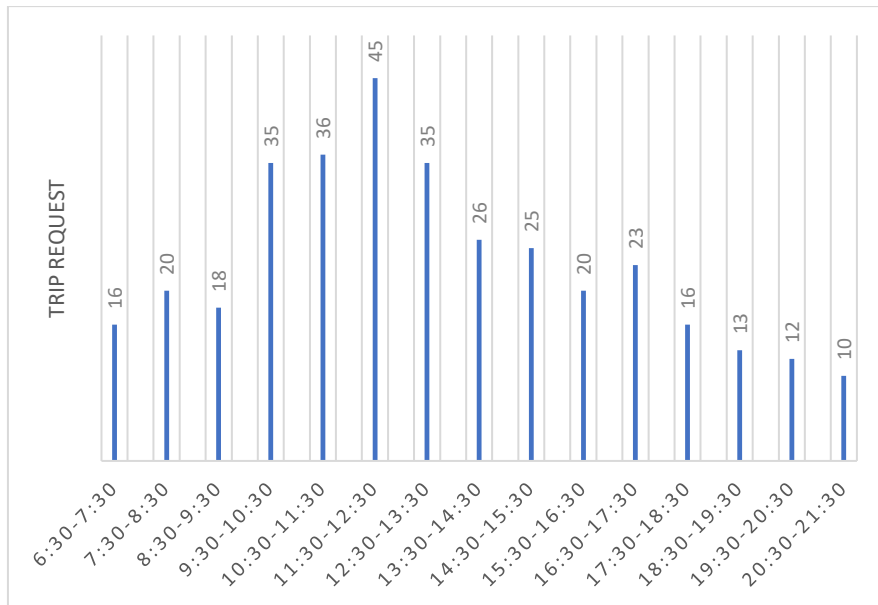
1. นำข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลการให้บริการของวันอังคารที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2566 และวันพุธที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2566 ที่มีจำนวนประมาณ 18 % ของข้อมูลบริการจริงในแต่ละวัน จากนั้นผู้วิจัยทำการรวมข้อมูลของทั้ง 2 วันและเรียงเวลาการเรียกบริการ แล้วให้ผลรวมข้อมูลทั้ง 2 วันและให้การรวมข้อมูลดังกล่าวให้เป็นข้อมูลบริการปริมาณ 36 % ของวัน เพื่อให้มีความหลากหลายของคำขอใช้บริการและมีความเหมือนสถานการณ์จริงมากที่สุด โดยผู้วิจัยได้มีการตรวจสอบและเปรียบเทียบคำขอใช้บริการของวันที่ 28 มี.ค.66 กับ 29 มี.ค.66 เพื่อตรวจสอบดูความคล้ายคลึงกันของพฤติกรรม

การเดินทางในพื้นที่พบว่ามีคำขอใช้บริการที่มีตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางซ้ำกันที่ 74 คำขอ ซึ่งหากเทียบจากวันที่ 28 มี.ค 2566 จะเป็นสัดส่วนจำนวน 74/350 หรือ 21.14% หากเทียบวันที่ 29 มี.ค 2566 จะเป็นสัดส่วนจำนวน 74/331 หรือ 22.36% และหากเทียบเมื่อนำข้อมูลทั้งสองวันมารวมกันจะเป็นสัดส่วนจำนวน 74/681 หรือ 10.87%)

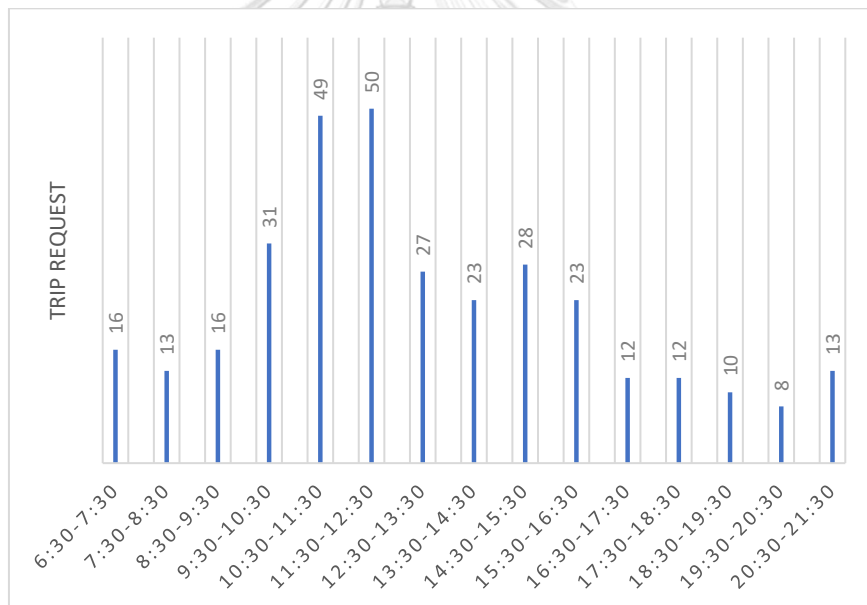
ตารางที่ 11 การตรวจสอบคำขอซ้ำ

การเดินทางที่	จุดเริ่มต้น	จุดหมายปลายทาง	ช่วงเวลา	
1	A230	จามจุรีสแควร์ (ข้างสนาม บาสคณะบัญชี)	A327 อาคาร อปร	6.30.00-7.29.59
2	A603	ไอทีโอ คิว สามย่าน (แม่กซ์แวลู)	A327 อาคาร อปร	6.30.00-7.29.59
3	A101	(จุฬาฯ) บีทีเอส สนามกีฬา แห่งชาติ ทางออก 2	อาคารศรีจุลทรัพย์ - จุด รับส่งหน้าอาคาร (ถนน พระราม 1)	7:30.00-8:29.59

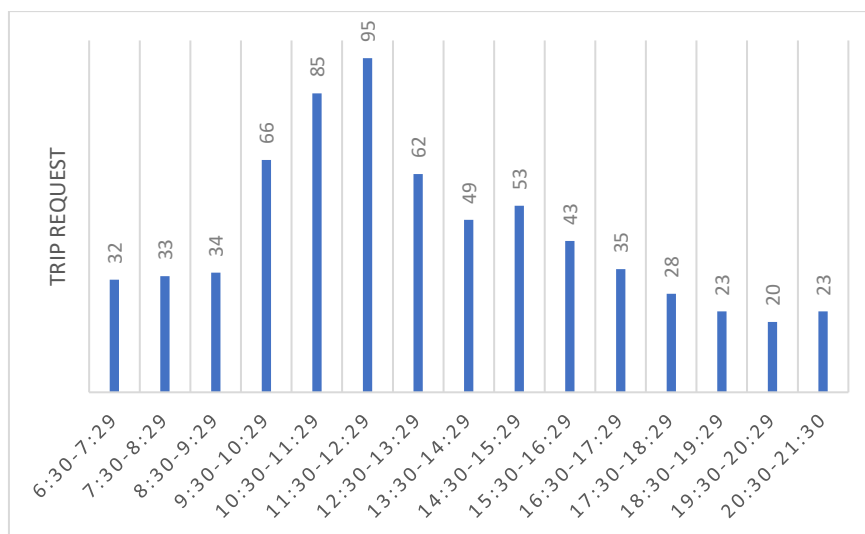
ตารางที่ 11 แสดงตัวอย่างสำหรับการเดินทางที่ 1 และ 3 เป็นการเดินทางเชื่อมต่อจากระบบขนส่งสาธารณะ ส่วนการเดินทางที่ 2 เป็นการเดินทางจากที่อยู่อาศัย (คอนโดมิเนียม) ดังนั้นการซ้ำกันของคำขอใช้บริการที่มีตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางด้วยการเชื่อมต่อจากระบบขนส่งสาธารณะและเชื่อมต่อจากที่คอนโดซึ่งเป็นที่พักของนักศึกษาจำนวนมากจึงเป็นเรื่องที่เข้าใจได้ และใน 74 คำขอพบว่ามีช่วงเวลาซ้ำกัน 15 คำขอ เทียบจากวันที่ 28 มี.ค 2566 จะเป็นสัดส่วนจำนวน 15/350 หรือ 4.29% หากเทียบ วันที่ 29 มี.ค 2566 จะเป็นสัดส่วนจำนวน 15/331 หรือ 4.53% และหากเทียบเมื่อนำข้อมูลทั้งสองวันมารวมกันจะเป็นสัดส่วนจำนวน 15/681 หรือ 2.20%) และจากตารางที่ 11 ผู้วิจัยคาดว่า การซ้ำกันของช่วงเวลานั้นก็เป็นที่ยอมรับได้หากผู้ใช้เป็นลูกค้าประจำและมีพฤติกรรมซ้ำๆ



รูปที่ 22 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2566



รูปที่ 23 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2566



รูปที่ 24 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของทั้งสองวันมารวมกันได้

2. ประเมินจำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2566 (ดังรูปที่ 22) และจำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2566 (ดังรูปที่ 23) จากนั้นนำจำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของทั้งสองวันมารวมกันได้ดังรูปที่ 24 โดยการรวมกันข้างต้นนั้น ผู้วิจัยให้ปริมาณข้อมูล 36 % ของวันจากข้อ 1 อยู่ครอบคลุมช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 % จากการสุ่มข้อมูลจากทางบริการ ride sharing จากนั้นทำการสุ่ม 5 % ที่นอกเหนือจากกลุ่มข้างต้นเพื่อให้ครอบคลุมช่วงความเชื่อมั่น 100 %

3. ทำการสุ่ม 5 % ให้เกิดค่าขอการเดินทางระหว่างจุดในพื้นที่ทั้งหมด 171 จุด ดังนั้นจำนวนคู่ที่การเดินทางที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ 171 คูณ 171 หรือ 29,241 คู่ เนื่องจากผู้วิจัยมองว่าในการเดินทางด้วย ride sharing นั้น จำนวนคู่การเดินทางที่สามารถเกิดได้จะมีจำนวนน้อยกว่า 29,241 คู่ เนื่องจากพื้นที่ศึกษานั้นเป็นสถานศึกษาไม่ใช่บริบทเมือง ระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางนั้นจึงมีระยะสั้นและสามารถเดินเท้าและใช้ยานพาหนะอื่น เช่น จักรยาน สกู๊ตเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตั้งเงื่อนไขเพื่อตัดคู่การเดินทางที่ไม่สมเหตุผลออก ในการตั้งเงื่อนไขผู้วิจัยต้องการทราบระยะทางที่เกิดขึ้นของแต่ละคู่การเดินทางเพื่อใช้ในการดำเนินการตัดคู่การเดินทางที่ไม่สมเหตุผลออกด้วยเหตุผลข้างต้น โดยผู้วิจัยเลือกใช้ Excel VRP solver spreadsheet ในส่วนของ location และ Distance ของ (Erdoğan, 2017) ผ่าน Application Programming Interface (API) ของ Bing map ในการหาคู่การเดินทางทั้ง 29,241 คู่ เพื่อทราบระยะทางที่เกิดขึ้นของแต่ละคู่การเดินทางเพื่อใช้ในการดำเนินการตัดคู่การเดินทางที่ไม่สมเหตุผลออก (หมายเหตุ : ผู้วิจัยไม่

สามารถใช้ API ของ Google map ได้ เนื่องจากต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งาน แต่สำหรับในหัวข้อวิเคราะห์พฤติกรรมจากข้อมูลจริงที่กล่าวไปข้างต้นนั้น ผู้วิจัยใช้ Google map เพื่อความน่าเชื่อถือ โดยความน่าเชื่อถือจากผู้คนใช้งานในประจำวันและจึงทำให้ Google map มีข้อมูลในการปรับปรุงข้อมูลใหม่ตลอดกว่า Bing map)

ผู้วิจัยได้ตั้งเงื่อนไขในการตัดคู่การเดินทางออกมี **3 เงื่อนไข**ด้วยกัน

เงื่อนไข 1 คือโซนของจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางที่ไม่ใช่ตำแหน่งเดียวกัน ต่อมาเงื่อนไขที่ 2 คือตรวจสอบคู่การเดินทางที่อยู่ภายในโซนเดียวกันและโซนดังกล่าวผู้วิจัยจัดเป็นพื้นที่เปิดหรือไม่ (ที่อธิบายไปข้างต้นในการแบ่งโซน) และเงื่อนไขสุดท้ายจากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางด้วยระยะเวลาทางการเดินทางที่เกิดขึ้นผ่าน Google map ผู้วิจัยพบว่าระยะที่ต่ำที่สุดคือ 0.27 กิโลเมตร แต่มีเพียง 1 รายการเท่านั้น ผู้วิจัยจึงสรุปว่าคู่การเดินทางดังกล่าวเป็นค่าผิดปกติ (outlier) และระยะที่ต่ำรองลงมาคือ 0.4 กิโลเมตรซึ่งพบว่าระยะทางที่ 0.4-0.5 กิโลเมตร โดยการรวมข้อมูลทั้งสองวัน พบว่าการเดินทางด้วยรถยนต์ ที่ระยะอยู่ในช่วงดังกล่าวจำนวน 25 คู่การเดินทางตามลำดับใน 681 คู่การเดินทางทั้งหมดหรือคิดเป็น 3.67% ของทั้งหมดตามลำดับจากผลลัพธ์การวิเคราะห์พฤติกรรม การเรียกใช้บริการ ride sharing ของพื้นที่จุฬา-สยามในหัวข้อที่ 4.2 แต่เนื่องจากการลองทดสอบการจำลองพบว่าการเดินทาง 0.27 กิโลเมตร มีความระยะทางสั้นจนเกินไปทำให้ PTV VISUM ไม่สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้ ดังนั้นจากข้างต้นผู้วิจัยจึงกำหนดเงื่อนไขที่ 3 ในการสุ่ม ห้ามมีระยะทางที่ต่ำกว่า 0.4 กิโลเมตร จากการสังเกตข้อมูลผู้วิจัยพบว่า outlier ที่อยู่นอก 3 เงื่อนไขที่ได้กำหนดข้างต้นมี 1 กรณีคือการเดินทางเข้าในโซนที่กำหนด คือ การเดินทางจากตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ (A209) ไปจามจุรีสแควร์ (ข้างสนามบาสคณะบัญชี) (A230) ภายในโซนจุฬาฝั่งใหญ่ติดจามจุรีที่ผู้วิจัยจัดให้เป็นพื้นที่ปิดไม่ให้เดินทางด้วย ride sharing ภายในโซนได้ ซึ่งอยู่ในช่วง 17:30:00-18:29:59 น.

ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยเลือกที่จะตัด Outlier กรณีดังกล่าวออกก่อนการสุ่ม แล้วค่อยนำไปเติมให้เหมือนกับข้อมูลจริงที่ได้ในตอนสุดท้าย เนื่องจากหากนำไปสุ่มพร้อมกับคู่การเดินทางอื่นๆที่ตั้งเงื่อนไขตามสมมติฐานแล้ว ทำให้โอกาสเกิดคู่การเดินทาง outlier ดังกล่าวนั้นมากกว่า 1 รายการและขัดกับสิ่งที่ตั้งสมมติฐานไว้ สำหรับในการขยายค่าขอใช้บริการในช่วงนี้ (17:30:00-18:29:59 น.) ที่ว่า 100% จะต้องมีจำนวน 84 คำขอ โดยเป็นการสุ่มด้วยเทคนิค Monte Carlo 83 คำขอและเติมการเดินทางที่เป็น Outlier กรณีดังกล่าว ภายหลังเมื่อทำการสุ่มครบจำนวนทั้งหมดแล้ว

จากการทำการตัดโอกาสการเกิดค่าขอการเดินทางที่ไม่สมเหตุสมผล โดยผู้วิจัยตัดเงื่อนไขที่ 1 คือห้ามจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางเป็นจุดเดียวกันจำนวน 171 คู่ ในส่วนของเงื่อนไขที่ 2 คือห้ามเกิดการเดินทางด้วย ride sharing ภายในโซนของพื้นที่ปิด ไม่ให้เดินทางด้วย ride sharing จากการวิเคราะห์พฤติกรรมตามลักษณะแต่ละโซนที่ได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้า โดยพบว่ามีการเดินทาง 1300 คู่ และจากการคัดโอกาสการเกิดค่าขอการเดินทางตาม 2 เงื่อนไขข้างต้นนั้น ผู้วิจัยได้จัดเรียงระยะทางระหว่างคู่เดินทางที่มากที่สุดไปน้อยสุดโดยข้อมูลคู่การเดินทางและระยะทางจาก Bing map ในโหมด fastest path จากนั้นผู้วิจัยตัดคู่เดินทางที่มีระยะต่ำกว่า 0.4 กิโลเมตร (หรือตั้งแต่ 0.399 km) ตามเงื่อนไขที่ 3

****หมายเหตุสำหรับความแม่นยำจากข้อมูลของ Bing map**** จากกราฟเปรียบเทียบความแม่นยำของระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางผ่าน Bing map ในโหมด fastest path กับผ่าน Google map ด้วยข้อมูลการเดินทางที่ได้รับพบว่าระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางผ่าน Bing map ในโหมด fastest path มีความเสถียรและค่อนข้างเท่ากับผ่าน Google map ในช่วงไม่เกิน 1 กิโลเมตรในภาคผนวก ค. ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าการที่หาจำนวนการเดินทางผ่านที่ต่ำกว่า 0.4 กิโลเมตรผ่าน Bing map ในโหมด fastest path และตัดออกไปนั้นมีความสมเหตุสมผล โดยพบว่าเหลือจำนวนคู่การเดินทางที่สามารถเกิดขึ้นได้ 27,170 คู่ ดังนั้นโอกาสในการเกิดแต่ละคู่การเดินทางอยู่ที่ $1/27,170 = 3.68053 \times 10^{-5}$ ซึ่งแสดงถึงโอกาสการเกิดค่าขอใช้บริการที่เท่ากันของ 27,170 คู่

ตารางที่ 12 การสุ่มนาฬิกาในเวลาค่าขอใช้บริการที่ถูกขยาย

ช่วงเวลา		probability	*10,000	cumulative probability	Round	-1	RANGE
6:30:00-6:44:59	6	0.176471	1,764.706	1,764.706	1,765	1,764	0-1,764
6:45:00-6:59:59	7	0.205882	2,058.824	3,823.529	3,824	3,823	1,765-3,823
7:00:00-7:14:59	8	0.235294	2,352.941	6,176.471	6,176	6,175	3,824-6,175
7:15:00-7:29:59	13	0.382353	3,823.529	10,000	10,000	9,999	6,176-9,999
	34	1	10,000				

4. เมื่อได้ปริมาณข้อมูล 36 % ของวันที่ครอบคลุมช่วงความเชื่อมั่น 100 % ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการสุ่ม Monte Carlo simulation เพื่อขยายปริมาณข้อมูลจาก 36 % ไปเป็น 100% ของวัน ด้วยความน่าจะเป็นของคู่การเดินทางที่สามารถเกิดขึ้นได้ 27,170 คู่, ช่วงเวลาการเรียก (ช่วงเวลาบริการตั้งแต่ 6:30-21.30 น. โดยแบ่งช่วงละ 1 ชั่วโมงทั้งหมด 15 ช่วง) และจำนวนการเรียกบริการ (1-6 คน) ตัวอย่างในช่วง 6:30-7:29 น. โดยผู้วิจัยเริ่มต้นที่ 36% ของข้อมูลทั้งหมดพบว่ามีจำนวนคำขอใช้บริการ 34 คำขอใช้บริการ จากนั้นผู้วิจัยทำการเทียบบัญญัติไตรยางค์เพื่อต้องการทราบจำนวนคำขอใช้บริการของข้อมูลทั้งหมด จากการคำนวณพบว่าข้อมูลทั้งหมดในช่วง 6:30:00 - 7:29:59 น. จะมีจำนวน 94 คำขอใช้บริการ สำหรับความน่าจะเป็นของคำขอใช้บริการนั้นเพื่อรักษาลักษณะการเดินทางของพื้นที่ไว้จึงให้ 36% ที่มีความน่าจะเป็น 1 ต่อ 34 ในแต่ละคำขอใช้บริการมีโอกาสเกิดซ้ำที่ 95% ดังนั้นความน่าจะเป็นของแต่ละคำขอในกลุ่มนี้คือ $1/34$ คูณด้วย 0.95 หรือ 0.02794 ส่วน 5% นั้นทำการสุ่มจากโอกาสที่สามารถเกิดภายในพื้นที่ โดยเงื่อนไขเช่นเดียวกันการสุ่ม 5% ครั้งแรก ดังนั้นโอกาสในการเกิดแต่ละคู่การเดินทางอยู่ที่ $1/27,170 = 3.68053 \times 10^{-5}$ จากนั้นนำความน่าจะเป็นข้างต้นคูณด้วยโอกาส 0.05 ได้ความน่าจะเป็นของแต่ละคำขอในกลุ่มนี้คือ 1.84026×10^{-6} ซึ่งแสดงถึงโอกาสการเกิดคำขอใช้บริการที่เท่ากันของ 27,170 คู่

ต่อมาสำหรับการหาช่วงเวลาในการเกิดคู่การเดินทางนั้น ผู้วิจัยได้แบ่งช่วงเวลาแต่ละ 1 ชั่วโมงเป็น 4 ส่วนได้เป็นช่วงละ 15 นาทีและหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดใน 4 ช่วงดังกล่าว จากนั้นผู้วิจัยใช้เทคนิคการสุ่ม Monte Carlo simulation ในการสุ่มขยายช่วงเวลาที่เกิดให้มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลตั้งต้นที่สุด ตัวอย่างความน่าจะเป็นของช่วงเวลา 6:30:00-7:29:59 พบว่าช่วง 6:30:00-6:44:59, 6:45:00-6:59:59, 7:00:00-7:14:59, 7:15:00-7:29:59 มีความน่าจะเป็นในการเกิดคำขอใช้บริการที่ 0.176471, 0.205882, 0.235294, 0.382353 ตามลำดับ ดังตารางที่ 12 จากนั้น คูณความน่าจะเป็นข้างต้นด้วย 10,000 เพื่อให้เลขที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-10,000 และรวมผลความน่าจะเป็นในแต่ละช่วง (cumulative probability) จากนั้นปิดเศษและทำการกำหนดช่วงตัวเลขที่หากสุ่มตัวเลข แล้วหากทำการสุ่มตัวเลขแล้วเลขดังกล่าวอยู่ในช่วงใดจะสรุปได้ว่าคู่การเดินทางดังกล่าวเกิดในช่วงนั้นๆ เช่น หากการสุ่มได้เลข 5,000 ซึ่งอยู่ในช่วง 3,824-6,175 ดังนั้นคู่การเดินทางดังกล่าวจะเกิดในช่วง 7:00:00-7:14:59 น. มากไปกว่านั้น ผู้วิจัยได้เพิ่มความสมจริงทำการสุ่มนาทีและวินาทีให้ด้วยในแต่ละคำขอใช้บริการ ตัวอย่างเช่น หากจากการสุ่มช่วงเวลาในการเกิด trip request ของ Monte Carlo ตกในช่วง 7:00:00-7:14:59 น. ดังนั้นนาทีที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ

0 ถึง 14 ส่วนวินาทีที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ 0 ถึง 59 ใช้ฟังก์ชันสุ่ม random ใน excel ธรรมดาไม่มี
การใช้ความน่าจะเป็นเข้ามาเกี่ยวข้อง

ตารางที่ 13 การสุ่มจำนวนคนเรียก 1-6 คนในเวลาค่าขอใช้บริการที่ถูกขยาย

คนเรียก		probability	*10,000	cumulative probability	Round	-1	RANGE
1	29	0.852941	8,529.412	8,529.412	8,529	8,528	0-8,528
2	3	0.088235	882.3529	9,411.765	9,412	9,411	8,529- 9,411
3	0	0	0	9,411.765	9,412	9,411	9,412- 9,411
4	0	0	0	9,411.765	9,412	9,411	9,412- 9,411
5	0	0	0	9,411.765	9,412	9,411	9,412- 9,411
6	2	0.058824	588.2353	10,000	10,000	9,999	9,412- 9,999
sum	34	1	10,000				

ในทำนองเดียวกัน ขั้นตอนต่อไปคือการหาความน่าจะเป็นของจำนวนผู้ใช้บริการตั้งแต่ 1 ถึง 6 พบว่า
มีความน่าจะเป็นดังนี้ 0.852941, 0.088235, 0,0,0, 0.058824 ตามลำดับดัง **ตารางที่ 13** จากนั้น
คูณความน่าจะเป็นข้างต้นด้วย 10,000 เพื่อให้เลขที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-10,000 และรวมผลความน่าจะเป็น
เป็นในแต่ละช่วง (cumulative probability) จากนั้นปัดเศษและทำการกำหนดช่วงตัวเลขที่หากสุ่ม
ตัวเลข แล้วหากทำการสุ่มตัวเลขแล้วเลขดังกล่าวอยู่ในช่วงใดจะสรุปได้ว่าคู่การเดินทางดังกล่าวเกิด
ในช่วงนั้นๆ เช่น หากการสุ่มได้เลข 5,000 ซึ่งอยู่ในช่วง 0-8,528 โดยช่วงดังกล่าวเป็นการเรียกใช้
บริการ 1 คน

ตารางที่ 14 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลขยายจากการสุ่ม 5%

ช่วงเวลา	คู่มือการเดินทางสุ่มนอกเหนือข้อมูลดิบ	จำนวนที่สุ่ม	หมายเหตุ
6:30:00-7:29:59	2	94	
7:30:00-8:29:59	6	97	
8:30:00-9:29:59	8	100	
9:30:00-10:29:59	7	193	
10:30:00-11:29:59	12	250	
11:30:00-12:29:59	9	278	
12:30:00-13:29:59	11	181	
13:30:00-14:29:59	8	142	
14:30:00-15:29:59	7	153	
15:30:00-16:29:59	6	125	
16:30:00-17:29:59	6	103	
17:30:00-18:29:59	4	83	+1 กรณี outlier ที่ 2 เป็น 84
18:30:00-19:29:59	1	69	
19:30:00-20:29:59	2	58	
20:30:00-21:29:59	2	69	
รวม	91	1996	คิด 4.56% ที่ไม่ได้อยู่ในคู่มือการเดินทางจากข้อมูลตั้งต้น

ตารางที่ 15 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลขยายจากสัดส่วนจำนวนคนเรียก 1 ถึง 6 คน

	ข้อมูล 2 วัน		ข้อมูลหลังการขยาย	
	จำนวนเรียก	เปอร์เซ็นต์	จำนวนเรียก	เปอร์เซ็นต์
จำนวนเรียก 1 คน	458	67.25%	1319	66.08%
จำนวนเรียก 2 คน	139	20.41%	415	20.79%
จำนวนเรียก 3 คน	32	4.70%	101	5.06%
จำนวนเรียก 4 คน	20	2.94%	53	2.66%
จำนวนเรียก 5 คน	4	0.59%	17	0.85%
จำนวนเรียก 6 คน	28	4.11%	91	4.56%
	681	100.00%	1996	100.00%

5. เมื่อได้ข้อมูลที่ขยายปริมาณ 100 % ของวันและตรวจสอบความถูกต้องที่ทำการสุ่มด้วย 5% ของข้อมูลจริงพบว่า มีจำนวนคู่มือการเดินทางที่ไม่ได้อยู่ในข้อมูลตั้งต้นคิด 4.56% ซึ่งมีความใกล้เคียงกับ 5% โดยรายละเอียดแสดงดัง**ตารางที่ 14** และจำนวนสัดส่วนคนเรียกบริการ 1-6 จากการเปรียบเทียบข้อมูล 2 วันและข้อมูลหลังจากการขยายด้วยเทคนิคการสุ่ม Monte Carlo พบว่าต่างกันสูงสุดเพียง 1.17% ดัง**ตารางที่ 15** หลังจากผู้วิจัยได้ข้อมูลการสุ่มที่ขยายปริมาณ 100 % ของวัน (จำนวนคู่มือการเดินทาง 1,995 คู่) แล้วนำคู่มือการเดินทางที่เป็น outlier กรณีที่ตัดออกไปกลับมาเติม จะ

ได้จำนวนคู่การเดินทางทั้งหมด 1,996 คู่ เมื่อได้ข้อมูลคู่การเดินทางครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยจะถูกนำไปใช้สร้าง trip request ภายใน PTV VISUM ต่อไป

4.4 การกำหนดตัวแปรในการจำลอง

ในการจำลองตัวแปรที่สำคัญประกอบด้วยตัวแปรต้นได้แก่ ระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จ และตัวแปรที่ตั้งเป็นตัวแปรควบคุมได้แก่ ช่วงเวลาจำลอง จำนวนยานพาหนะในการจำลอง ความจุของยานพาหนะ ตำแหน่งและจำนวนสถานีชาร์จ Cost function และพฤติกรรมของผู้ใช้บริการ

4.4.1 ตัวแปรต้น

ตัวแปรต้นของงานวิจัยนี้ได้แก่ ระยะวิ่งต่อการชาร์จ และอัตราการชาร์จ เพื่อดูผลกระทบต่อตัวแปรข้างต้นกับการให้บริการ ride sharing โดยการวิเคราะห์ในการเลือกขนาดแบตเตอรี่หรือระยะวิ่งต่อการชาร์จ และระยะเวลาการชาร์จไฟฟ้า ใน PTV VISUM สามารถกำหนดระยะวิ่งต่อการชาร์จ และระยะเวลาการชาร์จไฟฟ้าในช่วง 0-80% และ 80-100% ของแบตเตอรี่ แต่ก่อนการกำหนดเลือก ระยะวิ่งต่อการชาร์จ และระยะเวลาการชาร์จไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทดสอบตรรกะของซอฟต์แวร์ตามที่คู่มือของซอฟต์แวร์บอกคือเงื่อนไขการชาร์จและเงื่อนไขในการส่งไปชาร์จ โดยในส่วนของเงื่อนไขของการชาร์จนั้น คู่มืออ้างว่ายานพาหนะจะออกเมื่อชาร์จสมบูรณ์เท่านั้น ไม่มีการออกไปตอบรับคำขอใช้บริการระหว่างการชาร์จได้ ในส่วนของเงื่อนไขในการส่งไปชาร์จนั้น คู่มือของซอฟต์แวร์อ้างว่าระยะเวลาปลอดภัยคือระยะทางระหว่างยานพาหนะกับสถานีที่ใกล้สุดและมีเกณฑ์ขั้นต่ำในการถูกส่งกลับมาชาร์จ ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบสำหรับเงื่อนไขการไปชาร์จนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบว่ามีซอฟต์แวร์มีเงื่อนไขในการส่งยานพาหนะไปสถานีด้วยสถานการณ์ใด เบื้องต้นผู้วิจัยคาดว่าซอฟต์แวร์อาจจะมีระยะทางหรืออัตราส่วนระยะทางของยานพาหนะที่เหลือที่สามารถวิ่งได้กับระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะทั้งหมดที่เป็นขอบเขตในการขึ้นสถานะไปชาร์จจึงได้ทำการทดสอบด้วยหลากหลาย ระยะวิ่งต่อการชาร์จ ของยานพาหนะในการจำลอง

ตัวอย่างการทดสอบเช่น ใน ระยะวิ่งต่อการชาร์จ 5 และ 10 กิโลเมตรพบว่าม้อตราส่วนระยะทางของยานพาหนะที่เหลือที่สามารถวิ่งได้กับระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะทั้งหมดของแต่ละคันอยู่ที่ประมาณ 50% และ 30% ตามลำดับและระยะทางที่เหลือเมื่อถึงสถานีชาร์จอยู่ที่ประมาณ 2.5 และ 3 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนระยะวิ่งต่อการชาร์จที่ใช้ในจำลอง (60, 90 และ 120 กิโลเมตร) พบว่าม้อตราส่วนระยะทางของยานพาหนะที่เหลือที่สามารถวิ่งได้กับระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะทั้งหมดของแต่ละคันค่อนข้างกระจายตัวแต่พบว่าไม่เกิน 25% และระยะทางที่เหลือ

เมื่อถึงสถานีชาร์จอยู่ต่ำที่สุดประมาณ 3 กิโลเมตร เพื่อความมั่นใจผู้วิจัยได้ทดสอบในระยะวิ่งต่อการชาร์จ 300 กิโลเมตรพบว่ามียอตราส่วนระยะทางของยานพาหนะที่เหลือที่สามารถวิ่งได้กับระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะทั้งหมดของแต่ละคันอยู่ที่ประมาณ 20% และระยะทางที่เหลือเมื่อถึงสถานีชาร์จอยู่ที่ประมาณ 60 กิโลเมตร

ผู้วิจัยคาดว่าขึ้นกับระยะทางที่เหลือที่สามารถวิ่งได้ของยานพาหนะ โดยพิจารณาการเดินทางไปยังสถานีและระยะของค่าขอใช้บริการ ณ เวลานั้นๆ จากการทดสอบในระยะวิ่งต่อการชาร์จ 5 และ 10 กิโลเมตรนั้นการที่วิ่งให้บริการไม่ก็ค่าขอก็ต้องประเมินการไปชาร์จแล้ว ดังนั้นเหตุผลข้างต้นอาจทำให้การที่ % ของระยะวิ่งต่อการชาร์จนั้นถูกส่งไปชาร์จนั้นสูง 50% และ 30% ในยานพาหนะที่มีระยะวิ่งต่อการชาร์จ 5 และ 10 กิโลเมตรตามลำดับในขณะที่ระยะวิ่งต่อการชาร์จสูงนั้นมีอัตราส่วนระยะทางของยานพาหนะที่เหลือที่สามารถวิ่งได้กับระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะทั้งหมดค่อนข้างกระจายตัวแต่พบว่ามีไม่เกิน 25% (ตั้งแต่ระยะ 60-300 กิโลเมตร) และระยะทางที่เหลือเมื่อถึงสถานีชาร์จอยู่ต่ำที่สุดประมาณ 3 กิโลเมตร (ระยะ 60-120 กิโลเมตร) นั้นแสดงให้เห็นว่าเกณฑ์การส่งไปชาร์จอาจอยู่ที่ไม่เกิน 25% จะขึ้นเตือนสถานะการต้องถูกส่งไปชาร์จแต่สามารถวิ่งต่อและประเมินระยะทางเพื่อให้สามารถกลับไปถึงสถานี

ในส่วนของการกำหนดเลือกค่าระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จนั้น เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมในการจำลองการให้บริการ ride sharing พบว่ามีการเปรียบเทียบการเลือกใช้คุณสมบัติยานพาหนะและตัวชาร์จ 2 แบบดังนี้ รูปแบบแรกคือกำหนดระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะพร้อมกับเวลาในการชาร์จที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น Loeb และ Kockelman เปรียบเทียบระยะวิ่งต่อการชาร์จ ด้วยกัน 2 ระยะ ได้แก่ 60 และ 200 ไมล์ และระยะเวลาการชาร์จไฟฟ้าได้แก่ 240 และ 30 นาที (Loeb & Kockelman, 2019) อีกรูปแบบคือกำหนดขนาดแบตเตอรี่และขนาดการชาร์จ ตัวอย่างเช่น Vosooghi และคณะเปรียบเทียบขนาดแบตเตอรี่ด้วยกัน 2 ระยะ ได้แก่ 41 และ 50 kWh และขนาดเต้าชาร์จได้แก่ 22 และ 43 kW (Vosooghi et al., 2020)

ในส่วนของคุณสมบัติแบตเตอรี่ของ ride sharing ในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีขนาดได้แก่ 10.4 kWh ผู้วิจัยได้หาประเภทยานพาหนะและคุณสมบัติที่คาดว่าจะใกล้เคียงกับในบริการมากที่สุดพบว่ายานพาหนะมีขนาดแบตเตอรี่ 10.8 kWh สามารถวิ่งได้ประมาณ 120 กิโลเมตร (omegaseikimobility, 2023) ในการกำหนดค่าใน PTV VISUM ต้องการระยะวิ่งต่อการชาร์จ ดังนั้นผู้วิจัยกำหนดระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะในการจำลองเบื้องต้นเป็น 120 กิโลเมตร

ส่วนการกำหนดขนาดเต้าชาร์जनั้นได้อ้างอิงจากข้อมูลจากบริการ ride sharing โดยระยะเวลาการชาร์จจากแบตเตอรี่ 20% ถึง 100% ใช้เวลา 30 นาทีในการชาร์จแบบเร็วและใช้เวลา 150 นาทีในการชาร์จแบบช้าตามลำดับ ถึงแม้ภายใน PTV VISUM สามารถกำหนดความเร็วในการชาร์จได้เลย แต่ในการจำลอง ต้องกำหนดความเร็วในการชาร์จ ซึ่งจะแบ่งการชาร์จช่วง 0-80% และ 80-100% (เนื่องจากในการชาร์จแบตเตอรี่จะมีอัตราการชาร์จไม่เท่ากัน) แต่โดยทั่วไปทั้งสองช่วงใช้เวลากลับเคียงกัน (Loeb et al., 2018) ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลาการชาร์จในช่วง 0-80% และ 80-100% ของแบตเตอรี่ โดยให้ระยะเวลาการชาร์จแบบเร็วและแบบช้าเท่ากันทั้งสองช่วงด้วยเวลา 30 นาทีและ 150 นาทีตามลำดับ

เนื่องจากระยะวิ่งต่อการชาร์จสูงสุดคือ 120 กิโลเมตรและใช้เวลาในการชาร์จเร็วที่สุด 30 นาที ทั้งในช่วง 0-80% และ 80-100% ของแบตเตอรี่หรือขนาดแบตเตอรี่ที่ใหญ่ที่สุดและขนาดตัวชาร์จที่ใหญ่ที่สุดดังนั้นต้นทุนจะมากที่สุด ผู้วิจัยคาดหวังในการลดต้นทุนจากที่ใช้จริง โดยการลดขนาดแบตเตอรี่โดยใช้ขนาดตัวชาร์จด้วยกำลังเท่าเดิม จากข้อมูลที่ได้รับ ในการประเมินผลกระทบจะมีผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จ 2 ขนาดที่ต่ำกว่า 120 กิโลเมตรและตัวชาร์จ 1 ขนาดที่อยู่ระหว่างตัวชาร์จแบบเร็วและแบบช้าเพื่อให้ผลลัพธ์สามารถวิเคราะห์ได้ดีมากยิ่งขึ้น จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยเลือกระยะวิ่งต่อการชาร์จที่จะเพิ่มเข้าไปในการจำลองคือ 60 และ 90 กิโลเมตรหรือลดลง 50 และ 25% ของระยะวิ่งต่อการชาร์จ 120 กิโลเมตร แต่การใช้ตัวชาร์จที่ขนาดเท่ากันแต่ในการชาร์จยานพาหนะที่มีระยะวิ่งต่อการชาร์จต่างกันนั้นจะใช้เวลาไม่เท่ากัน ซึ่งในโปรแกรมต้องกำหนดการชาร์จในหน่วยเวลา

เนื่องจากซอฟต์แวร์กำหนดเวลาในการชาร์จและข้อมูลเวลาในการชาร์จได้รับมาจากผู้ให้บริการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องหาขนาดตัวชาร์จในหน่วย kW เทียบอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับเวลาในการชาร์จเพื่อให้สามารถกำหนดค่าอ้างอิงจากความเป็นจริงมากที่สุด ขนาดตัวชาร์จในตลาดพบว่ามีอยู่ด้วยกันหลายขนาดได้แก่ 3.6, 7.2, 11 และ 22 kW จากขนาดแบตเตอรี่ 10.4 kWh ดังนั้นเวลาในการชาร์จแต่ละขนาดตัวชาร์จจะได้อัตราส่วนดังนี้ 2.82:1.44:0.95:0.47 ชั่วโมงตามลำดับ จากข้อมูลเวลาในการชาร์จที่ได้รับ 2.5 และ 0.5 ชั่วโมงซึ่งเป็นค่าโดยประมาณที่ได้รับ ดังนั้นผู้วิจัยได้นำอัตราส่วนข้างต้นมาอ้างอิงโดย 2.5 ไก้ 2.82 และ 0.5 ไก้เคียง 0.47 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอีกขนาด 1 มาช่วยในการเปรียบเทียบคือ 0.95 หรือให้เป็น 1 ชั่วโมง ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกอัตราส่วนได้แก่ 2.5 : 1 : 0.5 ชั่วโมงหรือ 150 : 60 : 30 นาที (ขนาดตัวชาร์จ เล็ก:กลาง:ใหญ่)

ตารางที่ 16 สถานการณ์จำลองการเปลี่ยน Range และอัตราการชาร์จ

#	scenario	Range of vehicle	charging time (min) (0-80%)/(80-100%)
1	Rs: Pf	60	15/15
2	Rs: Pm	60	30/30
3	Rs: Ps	60	75/75
4	Rm: Pf	90	22.5/22.5
5	Rm: Pm	90	45/45
6	Rm: Ps	90	112.5/112.5
7	RL: Pf	120	30/30
8	RL: Pm	120	60/60
9	RL: Ps	120	150/150

Note: Rs = Short Range, Rm = Medium Range, RL = Long Range, Pf = power charger for fast charging time, Pm = power charger for medium charging time, Ps = power charger for slow charging time

ดังนั้น จากข้างต้นได้อัตราส่วนอัตราชาร์จ 3 ขนาดแล้ว เพื่อหาเวลาในการชาร์จของแต่ละตัวชาร์จแต่ละขนาดในแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จ จึงต้องทราบแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จนั้นมีขนาดแบตเตอรี่เท่าไร เนื่องจากเป็นยานพาหนะที่ระยะวิ่งต่อการชาร์จ 60 และ 90 กิโลเมตรไม่ได้มีข้อมูลตามท้องตลาด ผู้วิจัยจึงได้ตั้งสมมติฐานให้ขนาดแบตเตอรี่นั้นแปรผันตรงกับระยะทาง โดยจากข้อมูลขนาดแบตเตอรี่ 10.4 kWh สามารถวิ่งได้ 120 กิโลเมตร ดังนั้น 60 และ 90 กิโลเมตร ผู้วิจัยจึงสมมติว่ามีขนาด 5.2 และ 7.8 kWh ตามลำดับ ดังนั้นที่แต่ละขนาดตัวชาร์จเมื่อเทียบในแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จ จะเลียนแบบสัดส่วนตามระยะวิ่งต่อการชาร์จ 120 กิโลเมตร โดยที่ 60 กิโลเมตรได้เวลาในการชาร์จ 75 : 30 : 15 นาที ส่วนใน 90 กิโลเมตรได้เวลาในการชาร์จ 112.5 : 45 : 22.5 นาที จากการสมมติข้างต้นในงานวิจัยนี้จะมีระยะวิ่งต่อการชาร์จ และเวลาในการชาร์จเพื่อกรอกเข้าไปก่อนการจำลองดังตารางที่ 16

4.4.2 ตัวแปรควบคุม

เพื่อกำหนดกรอบการให้บริการ จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้รับจากบริการจริงมาวิเคราะห์และกำหนดค่าให้เหมาะสม โดยตัวแปรที่ต้องกำหนดค่าประกอบด้วยเงื่อนไข Max. arrival time (Maximum detour time, detour time always accepted, Maximum detour factor) และ Maximum wait time

4.4.2.1 การวิเคราะห์กรอบการให้บริการด้วยเงื่อนไขในสมการ Maximal arrival time

ในการกำหนดกรอบการให้บริการนั้นขึ้นอยู่กับสมการที่ (3.2) ในบทที่ 3 ที่ถูกติดตั้งไว้ในซอฟต์แวร์ โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เงื่อนไขในพจน์ที่ 3 เพื่อกำหนดค่า Maximum detour time, detour time always accepted, Maximum detour factor โดยมีเงื่อนไข

$$\min (\max ((Max. detour factor - 1) \times shortest travel time, always accepted detour time), Max. detour time)$$

โดยจะเห็นได้ว่ามีเงื่อนไขในพจน์นี้ซ้อนกัน 2 เงื่อนไขด้วยกัน โดยซอฟต์แวร์จะเริ่มพิจารณาเงื่อนไขแรก (วงเล็บ Max.) โดยเปรียบเทียบค่าระหว่าง เวลาที่อ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นจากการคำนวณของผลต่างค่า Max. detour factor ที่กำหนดกับ 1 (การเดินทางปกติที่ใช้เวลาสั้นที่สุด) คูณกับระยะเวลาที่ใช้เดินทางสั้นที่สุดของคู่ O-D (Shortest travel time) หรือผลคูณของ Max. detour factor โดยจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเวลาขั้นต่ำที่ผู้ใช้บริการยินยอมในการอ้อมไปรับผู้โดยสารผู้อื่น (detour time always accepted) ที่ได้กำหนด เมื่อได้ค่าที่มากที่สุดระหว่าง 2 ค่าข้างต้นแล้วค่ามากที่สุดในการเงื่อนไขแรกจะถูกนำไปพิจารณาเงื่อนไขที่ 2 (วงเล็บ Min.) โดยจะเปรียบเทียบค่าระหว่างเวลาที่มากที่สุดจากเงื่อนไขแรกกับเวลาสูงสุดที่ผู้ใช้บริการยินยอมในการอ้อมไปรับผู้โดยสารผู้อื่น (Maximum detour time) ที่ได้กำหนด โดยเงื่อนไขที่ 2 นี้จะเลือกค่าน้อยที่สุดระหว่าง 2 ค่าข้างต้น เพื่อนำไปคิด Maximum arrival time ของแต่ละค่าของการเดินทางนั้นๆ ไม่ให้เกิดการอ้อมที่ไม่สมเหตุสมผล ตัวอย่างเช่น การเดินทางที่ระยะ 1 กิโลเมตรนั้น โอกาสการอ้อมเพื่อไปแวะรับผู้ใช้บริการรายอื่นจะน้อยกว่าการเดินทางที่ระยะ 3 กิโลเมตรที่สามารถผ่านจุดบริการอื่นๆ จำนวนมากกว่า ดังนั้นเพื่อไม่ให้กรณีที่ 1 กิโลเมตรต้องโดนบังคับในการวนไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นที่ไม่อยู่ในเส้นทางและใช้เวลาอ้อมนาน เงื่อนไขซ้อนทับนั้นจึงมีเพื่อทำให้การจำลองมีความสมเหตุสมผลมากขึ้น โดยเห็นได้ว่าเริ่มการพิจารณาจากระยะเวลาการเดินทางที่สั้นที่สุดของค่านั้นๆ เพื่อให้กำหนดค่า detour time always accepted, Max. detour time และ Max. detour factor ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาเงื่อนไขที่สามารถเกิดขึ้นได้ตามเงื่อนไขแรก (วงเล็บ Max.) และเงื่อนไขที่ 2 (วงเล็บ Min.) พบว่ามี 2 และ 4 กรณีพิจารณาด้วยกันตามลำดับ

สถานการณ์ในเงื่อนไขแรก (วงเล็บ Max.)

ในกรณีการเปรียบเทียบค่าผลคูณของ Max. detour factor และ detour time always accepted

α) ถ้าค่าผลคูณของ Max. detour factor มากกว่า detour time always accepted $A1 > A2$ เงื่อนไขแรกจะเลือกค่าจาก ค่าผลคูณของ Max. detour factor ไปพิจารณาต่อในเงื่อนไขที่ 2 หรือ Max. Detour factor เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในเงื่อนไขแรก

β) ถ้าค่าผลคูณของ Max. detour factor น้อยกว่า detour time always accepted $A2 > A1$ เงื่อนไขแรกจะเลือกค่าจาก detour time always accepted ไปพิจารณาต่อในเงื่อนไขที่ 2 หรือ detour time always accepted เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในเงื่อนไขแรก

สำหรับเงื่อนไขที่ 2 (วงเล็บ Min.)

ในกรณี α นำค่าผลคูณของ Max. detour factor เทียบกับ Max. detour time

$\alpha 1$) ถ้าค่าผลคูณของ Max. detour factor น้อยกว่า Max. detour time หรือ Max. Detour factor เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในคำขอใช้บริการนั้นๆ

$\alpha 2$) ถ้าค่าผลคูณของ Max. detour factor มากกว่า Max. detour time หรือ Max. Detour time เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในคำขอใช้บริการนั้นๆ

จากข้างต้นผู้วิจัยจะต้องพิจารณากำหนดค่าตามกรณี $\alpha 1$ หรือ $\alpha 2$ เพื่อสร้างกรอบการให้บริการ โดยเนื่องจากผู้วิจัยต้องการกำหนดกรอบของระบบให้ชัดเจน จากการพิจารณาข้างต้นสำหรับกรณี $\alpha 1$ กรอบจะเปลี่ยนแปลงตาม Shortest travel time แต่สำหรับกรณี $\alpha 2$ กรอบจะมีค่าคงที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกรณี $\alpha 2$ ในการสร้างกรอบการให้บริการ

ในกรณี β นำค่า detour time always accepted เทียบกับ Max. detour time

$\beta 1$) ถ้า detour time always accepted น้อยกว่า Max. detour time หรือมีนัยยะว่า detour time always accepted เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในคำขอใช้บริการนั้นๆ

$\beta 2$) ถ้า detour time always accepted มากกว่า Max. detour time หรือมีนัยยะว่า detour time always accepted เป็นตัวกำหนดกรอบการให้บริการในคำขอใช้บริการนั้นๆ

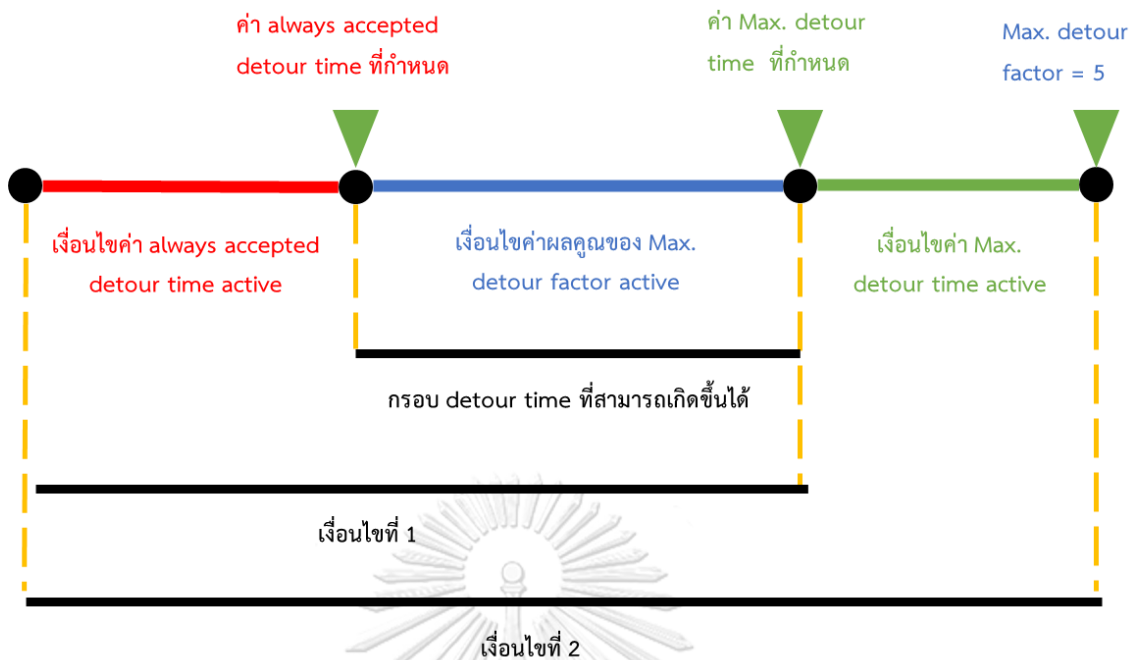
แต่ด้วยความหมายของตัวแปรทั้งสองในการกำหนดให้ detour time always accepted มากกว่า Max. detour time นั้นไม่สมเหตุสมผล ดังนั้นกรณี β จะพิจารณาได้เฉพาะกรณี $\beta 1$ ในการสร้างกรอบการให้บริการ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกรณี $\alpha 2$ และ $\beta 1$ โดยขอบเขตการกำหนดตัวแปรได้แก่ผลคูณของ Max. detour factor มากกว่า Max. detour time และ detour time always accepted น้อยกว่า Max. detour time ตามลำดับ จากการเลือกเงื่อนไขข้างต้นทำให้กรอบการให้บริการนั้นจะมีช่วงพิจารณา 3 ช่วงด้วยกันดังนี้

ช่วงเงื่อนไขค่า detour time always accepted active คือช่วงที่ Shortest travel time มีระยะสั้นทำให้ผลคูณของ Max. detour factor มีค่าน้อยกว่า detour time always accepted active ในเงื่อนไขแรกและค่า detour time always accepted มีค่าน้อยกว่า Max. detour time ในเงื่อนไขที่ 2

ช่วงเงื่อนไขค่าผลคูณของ Max. detour factor active คือช่วงที่ Shortest travel time ที่ให้ผลคูณของ Max. detour factor มีค่ามากกว่า detour time always accepted active ในเงื่อนไขแรกและค่าผลคูณของ Max. detour factor มีค่าน้อยกว่า Max. detour time ในเงื่อนไขที่ 2

ช่วงเงื่อนไขค่า Max. detour time active คือช่วงที่ Shortest travel time ที่ให้ผลคูณของ Max. detour factor มีค่ามากกว่า detour time always accepted active ในเงื่อนไขแรกและค่าผลคูณของ Max. detour factor มีค่ามากกว่า Max. detour time ในเงื่อนไขที่ 2 แสดงดังรูปที่ 25

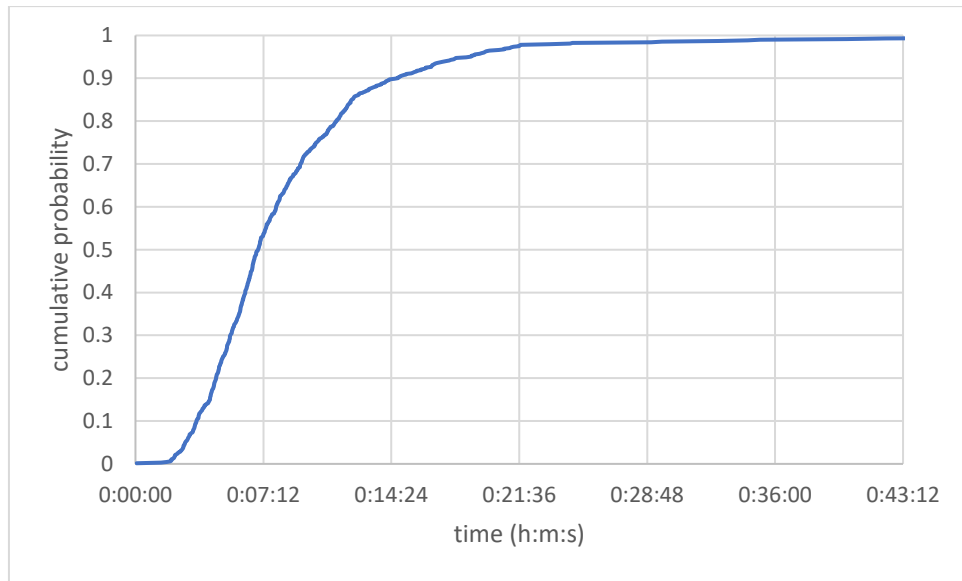


รูปที่ 25 กรอบการให้บริการของงานวิจัยนี้

จากกรอบการให้บริการที่ได้อธิบายข้างต้นเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไข $\alpha 2$ ผู้วิจัยจึงต้องการกำหนดค่า Max. detour factor ให้มีค่าสูงสุดเท่าที่ทำได้ โดยค่าสูงสุดที่สามารถกำหนดได้ใน PTV VISUM คือ 5 และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าในช่วงกำหนด Max. detour factor อยู่ระหว่าง 1.5 และ 5 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนด Max. detour factor เท่ากับ 5 ส่วนในการกำหนดค่า detour time always accepted และ Max. detour time ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ travel time จากข้อมูลบริการในการกำหนด 2 ค่าข้างต้น

4.4.2.2 การวิเคราะห์ค่า travel time

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ travel time จากข้อมูลที่ผู้วิจัยได้รับนั้นจากเวลาที่การเดินทางเสร็จสิ้น (Trip done time) และเวลาที่ผู้ใช้บริการขึ้นยานพาหนะ (onboard time) โดยผู้วิจัยได้นำมาหาผลต่างของเวลาทั้งสองข้างต้น (Trip done time – onboard time) ตามรูปที่ 26 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 17

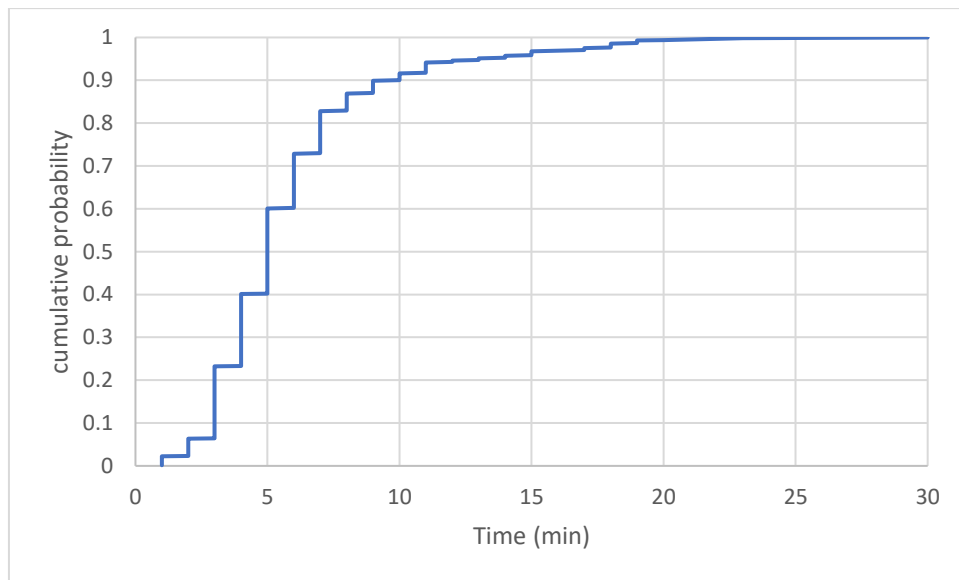


รูปที่ 26 cumulative distribution plot of travel time ของข้อมูลที่ได้รับ

ตารางที่ 17 จำนวน travel time จากข้อมูลที่ได้รับในแต่ละช่วง

travel time 2 วัน	ต่ำกว่า 30 นาที	ต่ำกว่า 25 นาที	ต่ำกว่า 20 นาที	ต่ำกว่า 15 นาที	ต่ำกว่า 10 นาที	ต่ำกว่า 5 นาที
จำนวน	671	669	657	617	503	172
คิดเป็น % ของ ทั้งหมด (681)	98.53%	98.24%	96.48%	90.60%	73.86%	25.26%

ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับการใช้ travel time จากบริการนั้นเกิน 30 นาที นั่นถือว่าเป็นเวลาที่นานในการเดินทางในพื้นที่เพียง 6.88 ตารางกิโลเมตร ผู้วิจัยจึงต้องการตรวจสอบว่า travel time นั้นอาจมีการอ้อมเกิดขึ้น โดยการหาเวลาในการเดินทางแต่ละคำขอใช้บริการผ่าน Google map เพื่อประเมินเวลาที่อาจมีการอ้อมได้ตั้งรูปที่ 27 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 18



รูปที่ 27 cumulative distribution travel time ของแต่ละคำขอผ่าน google map

ตารางที่ 18 จำนวน travel time จาก Google map ในแต่ละช่วง

travel time from Google map	ต่ำกว่า 30 นาที	ต่ำกว่า 25 นาที	ต่ำกว่า 20 นาที	ต่ำกว่า 15 นาที	ต่ำกว่า 10 นาที	ต่ำกว่า 5 นาที
จำนวน	681	680	677	659	624	409
คิดเป็น % ของทั้งหมด (681 คำขอ)	100.00%	99.85%	99.41%	96.77%	91.63%	60.06%

จากทั้งข้อมูลให้บริการนั้น มีส่วนน้อยที่มีการเดินทางในพื้นที่ศึกษาเกิน 30 นาที และ travel time ของแต่ละคำขอจาก google map ก็พบว่าไม่มีคำขอที่ใช้เวลาในการเดินทางที่ไม่เกิน 30 นาที มากไปกว่านั้นเนื่องจากผู้วิจัยพบว่าจำนวนการเดินทางที่ไม่เกิน 10 นาทีนั้น จากข้อมูลจริงมีค่าอยู่ที่ 73.862% และจาก google map อยู่ที่ 91.63% หรือประมาณ 100 คำขอซึ่งที่มีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน ข้อสังเกตจากข้อมูลข้างต้นอาจเกิดขึ้นเพราะกระบวนการในการให้บริการในระบบ จากการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นหรือการจราจรที่คาดเดาไม่ได้ โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสมมติว่าเป็นจากการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการอื่น ดังนั้นเพื่อหาค่า Max. detour time ดังสมการ

$$\text{Travel time from service} = \text{actual travel time} + \text{detour time} \quad (5.1)$$

โดย Travel time from service คือข้อมูลให้บริการจริง เนื่องจากมีเพียงส่วนน้อยที่มีใช้เวลาในการเดินทางเกิน 30 นาทีในพื้นที่ ในกรอบสมการข้างต้นจึงกำหนดให้ขอบเขตของ Travel time from service สูงสุดที่ 30 นาที ในส่วนของ actual travel time คือเวลาเดินทางแต่ละคำขอซึ่งหาจาก Google map

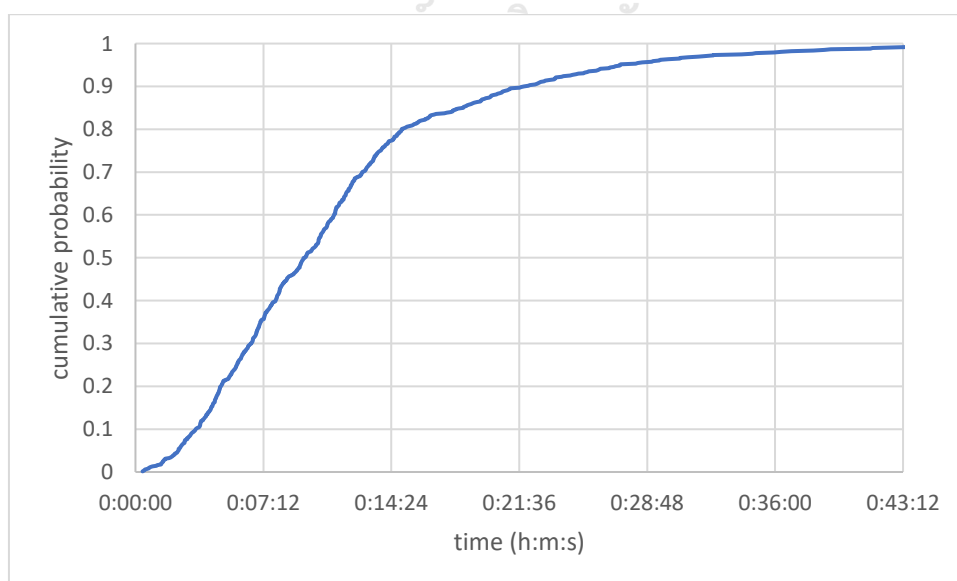
ในการกำหนดค่า Max. detour time นั้นเนื่องจาก travel time from service ที่ต่ำกว่า 15 นาทีจากของข้อมูลบริการและ google map มีค่าอยู่ที่ 90.602% และ 96.77% ซึ่งสื่อให้เห็นว่าการเดินทางส่วนมากใช้เวลาเดินทางไม่เกิน 15 นาที ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ max detour time ตั้งต้นเป็น 15 นาที เพื่อให้สามารถมีการรับคำขอการเดินทางอื่นได้เท่าตัวกับการเดินทางของคำส่วนมาก โดยเปรียบเสมือนการไปส่งคำขอใช้บริการดังกล่าวได้ประมาณ 2 รอบ และเพื่อไม่ให้กรอบการให้บริการเกิดการอ้อมจนมากเกินไปหากกำหนดสูงกวานี้ ตัวอย่างเช่น จากที่กำหนด Max. detour factor เป็น 5 และมีคำขอใช้บริการ 6 นาที กรอบพิจารณาเบื้องต้นจะสามารถอ้อมสูงสุดถึง 30 นาที แต่เพื่อไม่ให้เกิดการไม่สมเหตุสมผล ดังนั้นกรอบ Max. detour time จึงเป็นตัวกำหนดในการอ้อมตามเงื่อนไขในโปรแกรมที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.4.2.1 หากตั้ง Max. detour time 15 นาที จะเห็นได้ว่าเป็นกรอบเวลาการอ้อมที่สมเหตุสมผลกว่าตั้ง Max. detour time 30 นาที ซึ่งไม่ได้ต่างกับการอ้อม 30 นาทีที่เกิดจาก Max. detour factor สุดท้ายนี้การกำหนดให้ max detour time เป็น 15 นาทีนั้นมีความสมเหตุสมผลกับพื้นที่ เพราะพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยในขณะที่พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยอื่นๆ เป็นพื้นที่ระดับเมืองซึ่งกำหนด 30, 45 และ 60 นาทีดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3

ส่วนในการกำหนดค่า detour time always accepted นั้น จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการกำหนด 0 และ 10 นาทีดังที่กล่าวไปในบทที่ 3 หากผู้วิจัยกำหนดให้ detour time always accepted เป็น 0 จะทำให้กรอบที่ได้วิเคราะห์ไว้นั้นเปลี่ยน และด้วยเนื่องจากเป็นบริการ ride sharing ซึ่งเป็นบริการที่มีจุดประสงค์ในการใช้ยานพาหนะร่วมกัน ดังนั้นการเลือกใช้บริการ ride sharing นั้น ผู้ใช้บริการได้มีการตระหนักถึงการอ้อมที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างบริการก่อนการเลือกใช้อุปกรณ์แล้ว มิฉะนั้นผู้บริการควรเลือกบริการอื่นแทนการใช้บริการ ride sharing ตั้งแต่นั้น ดังนั้นค่า detour time always accepted ที่กำหนดได้เหลือ 5 และ 10 นาที เนื่องจากพื้นที่การจำลองของ 10 นาทีนั้นเป็นพื้นที่ระดับเมืองแตกต่างกับงานวิจัยนี้เป็นเพียงโซนหนึ่งของเมืองเท่านั้น ดังนั้นการกำหนดค่า detour time always accepted เป็น 5 นาทีจะทำให้กรอบ detour

สมเหตุสมผลมากกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ Max. detour time อยู่ที่ 15 นาทีและ detour time always accepted อยู่ที่ 5 นาที

4.4.2.3 การวิเคราะห์ค่า wait time

การกำหนด Max. wait time นั้นไม่สามารถกำหนดให้มีค่ามากกว่า Max. detour time โดยหากมีการกำหนดค่า Max. wait time สูงกว่า Max. detour time จะพบว่าซอฟต์แวร์จะปรับขอบเขต Max. wait time เท่ากับ Max. detour time ให้เอง ตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยทำการกำหนด Max. wait time 25 นาที และ Max. detour time 15 นาที เมื่อหลังจากการจำลองพบว่าผลลัพธ์ค่า Max. wait time ค่าที่ออกมาไม่เกิน 15 นาที หรือถูกจำกัดที่ 15 นาทีเท่ากับค่า Max. detour time ที่กำหนด ทั้งนี้ผู้วิจัยมองว่าค่อนข้างสมเหตุสมผล เนื่องจากหากผู้ใช้เวลาบริการใช้เวลารอนานมากกว่าการอ้อม แสดงว่าเมื่อยานพาหนะอ้อมเสร็จก็ยังไม่สามารถให้บริการได้นั้น เป็นการกำหนดที่ไม่สมเหตุสมผล และในความเป็นจริงนั้นหากเกิดการรอนานผู้ใช้บริการคงเปลี่ยนวิธีการเดินทางดีกว่าต้องมารอนาน และยังต้องรับความเสี่ยงที่เกิดจากการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการอื่นอีก จากข้อมูล que ผู้วิจัยได้รับนั้นได้เวลาที่ผู้ใช้บริการเรียก (Request time) และเวลาที่ผู้ใช้บริการขึ้นยานพาหนะ (onboard time) โดยผู้วิจัยได้นำมาหาผลต่างของเวลาทั้งสองข้างต้น (Request time – onboard time) ตามรูปที่ 28 โดยเวลาระหว่าง Request time และ onboard time นั้นประกอบด้วย 2 ช่วงเวลาได้แก่ เวลาการจองเวลาที่ต้องการใช้บริการ (pre-booking time) และเวลารอการให้บริการ (wait time)



รูปที่ 28 cumulative distribution ของผลต่างของเวลาเรียกและเวลาขึ้นยานพาหนะ

ตารางที่ 19 จำนวน Request time – onboard time ในแต่ละช่วง

Request time – onboard time 2 วัน	ต่ำกว่า 30 นาที	ต่ำกว่า 25 นาที	ต่ำกว่า 20 นาที	ต่ำกว่า 15 นาที	ต่ำกว่า 10 นาที	ต่ำกว่า 5 นาที
จำนวน	655	633	596	545	355	144
คิดเป็น % ของ ทั้งหมด (350)	96.18%	92.95%	87.52%	80.03%	52.13%	21.15%

โดยจากการทดสอบการกำหนดค่า Max. wait time นั้น ไม่สามารถกำหนดให้มีค่ามากกว่า Max. detour time และจากข้างต้นผู้วิจัยกำหนด Max. detour time 15 นาที ดังนั้นการกำหนดค่า Max. wait time จึงควรต่ำกว่า 15 นาที มากไปกว่านั้น ผู้วิจัยไม่ต้องการกำหนดเวลารอที่มากเกินไป เพราะพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ไม่กว้างมากที่สามารถเดินไปยังจุดหมาย คนอาจเลือกวิธีการเดินทางด้วยการเดินอาจจะถึงจุดหมายปลายทางเร็วกว่าการรอบริการก็เป็นได้ มากไปกว่านั้น การรอที่นานจะสร้างความไม่ประทับใจในการใช้บริการ เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีกำหนด Max. wait time 10, 15 นาทีซึ่งพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยอื่นๆ นั้นเป็นพื้นที่ระดับเมือง ส่วนพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเท่านั้น จึงให้เวลารอการให้บริการ (wait time) เป็น 5 นาที

เนื่องจากบริการเป็นการเรียกผ่านแอปพลิเคชัน ยานพาหนะจึงไม่สามารถมาถึงทันทีได้ เหมือนการเรียกแท็กซี่ ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงต้องตระหนักถึงเวลาการเดินทางของยานพาหนะมายังจุดที่ขึ้น เพราะในงานวิจัยนี้ไม่ได้สร้างเส้นทางเดินเท้าออกมาจากตึกเพื่อมายังจุดขึ้นยานพาหนะ และมากไปกว่านั้นการจูงทำให้การเลือกค่าขอใช้บริการและเลือกเส้นทางวิ่งของยานพาหนะให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการจูงก่อนเวลาที่ต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยเลือกค่าเวลาระหว่าง Request time และ onboard time เป็น 10 นาที (ประมาณ 52.129% ดังตารางที่ 19) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าขอทั้งหมดเล็กน้อย เพื่อการใช้นานพาหนะร่วมกันมากขึ้นแทนการให้ผู้ใช้บริการรอนานและยกเลิกค่าขอไปก่อน ดังนั้นจากการเลือกค่าเวลาระหว่าง Request time และ onboard time เป็น 10 นาทีและกำหนด Max. wait time เป็น 5 นาที ดังนั้นเวลาการจองเวลาที่ต้องการใช้บริการ (pre-booking time) เป็น 5 นาทีเช่นกัน

4.4.2.4 การกำหนดค่าตัวแปรอื่นเพิ่มเติม

ช่วงเวลาจำลอง

เนื่องจากช่วงเวลาให้บริการ ride sharing ในพื้นที่ให้บริการสามารถส่งคำขอใช้บริการได้ ตั้งแต่ 6:30-21:30 น. ดังนั้นคำขอสุดท้ายสามารถเรียกไม่เกิน 21:29:59 น. และจากการตรวจสอบ ข้อมูลพบว่าคำขอสุดท้ายในแต่ละวันนั้นได้รับบริการส่งถึงจุดหมายปลายทางไม่เกินช่วง 22:00 น. ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกช่วงเวลาจำลองเป็น 6:30-22:00 น.

ความจุของยานพาหนะ

เนื่องจากความจุของยานพาหนะให้บริการ ride sharing ในพื้นที่นั้นมีความจุที่นั่งสูงสุดที่ 6 ที่นั่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกความจุของยานพาหนะที่ 6 ที่นั่งในการจำลองเช่นกัน

การกำหนดจำนวนยานพาหนะในการจำลอง

เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบจำนวนยานพาหนะ 6 ที่นั่งโดยการหาจำนวนที่น้อยที่สุดในการให้บริการครบ 100% เพื่อดูแต่ละ scenario มีจำนวนเท่าไร ผลลัพธ์ยานพาหนะมีจำนวนที่ไม่เท่ากันดังตารางที่ 20 แต่เพื่อประเมินผลของการชาร์จและระยะวิ่งต่อการชาร์จ ที่เปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อระบบการให้บริการที่มีคำขอใช้บริการที่เท่ากันอย่างไร ดังนั้นจำนวนยานพาหนะในการจำลองต้องถูกควบคุมให้มีจำนวนเท่ากัน จากตารางที่ 20 ยานพาหนะจำนวน 25 คันเป็นจำนวนน้อยที่สุดในการจำลอง แต่ผู้วิจัยไม่เลือกจำนวนยานพาหนะ 25 คันที่เป็นจำนวนน้อยที่สุดของทุก scenario เพราะจะมี 3 scenario ได้แก่ Rs: Pf, Rm: Pf, Rl: Pf ที่ยังสามารถให้บริการทุกคำขอได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการกำหนดให้ค่าเท่ากับ 20 เท่ากันทุก scenario เพื่อให้สามารถดูปริมาณการเกิด unserved trip และสังเกตผลกระทบจากการชาร์จและระยะวิ่งต่อการชาร์จ ได้ชัดเจนมากขึ้น

ตารางที่ 20 จำนวนยานพาหนะที่น้อยที่สุดในการให้บริการครบ 100% ของแต่ละกรณี

scenario	Rs: Pf	Rs: Pm	Rs: Ps	Rm: Pf	Rm: Pm	Rm: Ps	Rl: Pf	Rl: Pm	Rl: Ps
No. vehicle	25	29	33	25	29	33	25	27	29

Note: Rs = Short Range, Rm = Medium Range, Rl = Long Range, Pf = power charger for fast charging time, Pm = power charger for medium charging time, Ps = power charger for slow charging time

ตำแหน่งและจำนวนสถานีชาร์จไฟฟ้า

สถานีการชาร์จในพื้นที่ที่อยู่ด้วยกัน 4 ตำแหน่งได้แก่ อุทยาน 100 ปี, อาคารจุฬาพัฒนา 14, อาคารมั่นคงและอาคารจันทน์ยิ่งยง ดังนั้นผู้วิจัยสร้างตำแหน่งสถานีชาร์จทั้ง 4 ในแบบจำลองตามสถานการณ์จริงและให้บริการเริ่มต้นจากการออกสถานี ส่วนตอนหลังให้บริการจบบริการในการจำลองผู้วิจัยต้องทำการเติมระยะทางกลับสถานีเอง โดยการสกัดจากรายการ path item หลังจากจำลองเสร็จสิ้นแล้ว

การกำหนดค่าที่ตำแหน่ง PUDO

การกำหนดค่าที่ตำแหน่ง PUDO ได้แก่ Maximum walk time, Maximum number of pick-up or drop-off points per node โดย Maximum walk time คือระยะเวลามากที่สุดที่ให้ผู้ให้บริการเข้าถึงจุด PUDO โดยผู้วิจัยกำหนดให้มีค่าเป็น 0 เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับเป็นปริมาณความต้องการเดินทางรายจุด ไม่สามารถระบุได้ว่าผู้ใช้เดินทางมาจากสถานีไหนเพื่อมาขึ้นรถที่จุด PUDO และได้สร้าง 1 โชนต่อ 1 จุด PUDO ตามที่ได้ระบุในการวิเคราะห์ข้อมูลและเนื่องจากความจุที่นั่งของยานพาหนะให้บริการผู้วิจัยกำหนดไว้ที่ 6 ที่นั่งดังนั้นการกำหนดจำนวนที่อนุญาตให้ขึ้นลงมากที่สุดต่อ 1 จุด PUDO (Maximum number of pick-up or drop-off points per node) คือ 6 คน สำหรับเวลาที่ใช้ในการขึ้นลงยานพาหนะ (Time for boarding and alighting) ผู้วิจัยเลือกการกำหนดเวลารายผู้ให้บริการ เนื่องจากแต่ละค่าขอใช้บริการนั้นมีจำนวนผู้ให้บริการได้ตั้งแต่ 1 ถึง 6 คนดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ผู้ให้บริการแต่ละบุคคลใช้เวลาในการขึ้นและลงยานพาหนะเป็น 10 วินาทีในงานวิจัยนี้

Cost function

Cost function เป็นสมการสำหรับถ่วงน้ำหนักระหว่างเวลาวิ่งและรอของยานพาหนะกับเวลาการเดินทางมายังจุด PUDO ของผู้ให้บริการ เนื่องจากในการจำลองไม่ได้สนใจในเวลาการเดินทาง ดังนั้นผู้วิจัยใส่ค่าสัมประสิทธิ์หน้าเวลาวิ่งและรอของยานพาหนะเป็น 1 และหน้าเวลาการเดินทางมายังจุด PUDO ของผู้ให้บริการเป็น 0

จากการวิเคราะห์ตัวแปรควบคุมทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปการกำหนดค่าตัวแปรควบคุมแต่ละตัวดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 สรุปการกำหนดค่าตัวแปรควบคุม

Parameter	Value	Unit
Demand period	06:30-21:30	hour:minute
Number of trip requests	1996 (100% served)	Trip requests
Number of vehicles	20	Veh
Number of seats per vehicle	6	Seats
Maximum detour factor	5	Na
Maximum detour time	15	Min
Detour time always accepted	5	Min
Maximum wait time	5	Min
Time for boarding and alighting	10	sec/passenger
Number of stations	4	stations

Note: na = not applicable

4.5 ตัวชี้วัด

ตัวแปรตามหรือตัวชี้วัดในการจำลองนี้ได้แก่ detour time, in-vehicle time, wait time, VKT, service distance, empty distance, PKT, %served, %unserved และจำนวนการชาร์จ และเวลาในการชาร์จ โดยความสำคัญแต่ละตัวแปรได้ระบุในบทที่ 3 แต่ตัวแปรข้างต้นจะมีบางตัวแปรที่ผู้วิจัยต้องทำการสร้างขึ้นเองใหม่ได้แก่ detour time, service distance, empty distance, PKT, %served, %unserved โดย detour time สร้างจากสมการที่ (3.4) ในส่วนของ service distance, empty distance และ PKT นั้นผู้วิจัยได้นำสูตรการคำนวณผลลัพธ์ข้างต้นมาจากไฟล์ตัวอย่างบน PTV VISUM สุดท้ายในส่วน %served, %unserved ผู้วิจัยนำจำนวนคำขอที่ได้รับบริการและไม่ได้รับบริการที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีมาหารกับจำนวนคำขอทั้งหมด 1996 คำขอ

บทที่ 5

ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

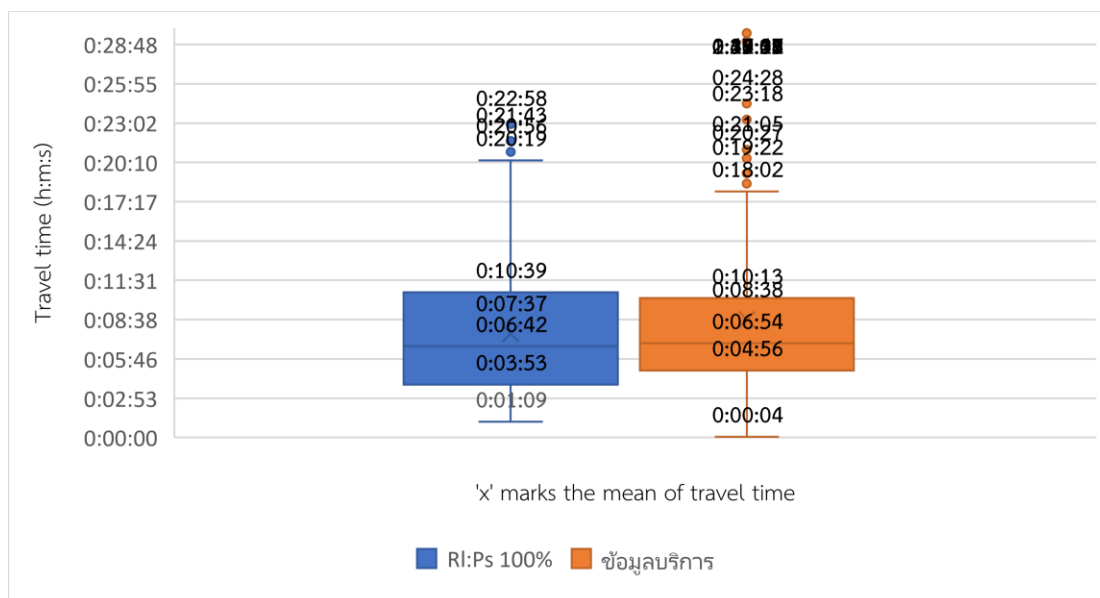
บทนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้บริการ ride sharing ในพื้นที่ (หัวข้อ 5.2) ซึ่งต่อบัวตฤประสงค์ 1.2.1 และการอภิปรายผลลัพธ์ของการปรับระยะวิ่งต่อการชาร์จ และอัตรา การชาร์จต่อคุณภาพการให้บริการ (หัวข้อ 5.3) การวิเคราะห์แง่มุมค่าใช้จ่ายและแง่มุมรายได้ (หัวข้อ 5.4 และ 5.5) การวิเคราะห์กลยุทธ์ในการส่งยานพาหนะไปชาร์จ (หัวข้อ 5.6) ซึ่งนำไปสู่การอภิปราย กรณีสที่เหมาะสมต่อการให้บริการในพื้นที่ ซึ่งเป็นผลจากการคัดกรองจากทั้ง 9 กรณีศึกษา (หัวข้อ 5.7) ซึ่งต่อบัวตฤประสงค์ 1.2.2 โดยก่อนที่จะไปสู่การอภิปรายผลลัพธ์ จะได้ตรวจสอบความถูกต้องของ แบบจำลองก่อนในหัวข้อ 5.1

5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนจะไปสู่การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการศึกษา การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีความสำคัญเพื่อแสดงถึงการตั้งสมมติฐานในการจำลองนั้นสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากน้อยเพียงใด โดยในการศึกษานี้จะใช้การเปรียบเทียบตัวแปร Travel time ระหว่างผลลัพธ์การจำลองกับ ข้อมูลการให้บริการจริง โดยเลือกผลลัพธ์การจำลองของกรณีที่กำหนดระยะวิ่งต่อการชาร์จ 120 กิโลเมตรและใช้เวลาในการชาร์จ 150 นาทีในการชาร์จทั้งในช่วง 0-80% และ 80-100% ของ แบตเตอรี่นั้นเพราะเป็นค่าที่ได้รับจริงจากบริการ โดยใช้ค่าการอบการให้บริการที่ถูกวิเคราะห์และ ตั้งสมมติฐานได้แก่ detour time always accepted, Max. detour time, Max. wait time และ Max. detour factor เป็น 5 นาที, 15 นาที, 5 นาทีและ 5 ตามลำดับ นอกจากนั้น ในการเปรียบเทียบจะใช้ผลลัพธ์การจำลองที่ให้บริการครบ 1996 คำขอหรือ 100% served ดังนั้นในการ ตรวจสอบความถูกต้องจะใช้การเปรียบเทียบกรณีข้างต้นกับข้อมูลการให้บริการจริง (100% served ของ 681 คำขอ)

ผลลัพธ์การเปรียบเทียบ travel time แสดงดังรูปที่ 29 โดยจะเห็นได้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจคือ ค่า median ของกรณีจำลองเปรียบเทียบและของบริการจริงต่ำกว่าเพียง 12 วินาที นอกจากนั้น ค่าเฉลี่ยของกรณีจำลองเปรียบเทียบมีเวลาดำกว่าข้อมูลบริการจริง 1 นาที 1 วินาทีหรือต่างกัน 13.35% มากไปกว่านั้นใน travel time ของบริการจริงมี outlier มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด เพราะจาก ที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ในบทที่ 4 นั้นทำให้ผลลัพธ์ travel time ของกรณีจำลองเปรียบเทียบไม่มีคำขอ บริการเกิน 30 นาที แต่การกระจายตัวของข้อมูลบริการจริงนั้นน้อยกว่าและมีขอบเขตแต่ละช่วงต่ำกว่า ส่วนที่ควอไทล์ 1,2,3 และ 4 ของ 9 กรณีและข้อมูลบริการจริงมีเวลาแตกต่างกันสูงสุด 1 นาที 5 วินาที, 1 นาที 3 วินาที, 1 นาที 26 วินาทีและ 2 นาที 17 วินาทีตามลำดับ จากผลลัพธ์ข้างต้น

แบบจำลองและการให้บริการจริงมีการคลาดเคลื่อนที่เพราะในการกำหนดความเร็วในพื้นที่ศึกษาเป็นข้อมูลโดยเฉลี่ยตลอดวัน



รูปที่ 29 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

5.2 พฤติกรรมการเรียกใช้บริการ ride sharing ของพื้นที่จุฬา-สามย่าน

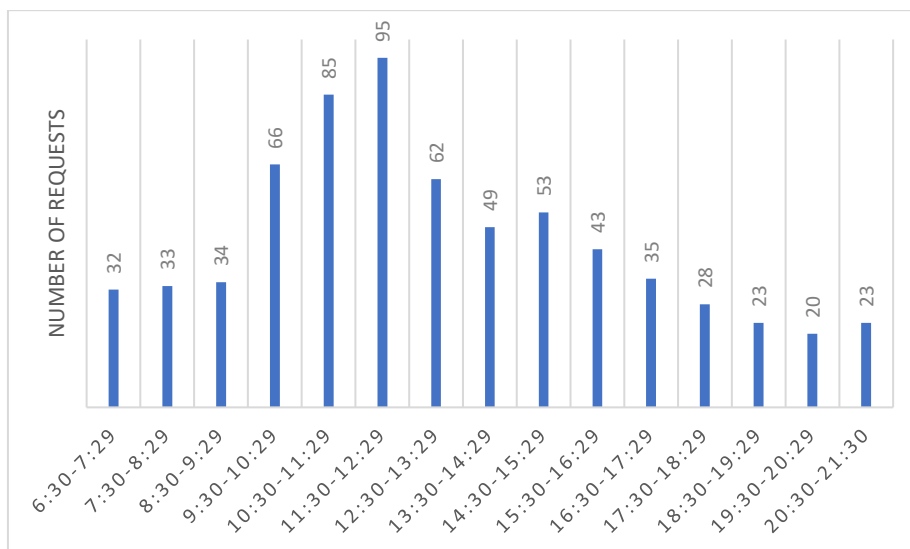
จากข้อมูลดิบที่ได้มาจากผู้ให้บริการ เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลจำนวนคำขอของแต่ละช่วงเวลาใน 1 วันของวันที่ 28 และ 29 มีนาคม 2566 ถูกนำมาแบ่งเป็นรายชั่วโมงดังตารางที่ 22 จากข้อมูล พบว่าช่วงที่มีจำนวนคนเรียกสูงที่สุดของทั้ง 2 วันคือช่วง 11:30-12:30 น. โดยมี 45 และ 50 คำขอหรือ 12.86% และ 15.11% ของคำขอใช้บริการทั้งหมดในแต่ละวัน มากไปกว่านั้น เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของคำขอในแต่ละชั่วโมงเทียบกับคำขอทั้งหมดของวันนั้นๆ พบว่ามีถึง 12 ช่วงด้วยกันที่มีผลต่างอัตราส่วนดังกล่าวแตกต่างกันไม่เกิน 2% เท่านั้นและพบว่ามี %ผลต่างอัตราส่วนของทั้งสองวันสูงสุดอยู่ที่ 4.52% ซึ่งเกิดในช่วง 10:30-11:30 น. จากผลลัพธ์ข้างต้น พบว่าปริมาณคำขอของทั้งสองวันสื่อถึงการใช้งานแต่ละช่วงเวลาที่คล้ายคลึงกัน

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบปริมาณคำขอในแต่ละชั่วโมงของข้อมูลทั้ง 2 วัน

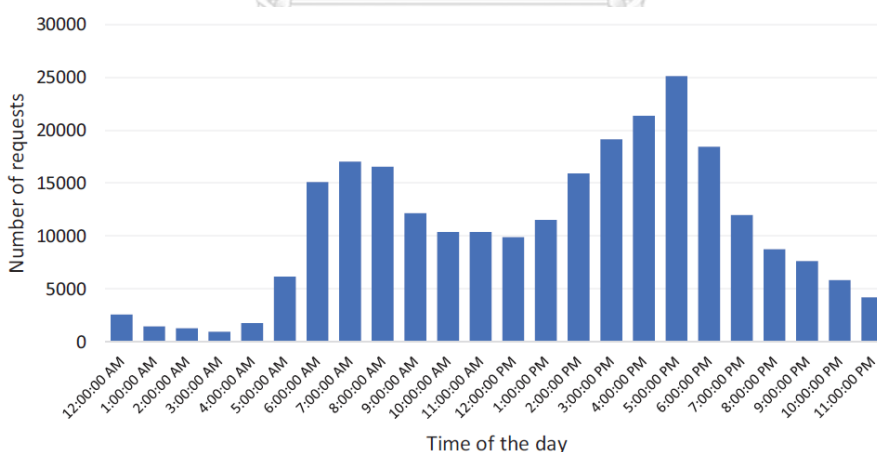
	28/3/2023	คำขอแต่ละช่วงต่อคำขอ ทั้งหมดของวัน	29/3/2023	คำขอแต่ละช่วงต่อคำขอ ทั้งหมดของวัน
6:30-7:30	16	4.57%	16	4.83%
7:30-8:30	20	5.71%	13	3.93%
8:30-9:30	18	5.14%	16	4.83%
9:30-10:30	35	10.00%	31	9.37%
10:30-11:30	36	10.29%	49	14.80%
11:30-12:30	45	12.86%	50	15.11%
12:30-13:30	35	10.00%	27	8.16%
13:30-14:30	26	7.43%	23	6.95%
14:30-15:30	25	7.14%	28	8.46%
15:30-16:30	20	5.71%	23	6.95%
16:30-17:30	23	6.57%	12	3.63%
17:30-18:30	16	4.57%	12	3.63%
18:30-19:30	13	3.71%	10	3.02%
19:30-20:30	12	3.43%	8	2.42%
20:30-21:30	10	2.86%	13	3.93%
	350		331	

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของปริมาณคำขอระหว่างวันข้างต้นกับงานวิจัยอื่นพบว่า งานวิจัย (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021) ที่ศึกษาการให้การใช้ ride sharing มาแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล พบว่าช่วงที่มีการใช้งานจำนวนมากนั้น คือช่วงชั่วโมงเร่งด่วนทั้งช่วงเช้า 6:00:00-9:00:00 AM และช่วงเย็น 02:00:00-07:00:00 PM ดังรูปที่ 31 ในขณะที่งานวิจัยนี้ได้รับข้อมูลจากบริการจริงโดยไม่ได้เป็นการนำ ride sharing มาแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล

บุคคล ดังนั้นช่วงการใช้งานจำนวนมากที่สุดจะเป็นตามที่ทำให้บริการเกิดขึ้นจริงซึ่งมีแค่ช่วงเดียวคือนอก ชั่วโมงเร่งด่วนของการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลหรือ 09:30:00-13:30:00 น. ดังรูปที่ 30 จากข้อสังเกตข้างต้นนั้นเป็นเพียงลักษณะการใช้งาน ride sharing ในแต่ละพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยสรุปได้ว่าช่วงเวลาที่มีความขอใช้บริการสูงที่มีช่วงเวลาต่างกับพื้นที่อื่นไม่ส่งผลต่อการจำลองของงานวิจัยนี้



รูปที่ 30 จำนวนคำขอใช้บริการรายชั่วโมงของทั้งสองวันมารวมกันได้



รูปที่ 31 Demand profile for private vehicle trips in Ann Arbor, MI.

ที่มา: (Twumasi-Boakye, Cai, Fishelson, et al., 2021)

ในการให้บริการ ride sharing อีกพฤติกรรมการเดินทางที่สำคัญคือจำนวนคนเรียก ซึ่งในการศึกษานี้ ด้วยพิกัดของรถ มีจำนวนคนเรียกได้ตั้งแต่ 1-6 คน โดยจากข้อมูลดังตารางที่ 23 พบว่า

เกือบ 70% คือการเรียกรถด้วย 1 คน และมากกว่า 92% คือการเรียกรถแบบไม่เกิน 3 คน ซึ่งควรตั้งข้อสังเกตว่าพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นในพื้นที่มหาวิทยาลัยที่ส่วนหนึ่งของผู้เดินทางเป็นนิสิตนักศึกษาที่มีลักษณะเฉพาะต่างไปได้กับผู้เดินทางในเมืองทั่วไป และจำนวนคนเรียกต่อ 1 คำขอของทั้งสองวันมี % มีค่าต่างกันสูงสุดเพียง 3.3%

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบจำนวนคนเรียก 1-6 คนของข้อมูลทั้ง 2 วัน

	28 มี.ค. 2566		29 มี.ค. 2566	
	จำนวนคำขอ	%ต่อจำนวนทั้งหมด	จำนวนคำขอ	%ต่อจำนวนทั้งหมด
จำนวนเรียก 1 คน	241	68.86%	217	65.56%
จำนวนเรียก 2 คน	67	19.14%	72	21.75%
จำนวนเรียก 3 คน	16	4.57%	16	4.83%
จำนวนเรียก 4 คน	9	2.57%	11	3.32%
จำนวนเรียก 5 คน	3	0.86%	1	0.30%
จำนวนเรียก 6 คน	14	4.00%	14	4.23%
	350	100.00%	331	100.00%

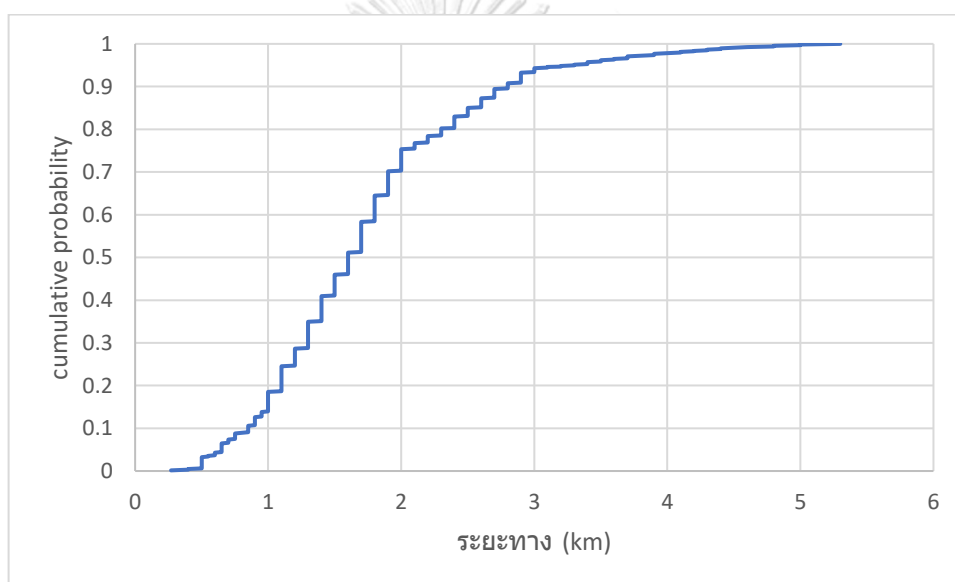
นอกจากนี้ทำการตรวจสอบความซ้ำกันของคำขอซึ่งมีการเป็นไปได้จากผู้ใช้บริการมีพฤติกรรมซ้ำหรือเป็นผู้ใช้บริการประจำโดยพบว่าข้อสรุปดัง**ตารางที่ 24** โดยทั้งสองวันมีจำนวนคำขอที่มี O-D ซ้ำ, จำนวนคำขอที่มี O-D และเวลาซ้ำ, จำนวนคำขอที่มี O-D และจำนวนคนเรียกซ้ำและจำนวนคำขอที่มี O-D, เวลาและจำนวนคนเรียกซ้ำ จำนวน 74 คำขอหรือ 21.14%, 4.29%, 10.86% และ 3.71% ของคำขอทั้งหมดของวันที่ 28 มี.ค ตามลำดับ ซึ่งจากผลลัพธ์ทั้ง 2 วันแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมซ้ำๆ ของผู้ให้บริการในพื้นที่

ตารางที่ 24 ตารางการเปรียบเทียบการซ้ำกันของคำขอจากข้อมูลทั้ง 2 วัน

	จำนวนคำขอ	เทียบกับ O-D ทั้งหมดของ 28 มี.ค	เทียบกับ O-D ทั้งหมดของ 29 มี.ค
O-D ซ้ำ	74	21.14%	22.36%
O-D และเวลาซ้ำ	15	4.29%	4.53%
O-D และจำนวนคนเรียกซ้ำ	38	10.86%	11.48%
O-D, เวลาและจำนวนคนเรียกซ้ำ	13	3.71%	3.93%

เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับเป็นจุดขึ้น/ลงของบริการเท่านั้น แต่ไม่ทราบระยะทางการเดินทางที่เกิดขึ้น ดังนั้น ในการสังเกตพฤติกรรมจากข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยการใช้การเดินทางในโหมตรถยนต์

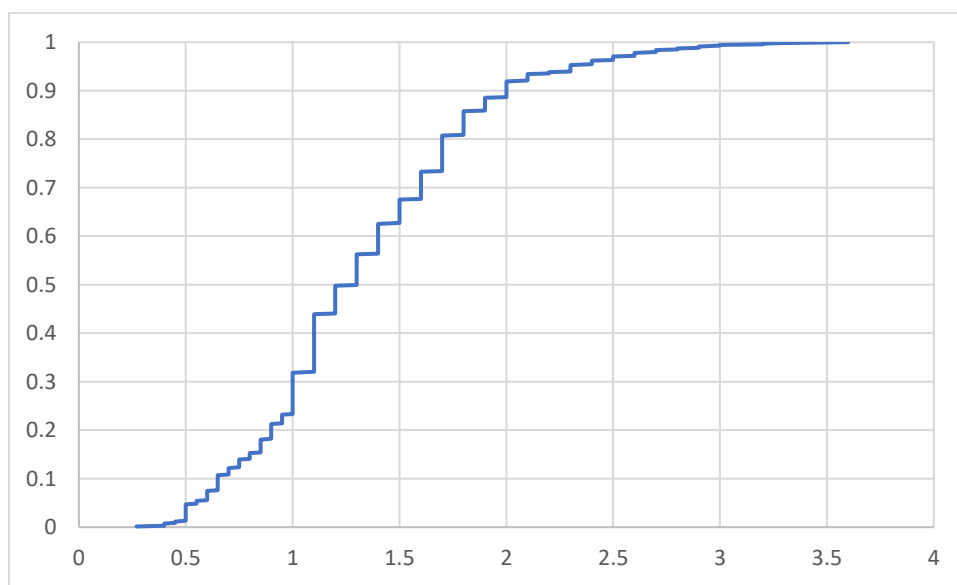
รูปที่ 32 แสดงค่า cumulative distribution ของข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยการใช้การเดินทางในโหมตรถยนต์ ซึ่งสื่อถึงพฤติกรรมการใช้ ride sharing เดินทางในพื้นที่ โดยเห็นได้ว่าการเดินทางด้วย ride sharing ส่วนใหญ่คือราว 95% มีระยะทางไม่เกิน 3 กิโลเมตร โดยแทบจะไม่มีการเดินทางใดมีระยะทางน้อยกว่า 0.5 กิโลเมตร สื่อถึงการเลือกใช้บริการ ride sharing แทนการเดินทางเมื่อระยะเกินกว่า 0.5 กิโลเมตร



รูปที่ 32 cumulative distribution ของข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยการใช้การเดินทางในโหมตรถยนต์

นอกจากนั้นจากข้อมูลที่ได้รับได้นำไปหาระยะทางในโหมตรถยนต์ด้วย เพื่อเปรียบเทียบบริบทการเลือกเดินทางของผู้คนในพื้นที่ศึกษาว่าหากจะเดินทางจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งนั้นหากมีโหมตรถยนต์เดินทางให้เลือกระหว่างการเดินทางและการใช้บริการ ride sharing ทำไมคนถึงเลือกใช้บริการแทนการเดินทาง โดยนำแต่ละค่าขอมหาระยะทางในโหมตรถยนต์ดังรูปที่ 33 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงหากผู้ใช้บริการเลือกการเดินทางจะเห็นได้ว่าระยะที่คนตัดสินใจเลือกใช้บริการแทนการเดินทางเมื่อมีระยะทางในการเดินทางต่ำกว่า 1 กิโลเมตรอยู่ที่ 31.86% ของ 681 คำขอและเมื่อมีระยะทางในการเดินทางต่ำกว่า 2 กิโลเมตรอยู่ที่ 91.92% จากข้างต้นสรุปได้ว่าเมื่อมีระยะทางการเดินทางอยู่ที่ระหว่าง 1-2 กิโลเมตรจะ

เป็นช่วงที่ระยะทางเดินที่คนในพื้นที่เลือกใช้การเดินทางด้วยบริการ ride sharing แทนการเดินทางสูงถึง 60.06% ซึ่งสามารถสื่อได้ว่าคนในพื้นที่หากระยะทางในการเดินทางอยู่ในช่วง 1-2 กิโลเมตรคนจะไม่เลือกเดินและเลือกการให้บริการแทน แต่ด้วยข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลการตอบรับหรือให้บริการครบทุกคำขอ ดังนั้นคนชอบเดินก็ไม่จำเป็นต้องเลือกใช้บริการ ride sharing



รูปที่ 33 cumulative distribution ของข้อมูลบริการที่ได้รับผ่าน Google map โดยใช้ในการเดินทางในโหมดการเดิน

จากคำขอการเดินทางของข้อมูลที่ได้รับ พบว่าระยะทางที่สั้นที่สุดในแต่ละวันของโหมดรถยนต์และการเดินนั้นมีดังนี้ ในวันที่ 28 มีนาคม 2566 มีระยะทางระหว่างจุดจากการคำนวณ Google map รถยนต์ และการเดินมีจำนวนระยะทาง 0.4-0.5 กิโลเมตร 6,17 คำขอใช้บริการที่ถูกตอบรับใน 350 คำขอใช้บริการและคิดเป็น 1.71429%, 4.85714% ของคำขอทั้งหมดตามลำดับ ในวันที่ 29 มีนาคม 2566 มีระยะทางระหว่างจุดจากการคำนวณ Google map รถยนต์และการเดินมีจำนวนระยะทาง 0.4-0.5 กิโลเมตร 15, 14 คำขอใช้บริการที่ถูกตอบรับใน 331 คำขอใช้บริการและคิดเป็น 4.53172%, 4.22961% ของคำขอทั้งหมดตามลำดับ แต่มีความพิเศษที่ว่ามีระยะที่ต่ำที่สุดคือ 0.27 กิโลเมตรมีซึ่งเพียงแค่ 1 คำขอ ดังนั้นจากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเดินทางจากข้อมูลจริงทั้งหมดพบว่าระยะที่ต่ำที่สุดคือ 0.27 กิโลเมตรมีซึ่งเพียงแค่ 1 คำขอใช้บริการเท่านั้นจึงสรุปได้ว่าเป็น outlier และระยะที่ต่ำรองลงมาระหว่างจุดจากการคำนวณ Google map รถยนต์และการเดินคือ 0.4 กิโลเมตรซึ่งพบประมาณว่า 0.4-0.5 กิโลเมตรของทั้งสองวันมีประมาณ 3.0837%, 4.55213% ของคำขอทั้งหมดตามลำดับ แต่ระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทาง 0.4

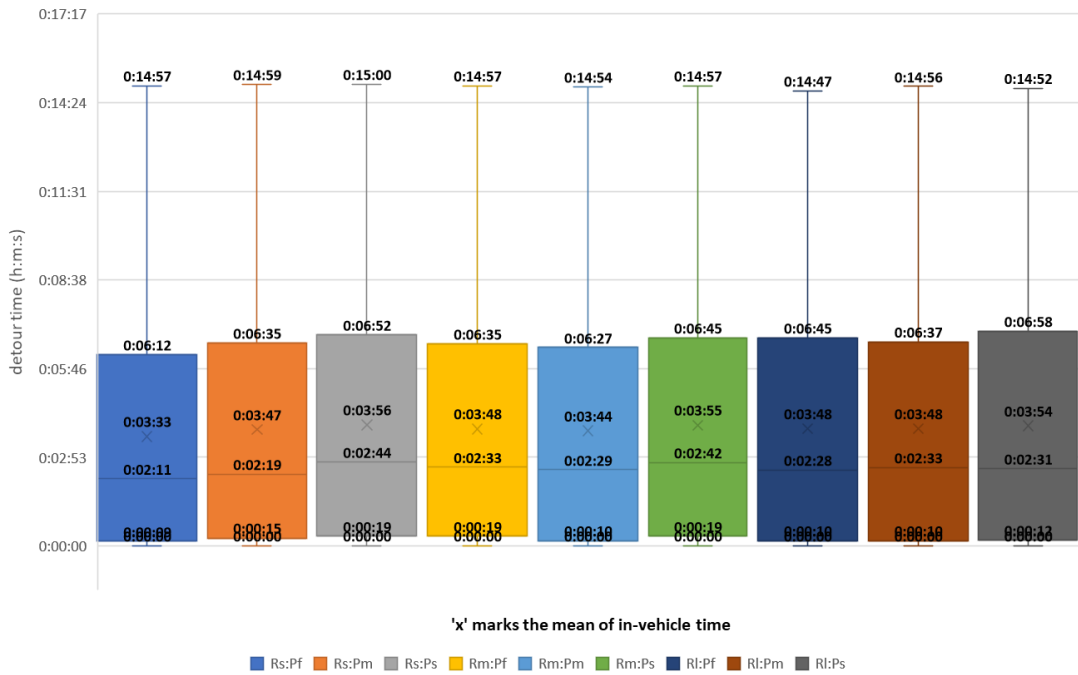
กิโลเมตรนั้นในการเดินถือว่าไม่สูงมาก ตัวอย่างเช่น การใช้บริการ ride sharing 0.4 กิโลเมตรเมื่อเทียบกับการเดินระหว่างคณะในมหาวิทยาลัย เช่น วิศวกรรมศาสตร์เดินไปคณะเศรษฐศาสตร์ ระยะห่างประมาณเพียง 400 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่นักศึกษาสามารถเดินได้เป็นเรื่องปกติในพื้นที่ ดังนั้นจากข้อสังเกตข้างต้นผู้วิจัยสันนิษฐานว่าเนื่องจากผู้ใช้บริการในกลุ่ม outlier อาจจะต้องแบกสัมภาระหนักๆ (กระเป๋าในกรณีของนักเรียน หรือ ของสดจากตลาดหรือห้างสรรพสินค้า เป็นต้น) หรือการเรียกบริการร่วมกับเพื่อนเพื่อให้ราคาบริการต่อคนถูกลง นอกจากนี้ยังด้วยไม่ต้องเสียแรงและเวลาในการเดิน เป็นต้น

โดยสรุปแล้ว จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียกใช้บริการ ride sharing ของพื้นที่จุฬาสาย่านข้างต้น สามารถระบุได้ถึงช่วงเวลาพีค (ที่คนเรียกใช้บริการสูงสุด) สัดส่วนจำนวนคนเรียก (ที่มีได้ตั้งแต่ 1-6 คนตามความจุของรถ) และสัดส่วนของระยะทางที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ การเดินแล้ว ผู้ใช้บริการจะเลือก ride sharing แทนการเดินทางด้วยระยะทางที่มากกว่า 0.4 กิโลเมตรขึ้นไป

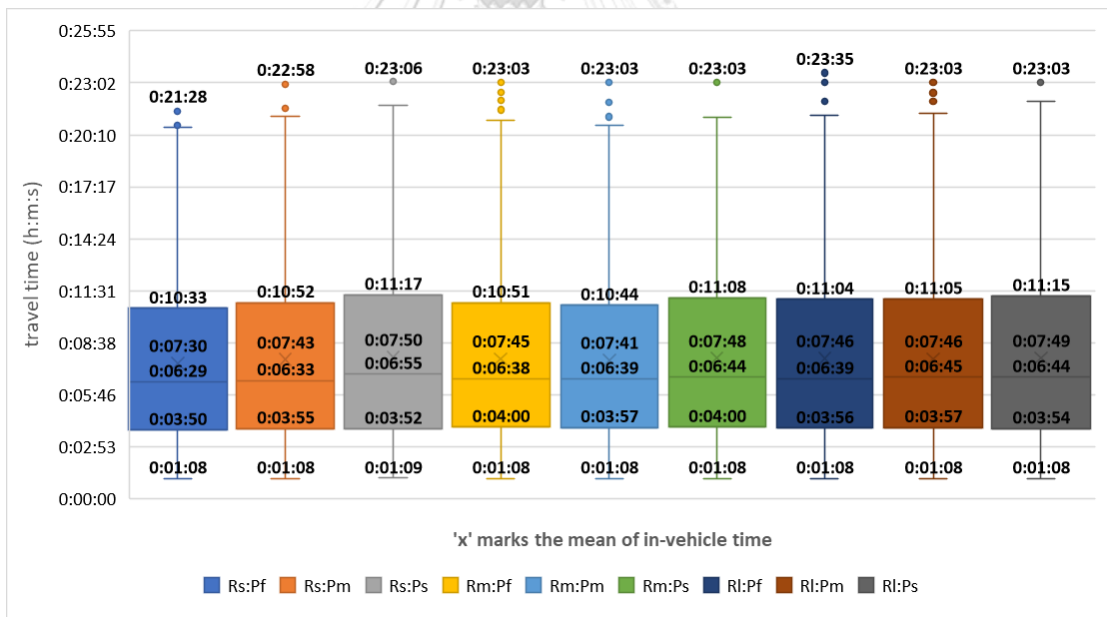
5.3 คุณภาพการให้บริการของผู้ใช้บริการ

ตัวชี้วัดเชิงคุณภาพของผู้ใช้บริการคือตัวชี้วัดที่มีผลต่อพฤติกรรมการเลือกโหมดการเดินทางโดยตรง ในการศึกษาตัวชี้วัดเชิงคุณภาพของผู้ใช้บริการได้แก่ detour time, In vehicle time และ wait time โดย Detour time คือเวลาในการอ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่น ซึ่งหากการที่อ้อมใช้เวลานานจะสร้างความไม่พึงพอใจแก่ผู้ใช้บริการได้ ส่วน In vehicle time คือเวลาที่ผู้ใช้บริการนั่งบนยานพาหนะซึ่งประกอบกับเวลาอ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นด้วย ในส่วน wait time คือเวลารอการให้บริการของผู้ใช้บริการ

ด้วยในงานวิจัยนี้ได้ให้ตัวชี้วัดข้างต้นเป็นตัวแปรควบคุม ดังนั้นก่อนที่จะไปวิเคราะห์ผลของตัวชี้วัดของการให้บริการ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบว่า detour time และ In vehicle time ที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในกรอบที่กำหนดตามพฤติกรรมการผู้ใช้บริการที่ได้วิเคราะห์ในบทที่ 4 หรือไม่ โดยผลลัพธ์พบว่าค่า detour time ที่เกิดขึ้นนั้นไม่เกิน 15 นาทีดังรูปที่ 34 และสามารถดูการเกิด detour ใน PTV VISUM ในภาคผนวก ง. และ Travel time ไม่เกิน 30 นาทีรูปที่ 35 ดังที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้และถึงแม้ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจะไม่เท่ากันแต่ค่าก็ไม่ได้ต่างกันมากอย่างมีนัยสำคัญ



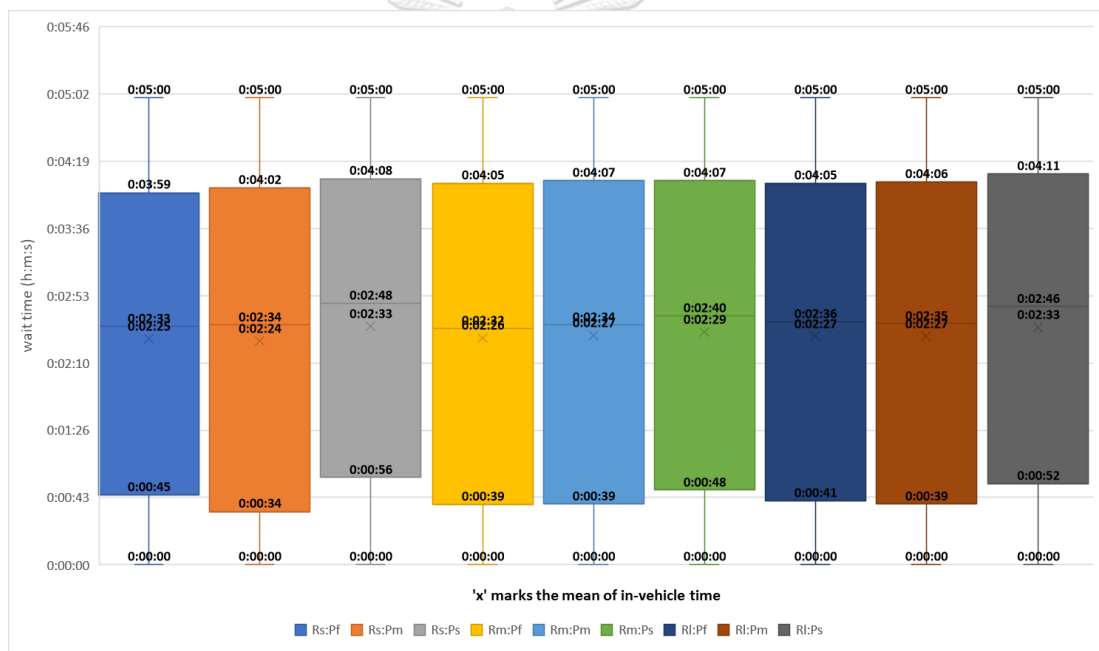
รูปที่ 34 detour time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง



รูปที่ 35 Travel time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง

ต่อมาผู้วิจัยได้ตรวจสอบ wait time ที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในกรอบที่กำหนดตามพฤติกรรมกาารใช้บริการที่ได้วิเคราะห์ในบทที่ 4 หรือไม่ โดยผลลัพธ์พบว่าค่า wait time ที่เกิดขึ้นนั้นไม่เกิน 5 นาทีดังรูปที่ 36 โดยในทุกกรณีที่ควอร์ไทล์ที่ 1 พบว่ามีทุกกรณีมีเวลาในการรอใช้บริการไม่เกิน 1

นาที่ ซึ่งสื่อถึงว่าในการให้บริการพบว่าผู้ใช้บริการใช้เวลารอไม่เกิน 1 นาทีเป็นจำนวนถึง 25% ของ การให้บริการทั้งหมดของแต่ละกรณี ส่วนในคิวรอที่ 2 และคิวรอที่ 3 หรือ 50% ของ wait time ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าช่วงระหว่างในคิวรอที่ 2 และคิวรอที่ 3 ก็ไม่ได้ต่างกันมากและใน ส่วนคิวรอที่ 4 พบว่ามีทุกกรณีมีเวลาในการรอใช้บริการตั้งแต่ 4 นาทีเป็นจำนวนถึง 25% ของ การให้บริการทั้งหมดของแต่ละกรณี ในแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จ เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการชาร์จ ค่า median และ mean ใน in vehicle time เปลี่ยนเพียงเล็กน้อยและแต่ละกรณีมีค่า median สูงกว่า mean ไม่เกิน 15 วินาที จากผลลัพธ์ข้างต้น คุณภาพการให้บริการแทบไม่ต่างในทุกกรณี เนื่องจากการศึกษานี้ได้กำหนดกรอบพฤติกรรมของผู้ใช้บริการเหมือนกันด้วย จึงไม่ได้เห็น ผลกระทบที่ชัดเจนมากพอของการเปลี่ยนระยะวิ่งต่อการชาร์จ และอัตราการชาร์จ



รูปที่ 36 Wait time ที่เกิดในการให้บริการในแต่ละสถานการณ์จำลอง

5.4 การวิเคราะห์แง่มุมค่าใช้จ่าย

5.4.1 Vehicle Kilometers Traveled (VKT)

VKT คือผลรวมของระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งในระบบ ซึ่งสามารถสื่อถึงการใช้พลังงานและ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการวิ่งของยานพาหนะทั้งหมดของผู้ให้บริการ ดังนั้นในการให้บริการมีค่า VKT ต่ำ ย่อมดีต่อผู้ให้บริการ โดยสามารถดูตัวอย่างผลลัพธ์ VKT ที่เกิดใน PTV VISUM ในภาคผนวก ง. สมมติฐานเบื้องต้นของผู้วิจัยในกรณีของการจำลองการให้บริการทั้ง 9 กรณี คือการเลือกใช้ระยะวิ่ง

ต่อการชาร์จ และอัตราการชาร์จที่สูงกว่านั้นทำให้ยานพาหนะมีโอกาสที่จะอยู่บนถนนจำนวนมากกว่า ซึ่งเป็นผลทำให้ service distance และ %served เพิ่มขึ้น และนำไปสู่ VKT เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกันที่การเลือกใช้ระยะวิ่งต่อการชาร์จ ของยานพาหนะและอัตราการชาร์จที่ต่ำกว่านั้นทำให้ยานพาหนะเสียโอกาสในการให้บริการเพราะใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการชาร์จในสถานี เนื่องจากที่ระยะวิ่งต่อการชาร์จ ของยานพาหนะที่ต่ำนั้นแบตเตอรี่จะหมดอย่างรวดเร็วจึงมีการไปชาร์จที่สถานีบ่อยครั้งและอัตราการชาร์จที่ต่ำจะทำให้ยานพาหนะใช้เวลาในการชาร์จนาน ซึ่งเป็นผลทำให้ service distance และ %served ลดลง (%unserved เพิ่มขึ้น) และนำไปสู่ VKT ลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 25 ผลลัพธ์ VKT และ service ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี

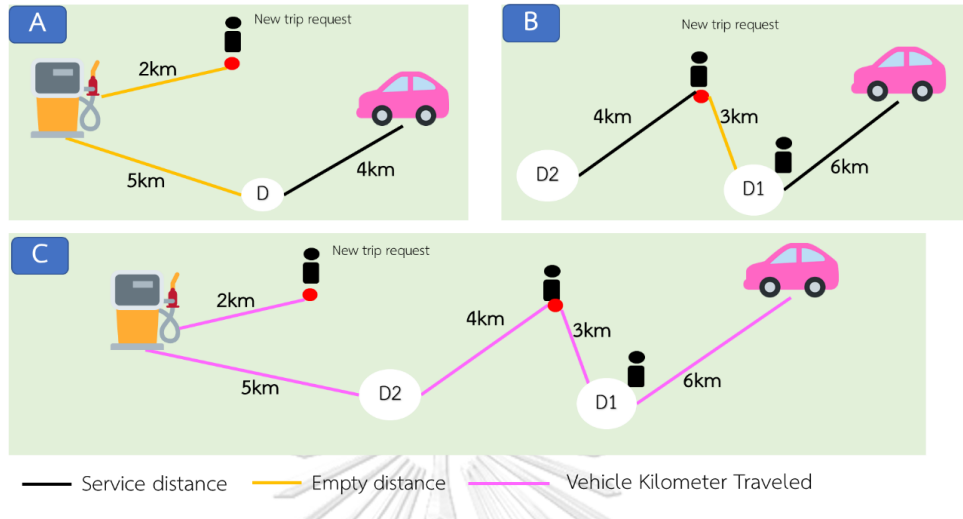
Scenario	Rs:Pf	Rs:Pm	Rs:Ps	Rm:Pf	Rm:Pm	Rm:Ps	RL:Pf	RL:Pm	RL:Ps
VKT (km)	3094	3054	2817	3093	3003	2778	3119	3114	2840
served trip	1966	1926	1745	1966	1908	1780	1979	1973	1812
% served	98.50	96.49	87.42	98.50	95.59	89.18	99.15	98.85	90.78
service distance (km)	2560	2550	2348	2593	2515	2356	2613	2609	2381

ผลลัพธ์จากตารางที่ 25 แสดงว่าที่อัตราการชาร์จเดียวกันค่า VKT สูงสุดเกิดขึ้นที่กรณี RL คือระยะวิ่งได้ที่สูงที่สุด แต่ในทั้ง 9 กรณี ค่า VKT ต่ำสุดเกิดขึ้นที่กรณี Rm ซึ่งผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามที่สมมติฐานเบื้องต้นว่าค่า VKT ต่ำสุดน่าจะเกิดขึ้นที่ Rs มากไปกว่านั้น ในแต่ละอัตราการชาร์จ เมื่อระยะวิ่งต่อการชาร์จ เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่า VKT ต่างกันเล็กน้อย โดย VKT ของ Pf, Pm, Ps เพิ่มขึ้น 0.83%, 3.71%, 2.22% ตามลำดับ แต่ในส่วนที่ระยะที่ยานพาหนะสามารถวิ่งได้เดียวกันค่า VKT สูงสุดเกิดขึ้นที่ Pf และค่า VKT ต่ำสุดเกิดขึ้นที่ Ps ซึ่งผลลัพธ์เป็นไปตามที่สมมติฐานเบื้องต้น

มากกว่านั้นในแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จ เมื่ออัตราการชาร์จเปลี่ยนไปส่งผลให้ต่อค่า VKT อย่างมีนัยสำคัญ โดย VKT ของ Rs, Rm และ RL เพิ่มขึ้น 9.84%, 11.35%, 9.84% ตามลำดับ จากผลลัพธ์ข้างต้นการเปลี่ยนอัตราการชาร์จส่งผลต่อ VKT มากกว่าการเปลี่ยนระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะ

เนื่องจาก VKT คือผลรวมของระยะทางให้บริการ (service distance) และระยะที่วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการ (empty distance) ดังรูปที่ 37C) โดยระยะทางให้บริการและระยะที่วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการเกิดระหว่างการไปชาร์จของยานพาหนะดังรูปที่ 37A) และในส่วนระยะทางให้บริการและระยะที่วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการเกิดระหว่างการให้บริการดังรูปที่ 37B) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์

ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการนั้นส่งผลกระทบต่อค่า VKT ด้วยเพื่อหาความสัมพันธ์และรายละเอียดการให้บริการมากขึ้น



รูปที่ 37 ระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งในการให้บริการแต่ละวัตถุประสงค์

5.4.2 ระยะทางในการให้บริการ

ระยะทางในการให้บริการ (service distance) สื่อถึงรายได้โดยนัยของบริการ ในทางกลับกันการวิ่งให้บริการก็ถือเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่าย ดังนั้นในส่วนนี้จะได้ดูผลลัพธ์ของ service distance พร้อมไปกับค่า %served ซึ่งสื่อตรงไปถึงระดับคุณภาพของการให้บริการว่าสอดคล้องกับค่าใช้จ่ายที่จะมาจากค่า service distance ที่เปลี่ยนไปอย่างไร โดยสามารถดูตัวอย่างผลลัพธ์ served trip ที่เกิดใน PTV VISUM ในภาคผนวก ง.

ผลลัพธ์จากตารางที่ 25 แสดงว่าในแต่ละระยะวิ่งต่อการชาร์จ เมื่ออัตราการชาร์จเปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อค่า service distance อย่างมีนัยสำคัญ โดย service distance ของ Rs, Rm และ Rl เพิ่มขึ้น 9.061%, 10.05% และ 9.705% ตามลำดับ ในขณะที่แต่ละอัตราการชาร์จ เมื่อระยะวิ่งต่อการชาร์จ เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่า service distance ต่างกันไปเพียงเล็กน้อย โดยกรณี Pf, Pm และ Ps มีผลต่างระหว่างค่า service distance น้อยที่สุดกับมากที่สุดมีค่าต่างกันเพียง 0.80%, 3.73%, 1.4% ตามลำดับ ซึ่งมีผลลัพธ์แนวโน้มที่การเปลี่ยนอัตราการชาร์จส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายจาก service distance มากกว่าการเปลี่ยนระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะเหมือนกับผลลัพธ์ VKT

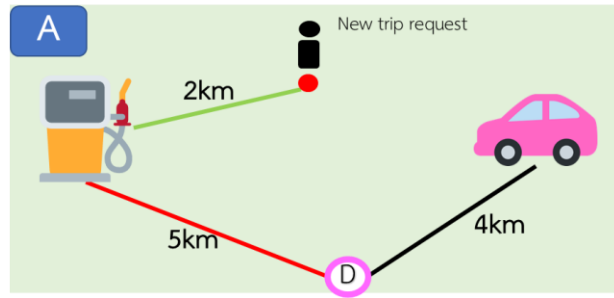
ในส่วน %served มีแนวโน้มคล้ายๆ service distance โดยที่ Ps ผลลัพธ์ของกรณี Rm มี %served สูงกว่า Rs จำนวนเพียง 35 คำขอใช้บริการหรือ 1.76% ของคำขอใช้บริการทั้งหมด แต่ใน Pf ผลลัพธ์ของกรณี Rm และ Rs มี %served เท่ากัน มากไปกว่านั้นที่ Pm นั้นในตารางที่ 25 จะเห็นได้ว่าที่ Rs นั้นสามารถให้ service distance และ %served ที่มากกว่าใน Rm เพียงเล็กน้อย 34.7 km หรือ 1.361% ของ Rs และ 0.9% ของคำขอใช้บริการทั้งหมด ผลลัพธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าแม้จะเพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จ ของยานพาหนะในแต่ละอัตราการชาร์จแล้วหรือการเพิ่มการต้นทุนเข้าไปให้บริการ แต่ service distance และ %served ที่สื่อถึงรายได้โดยนัยนั้นต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากวิเคราะห์ค่า service distance และ %served นั้นระหว่าง Rm และ Rs ข้างต้นนั้นมีค่าต่างกันไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งผู้วิจัยยังไม่สามารถสรุป service distance และ %served นั้นส่งผลกระทบต่อค่า VKT เป็นหลักด้วยแนวโน้ม ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการนั้นส่งผลกระทบต่อค่า VKT ด้วยและเพื่อพิสูจน์ว่า empty distance นั้นจะส่งผลกระทบต่อค่า VKT น้อยกว่า service distance

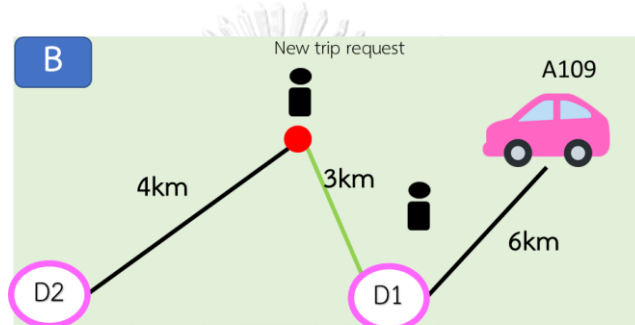
5.4.3 ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการ

ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการ (empty distance) บ่งบอกถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างให้บริการซึ่งผู้ให้บริการต้องการจัดสรรให้มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ให้มีค่าน้อย โดยหากระยะที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการมีค่าน้อยนั้นโอกาสเกิดการค่าใช้จ่ายส่วนดังกล่าวจะน้อยลงซึ่งเป็นผลดีต่อผู้ให้บริการในทางกลับกันหากมีค่ามากก็จะหมายถึงการเสียโอกาสในการให้บริการผู้ให้บริการเช่นกัน

ระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการเกิดได้จาก 2 ช่วงคือระหว่างการเดินทางไปชาร์จที่สถานี (Empty distance for charging) ดังรูปที่ 38A) และระหว่างให้บริการโดยเกิดขึ้นหลังจากส่งผู้ให้บริการและต้องเดินทางไปรับผู้บริการรายใหม่ที่จุด PUDO อื่น (Empty distance for trips) ดังรูปที่ 38B) โดยจะได้แจกแจงระยะสองส่วนนี้ดังตารางที่ 26 และสามารถดูตัวอย่างผลลัพธ์ served trip ที่เกิดใน PTV VISUM ในภาคผนวก ง.



A) สถานการณ์ที่เกิด Empty distance for charging และ Empty distance for trips
หลังจากการชาร์จ



— Service distance — Empty distance for charging — Empty distance for trips

B) สถานการณ์ที่เกิด Empty distance for trips ระหว่างให้บริการ

รูปที่ 38 การเกิด empty distance

ตารางที่ 26 ผลลัพธ์ empty distance ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี

Scenario	Rs:Pf	Rs:Pm	Rs:Ps	Rm:Pf	Rm:Pm	Rm:Ps	RL:Pf	RL:Pm	RL:Ps
empty distance (km)	561	530	492	528	515	447	536	532	484
%empty ratio	18.12	17.36	17.47	17.07	17.14	16.08	17.19	17.09	17.06
empty distance for trip (km)	520	497	453	501	490	418	515	515	467
%empty distance for trip	16.80	16.26	16.09	16.21	16.32	15.06	16.50	16.53	16.44
empty distance for charging (km)	41	34	39	27	25	28	21	18	18
%empty distance for charging	1.32	1.10	1.39	0.86	0.82	1.02	0.69	0.56	0.62

จากผลการจำลองทั้ง 9 กรณีนั้นพบว่า %empty ratio อยู่ในช่วง 16.08-18.12% ของ VKT เท่านั้นดังตารางที่ 26 ดังนั้น empty distance ส่งผลกระทบต่อค่า VKT น้อยกว่า service distance มากไปกว่านั้นทุกอัตราการชาร์จที่ Rs นั้น empty distance มีค่ามากกว่าระยะวิ่งต่อการชาร์จ อื่นๆ แทบทุกอัตราการชาร์จดังตารางที่ 26 ผลลัพธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระยะวิ่งต่อการชาร์จที่น้อยนั้นจะเกิด empty distance สูงกว่าไม่ว่าจะเปลี่ยนอัตราการชาร์จ เนื่องจากการที่มีระยะวิ่งต่อการชาร์จ ของยานพาหนะนั้นน้อยนั้นทำให้แบตเตอรี่หมดก่อนระยะอื่น ๆ จึงมีความจำเป็นที่ต้องไปชาร์จบ่อยครั้ง จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยยังสรุปไม่ได้เนื่องจาก empty distance นั้นมีส่วนด้วยกัน โดยผู้วิจัยต้องทำการตรวจสอบว่าค่าของ empty distance for trips นั้นส่งผลน้อยกว่า empty distance for charging ใน empty distance เพื่อพิสูจน์สมมติฐานข้างต้นของผู้วิจัย

จากผลลัพธ์ในทุกอัตราการชาร์จนั้นที่กรณี Rs มีค่า empty distance for trips มากกว่ากรณี Rm โดย empty distance for trip ของ Pf, Pm, Ps มากกว่า 3.66%, 1.33%, 8.29% ตามลำดับ มากไปกว่านั้นที่ Pm และ Ps ของกรณี RL นั้นมีค่า empty distance for trips มากกว่ากรณี Rs เพียงเล็กน้อย โดย empty distance for trip ของ Pm และ Ps มากกว่าเพียง 3.64% และ

3.05% ตามลำดับ แต่ที่ Pf ผลลัพธ์ของกรณี Rs มี empty distance for trip สูงกว่า Rl เพียง 4.98 กิโลเมตรหรือ 0.967% ของ Rl จากผลลัพธ์ข้างต้นแสดงให้เห็นการเพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จสามารถลดค่าใช้จ่ายจาก empty distance for trips ได้ส่วนใหญ่ไม่เกิน 4% แต่มีค่าสูงสุดที่ 8.29%

ตารางที่ 27 ผลลัพธ์เกี่ยวกับการชาร์จที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี

Scenario	Rs:Pf	Rs:Pm	Rs:Ps	Rm:Pf	Rm:Pm	Rm:Ps	Rl:Pf	Rl:Pm	Rl:Ps
Total charging process per day per	51	49	45	30	31	29	21	21	20
Time spent at charging station per day for 1 vehicle (h:m)	1h6m	2h8m	4h54m	59m	2h1m	4h44m	55m	1h50m	4h21m
Avg. charging time	26m	52m	130m	39m	78m	196m	52m	104m	261m
Avg. stop time at station	37m	60m	138m	40m	79m	199m	61m	108m	263m
min. stop time at station	25m	51m	127m	38m	77m	192m	51m	103m	258m
max. stop time at station	164m	273m	215m	49m	91m	238m	136m	141m	292m
Max. travel time before going station	6h44m	4h46m	4h36m	7h51m	5h56m	5h52m	9h39m	7h31m	7h39m

มากไปกว่านั้นผลลัพธ์จากสมมติฐานข้างต้นในส่วนของ empty distance for charging จะมามีค่ามากขึ้นเมื่อระยะวิ่งต่อการชาร์จ ลดน้อยลง แต่ผลลัพธ์มีผลตรงข้ามกับที่ว่า empty distance for trips ส่งผลกระทบต่อค่าระยะทางที่วิ่งโดยไม่มีผู้ใช้บริการโดยรวมมากกว่า empty distance for charging โดย %empty distance for trips เทียบกับ VKT ในกรณีนั้นๆ พบว่าทุกกรณีจะมีค่าอยู่ในช่วง 15.06-16.80% ในขณะที่ %empty distance for charging เทียบกับ VKT ในกรณีนั้นๆ พบว่าทุกกรณีจะมีค่าต่ำกว่า 2% ในทุกกรณีดังตารางที่ 26 แต่มีผลลัพธ์ตามที่สมมติฐานข้างต้นอยู่ที่ว่าในส่วนของ empty distance for charging จะมีค่ามากขึ้นตามระยะวิ่งต่อการชาร์จ น้อยลง โดยจากตารางที่ 27 ที่ Rs มีจำนวนการไปชาร์จสูงถึง 45-51 ครั้ง ในขณะที่ long Range มีจำนวนการไปชาร์จอยู่ในช่วง 20 และ 21 ครั้งเท่านั้น หรือน้อยกว่ามากที่สุด 2.42 เท่าและเป็นสาเหตุที่ระยะ empty distance for charging ของ Rs สูงกว่า Rl ประมาณ 2 เท่าเช่นกัน โดยผลลัพธ์ของ

กรณี Rs มี empty distance for charging ระหว่าง 33.68-40.89 กิโลเมตรหรือคิดเป็น %empty distance for charging 1.10% - 1.39% ของ VKT ของกรณีนั้นๆ ในขณะที่ long Range มี empty distance for charging ระหว่าง 17.51-21.39 กม หรือคิดเป็น %empty distance for charging 0.56% - 0.69% ของ VKT ของกรณีนั้นๆ จากข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระยะ empty distance for charging ของ Rs สูงกว่า Rl นั้นสามารถสื่อถึงการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปชาร์จมากกว่าประมาณ 2 เท่า แต่ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปชาร์จเกิดขึ้นของทุกกรณีมีค่าไม่เกิน 2% ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจาก VKT ที่เกิดขึ้นทั้งหมด

5.5 การวิเคราะห์แง่มุมรายได้

5.5.1 Passenger Kilometers Traveled (PKT)

PKT คือระยะทางโดยรวมของผู้ใช้บริการรายบุคคล เพื่อสื่อถึงรายได้พึงได้ของผู้ให้บริการโดยรวม จากการวิเคราะห์และประเมิน service distance ข้างต้นเป็นเพียงการวิเคราะห์เบื้องต้นเกี่ยวกับรายได้เท่านั้น ในส่วนของหัวข้อนี้จะประเมินละเอียดยิ่งขึ้น

ตารางที่ 28 ผลลัพธ์ PKT ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จำลองทั้ง 9 กรณี

Scenario	Rs:Pf	Rs:Pm	Rs:Ps	Rm:Pf	Rm:Pm	Rm:Ps	Rl:Pf	Rl:Pm	Rl:Ps
No. passenger	3196	3092	2722	3198	3084	2733	3235	3219	2873
PKT (km)	8571	8578	7747	8796	8468	7722	8951	8906	8022
PKT no shared (km)	5065	4888	4290	5073	4892	4263	5146	5124	4509
revenue (baht/day)	72478	70021	61537	72566	69975	61437	73518	73179	64800

ในหลายๆ งานวิจัยใช้ PKT เป็นตัวชี้วัดของรายได้ เนื่องจากการใช้ยานพาหนะร่วมทางนั้นมีการขึ้น/ลงทับซ้อนกัน ค่า PKT ที่ออกมาคิดราคานั้นที่ซับซ้อนให้สามารถคิดตามระยะทางที่ผู้ให้บริการวิ่งในแต่ละบุคคลไปด้วย แต่การร่วมทางกันนั้นราคาการให้บริการควรจะลดลงไปด้วย เพราะผู้ให้บริการเสียเวลาในการอ้อมซึ่งไม่สมเหตุผลผลที่จะคิดรายได้จาก PKT ดังนั้นในการคิดรายได้พึงได้ของบริการนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยให้สมมติว่าคิดราคาโครงสร้างอย่างง่าย (ซึ่งความเป็นจริงการใช้ยานพาหนะร่วมกันจะลดราคาบริการได้) โดยคิดราคาด้วยค่าแรกเข้า 10 บาทต่อคนและกิโลเมตรละ 8 บาทจากการวิเคราะห์โครงสร้างค่าบริการและระยะทางบริการในการคิดราคาคือระยะทางที่เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่ได้คำนวณจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางแต่ละคนในแต่ละคำขอ (PKT

no shared) ดังตารางที่ 28 โดยที่อัตราการชาร์จเดียวกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะวิ่งต่อการชาร์จ นั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงรายได้ไม่เกิน 6% โดยที่ Pf, Pm และ Ps เมื่อมีการเปลี่ยนระยะวิ่งต่อการชาร์จ มีรายได้ต่างกันสูงสุดคือ 1.43%, 4.58% และ 5.47% ตามลำดับ ในขณะที่ระยะวิ่งต่อการชาร์จ เดียวกัน เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการชาร์จนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงรายได้ อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ Rs, Rm และ Rl เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราชาร์จมีรายได้ต่างกันสูงสุด 17.78%, 18.11% และ 13.45% ตามลำดับ แต่ผลลัพธ์ที่น่าสนใจคือที่ระยะวิ่งต่อการชาร์จ เดียวกัน เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการชาร์จจาก Ps เป็น Pm พบว่าการเปลี่ยนแปลงรายได้ อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ Rs, Rm และ Rl เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราชาร์จมีรายได้ต่างกันสูงสุด 13.79%, 13.90% และ 12.93% ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนอัตราการชาร์จจาก Pm เป็น Pf พบว่าการเปลี่ยนแปลงรายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ Rs, Rm และ Rl เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราชาร์จมีรายได้ต่างกันสูงสุด 3.51%, 3.70% และ 0.46% ตามลำดับ จากผลลัพธ์ข้างต้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการชาร์จส่งผลกระทบต่อให้บริการมากกว่าการเปลี่ยนแปลงระยะวิ่งต่อการชาร์จและมากกว่านั้นการเปลี่ยนแปลงอัตราการชาร์จจาก Ps ไปเป็น Pm นั้นส่งผลกระทบต่อรายได้มากกว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการชาร์จจาก Pm ไปเป็น Pf หรือสามารถสื่อได้ว่าการเพิ่มเงินในการเปลี่ยนอัตราชาร์จจาก Ps ไปเป็น Pm ได้รายได้กลับมาสูงกว่าการเพิ่มเงินในการเปลี่ยนอัตราชาร์จจาก Pm ไปเป็น Pf

จากผลลัพธ์ในหัวข้อ 5.4 และ 5.5 (การวิเคราะห์แง่มุมค่าใช้จ่ายและการวิเคราะห์แง่มุมรายได้) แสดงให้เห็นว่าผลกระทบจากการปรับอัตราการชาร์จนั้นส่งผลกระทบต่อให้บริการมากกว่าระยะวิ่งต่อการชาร์จ อย่างเห็นได้ชัดในทุกกรณี ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากยานพาหนะนั้นมีระยะวิ่งต่อการชาร์จ ที่ไม่สามารถวิ่งได้ตลอดการบริการทั้งวันได้และจำนวนยานพาหนะที่ไม่เหมาะสมในแต่ละกรณี

5.6 การวิเคราะห์กลยุทธ์ในการส่งยานพาหนะไปชาร์จ

จากการวิเคราะห์ผลในหัวข้อ 5.4 พบว่า %served ที่อัตราการชาร์จเดียวเมื่อเพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จ แสดงให้เห็นว่ามีเพียงบางกรณีได้แก่ คู่กรณีระหว่าง Rs:Pf และ Rm:Pf กับคู่กรณีระหว่าง Rs:Pm และ Rm:Pm ที่ไม่ให้ผลลัพธ์บริการที่ดีขึ้น ดังนั้นผลลัพธ์ที่น่าสนใจในการนำมาวิเคราะห์ศึกษาเพิ่มคือการเปรียบเทียบกรณี short range:medium charge และ medium range:medium charge โดยกรณี short range:medium charge นั้นให้ %served และรายได้ที่มากกว่าเล็กน้อย 0.9% และ 0.06% ตามลำดับ โดยสื่อถึงว่าทั้งที่เพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จของยานพาหนะ 20 คันแต่ผลลัพธ์กลับน้อยลงเล็กน้อย ผลลัพธ์ข้างต้นทำให้ผู้วิจัยวิเคราะห์จังหวะการไปชาร์จ จากตารางที่ 29

ตารางที่ 29 การหมุนเวียนยานพาหนะในระบบระหว่าง Rs:Pm และ Rm:Pm

	Total trip requests	unserved trips ของ Rs:Pm/Rm:Pm	number unserved passenger (person) ของ Rs:Pm/Rm:Pm	ยานพาหนะที่ถูกเพิ่มเข้าบริการ (คัน) ของ Rs:Pm/Rm:Pm	ยานพาหนะที่ให้บริการเดิม (คัน) ของ Rs:Pm/Rm:Pm	ยานพาหนะเข้าสู่การชาร์จ (คัน) ของ Rs:Pm/Rm:Pm	ยานพาหนะออกจากการชาร์จ (คัน) ของ Rs:Pm/Rm:Pm	ยานพาหนะที่ให้บริการสุทธิ (คัน) ของ Rs:Pm/Rm:Pm
7:30:00-8:29:59	97	0/0	0/0	2/2	11/11	0/0	0/0	11/11
8:30:00-9:29:59	100	0/0	0/0	2/0	13/11	5/0	0/0	8/11
9:30:00-10:29:59	193	0/0	0/0	3/3	16/14	1/1	5/0	15/13
10:30:00-11:29:59	250	7/23	21/55	4/6	20/20	5/6	3/0	17/13
11:30:00-12:29:59	278	36/58	105/127	0/0	20/20	6/2	3/6	14/17
12:30:00-13:29:59	181	27/7	77/29	0/0	20/20	8/2	6/2	12/17
13:30:00-14:29:59	142	0/0	0/0	0/0	20/20	5/4	9/2	16/15
14:30:00-15:29:59	153	0/0	0/0	0/0	20/20	0/0	3/3	19/18
15:30:00-16:29:59	125	0/0	0/0	0/0	20/20	6/5	1/3	14/16
16:30:00-17:29:59	103	0/0	0/0	0/0	20/20	6/3	4/6	12/19
17:30:00-18:29:59	84	0/0	0/0	0/0	20/20	1/0	2/1	13/20
sum		70/88	203/211					

กรณี medium range มีจังหวะการส่งไปชาร์จก่อนเข้าช่วงพีค (10:30:00-11:29:59) เหลือรถในระบบเพียง 13 คัน ในขณะที่กรณี short range นั้น มีรถในระบบเหลือ 17 คัน จากเหตุผลข้างต้นทำให้ช่วงค่าขอที่มากที่สุดหรือช่วงพีค (12:30:00-13:29:59) ของกรณี medium range นั้นให้เกิดการปฏิเสธค่าขอสูงกว่ากรณี short range และมากไปกว่านั้นกรณี medium range กลับมียานพาหนะจากการชาร์จในช่วงพีคแต่ก็ไม่ทันเวลา เนื่องจากช่วง 12:15:00-12:29:59 มียานพาหนะกลับมาจากการชาร์จ 3 คันทำให้ยานพาหนะในระบบมีจำนวน 17 คัน จากเหตุผลข้างต้นทำให้เห็นว่าที่ short range:medium charge มีการจัดการไปชาร์จที่ดีกว่า medium range:medium charge แสดงให้เห็นถึงความสำคัญนอกจากการเลือกขนาดระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จนั้นต้องมี

การจัดการไปชาร์จให้เหมาะสมกับความต้องการใช้บริการในพื้นที่ศึกษาอีกด้วยดังคำแนะนำของ (Vosooghi et al., 2020)

มากไปกว่านั้น ผลลัพธ์ในทุกกรณีจะใช้ยานพาหนะ 11 คันเพียงพอในช่วงเช้า 6:30:00-8:30:00 หลังจากนั้น จะเริ่มมีการเติมตามระยะวิ่งต่อการชาร์จของกรณีนั้นๆ โดยระยะวิ่งต่อการชาร์จที่สูงก็จะเติมยานพาหนะเพิ่มในระบบและถูกส่งไปชาร์จช้ากว่าระยะวิ่งต่อการชาร์จที่ต่ำ เมื่อยานพาหนะถูกไปชาร์จนั้นทำให้จังหวะการเข้าออกสถานีนั่นต่างกัน ซึ่งเน้นย้ำถึงขนาดแบตเตอรี่ที่ควรต้องมีความสอดคล้องกับอัตราการชาร์จ ไม่เช่นนั้นจะเกิดดงกรณีที่กล่าวไปข้างต้น

จากผลลัพธ์ข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงการวางกลยุทธ์ในการส่งยานพาหนะไปชาร์จ โดยในการวางกลยุทธ์ต้องจัดการให้เกิดการหมุนเวียนไปชาร์จให้เกิดในช่วงนอกชั่วโมงเร่งด่วนและให้เกิดการถูกส่งไปชาร์จในช่วงเวลาเร่งด่วนให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ในการให้บริการจริง อาจจะต้องจัดสรรและประเมินจำนวนตัวชาร์จให้เพียงพอและจัดสรรจำนวนยานพาหนะให้เหมาะสมนอกจากการเลือกขนาดแบตเตอรี่และอัตราการชาร์จที่เหมาะสมตามคำแนะนำของ (Loeb et al., 2018) ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ให้มีการชาร์จจนครบ 100% ก่อนออกสถานีแต่ข้อเสนอแนะจากชาร์จแบตเตอรี่เพียง 80% สามารถถนอมอายุการใช้งานแบตเตอรี่มากยิ่งขึ้น (Chen et al., 2016) และการที่ชาร์จเพียง 80% ของแบตเตอรี่สามารถลดเวลาชาร์จต่อครั้งถึงครึ่งหนึ่งของการชาร์จเต็ม 1 ครั้งซึ่งเพิ่มโอกาสในการอยู่บนถนนและพร้อมให้บริการมากกว่าการจอดชาร์จที่สถานีชาร์จ

5.7 กรณีที่เหมาะสมต่อการให้บริการในพื้นที่

ในการวิเคราะห์ส่วนสุดท้ายนี้ จะได้คัดเลือกกรณีที่เหมาะสมที่สุดต่อการให้บริการในพื้นที่จากกรณีศึกษาทั้ง 9 กรณีที่กำหนดในการจำลองนี้ โดยในการคัดกรองแรก เนื่องจากข้อมูลจริงที่ได้รับมาเป็นข้อมูลการตอบรับคำขอใช้บริการหรือปริมาณความต้องการเดินทางจริง 100% ดังนั้น จากผลลัพธ์การจำลองด้วยปริมาณความต้องการเดินทางจริงด้วย ride sharing ในพื้นที่ศึกษา จึงเลือกพิจารณาเฉพาะกรณีที่ให้ผลลัพธ์ของ %served สูงกว่า 95% หรือสามารถให้บริการเกือบเทียบเท่าปริมาณความต้องการเดินทางจริงที่ 100% ซึ่งมีได้ 6 กรณีดังตารางที่ 25 โดย 6 กรณีดังกล่าวได้แก่ Rs: Pf, Rs: Pm, Rm: Pf, Rm: Pm, Rl: Pf และ Rl: Pm

ในการคัดกรองต่อมา การเปรียบเทียบ %รายได้จะพบว่า เมื่อเทียบทุกกรณีกับกรณี medium range: medium charge (กรณีที่ได้รายได้น้อยที่สุดของ 6 กรณี) ให้ค่าต่างกันสูงสุดเพียง 5.06% ดังตารางที่ 28 ส่วนค่า VKT ที่สื่อถึงค่าใช้จ่าย เมื่อเทียบกับกรณี medium range: medium

charge (กรณีที่ได้รายได้น้อยที่สุดของ 6 กรณี) ให้ค่าต่างกันสูงสุดเพียง 3.70% ดังตารางที่ 25 ทั้งนี้ จากข้างต้นเป็นเพียงการเลือกจากการดูแล operating cost เท่านั้น ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถหาจำนวนตัวชาร์จที่ขั้นต่ำจำเป็นในทั้ง 6 กรณีข้างต้น แต่ในความเป็นจริงต้องคิดในส่วนของการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานโดยละเอียดซึ่งนอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้และหากจะคิดในส่วนรายรับรายจ่ายทั้งหมดที่จุดที่ดีที่สุดของแต่ละกรณี

จากการคัดกรองข้างต้น ที่ 6 กรณียังไม่ให้ข้อได้เปรียบที่แตกต่างมากนัก ข้อพิจารณาสุดท้ายได้แก่ข้อกำหนดด้านกฎหมายแรงงาน โดยกฎหมายแรงงานมาตรา 27 ได้ระบุว่า คนขับจะต้องพักอย่างน้อย 1 ชั่วโมงหลังจากการทำงานไม่เกิน 5 ชั่วโมงติดต่อกัน ซึ่งด้วยข้อกำหนดนี้ จากผลการจำลองพบว่ากรณี Rs:Pf, Rm:Pf, Rm:Pm, Rl:Pf, Rl:Pm ล้วนมีการทำงานเกิน 5 ชั่วโมงก่อนที่จะถูกส่งไปชาร์จดังตารางที่ 27 และเหลือเพียงกรณี short range:medium charge กรณีเดียวที่มีเวลาในการจอดที่สถานีเฉลี่ย 60 นาทีและเวลาในการจอดที่สถานีต่ำสุด 51 นาที สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านกฎหมายแรงงาน ดังนั้นกรณีระยะวิ่งต่อการชาร์จระยะสั้นที่ใช้อัตราการชาร์จขนาดกลาง มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้จริงจากผลการจำลองทั้ง 9 กรณี

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ที่มีฟังก์ชันเฉพาะสำหรับการจำลองการเดินทางที่รองรับการให้บริการ ride sharing ด้วย โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวคือ PTV VISUM โดยฟังก์ชันเสริมที่ตอบโจทย์วิจัยสำหรับงานนี้คือโมดูล MaaS Modeller งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการให้บริการ ride sharing ในพื้นที่จุฬาสายานซึ่งมีขนาด 6.88 ตารางกิโลเมตร ข้อมูลตั้งต้นได้มาจากข้อมูลการให้บริการจริงของ ride sharing โดยเป็นข้อมูลที่กรอกมาด้วยปริมาณ 18% ของข้อมูลบริการจริงของ 1 วันเป็นจำนวน 2 วัน ข้อมูลตั้งต้นได้ถูกขยายเพื่อให้พร้อมเป็นข้อมูลนำเข้าของการจำลอง โดยได้มีการตรวจสอบความแม่นยำของกลุ่มตัวอย่างด้วยการเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ย wait time และ travel time กับค่าของแต่ละค่าขอใช้บริการให้อยู่ในช่วงไม่เกิน +/- 10%

ในการสร้างค่าขอใช้บริการในการจำลองนั้น เริ่มต้นจากวิเคราะห์จุดรับ/ส่งของการให้บริการ และแบ่งประเภทโซนตามพฤติกรรมของผู้ใช้บริการเพื่อกำหนดความสมเหตุสมผลในการเดินทางด้วย ride sharing ในพื้นที่ จากการวิเคราะห์เวลาในการเดินทางและเวลารอบบริการจริงในการจำลองได้ กำหนด Max. wait time, detour time always accepted, Max. detour time, Max. detour factor ในการจำลองคือ 5 นาที, 5 นาที, 15 นาทีและ 5 ตามลำดับ ในส่วนของระยะวิ่งต่อการชาร์จมี 3 ขนาดได้แก่ long range (Rl), medium range (Rm), short range (Rs) ตามลำดับและใช้อัตราการชาร์จ 3 ขนาดได้แก่ fast charge (Pf), medium charge (Pm), slow charge (Ps) ดังนั้นจากข้างต้นการจำลองจึงมี 9 สถานการณ์จำลองด้วยกัน และใช้ยานพาหนะ 20 คันเท่ากันเพื่อเห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจน โดยใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ Vehicle Kilometer Traveled (VKT), service distance, %served และรายได้จากการให้บริการ

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์พฤติกรรมและรูปแบบการเดินทางในพื้นที่ด้วย ride sharing ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่ามีช่วงการใช้งานสูงสุดอยู่ในช่วง 11:30-12:30 น. โดยมีจำนวนการเรียก 1 คนราว 70% และมากกว่า 92% คือการเรียกรถแบบไม่เกิน 3 คน และระยะเดินทางด้วย ride sharing ขึ้นต่ำอยู่ที่ระยะทาง 400 เมตร และระยะเดินทางด้วย ride sharing ระหว่าง 1 ถึง 2 กิโลเมตรเป็นช่วงที่คนเลือกใช้มากที่สุดซึ่งเป็น 56.88% ของค่าขอใช้บริการเดินทางทั้งหมด สำหรับผลลัพธ์จากการจำลองทั้ง 9 สถานการณ์จำลองนั้นพบว่าผลกระทบจากการปรับอัตราการชาร์จนั้นส่งผลต่อการให้บริการมากกว่าระยะวิ่งต่อการชาร์จอย่างเห็นได้ชัดในทุกกรณี โดยเมื่อระยะวิ่งต่อการชาร์จคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการชาร์จพบว่า VKT, service distance, %served และรายได้จากการให้บริการมีค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุด 11.35%, 10.05%, 11.08%, 18.11% ตามลำดับ

ในขณะที่เมื่ออัตราการชาร์จคงที่แต่มีการการเปลี่ยนแปลงระยะวิ่งต่อการชาร์จพบว่า VKT , service distance, %served และรายได้จากการให้บริการมีค่าเปลี่ยนแปลงสูงสุด 3.71%, 3.73%, 3.84%, 5.47% ตามลำดับ ซึ่งจากการนำเสนอผลลัพธ์ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการชาร์จมีผลต่อการให้บริการมากกว่าการเปลี่ยนแปลงระยะวิ่งต่อการชาร์จและขอความคิดเห็นเกี่ยวกับผลลัพธ์ข้างต้นกับผู้ให้บริการ ได้คำตอบว่าผลลัพธ์นั้นสอดคล้องกับการให้บริการจริง นอกจากนี้จากผลลัพธ์พบว่า การเพิ่มระยะวิ่งต่อการชาร์จนั้นไม่ได้ให้ผลลัพธ์การบริการที่ดีขึ้นเสมอไป โดยที่ short range:medium charge มี %served และรายได้มากกว่ากรณี medium range:medium charge เล็กน้อย 0.9% และ 0.06% ตามลำดับ โดยสาเหตุพบว่า short range:medium charge มีการจัดการส่งยานพาหนะไปชาร์จให้เหมาะสมกับช่วงพีคของการให้บริการมากกว่ากรณี medium range:medium charge จาก 9 สถานการณ์จำลองนั้นมีกรณี short range:medium charge เดียวเท่านั้นที่สามารถให้บริการตามกฎหมายแรงงาน

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

เนื่องจากงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จ จึงได้กำหนดค่าตัวแปรอื่นๆ คงที่โดยจากผลลัพธ์การจำลองของกรณีศึกษา ได้ข้อเสนอแนะในการตระหนักถึงการจัดการส่งยานพาหนะไปชาร์จให้สอดคล้องกับระยะวิ่งต่อการชาร์จและอัตราการชาร์จซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของ (Vosooghi et al., 2020) และนอกจากการเลือกขนาดแบตเตอรี่และอัตราการชาร์จที่เหมาะสมแล้ว การให้บริการจริงอาจจะต้องจัดสรรและประเมินจำนวนตัวชาร์จให้เพียงพอและจำนวนยานพาหนะให้เหมาะสมค่าขอใช้บริการของพื้นที่ศึกษาตามคำแนะนำของ (Loeb et al., 2018) ทั้งนี้ ในงานวิจัยนี้ให้มีการชาร์จจนครบ 100% ก่อนออกสถานี แต่ยังมีข้อแนะนำจากชาร์จแบตเตอรี่เพียง 80% สามารถถนอมอายุการใช้งานแบตเตอรี่มากยิ่งขึ้นตามคำแนะนำของ (Chen et al., 2016) ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตต้องตระหนักถึง ระยะวิ่งต่อการชาร์จ อัตราชาร์จ จำนวนตัวชาร์จ จำนวนยานพาหนะและกลวิธีในการส่งไปชาร์จให้เหมาะสมกับทรัพยากรที่มีอยู่จริง ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงในส่วนของการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานโดยละเอียด ดังนั้นในอนาคต ควรพิจารณาความคุ้มค่าการลงทุน

ในส่วนของการเป็นไปตามกฎหมายแรงงาน ผู้ให้บริการจริงในพื้นที่ศึกษาได้ให้ความเห็นว่าในปัจจุบันจากที่คนขับจำเป็นต้องพัก 1 ชั่วโมงได้ปรับเพิ่มเป็น 1 ชั่วโมงครึ่ง ดังนั้นในการจำลองครั้งต่อไปต้องพิจารณาให้มีการจอดที่สถานีเป็น 1 ชั่วโมงครึ่งอย่างต่ำ เพื่อให้สอดคล้องกับการให้บริการจริง นอกจากนี้ Autonomous vehicle จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาการชาร์จที่ยืดหยุ่นขึ้นโดยไม่ต้องกังวลข้อกำหนดแรงงานและลดรายจ่ายของแรงงานซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าวนี้เป็นปัญหาที่ผู้

ให้บริการจริงเผชิญในปัจจุบัน ดังนั้นการให้บริการ ride sharing ในอนาคตยานพาหนะที่ใช้ควรมีพฤติกรรมแบบ Autonomous vehicle ในแบบจำลอง สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะเสนอมุมมองการให้บริการ ride sharing และจะถูกนำไปจำลองเชื่อมต่อกับโหมดอื่นๆ เพื่อพัฒนามุมมอง MaaS ในอนาคตมากยิ่งขึ้นได้

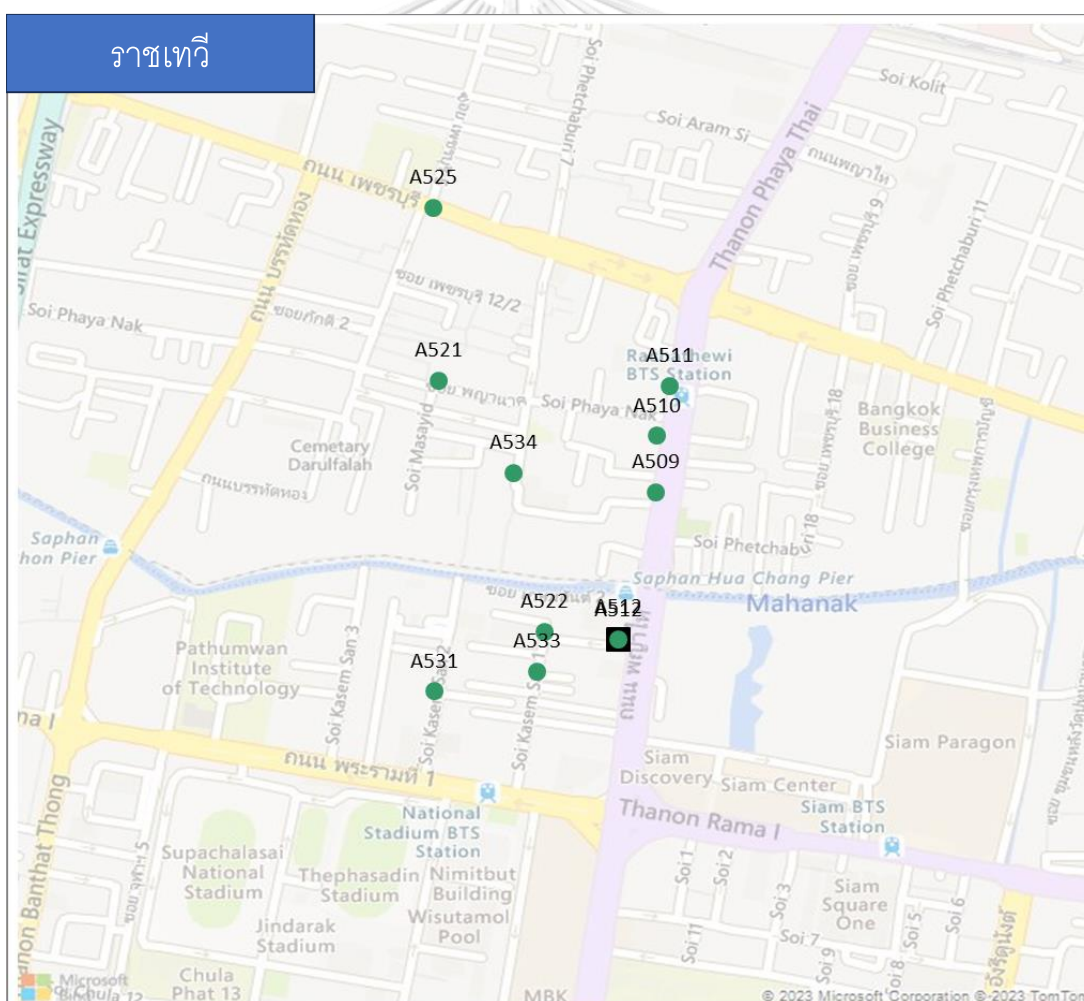


ภาคผนวก ก

การแบ่งโซนหลัก

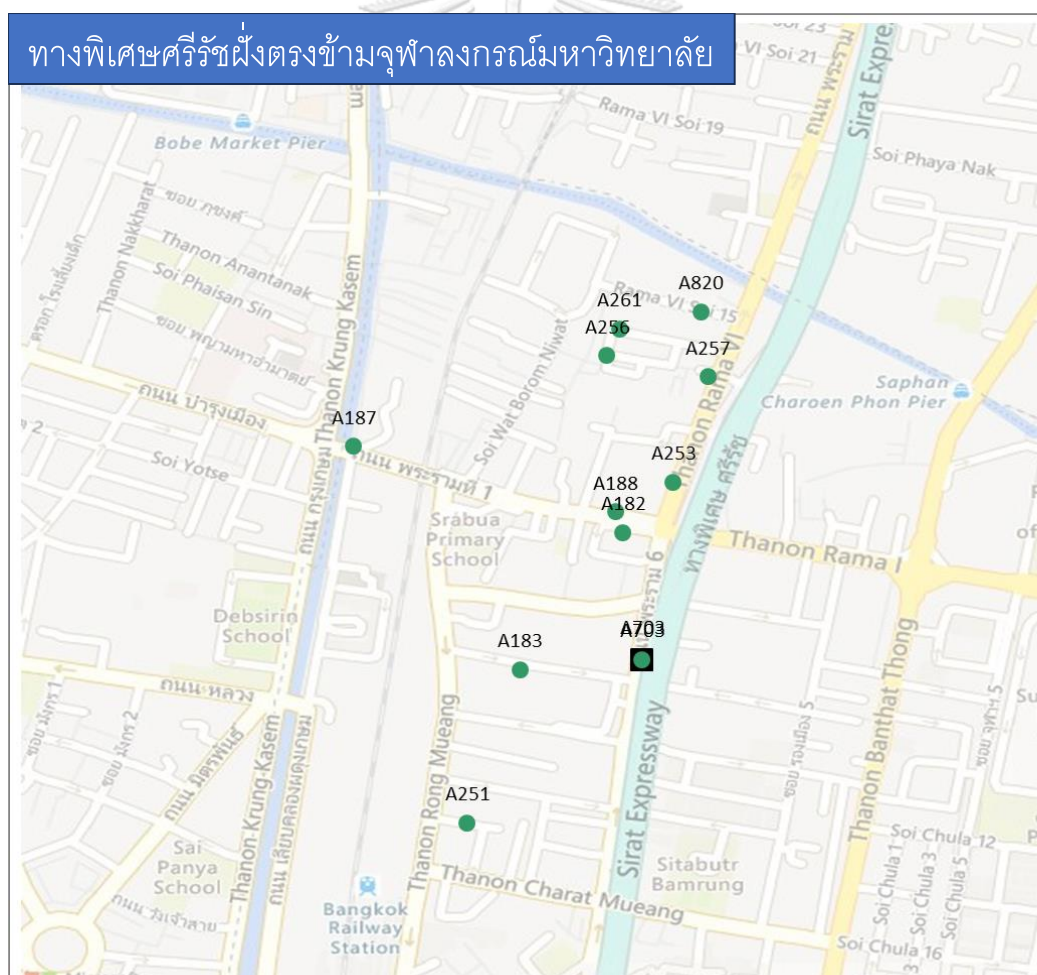
ในส่วนนี้ จะได้แสดงข้อมูลของจุดให้บริการ (ระบุด้วย Axxx) ตามโซนหลักต่างๆ พร้อมชื่อและตำแหน่งที่ระบุด้วย latitude และ longitude ตามที่ได้รับข้อมูลจากผู้ให้บริการ โดยการแบ่งโซนหลักประกอบด้วย 1.ราชเทวี, 2.ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้ามจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 3.บรรทัดทอง, 4.จุฬาฝั่งเล็ก, 5.วัดหัวลำโพง, 6.จุฬาฝั่งใหญ่ (สระน้ำ), 7.โรงพยาบาลจุฬา, 8.โรงพยาบาลตำรวจและ Central World

1.ราชเทวี



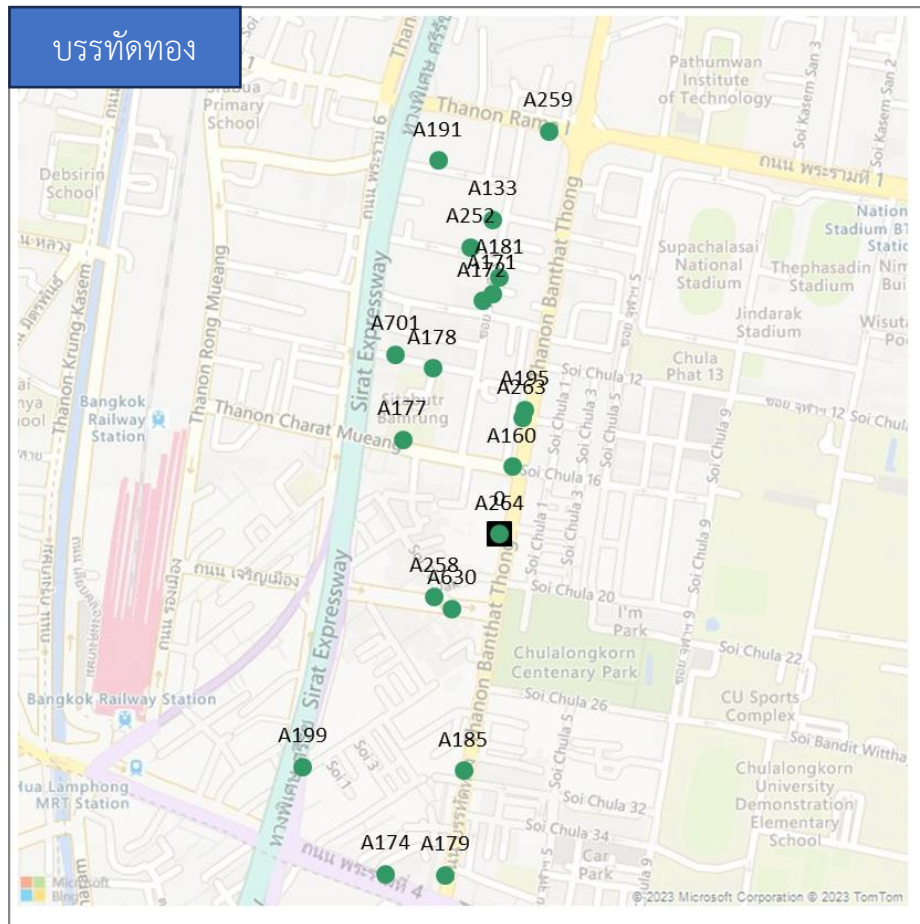
ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A509	สภาคริสตจักรในประเทศไทย (ราชเทวี)	13.750553	100.531227	ราชเทวี
A510	โรงแรมเอเชียกรุงเทพ	13.751314	100.531234	ราชเทวี
A511	บีทีเอส ราชเทวี (ทางออก 3)	13.751998	100.531406	ราชเทวี
A512	ท่าเรือสะพานหัวช้าง	13.748543	100.530749	ราชเทวี
A521	แอล เค เอ็น แกรนด์ อพาร์ทเมนท์ (ซอยพญานาค)	13.752069	100.528462	ราชเทวี
A522	บ้านเกษมสันต์ 1 - ซอยเกษมสันต์ 1	13.748653	100.529802	ราชเทวี
A525	โรงแรมโดมอนต์บางกอก - ปากซอยเพชรบุรี 10	13.754417	100.528388	ราชเทวี
A531	เดอะซีด เมมโมรี่ สยาม - ซอยเกษมสันต์ 2	13.747847	100.528407	ราชเทวี
A533	โรงแรมฤทธิ กรุงเทพ - ซอยเกษมสันต์ 1	13.748118	100.529713	ราชเทวี
A534	มาเอสโตร 14 สยาม-ราชเทวี (ซอยพญานาค)	13.750809	100.529409	ราชเทวี

2.ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้ามจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

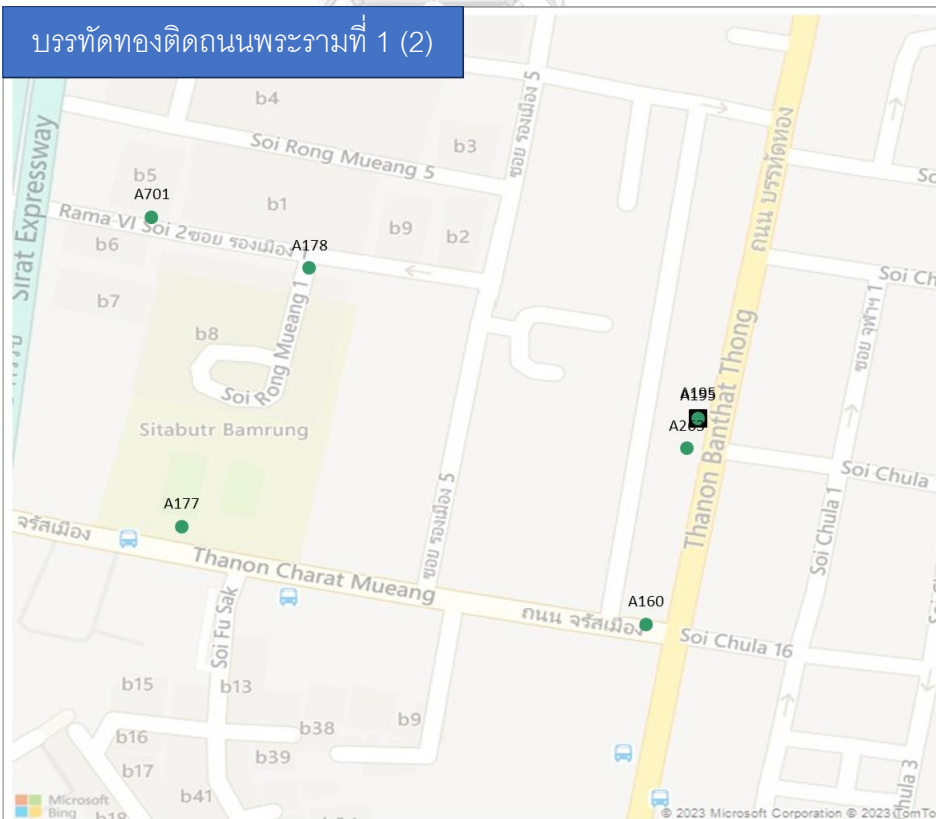
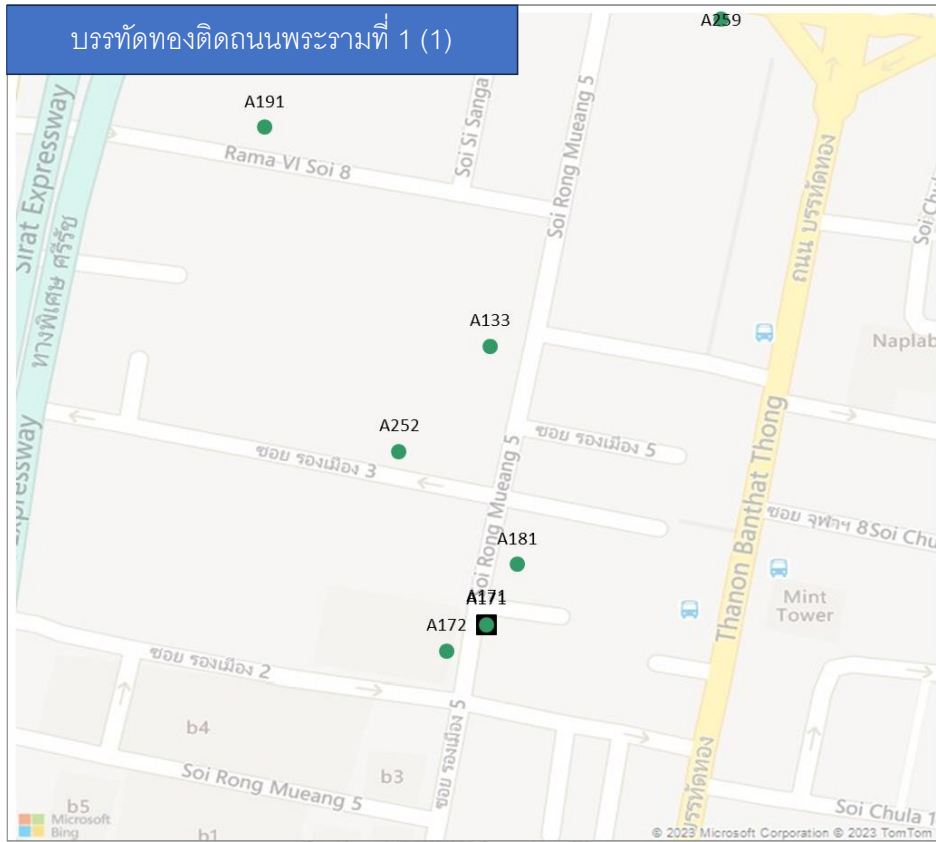


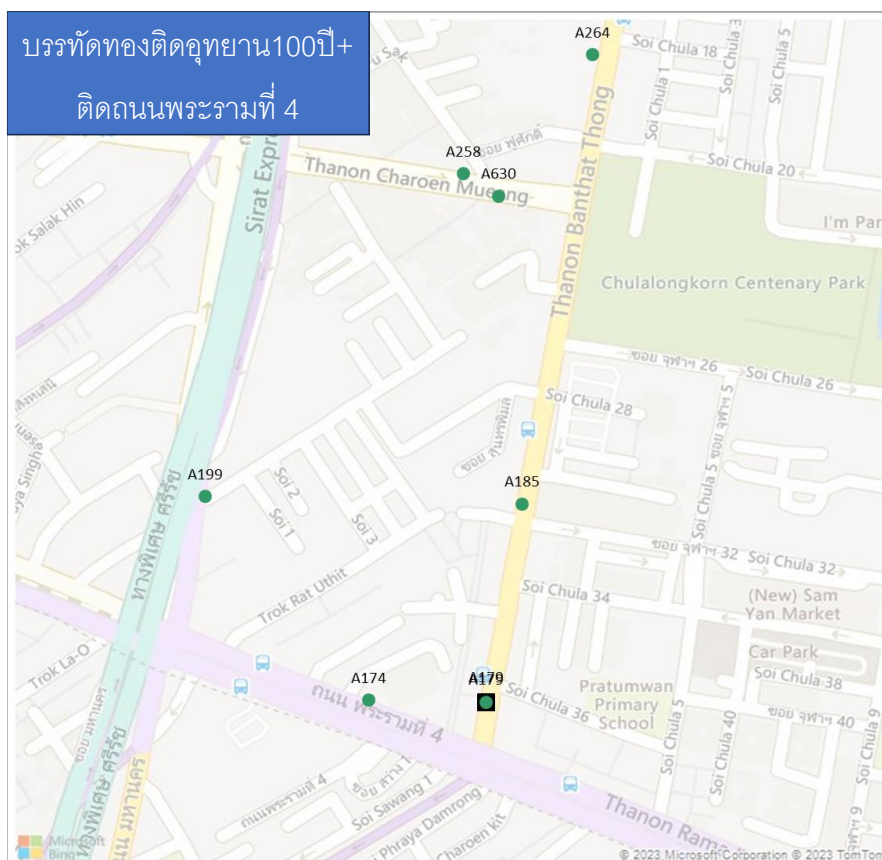
ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A182	อาคารศรีจุลทรัพย์ - จุดรับส่งหน้าอาคาร (ถนนพระราม 1)	13.747902	100.520260	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A183	ซี เรซิเดนซ์ (รองเมือง 3)	13.746032	100.519036	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A187	กรมพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน - สะพานกษัตริย์ศึก (ถนนพระราม 1)	13.749077	100.517057	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A188	ยศเสเซนต์จอร์จ (ถ.พระราม 1)	13.748183	100.520174	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A251	บจก. เพาเวอร์เทค แอ็ดวานซ์ ซิสเต็มส์ (ซอยจรัสเมือง)	13.743950	100.518410	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A253	บ้านอภิพันธ์	13.748590	100.520860	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A256	ป๊อป เฮอร์เทจ เรสซิเดนซ์	13.750310	100.520070	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A257	บจก. เค.วี.เอส.เอ็นจิเนียริง	13.750020	100.521270	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A261	เดอะ ฟิฟท์ เรสซิเดนส์	13.750670	100.520220	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A703	พาร์คแลนด์ เรสซิเดนส์ รองเมือง (ถนนรองเมือง)	13.746174	100.520489	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A820	ยูเพลส เซอร์วิส อพาร์ทเมนต์ - ถนนพระราม 6 ซอย 15	13.750910	100.521189	ทางพิเศษศรีรัชฝั่งตรงข้าม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.การแบ่งโซนย่อยในโซนหลักบรรทัดทองได้แก่ บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 1 (1,2) บรรทัดทองติดอุทยาน100ปี บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4



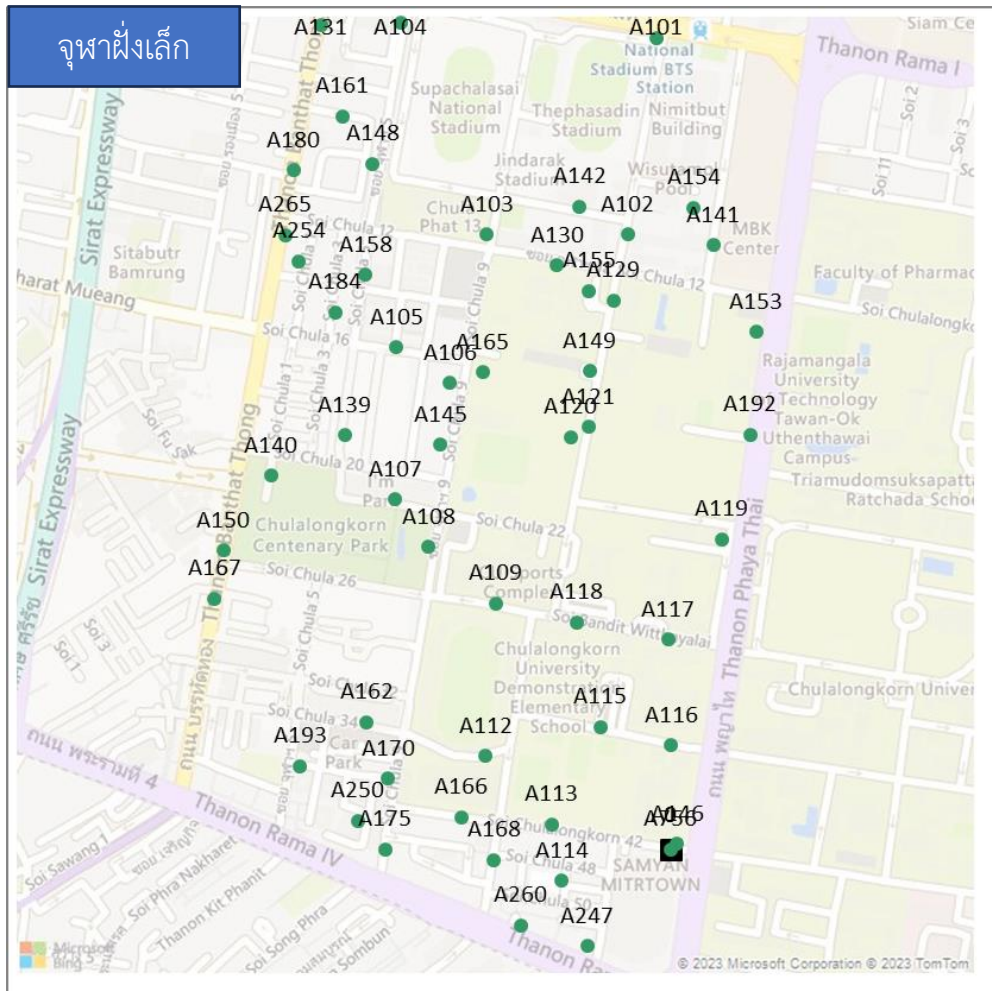
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



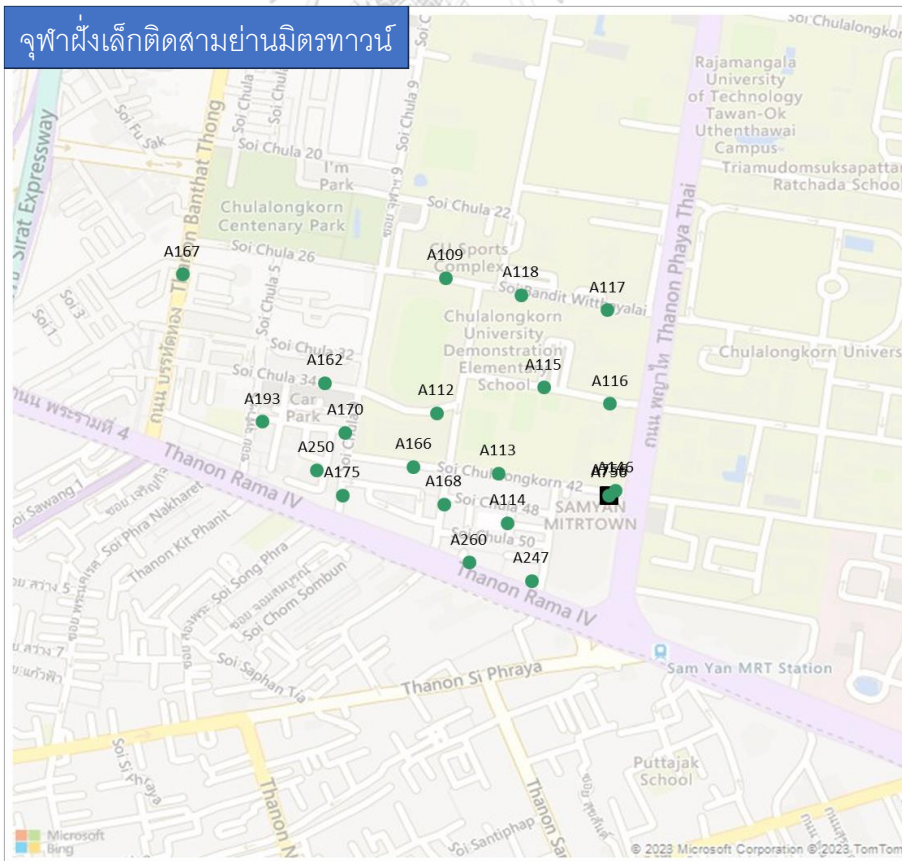
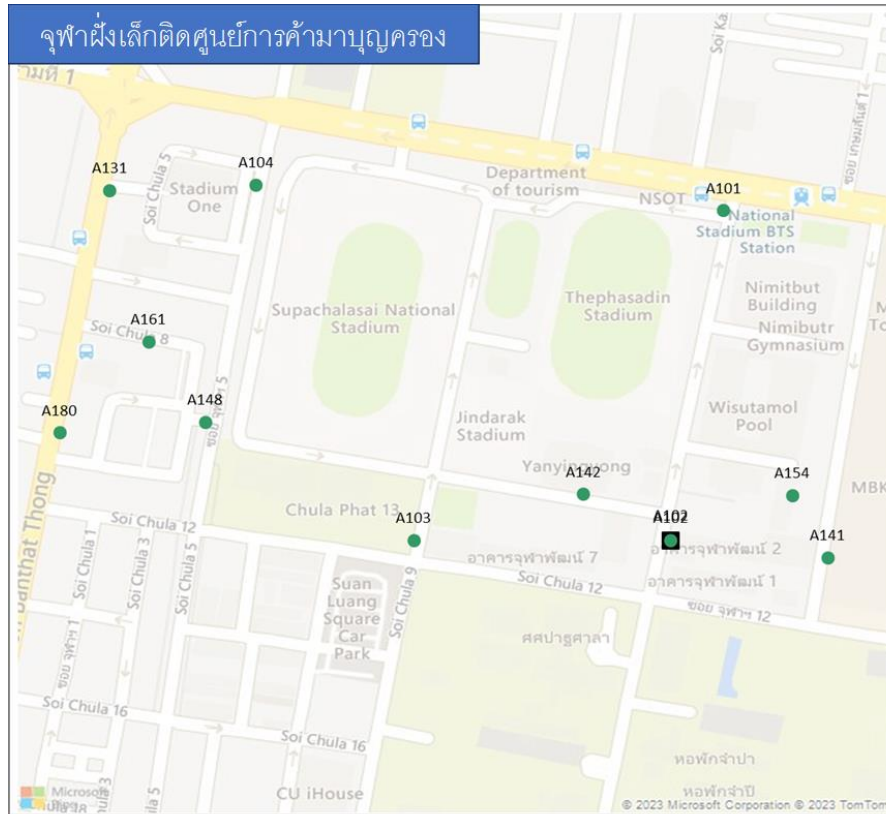


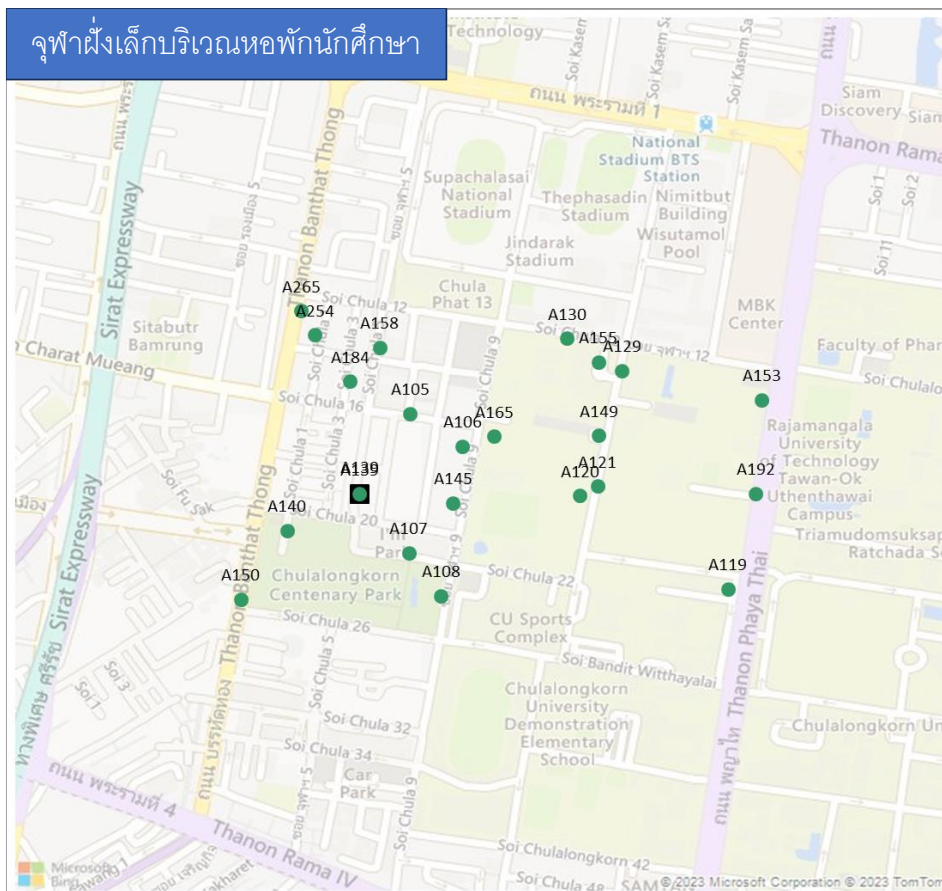
ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A133	คอนโด คูเปอร์ สยาม (รongเมือง ซอย 5)	13.746072	100.522409	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A171	ไโปรเซมย์ไทย สาขารongเมือง (รongเมือง 5)	13.744952	100.522397	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A172	สำนักงานเขตปทุมวัน (รongเมือง 5)	13.744846	100.522246	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A181	ซี เรซิดนซ์ สวีท (รongเมือง 5)	13.745194	100.522510	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A191	ทาวนวิลล์ รongเมือง (ซoyrongเมือง 4)	13.746955	100.521567	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A252	อพาร์ทเม้นท์ ภูณิการ์ (รongเมือง3)	13.745650	100.522070	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A259	เอส.เค.อพาร์ทเม้นท์ ปทุมวัน	13.747390	100.523270	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (1)
A160	ร้านเจี๊ว (บรรทัดทอง)	13.742363	100.522710	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A177	โรงเรียนสีตบุตรบำรุง (ถนนจรัลเมือง)	13.742767	100.521015	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A178	โรงเรียนวิทยสถานแห่งวัฒนธรรมตะวันออก (รongเมือง 1)	13.743835	100.521481	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A195	ข้าวมันไก่เจี๊ว (บรรทัดทอง)	13.743214	100.522900	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A263	บัวลอยปริญญา บรรทัดทอง	13.743090	100.522860	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A701	ศรีชัย แมนชั่น - รongเมือง ซอย 1	13.744046	100.520905	บรรทัดติดถนนพระรามที่ 1 (2)
A258	บ้าน155	13.740410	100.521500	บรรทัดทองติดอุทยาน100ปี
A264	สุกี้ฝั่งใหญ่	13.741350	100.522510	บรรทัดทองติดอุทยาน100ปี
A174	คอนโด เดอะ รุม พระราม 4	13.736245	100.520753	บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4
A179	คลินิกทันตกรรมปทุมวัน (บรรทัดทอง)	13.736228	100.521676	บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4
A185	ก๋วยเตี่ยวเอี่ยมน้อย (บรรทัดทอง)	13.737799	100.521958	บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4
A199	ปากซอยสุนทรพิมล (ถนนจรัลเมือง)	13.737856	100.519472	บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4
A630	อาร์ทู เรสซิเดนซ์ - ถนนเจริญเมือง	13.740232	100.521773	บรรทัดทองติดถนนพระรามที่ 4

4.การแบ่งโซนย่อยในโซนหลักจุฬาฝั่งเล็กได้แก่ จุฬาฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง จุฬาฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา จุฬาฝั่งเล็กติดสามย่านมิตรทาวน์



CHULALONGKORN UNIVERSITY

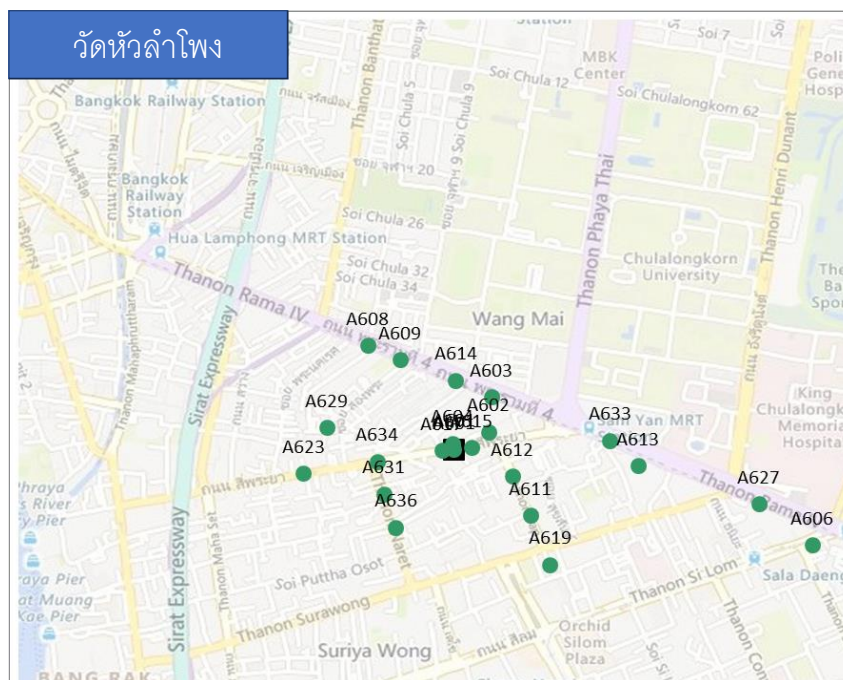




ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A101	(จุดฟ้า) บีทีเอส สนามกีฬาแห่งชาติ ทางออก 2	13.746365	100.528489	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A102	คณะสหเวชศาสตร์	13.743617	100.528074	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A103	อาคารจอดรถ 4 จุดฟ้าพัฒนา 14	13.743619	100.526057	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A104	โครงการสเต็มเต็มวัน	13.746579	100.524818	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A131	เซเว่น อีเลฟเว่น สาขาจุดฟ้า 4 (บนถนนบรรทัดทอง)	13.746533	100.523670	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A141	มาบุญครองเซ็นเตอร์	13.743472	100.529306	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A142	ลานจอดรถรถจักรยานยนต์	13.744003	100.527389	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A148	ที่จอดรถหลังตึกมันคง	13.744604	100.524419	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A154	สเต็มเต็ม เอ้าส์	13.743992	100.529030	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A161	สมบูรณโภจนา บรรทัดทอง (จุดฟ้าลงกรณ์ ซอย 8)	13.745271	100.523976	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A180	มินท์ ทาวเวอร์ (บรรทัดทอง)	13.744515	100.523278	จุดฟ้าฝั่งเล็กติดห้างมาบุญครอง
A105	สวนหลวงสแควร์ - สำนักงานจัดการทรัพย์สิน	13.742040	100.524759	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A106	ซียูไอเอ้าส์	13.741542	100.525527	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A107	แอมพาร์ค (ฝั่งด้านข้าง-ซอยจุดฟ้า 22)	13.739914	100.524743	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A108	อุทยาน 100 ปี (หน้าสวน)	13.739258	100.525218	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A119	สำนักงานจัดการทรัพย์สิน	13.739362	100.529429	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A120	อาคารหอพักวิทยนิเวศน์	13.740788	100.527259	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A121	หอพักนิสิตจุดฟ้า	13.740930	100.527513	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา
A129	อาคารจามจรี 10	13.742696	100.527873	จุดฟ้าฝั่งเล็กบริเวณหอพักนักศึกษา

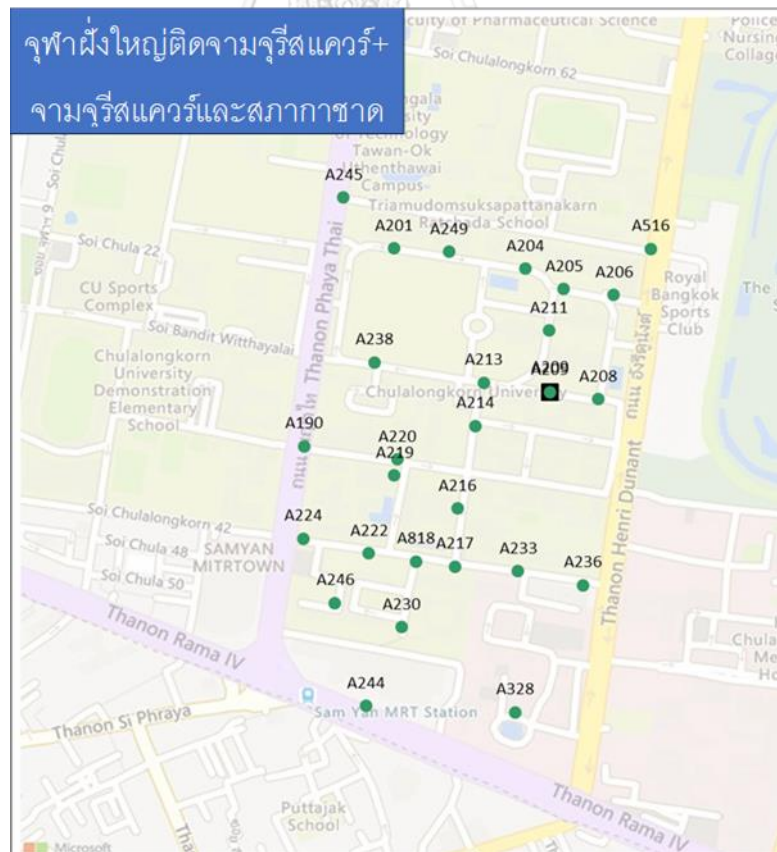
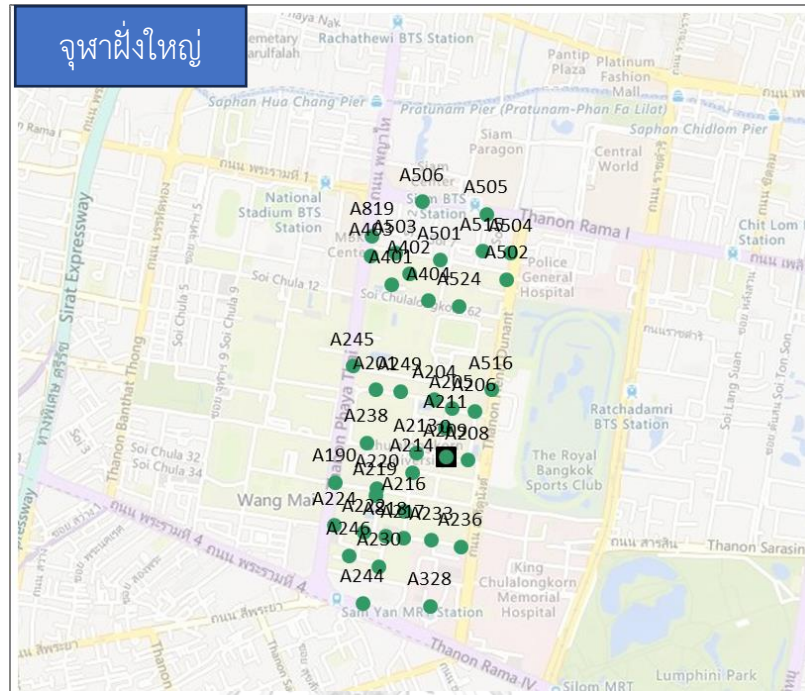
A130	วิทยาลัยปิโตรเลียม (อาคารวิจัย)	13.743190	100.527065	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A139	ดราฟท์ทาวน์	13.740814	100.524018	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A140	ลานจอดรถอุทยาน100ปี	13.740253	100.522952	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A145	ซียู เทอร์เรซ	13.740677	100.525390	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A149	อาคารวิทย์พัฒนา	13.741705	100.527531	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A150	ป้ายรถเมล์ ริมถนนบรรทัดทอง (หลังอุทยาน 100 ปีจุฬาฯ)	13.739208	100.522274	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A153	สมาคมนิสิตเก่าจุฬาฯ	13.742253	100.529924	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A155	ศคินทร์	13.742826	100.527527	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A158	สวนหลวงสแควร์ (7-11 ซอยจุฬาฯ 5)	13.743053	100.524316	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A165	หอพักจฬานิวาส (ตรงข้ามซียูไอเอส)	13.741692	100.525996	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A184	ศาลาแดงกรมมิ่ง (ซอยจุฬาลงกรณ์ 3)	13.742531	100.523879	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A192	ประตูหอพักนิสิตจุฬาฯ (ฝั่งถนนพญาไท)	13.740818	100.529837	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A254	คาเฟ่ นิวโทร	13.743240	100.523360	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A265	จินเจอร์โบวล์	13.743610	100.523160	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A109	จุฬาสปอร์ตคอมเพล็กซ์	13.738468	100.526179	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A112	อาคารจามจรี 9	13.736333	100.526038	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A113	ยูเซนเตอร์	13.735379	100.526990	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A114	สโตร์คอมโบ (ตลาดเก่าสามย่าน)	13.734589	100.527133	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A115	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯฝ่ายมัธยม	13.736738	100.527682	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A116	คณะนิเทศศาสตร์	13.736480	100.528703	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A117	คณะครุศาสตร์	13.737962	100.528662	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A118	โรงเรียนสาธิตจุฬาฯฝ่ายประถม	13.738199	100.527340	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A146	คณะนิติศาสตร์	13.735104	100.528789	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A162	ตลาดสามย่าน (หน้าร้าน AIM AROI SOYMILK)	13.736810	100.524330	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A166	ยูเซนเตอร์ (หน้าร้านโอคาแฟ)	13.735479	100.525685	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A167	ฟ้าใหม่โดม (บรรทัดทอง)	13.738530	100.522143	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A168	ร้านเค้กต้นกก (ตลาดเก่าสามย่าน)	13.734885	100.526154	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A170	บล็อก 28 (สตาร์ตอัพ วิลเลจ แอนด์ อีทีดีเพลส)	13.736021	100.524639	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A175	สถาบันพัฒนาบุคลิกภาพ ดนตรี และการแสดง (ซอยจุฬา 9)	13.735031	100.524593	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A193	พินโนมินา (อาคาร A - โครงการบล็อก 28)	13.736196	100.523370	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A247	ภัตตาคาร ลีมงวงเม้ง	13.733680	100.527500	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A250	เดอะ ฟู้ด สคูล (อาคาร E - Block28)	13.735430	100.524200	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A260	มิไร คิวส์	13.733970	100.526540	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A756	สามย่านมิตรทาวน์	13.735033	100.528689	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

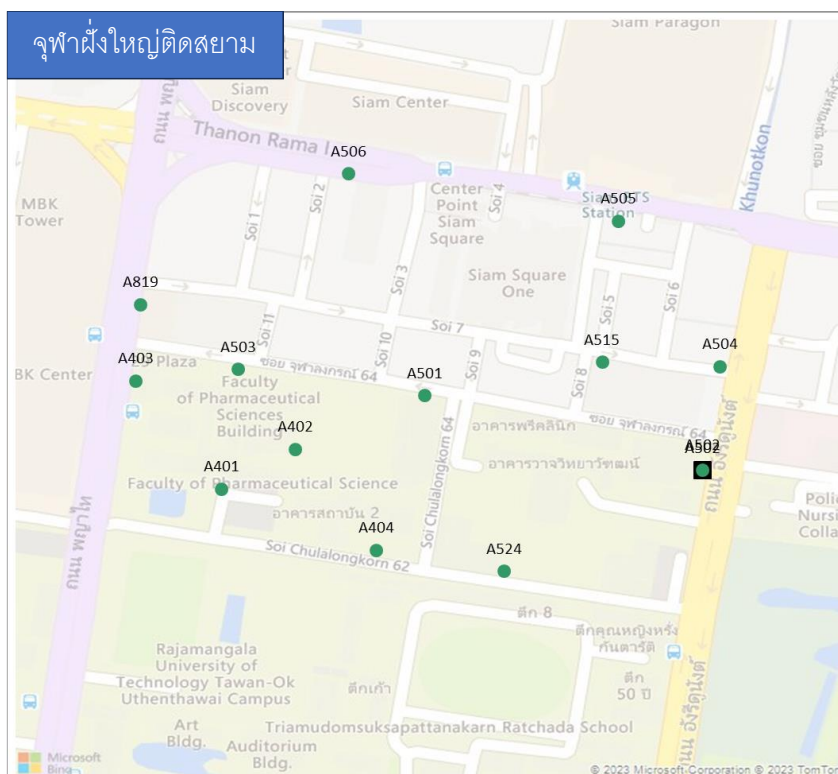
5. วัดหัวลำโพง



ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A601	ไอทีโอ จุฬา-สามย่าน	13.731836	100.525539	วัดหัวลำโพง
A602	คอนโด วิช แอดสามย่าน	13.732383	100.526556	วัดหัวลำโพง
A603	ไอทีโอ คิว สามย่าน (แม็กซ์แวลู)	13.733437	100.526645	วัดหัวลำโพง
A604	คอนโดเวอร์ทิก (เฉพาะลูกบ้าน)	13.732033	100.525498	วัดหัวลำโพง
A606	สถานีรถไฟใต้ดินสีลม (ทางออก 2) ตรงหน้าวัดสัน	13.728931	100.536050	วัดหัวลำโพง
A608	สะพานเหลือง (ด้านหน้าธนาคารไทยพาณิชย์)	13.735006	100.523013	วัดหัวลำโพง
A609	สะพานเหลือง (ด้านหน้าธนาคารกรุงเทพ)	13.734573	100.523961	วัดหัวลำโพง
A611	ไซมิส สุรวงศ์	13.729836	100.527795	วัดหัวลำโพง
A612	คอนโด เดอะ บางกอก ถนนทรัพย์	13.731023	100.527249	วัดหัวลำโพง
A613	แอสตัน จุฬาฯ - สีลม (ถ.พระราม4)	13.731346	100.530935	วัดหัวลำโพง
A614	อาคาร บีบีดี (ถนนพระราม 4)	13.733940	100.525596	วัดหัวลำโพง
A615	อัลติจูด สามย่าน-สีลม คอนโดมิเนียม (ถนนสีพระยา)	13.731902	100.526055	วัดหัวลำโพง
A617	ปากซอยจินตนาถวิล - ร้าน ฌัฐ กันมา (ด้านถนนสีพระยา)	13.731806	100.525186	วัดหัวลำโพง
A619	อาคารไทยสมุทร - ถนนสุรวงศ์	13.728338	100.528354	วัดหัวลำโพง
A623	ศูนย์การค้าสีพระยา - ถนนสีพระยา	13.731118	100.521134	วัดหัวลำโพง
A627	ร้านขายยาจุฬาเกษัช ถ.พระราม4	13.730180	100.534491	วัดหัวลำโพง
A629	โรงแรมไอสนุก แบนค็อก - ซอยสองพระ (ถนนสีพระยา)	13.732503	100.521819	วัดหัวลำโพง
A631	สำนักงานเขตบางรัก (ถนนนเรศ)	13.730493	100.523486	วัดหัวลำโพง
A633	วัดหัวลำโพง	13.732116	100.530117	วัดหัวลำโพง
A634	(สำหรับลูกบ้าน) แชนเตอร์ จุฬาฯ - สามย่าน (ถนน สีพระยา)	13.731480	100.523290	วัดหัวลำโพง
A636	ซิมพลี สล๊อป โฮสเทล	13.729470	100.523840	วัดหัวลำโพง

6.การแบ่งโซนย่อยในโซนหลักจุฬาฝั่งใหญ่ได้แก่ จุฬาฝั่งใหญ่ติดสยาม จุฬาฝั่งใหญ่ติดจามจุรีสแควร์ จามจุรีสแควร์และสภากาชาด

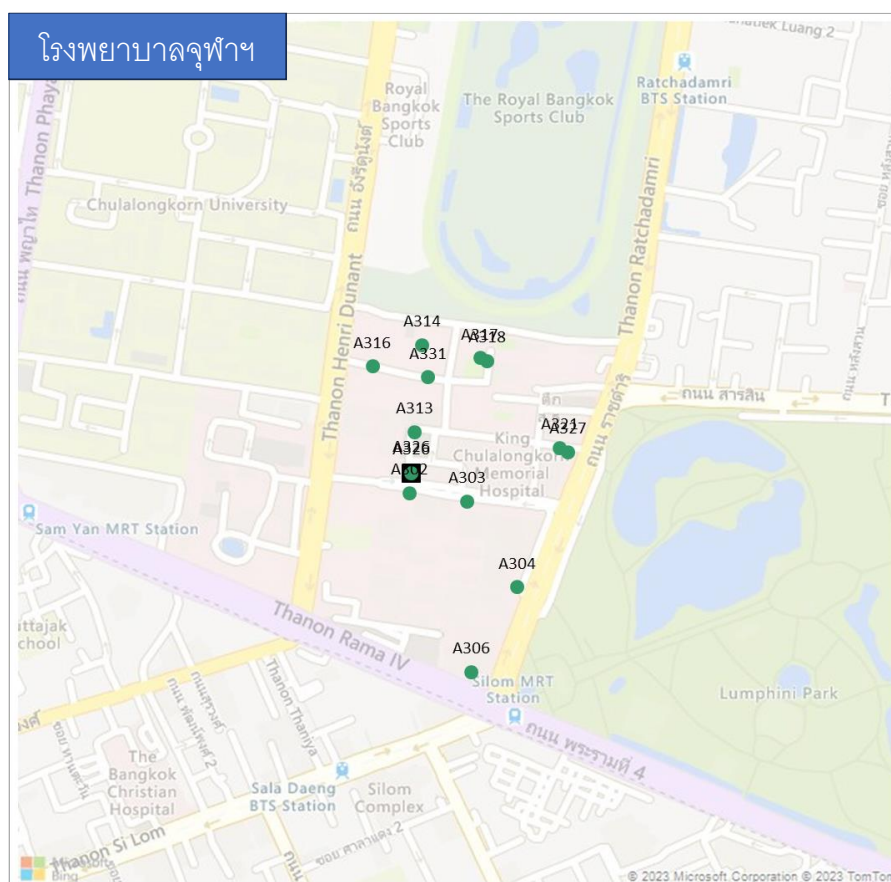




ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A401	เกาส์	13.743048	100.531348	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A402	เกาส์ (ด้านใน)	13.743396	100.531952	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A403	โอสถศาลา (ถนนพญาไท)	13.744000	100.530639	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A404	อาคารสถาบัน 3 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เข้าทางประตูเกาส์)	13.742508	100.532621	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A501	ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สยามสแควร์)	13.743870	100.533022	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A502	คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	13.743212	100.535312	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A503	สยามสแควร์ (ประตูเกาส์)	13.744101	100.531481	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A504	โคคา ภัตตาคาร	13.744123	100.535455	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A505	บีทีเอสสยาม (หน้าธนาคารกรุงเทพ)	13.745407	100.534616	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A506	ลิโด้	13.745823	100.532392	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A515	อาคารสยามกิตติ์ (สยามสแควร์ซอย 7)	13.744162	100.534483	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A524	ศูนย์สัตว์ทดลอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	13.742321	100.533676	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A819	สยามสแควร์	13.744672	100.530677	จุดพำนักใหญ่ติดสยาม
A190	อุโมงค์จุฬาฯ (ฝั่งหน้าประตูคณะวิทยาศาสตร์ ถนนพญาไท)	13.736425	100.529400	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A201	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์	13.739519	100.530795	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A204	คณะศิลปกรรมศาสตร์	13.739204	100.532828	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A205	อาคารบรมราชกุมารี	13.738883	100.533430	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A206	อาคารจอร์จถาวรมหาจักรีสิรินธร (ประตูอักษร)	13.738793	100.534210	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A208	โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	13.737159	100.533961	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A209	ตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์	13.737268	100.533212	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์
A211	หอประชุมจุฬาลงกรณ์ ฝั่งตึกเทวาลัย	13.738231	100.533200	จุดพำนักใหญ่ติดจามจุรีสแควร์

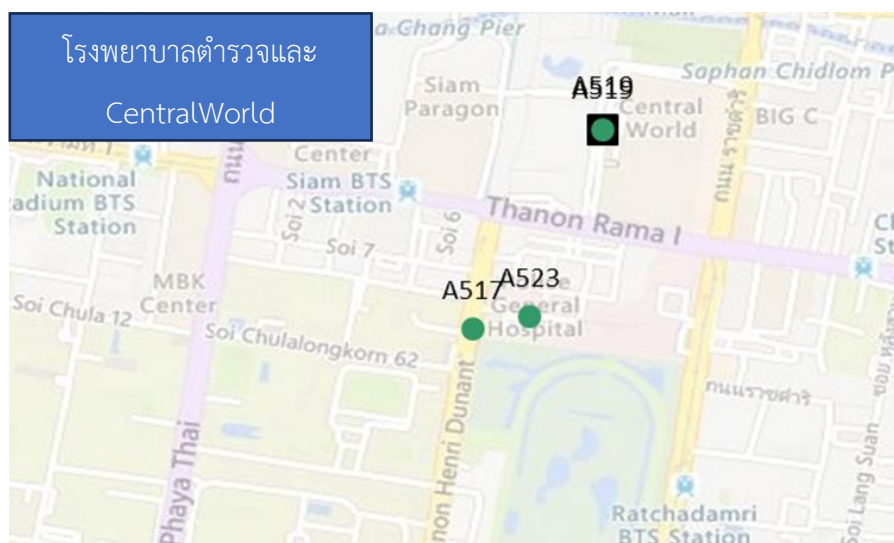
A213	สามแยกคณะวิศวกรรมศาสตร์	13.737419	100.532185	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A214	ทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ตึกบุญรอดบิณทสันต์)	13.736742	100.532055	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A216	ศาลาพระเกี้ยว	13.735452	100.531781	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A217	คณะเศรษฐศาสตร์	13.734545	100.531742	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A219	อาคารมหามกุฏ	13.735968	100.530798	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A220	ทางออกคณะวิทยาศาสตร์ (หน้าตึกมหามกุฏ)	13.736220	100.530846	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A222	หลังตึกไชยยศ 1	13.734749	100.530405	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A224	ที่จอดรถคณะวิทยาศาสตร์ (ประตูบุญศรี)	13.734981	100.529380	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A230	จามจุรีสแควร์ (ข้างสนามบาสคณะบุญศรี)	13.733599	100.530913	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A233	ลานจอดรถคณะรัฐศาสตร์	13.734472	100.532722	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A236	โรงอาหารคณะรัฐศาสตร์	13.734255	100.533727	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A238	ตึกชีววิทยา 1 (ประตูตึกชีวะ)	13.737736	100.530486	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A245	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา (ถนนพญาไท)	13.740311	100.530010	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A246	คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี (ด้านใน)	13.733971	100.529876	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A249	อาคารศิลปวัฒนธรรม (สำนักบริหารศิลปวัฒนธรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	13.739463	100.531650	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A516	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา - โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน (ประตูฝั่งถนนอังรีดูนังต์)	13.739513	100.534782	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A818	สามแยกถนนหน้าตึกมหิตลาลิเบศ	13.734621	100.531130	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A244	จามจุรี สแควร์ (ถนนพระราม 4)	13.732366	100.530354	จามจุรีสแควร์และสภากาชาด
A328	สถานเสาวภา สภากาชาดไทย	13.732263	100.532674	จามจุรีสแควร์และสภากาชาด

7.โรงพยาบาลจุฬาฯ



ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A302	ศูนย์อาหารอาคารอุปการเวชชกิจ	13.732850	100.535393	รพจุฬา
A303	อาคารภูมิสิริมังคลานุสรณ์	13.732718	100.536292	รพจุฬา
A304	อาคาร สก.	13.731392	100.537064	รพจุฬา
A306	ตึก ภปร.	13.730083	100.536354	รพจุฬา
A313	อาคารจอตรด3 (ร.พ.)	13.733794	100.535472	รพจุฬา
A314	อาคารนวมไวยยันต์	13.735135	100.535591	รพจุฬา
A316	อาคารพยาบาลสลิต	13.734807	100.534816	รพจุฬา
A317	อาคารปรีดาสัย	13.734935	100.536488	รพจุฬา
A318	อาคารนิสิตา	13.734891	100.536598	รพจุฬา
A321	อาคาร ส.ธ.	13.733548	100.537729	รพจุฬา
A326	ตึกอานันทมหพิดล	13.733155	100.535422	รพจุฬา
A327	อาคาร อปร	13.733478	100.537861	รพจุฬา
A331	อาคารนรราชูปถัมภ์ (โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์)	13.734637	100.535681	รพจุฬา

8.โรงพยาบาลตำรวจและ Central World

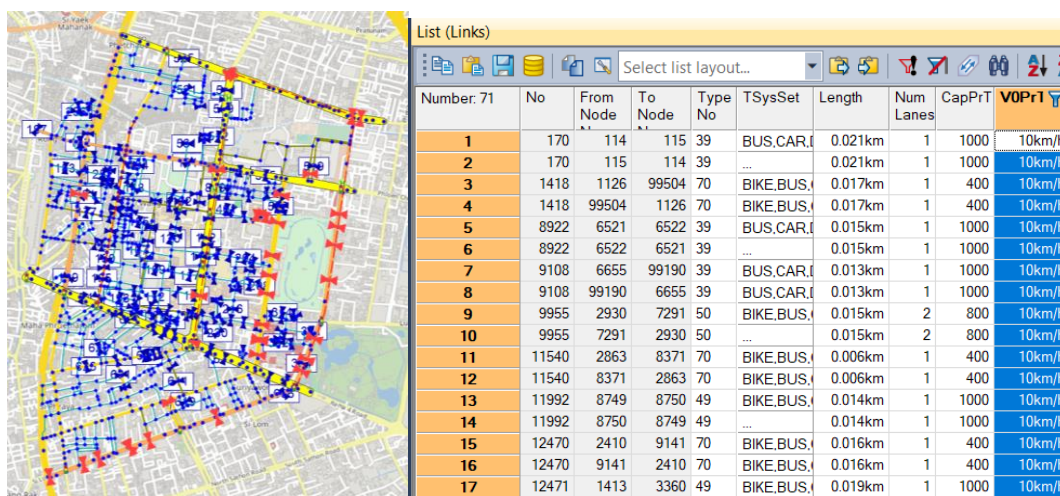


ID	Point Name	Latitude	Longitude	zone
A519	เซ็นทรัลเวิลด์ (ถัดจากทางเข้าโรงแรมเซ็นทาราแกรนด์)	13.747031	100.538061	Central world
A517	วิทยาลัยพยาบาลตำรวจ	13.742792	100.535523	รพตำรวจ
A523	หอพักพยาบาล - โรงพยาบาลตำรวจ	13.743064	100.536637	รพตำรวจ

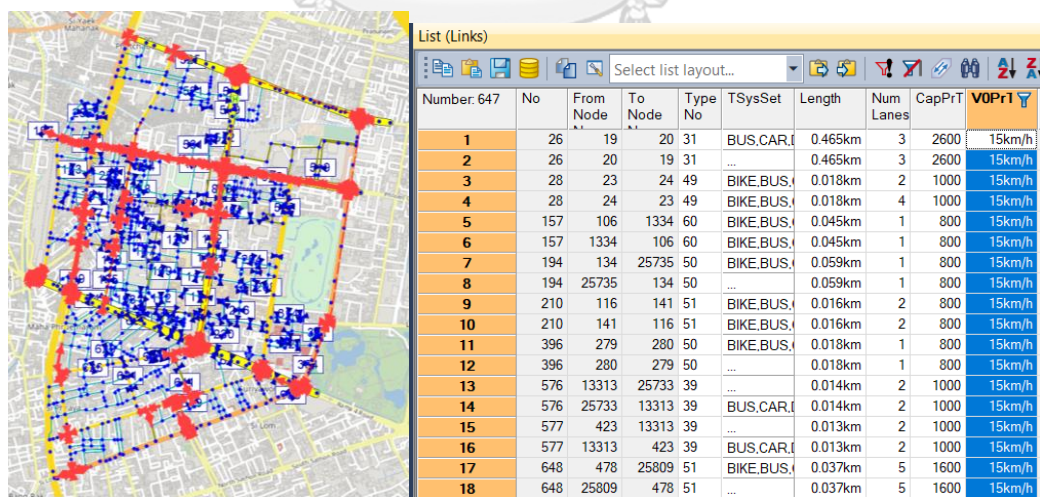
ภาคผนวก ข.

การกำหนดความเร็วสูงสุดผ่านใน link

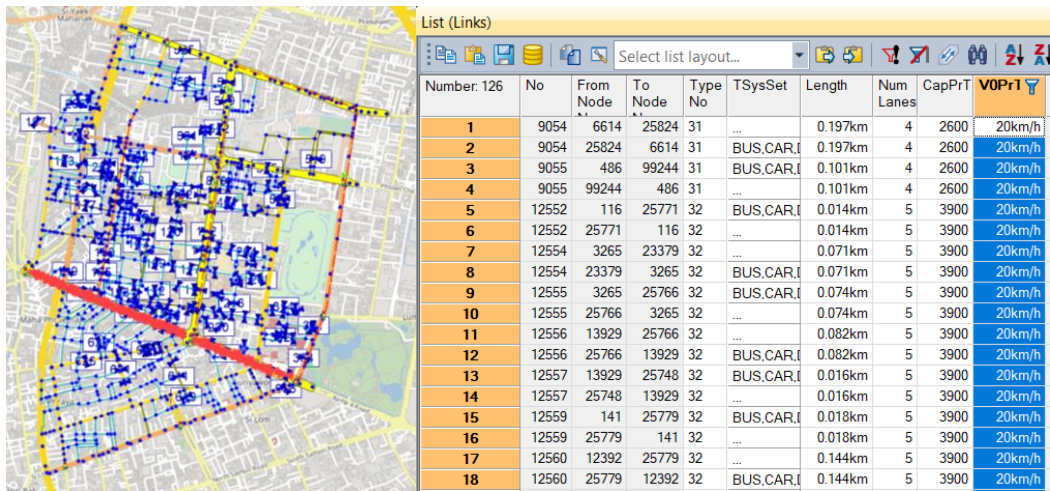
ในส่วนนี้ จะได้แสดงตำแหน่ง link ในรูปแบบต่างๆ ที่ถูกระบุความเร็วสูงสุดที่ต่างกันไป (ในหัวข้อ 4.2.3) บนแผนที่ โดยการกำหนดความเร็วของจุดเลี้ยวกลับรถ (U turn) ถนนพระรามที่ 1 และจุดตัดของสี่แยกจรรยา ถนนพระรามที่ 4 พื้นที่มหาวิทยาลัยและเขตที่อยู่อาศัย และ link ที่เหลือ ดังรูป ข. 1, 2, 3 ,4 และ 5 ตามลำดับ



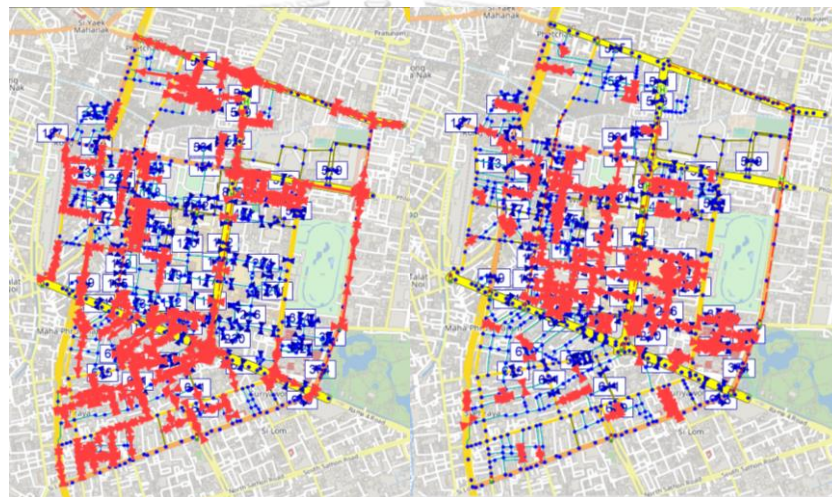
รูปที่ ข.1 การกำหนดจุดเลี้ยวกลับรถ (U turn) ให้มีความเร็วสูงสุดที่ 10 km/h



รูปที่ ข.2 การกำหนดถนนพระรามที่ 1 และจุดตัดของสี่แยกจรรยาให้มีความเร็วสูงสุดที่ 15 km/h

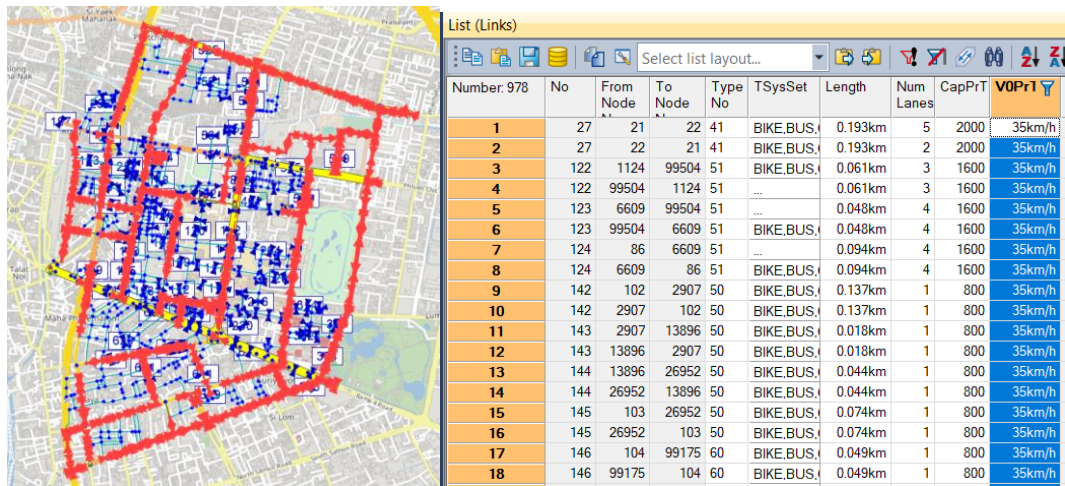


รูปที่ ข.3 การกำหนดถนนพระรามที่ 4 ให้มีความเร็วสูงสุดที่ 20 km/h



Number: 4,484	No	From Node	To Node	Type No	TSysSet	Length	Num Lanes	CapPrT	VOPrT
1	1	1	2	70	BIKE,BUS,I	0.325km	1	400	30km/h
2	1	2	1	70	...	0.325km	1	400	30km/h
3	2	3	19970	70	BIKE,BUS,I	0.018km	1	400	30km/h
4	2	19970	3	70	BIKE,BUS,I	0.018km	1	400	30km/h
5	3	19968	19970	70	BIKE,BUS,I	0.099km	1	400	30km/h
6	3	19970	19968	70	BIKE,BUS,I	0.099km	1	400	30km/h
7	4	19968	26275	70	BIKE,BUS,I	0.017km	1	400	30km/h
8	4	26275	19968	70	BIKE,BUS,I	0.017km	1	400	30km/h
9	5	4	26275	70	BIKE,BUS,I	0.034km	1	400	30km/h
10	5	26275	4	70	BIKE,BUS,I	0.034km	1	400	30km/h
11	9	7	28673	70	BIKE,BUS,I	0.002km	2	400	30km/h
12	9	28673	7	70	...	0.002km	2	400	30km/h
13	10	21605	28673	70	...	0.080km	2	400	30km/h
14	10	28673	21605	70	BIKE,BUS,I	0.080km	2	400	30km/h
15	11	8	21605	70	...	0.028km	2	400	30km/h
16	11	21605	8	70	BIKE,BUS,I	0.028km	2	400	30km/h
17	26	19	20	31	BUS,CAR,I	0.465km	3	2600	15km/h

รูปที่ ข.4 การกำหนดพื้นที่มหาวิทยาลัยและเขตที่อยู่อาศัยให้มีความเร็วสูงสุดที่ 30 km/h



Number: 978	No	From Node	To Node	Type	TSysSet	Length	Num Lanes	CapPrT	V0PrT
1	27	21	22	41	BIKE.BUS,	0.193km	5	2000	35km/h
2	27	22	21	41	BIKE.BUS,	0.193km	2	2000	35km/h
3	122	1124	99504	51	BIKE.BUS,	0.061km	3	1600	35km/h
4	122	99504	1124	51	...	0.061km	3	1600	35km/h
5	123	6609	99504	51	...	0.048km	4	1600	35km/h
6	123	99504	6609	51	BIKE.BUS,	0.048km	4	1600	35km/h
7	124	86	6609	51	...	0.094km	4	1600	35km/h
8	124	6609	86	51	BIKE.BUS,	0.094km	4	1600	35km/h
9	142	102	2907	50	BIKE.BUS,	0.137km	1	800	35km/h
10	142	2907	102	50	BIKE.BUS,	0.137km	1	800	35km/h
11	143	2907	13896	50	BIKE.BUS,	0.018km	1	800	35km/h
12	143	13896	2907	50	BIKE.BUS,	0.018km	1	800	35km/h
13	144	13896	26952	50	BIKE.BUS,	0.044km	1	800	35km/h
14	144	26952	13896	50	BIKE.BUS,	0.044km	1	800	35km/h
15	145	103	26952	50	BIKE.BUS,	0.074km	1	800	35km/h
16	145	26952	103	50	BIKE.BUS,	0.074km	1	800	35km/h
17	146	104	99175	60	BIKE.BUS,	0.049km	1	800	35km/h
18	146	99175	104	60	BIKE.BUS,	0.049km	1	800	35km/h

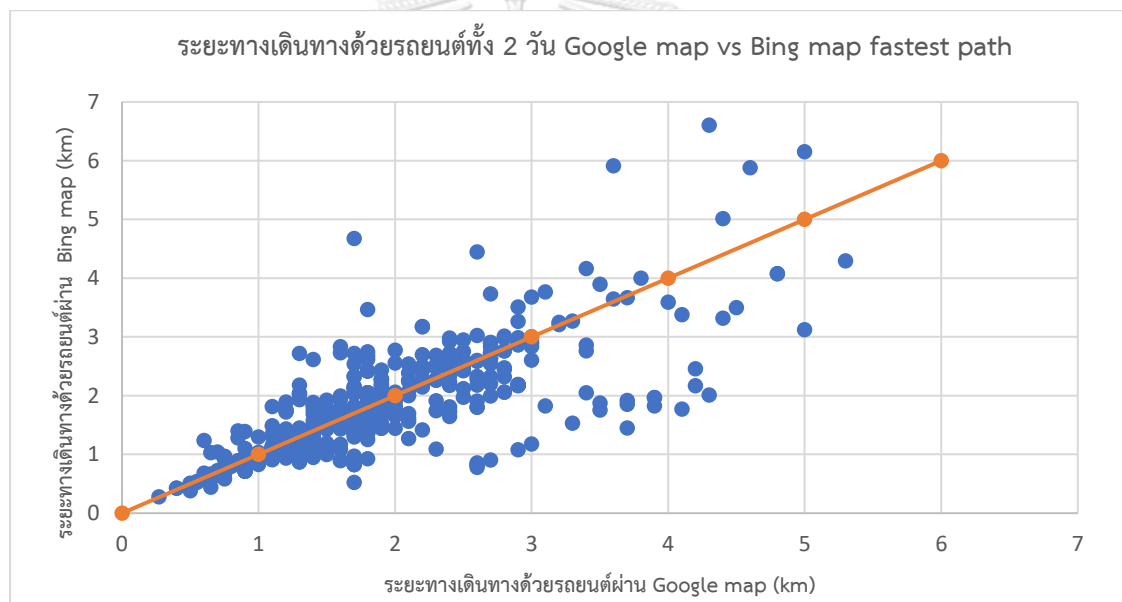
รูปที่ ข.5 การกำหนด link ที่เหลือให้มีความเร็วสูงสุดที่ 35 km/h



ภาคผนวก ค

การประเมินความแม่นยำจากข้อมูลของ Bing map

ด้วยเนื้อหาในหัวข้อ 4.3 ที่ไม่สามารถเข้าถึง API Google map ได้จึงใช้ข้อมูลจาก Bing map เพื่อหา คู่การเดินทางที่มีระยะต่ำกว่า 0.4 กิโลเมตร ในที่นี้ จึงได้สกัดข้อมูล Bing map ในโหมด fastest path เทียบกับผ่าน Google map ด้วยข้อมูลการเดินทางที่ได้รับเพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อน **รูปที่ ค.1** แสดงว่าระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางผ่าน Bing map ในโหมด fastest path มีความเสถียรและค่อนข้างเท่ากับผ่าน Google map ในช่วงไม่เกิน 1 กิโลเมตร ผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าการที่หาจำนวนการเดินทางผ่านที่ต่ำกว่า 0.4 กิโลเมตรผ่าน Bing map ในโหมด fastest path และตัดออกไปในหัวข้อ 4.3 นั้นมีความสมเหตุสมผล



รูปที่ ค.1 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางระหว่าง Google Map และ Bing map

ภาคผนวก ง

ผลลัพธ์การจำลอง

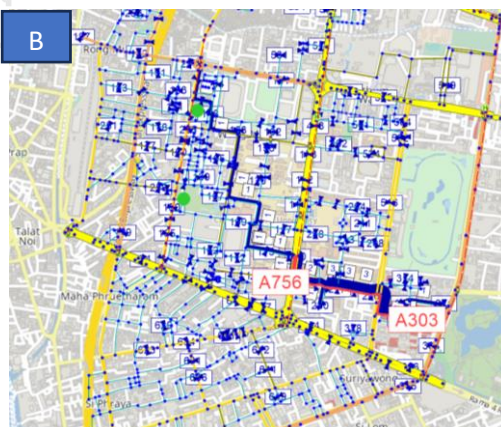
ผลลัพธ์การจำลองช่วยในการให้บริการ ride sharing ในการศึกษานี้ มีการรับคนได้ โดยมีความจุ 6 ที่นั่ง แต่ด้วยเพื่อเข้าใจการแสดงผล PTV VISUM จึงมีความสำคัญที่แสดงผลที่เกิดขึ้นในการจำลองระหว่างกรณีที่มีการร่วมทางและไม่มีการร่วมทางมีการเลือกเส้นทางแตกต่างกันอย่างไร การแสดงผลใน PTV VISUM อย่างไร และการเกิด empty distance ใน PTV VISUM

การร่วมทางและไม่ร่วมทาง

เมื่อไม่ให้มีการร่วมทางกันนั้นจะไม่มีมีการแวะรับคำขอบริการอื่นระหว่างทาง ตัวอย่างการเดินทางของคำขอใช้บริการที่ต้องการเดินทางจากจุด A756 ไปยังจุด A303 ดังรูปที่ ง.1A) และยานพาหนะวิ่งให้บริการโดยไม่แวะรับคำคำใช้บริการอื่นดังรูปที่ ง.1B) และ C)

Number: 1,996	No	DSeg	From Zone	To Zone	From Node	ToNode No	Pickup NodeNo	Dropoff Node	Num Pass	Reques Creator	Reqt Crea	Desired Departur	Des De	Acce: Time	Egr Tim	Pu In	PuTF Shar	F
Min	1	DRT	101	101	99101	99101	99101	99101	1	06:31:06	1	06:36:06	1	0	0	0.000	0.000	
Max	1997	DRT	820	820	99820	99820	99820	99820	6	21:29:24	1	21:34:24	1	0	0	0.000	0.000	
Avg	999		381	336	99381	99336	99379	99336	2	13:06:42	1	13:11:42	1	0	0	0.000	0.000	
Sum	994595		760995	669667	8364995	198273667	195379813	95294325	3295	171:00:14	1996	26337:20:14	1996	0	0	0.000	0.000	
1	1	DRT	756	303	99756	99303	99756	99303	1	06:31:06	1	06:36:06	1	0	0	0.000	0.000	
2	2	DRT	230	327	99230	99327	99230	99327	1	06:32:48	1	06:37:48	1	0	0	0.000	0.000	

A) คำขอใช้บริการ A756 ไปยัง A303 ไม่มีการแวะรับ



B) เส้นทางที่สั้นที่สุดของการเดินทางจากจุด A756 ไป A303 มุมกว้าง



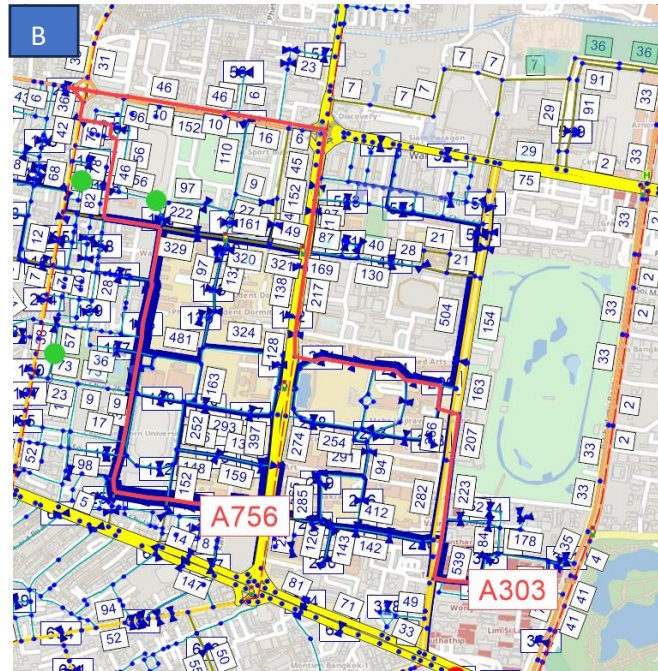
C) เส้นทางที่สั้นที่สุดของการเดินทางจากจุด A756 ไป A303 มุมแคบ

รูปที่ ง.1 การไม่ร่วมทาง

แต่สำหรับอีกกรณีที่มีการร่วมทางด้วยค่าขอใช้บริการเริ่มต้นมีค่าขอการใช้บริการที่ต้องการเดินทางจากจุด A756 ไปยังจุด A303 ดังรูปที่ ง.2A) และมีเส้นทางตั้งแต่การรับผู้ให้บริการตั้งแต่จุด A756 จนเดินทางไปถึง A303 ดังรูปที่ ง.2B) ซึ่งยานพาหนะได้ให้แวะรับค่าขอใช้บริการที่ต้องการเดินทางจาก A259 ไปยัง A302 ดังรูปที่ ง.3A) โดยการร่วมทางมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ 1.ยานพาหนะไปรับผู้ให้บริการค่าขอใช้บริการแรก (A756 ไป A303) และได้แวะไปรับค่าขอใช้บริการที่สองที่มีปลายทางใกล้เคียงกัน (A259 ไปยัง A302) ดังรูปที่ ง.3B) 2.เมื่อยานพาหนะรับผู้ให้บริการจากค่าขอที่สอง ณ จุด A259 แล้วยานพาหนะได้เดินทางไปส่งค่าขอใช้บริการที่สองที่มีจุดหมายที่ A302 ดังรูปที่ ง.3C) และจากนั้นเมื่อยานพาหนะส่งค่าขอใช้บริการที่สองเรียบร้อยแล้วก็เดินทางจากจุด A302 ไปยัง A303 ดังรูปที่ ง.3D)

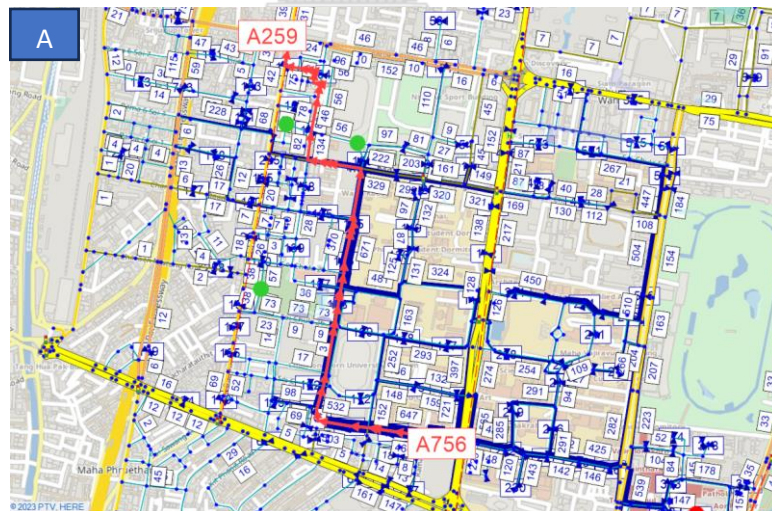
Number: 1.996	No	DSeg	From Zone	To Zone	From Node	ToNode No	Pickup NodeNo	Dropoff Node	Num Pass	Request CreationTime	Req Cre	Desired DepartureTime
Min	1	DRT	101	101	99101	99101	99101	99101	1	06:31:06	1	06:36:06
Max	1997	DRT	820	820	99820	99820	99820	99820	6	21:29:24	1	21:34:24
Avg	999		381	336	99381	99336	99379	99336	2	13:06:42	1	13:11:42
Sum	994595		760995	669667	8364995	198273667	195379813	95294325	3295	26171:00:14	1996	2633720:14
1	1	DRT	756	303	99756	99303	99756	99303	1	06:31:06	1	06:36:06
2	2	DRT	230	327	99230	99327	99230	99327	1	06:32:48	1	06:37:48
3	3	DRT	259	302	99259	99302	99259	99302	1	06:32:22	1	06:37:22
4	4	DRT	230	327	99230	99327	99230	99327	1	06:32:47	1	06:37:47

A) ค่าขอใช้บริการ A756 ไปยัง A303 แวะรับค่าขอใช้บริการที่ A259 ไปยัง A302

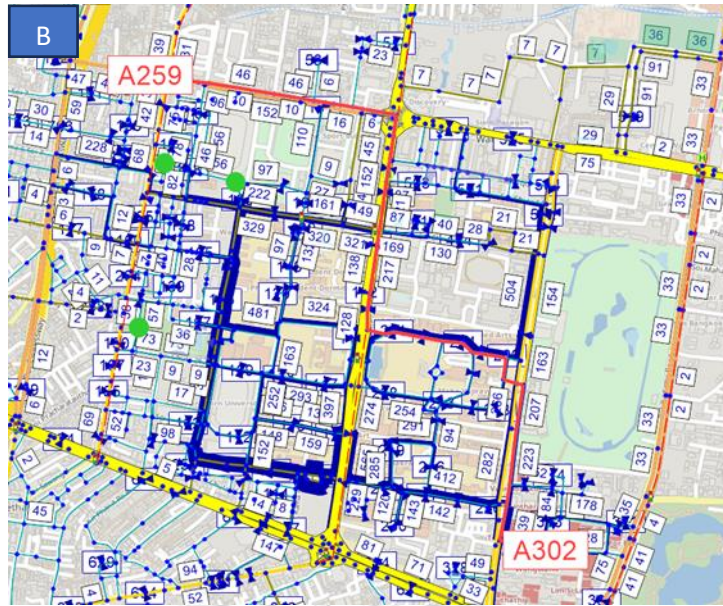


B) เส้นทางของยานพาหนะที่อ้อมไปรับผู้ใช้บริการรายอื่นระหว่างการเดินทางให้บริการค่าขอใช้บริการที่ต้องการเดินทางจุด A756 ไป A303

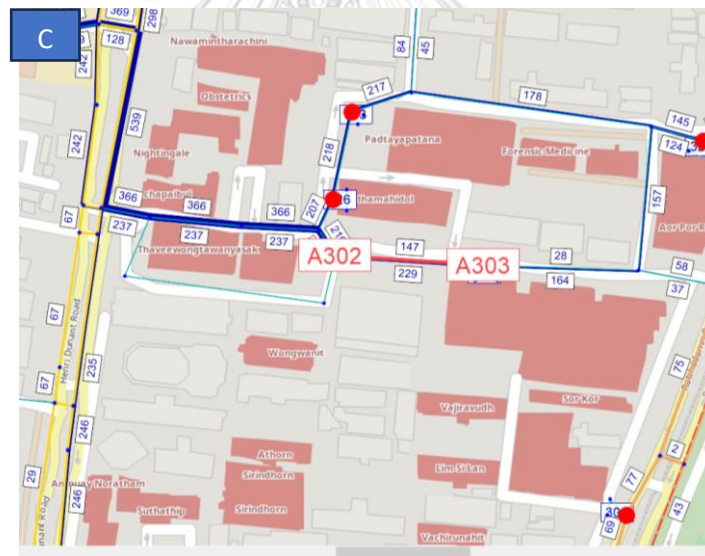
รูปที่ ง.2 การร่วมทาง



A) ยานพาหนะเดินทางจาก A756 ไป A259



B) ยานพาหนะเดินทางจาก A259 ไป A302



C) ยานพาหนะเดินทางจาก A302 ไป A303

รูปที่ ง.3 เส้นทางการแวะรับผู้ให้บริการอื่นระหว่างการเดินทางจากจุด A756 ไปยัง A303
โดยละเอียด

การแสดงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นใน PTV VISUM

ในส่วนของผลลัพธ์ ระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งแต่ละคัน การเคลื่อนของยานพาหนะในแต่ละ link Served trip ที่เกิดขึ้นพร้อมกับผลลัพธ์ของเวลาและระยะทาง และ Unserved trip ที่เกิดขึ้น ที่ได้ สกัดผลลัพธ์ดังรูปที่ ง.4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ มาสรุปผลในงานวิจัยนี้

List (Paths)

Select list layout...

Path set: Path set 1 Selection: All routes Origin zone filter:

Number	SetNo	No	FromZoneNo	ToZoneNo	Vol	DepTime	Length
Min	1	1	0	0	1000	06:31:06	98.452
Max	1	20	0	0	1000	11:28:16	212.737
Avg	1	11	0	0	1000	08:31:54	154.689
Sum	20	210	0	0	20000	02:38:06	3093.783
1	1	1	0	0	1000	06:31:06	160.990
2	1	2	0	0	1000	06:32:47	169.482
3	1	3	0	0	1000	06:37:06	203.659
4	1	4	0	0	1000	06:52:08	200.017
5	1	5	0	0	1000	10:10:19	105.355
6	1	6	0	0	1000	10:10:49	129.417
7	1	7	0	0	1000	10:11:47	125.932
8	1	8	0	0	1000	10:43:12	125.965
9	1	9	0	0	1000	11:20:02	106.853
10	1	10	0	0	1000	11:28:16	98.452
11	1	11	0	0	1000	06:38:43	170.931
12	1	12	0	0	1000	07:00:01	180.286
13	1	13	0	0	1000	07:04:24	189.209
14	1	14	0	0	1000	07:33:55	202.450
15	1	15	0	0	1000	10:16:25	142.307
16	1	16	0	0	1000	06:36:06	212.737
17	1	17	0	0	1000	06:50:12	133.501
18	1	18	0	0	1000	07:32:59	143.084
19	1	19	0	0	1000	10:13:30	145.325
20	1	20	0	0	1000	10:14:19	147.831

รูปที่ ๖.4 ระยะทางที่ยานพาหนะวิ่งแต่ละคัน

List (Path items)

Select list layout...

Path set: Path set 1 Origin zone filter: All

Only active links

Number	Set No	No	Index	Node No	IsProfile Point	RelArr	RelDep	StopTime	PostTravel Time	EMPTYRPLI	PASSENGER	Charging Time	Post Occupancy	SERVICELENG	seatlength1	seatlength2	seatlength3	seatlength4	seatlength5	seatlength
Min	1	1	1	1	0	00:00:00	00:00:00	0min	0min	0.000	0.000	25min29s	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max	1	11	1394	39181	1	15:07:54	15:09:14	220min47s	8min32s	0.351	1.784	27min15s	6	0.351	0.297	0.361	0.297	0.297	0.297	0.297
Avg	1	11	1394	39181		05:05:42	05:07:41	1min58s	2min5s	0.010	0.164	26min7s	3	0.049	0.009	0.009	0.008	0.008	0.008	0.008
Sum	52304	549223	37927	3316551	3233	172:55:59	5:79:05:01	6:30:6min2s	6:76:7min5s	533.306	8570.722	332min15s	143475	2560.477	486.818	480.184	440.429	397.741	320.549	434.752
1	1	1	1	99821	<input checked="" type="checkbox"/>	00:00:00	00:00:00	0min	2min5s	0.084	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	1	2	99822	<input type="checkbox"/>					0.097	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1	1	3	14547	<input type="checkbox"/>					0.096	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1	1	4	14540	<input type="checkbox"/>					0.076	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1	1	5	1383	<input type="checkbox"/>					0.163	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1	1	6	35628	<input type="checkbox"/>					0.045	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1	1	7	37072	<input type="checkbox"/>					0.082	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1	1	8	99170	<input type="checkbox"/>					0.039	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1	1	9	11116	<input type="checkbox"/>					0.107	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	1	10	99166	<input type="checkbox"/>					0.062	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	1	1	11	11118	<input type="checkbox"/>					0.013	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	1	1	12	35742	<input type="checkbox"/>					0.074	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	1	1	13	99113	<input type="checkbox"/>					0.086	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	1	1	14	11200	<input type="checkbox"/>					0.025	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	1	1	15	21206	<input type="checkbox"/>					0.057	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	1	1	16	37020	<input type="checkbox"/>					0.019	0.000	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	1	1	17	99756	<input checked="" type="checkbox"/>	00:02:05	00:05:10	3min5s	3min50s	0.000	0.045	1	0.045	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	1	1	18	37019	<input type="checkbox"/>					0.000	0.016	1	0.016	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	1	1	19	21206	<input type="checkbox"/>					0.000	0.025	1	0.025	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	1	1	20	11200	<input type="checkbox"/>					0.000	0.086	1	0.086	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	1	1	21	99113	<input type="checkbox"/>					0.000	0.074	1	0.074	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	1	1	22	35742	<input type="checkbox"/>					0.000	0.013	1	0.013	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	1	1	23	11118	<input type="checkbox"/>					0.000	0.062	1	0.062	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	1	24	99166	<input type="checkbox"/>					0.000	0.107	1	0.107	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	1	1	25	11116	<input type="checkbox"/>					0.000	0.039	1	0.039	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	1	1	26	99170	<input type="checkbox"/>					0.000	0.062	1	0.062	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	1	1	27	37072	<input type="checkbox"/>					0.000	0.045	1	0.045	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	1	1	28	35628	<input type="checkbox"/>					0.000	0.163	1	0.163	0.163	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	1	1	29	1383	<input type="checkbox"/>					0.000	0.027	1	0.027	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	1	1	30	14518	<input type="checkbox"/>					0.000	0.048	1	0.048	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

รูปที่ ๖.5 การเคลื่อนของยานพาหนะในแต่ละ link

The screenshot displays a 'List (Trip requests)' window in PTV VISUM. The table contains columns for 'Demand segment', 'Allocate zones', and various trip metrics. The 'Demand segment' column lists trip IDs (e.g., 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34). The 'Allocate zones' column shows origin and destination zones (e.g., 101, 101, 99101, 99101). The table also includes columns for 'Pickup Node', 'Dropoff Node', 'Num Pass', 'Request Creation', 'Requ Creat', 'Desired Departure', 'Des Acc Time', 'Egri Tim In', 'PuTPuT', 'PuTPuT', 'PuTPuT', 'passeng', 'JrminuteBJ', 'PuTPath', 'JrminuteBJ', 'PuTPath', 'PuTPath', 'PuTPath', 'PuTPath', 'Expener', 'shortestp', and 'detourtimec'. The 'Sum' row at the bottom provides aggregate values for all columns.

รูปที่ ๖.6 Served trip ที่เกิดขึ้นพร้อมๆกับผลลัพธ์ของเวลาและระยะทาง

This screenshot shows another 'List (Trip requests)' window in PTV VISUM. The table structure is identical to the previous one, with columns for 'Demand segment', 'Allocate zones', and various trip metrics. The 'Demand segment' column lists trip IDs (e.g., 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30). The 'Allocate zones' column shows origin and destination zones (e.g., 746, 103, 106, 99103, 99106). The table also includes columns for 'Pickup Node', 'Dropoff Node', 'Num Pass', 'Request Creation', 'Requ Creat', 'Desired Departure', 'Des Acc Time', 'Egri Tim In', 'PuTPuT', 'PuTPuT', 'PuTPuT', 'passeng', 'JrminuteBJ', 'PuTPath', 'JrminuteBJ', 'PuTPath', 'PuTPath', 'PuTPath', 'Expener', 'shortestp', and 'detourtimec'. The 'Sum' row at the bottom provides aggregate values for all columns.

รูปที่ ๖.7 Unserved trip ที่เกิดขึ้น

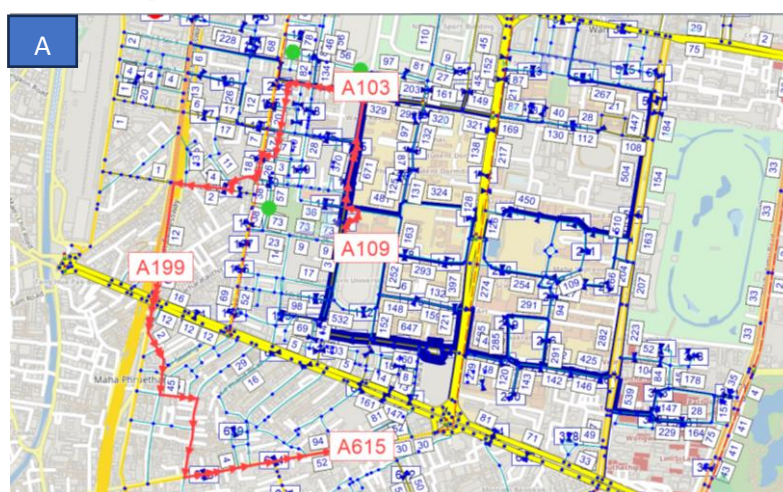
การเกิด empty distance ใน PTV VISUM

การเกิด empty distance มี 2 ส่วนด้วยกันได้แก่ การเกิด empty distance for charging และการเกิด empty distance for trip โดย การเกิด empty distance for charging คือระยะวิ่งไม่มีผู้ใช้บริการระหว่างเดินทางไปชาร์จที่สถานีแสดงดังรูปที่ ๖.8 โดยเมื่อยานพาหนะส่งผู้ใช้บริการที่ 634 จากนั้นยานพาหนะจำเป็นต้องไปชาร์จที่สถานี ดังนั้นยานพาหนะจะเกิด empty distance for charging ระหว่างเดินทางจาก A634 ไปสถานีชาร์จ

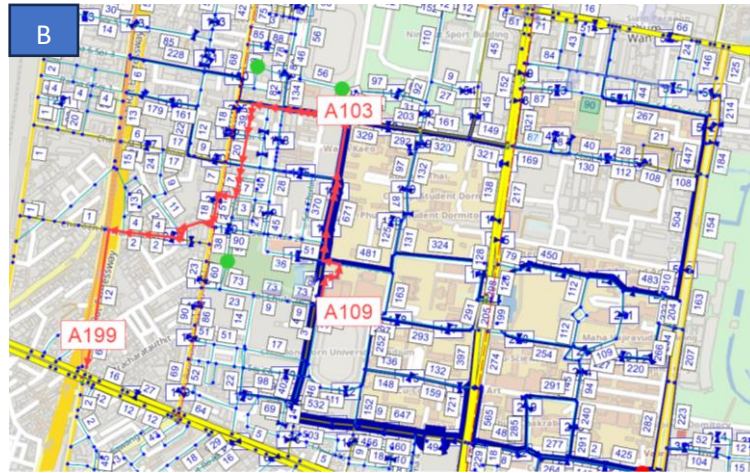


รูปที่ ง.8 แสดงระยะทางที่ยานพาหนะสิ่งโดยไม่มีผู้ให้บริการ โดยหลังจากการส่งผู้ให้บริการที่จุด A634 เสร็จยานพาหนะถูกส่งไปชาร์จที่สถานี

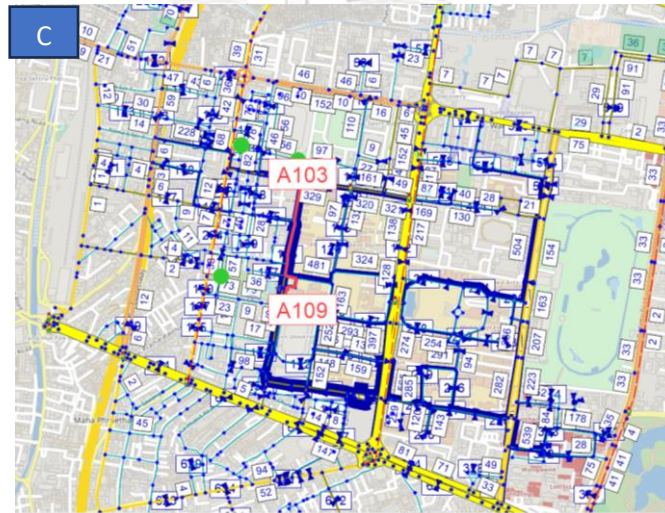
ในส่วนของกาเกิด empty distance for trip นั้นแสดงดังรูปที่ ง.9 โดยเส้นทางของการให้บริการคำขอใช้บริการจากจุด A109 ไปยัง A103 และต่อเนื่งให้บริการคำขอใช้บริการจากจุด A199 ไปยัง A615 ดังรูปที่ ง.9A) โดยยานพาหนะรับผู้ให้บริการขึ้นจุด A109 และลงทุกคนที่จุด A103 ดังนั้นยานพาหนะจะไม่มีผู้ให้บริการบนยานพาหนะ จากนั้นมีผู้ให้บริการต้องการเดินทางจาก A199 ไปยัง A615 ส่งผลให้ยานพาหนะต้องเดินทางโดยไม่มีผู้ให้บริการจากจุด A103 ไปยังจุด A199 ดังรูปที่ ง.9B) ส่วนรายละเอียดที่ยานพาหนะจากจุด A109 ไปยังจุด A103 ดังรูปที่ ง.9C) เกิด empty distance for trip จากยานพาหนะเคลื่อนที่จากจุด A103 ไปยัง A199 ดังรูปที่ ง.9D)



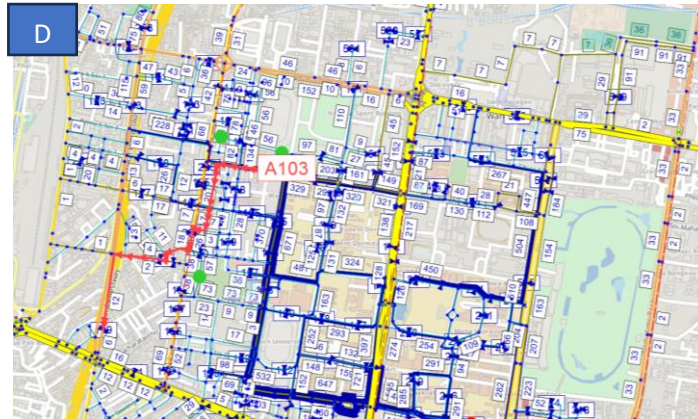
A) ยานพาหนะรับคำขอใช้บริการ A109 ไป A103 และ A199 ไป A615



B) ยานพาหนะเดินทางจากจุด A 109 ไป A199



D) ยานพาหนะเดินทางจาก A109 ไป A103



D) empty distance for trip ที่เกิดขึ้น

รูปที่ ๓.๙ ตัวอย่างการเกิด empty distance ใน PTV VISUM



บรรณานุกรม

- (UITP), I. A. o. P. T. (2019). *MOBILITY AS A SERVICE*. https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/07/Report_MaaS_final.pdf
- Altıntaş, O. (2013). *Assessment of scenarios for sustainable transportation at METU campus* [Middle East Technical University].
- Asamer, J., Reinthaler, M., Ruthmair, M., Straub, M., & Puchinger, J. (2016). Optimizing charging station locations for urban taxi providers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 233-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.01.014>
- Bischoff, J., Maciejewski, M., & Nagel, K. (2017, 16-19 Oct. 2017). City-wide shared taxis: A simulation study in Berlin. 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC),
- Bischoff, J., Márquez-Fernández, F. J., Domingues-Olavarría, G., Maciejewski, M., & Nagel, K. (2019, 5-7 June 2019). Impacts of vehicle fleet electrification in Sweden – a simulation-based assessment of long-distance trips. 2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS),
- Bösch, P. M., Ciari, F., & Axhausen, K. W. (2016). Autonomous vehicle fleet sizes required to serve different levels of demand. *Transportation Research Record*, 2542, 119. <https://doi.org/10.3141/2542-13>
- Burris, M., Cliff, S., Abir, A. K. M., & Lee, S. (2016). *Value of Travel Time*. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/PRC-2016-4.pdf>
- Bürstlein, J., López, D., & Farooq, B. (2021). Exploring first-mile on-demand transit solutions for North American suburbia: A case study of Markham, Canada. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 153, 261-283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.08.018>
- Chen, T. D., & Kockelman, K. M. (2016). Management of a Shared Autonomous Electric Vehicle Fleet: Implications of Pricing Schemes. *Transportation Research Record*, 2572(1), 37-46. <https://doi.org/10.3141/2572-05>

- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Hanna, J. P. (2016). Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle & charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 243-254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.020>
- Erdoğan, G. (2017). An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers & Operations Research*, 84, 62-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022>
- Fagnant, D. J., & Kockelman, K. M. (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Farhan, J., & Chen, T. D. (2018). Impact of ridesharing on operational efficiency of shared autonomous electric vehicle fleet. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93, 310-321. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.022>
- Friedrich, M., Hartl, M., & Magg, C. (2018). A modeling approach for matching ridesharing trips within macroscopic travel demand models. *Transportation*, 45(6), 1639-1653. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9957-5>
- Lau, S. T., & Susilawati, S. (2021). Shared autonomous vehicles implementation for the first and last-mile services. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11, 100440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100440>
- Liu, J., Kockelman, K. M., Boesch, P. M., & Ciari, F. (2017). Tracking a system of shared autonomous vehicles across the Austin, Texas network using agent-based simulation. *Transportation*, 44(6), 1261-1278. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9811-1>
- Loeb, B., & Kockelman, K. M. (2019). Fleet performance and cost evaluation of a shared autonomous electric vehicle (SAEV) fleet: A case study for Austin, Texas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 121, 374-385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.01.025>
- Loeb, B., Kockelman, K. M., & Liu, J. (2018). Shared autonomous electric vehicle (SAEV)

- operations across the Austin, Texas network with charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 222-233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.01.019>
- Lorig, F., Persson, J. A., & Michielsen, A. (2023). Simulating the Impact of Shared Mobility on Demand: a Study of Future Transportation Systems in Gothenburg, Sweden. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 21(1), 129-144. <https://doi.org/10.1007/s13177-023-00345-5>
- Matalqah, I., Shatanawi, M., Alatawneh, A., & Mészáros, F. (2022). Impact of Different Penetration Rates of Shared Autonomous Vehicles on Traffic: Case Study of Budapest. *Transportation Research Record*, 03611981221095526. <https://doi.org/10.1177/03611981221095526>
- omegaseikimobility. (2023). <https://omegaseikimobility.com/rage-plus/>
- PTV Planung Transport Verkehr AG, & COWI. (2019). *THE OSLO STUDY –HOW AUTONOMOUS CARS MAY CHANGE TRANSPORT IN CITIES*. <https://ruter.no/globalassets/dokumenter/ruterrapporter/2019/the-oslo-study.pdf>
- Romero LÓPez, A. (2020). *Optimal operating strategies for first/last mile feeder services due to the arrival of automated vehicles : Case study: suburban areas around tunnelbana, pendeltåg and lokalbana corridors in Stockholm* (Publication Number 20391) [Student thesis, DiVA. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-276769>
- Skarphedinsson, A. (2013). *Evaluating a Simplified Process for Developing a Four-step Transport Planning Model in VISUM: Application on the Capital Area of Reykjavik*. Trafik och väg, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet. <https://books.google.co.th/books?id=eFkDkAEACAAJ>
- Stevens, M., Correia, G. H. d. A., Scheltes, A., & van Arem, B. (2022). An agent-based model for assessing the financial viability of autonomous mobility on-demand systems used as first and last-mile of public transport trips: A case-study in Rotterdam, the Netherlands. *Research in Transportation Business & Management*, 100875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100875>
- Twumasi-Boakye, R., Cai, X., Fishelson, J., & Broaddus, A. (2021). Simulation of Potential

- Use Cases for Shared Mobility Services in the City of Ann Arbor. *Transportation Research Record*, 2675(9), 848-860. <https://doi.org/10.1177/03611981211004588>
- Twumasi-Boakye, R., Cai, X., Joshi, C., Fishelson, J., & Broaddus, A. (2021). Impacts of Holding Area Policies on Shared Autonomous Vehicle Operations. *Transportation Research Record*, 2675(12), 161-174. <https://doi.org/10.1177/03611981211028620>
- Vosooghi, R., Kamel, J., Puchinger, J., Leblond, V., & Jankovic, M. (2019). Robo-Taxi service fleet sizing: assessing the impact of user trust and willingness-to-use. *Transportation*, 46(6), 1997-2015. <https://doi.org/10.1007/s11116-019-10013-x>
- Vosooghi, R., Puchinger, J., Bischoff, J., Jankovic, M., & Vouillon, A. (2020). Shared autonomous electric vehicle service performance: Assessing the impact of charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 81, 102283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102283>
- Vosooghi, R., Puchinger, J., Jankovic, M., & Vouillon, A. (2019). Shared autonomous vehicle simulation and service design. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 15-33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.08.006>



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภูมिरพี ชัดศรี
วัน เดือน ปี เกิด	13 มกราคม 2542
สถานที่เกิด	จ.เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่ปัจจุบัน	116/1 ถ.บ่อสร้าง ม.3 ต.ต้นเปา อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ 50130
ผลงานตีพิมพ์	Impact of charging time and vehicle range on ridesharing service: case study of Chulalongkorn University. The 13th TSME International Conference on Mechanical Engineering.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY