การศึกษาปัญหาที่จอดรถของการให้บริการคาร์แชร์ริ่ง
A Study of Vehicle Parking Problem in Carsharing Service Operation

นายกฤตภาส ธนประสิทธิ์พัฒนา[1] นายชยากร พัฒนชัยโรจน์[2] และ รศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

CU TOYOTA Ha:mo เป็นนวัตกรรมการแบ่งปันรถการใช้ด้วยยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ใช้เชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะ และการเดินทางส่วนบุคคลได้อย่างอิสระ มีงานใช้งานภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย โดย CU TOYOTA Ha:mo ให้บริการในรูปแบบของ One-Way Car Sharing (ผู้ใช้เริ่มต้นใช้งานยานพาหนะที่สถานีหนึ่งและนำยานพาหนะไปคืนที่สถานีที่ต่างกันได้) ซึ่งการให้บริการรูปแบบนี้จะทำให้ประสบปัญหาในเรื่องจำนวนที่จอดรถและจำนวนรถที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละสถานี ซึ่งในงานวิจัยนี้ เราจะเน้นแก้ปัญหาในด้านจำนวนที่จอดรถที่ไม่เพียงพอ โดยมุ่งเน้นถึงผลประกอบการในระยะยาว ซึ่งตอนนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าจำนวนที่จอดรถของสถานีไหนที่มีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการเดินทางไปยังสถานีนั้น ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการวิเคราะห์หาจำนวนที่จอดรถที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละสถานีว่าควรเพิ่มหรือไม่ โดยใช้ Shadow Price ของแต่ละสถานีที่วิเคราะห์ได้จากทฤษฎี Sensitivity Analysis วิธีการจะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้ จำเป็นจะต้องสร้างแบบจำลองเชิงเส้นและแบบจำลองการไหลเวียนในโครงข่าย ผ่านการวิเคราะห์โดยใช้ Gurobi Optimizer เข้ามาช่วย โดยข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้น มาจากขอมูลการใช้บริการจริงของ CU Toyota Ha:mo ตลอดช่วงเวลา 9 เดือน เพื่อที่จะบรรลุจุดประสงค์ คือการเพิ่มประสิทธิภาพในการรองรับผู้ใช้บริการ โดยการเพิ่มจำนวนที่จอดรถ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการปฏิเสธการเดินทางของผู้ที่ต้องการใช้บริการ ในกรณีที่จอดรถเต็มในสถานีที่เป็นจุดหมายของเที่ยวการเดินทางนั้น ๆ โดยจะวิเคราะห์จากค่าชี้วัด คือ แนวโน้มจากกราฟค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการปฏิเสธความต้องการเดินทางเนื่องจากที่จอดรถในสถานีปลายทางเต็ม เปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและหลังเพิ่มจำนวนที่จอดรถตามข้อมูล Shadow Price ที่ผู้วิจัยวิเคราะห์มาได้แล้ว

คำสำคัญ: การเพิ่มจำนวนที่จอดรถ ; Linear program ; Network Flow Modeling ; Shadow Price ; One-Way Car Sharing

Abstract

CU Toyota Ha:mo is an innovation of electric vehicles' One-Way Car Sharing Service. It connects to many public transports within limited area and helps people to travel around by their own around Chulalongkorn University. The One-Way Car Sharing Service has many limitations, such as not enough car to service, not enough parking slot in terminal station. Our research work aims to solve the parking slot problem and make it better in a long run. At this time, we can not specify which station need to increase its parking slot due to the passengers' demand to travel to that station. Thus, this research will optimize the amount of parking slot in every station. We use 'Sensitivity Analysis Theory' to analyze these stations' 'Shadow Price'. To Obtain information, we will apply the data from 9 months of usage which CU Toyota Ha:mo office has given us. Linear Programing and Network Flow Modeling are our tools to put into Gurobi Optimizer to achieve purpose that is to increase service efficiency by increasing the number of parking spaces that the consumer wants to go. The indicator is trend from the graph of expenses arising from the rejection of travel demand due to the parking in the terminal is full, compare before and after increasing the number of parking spaces based on Shadow Price that we already analyzed.

Keywords: Increasing the number of parking spaces ; Linear program ; Network Flow Modeling ; Shadow Price ; One-Way Car Sharing

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

CU TOYOTA Ha:mo เป็นนวัตกรรมการแบ่งปันรถการใช้ด้วยยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งใช้เชื่อมต่อระบบขนส่งสาธารณะ และการเดินทางส่วนบุคคลได้อย่างอิสระ โดยให้บริการในบริเวณพื้นที่โดยรอบวิทยาเขตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีสถานีทั้งหมด 24 สถานี (สถานีอัดประจุไฟฟ้า 6 สถานี) มีพื้นที่จอดรถรวมทั้งหมด 66 ช่องจอด มียานพาหนะที่ใช้งานทั้งหมด 25 คัน โดย CU TOYOTA Ha:mo (Ha:mo, 2019) ให้บริการในรูปแบบของ One-Way Car Sharing (ผู้ใช้เริ่มต้นใช้งานยานพาหนะที่สถานีหนึ่งและนำยานพาหนะไปคืนที่สถานีที่ต่างกันได้) ซึ่งการให้บริการรูปแบบนี้จะทำให้ประสบปัญหาในเรื่องจำนวนที่จอดรถและจำนวนรถที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละสถานี

ด้วยปัญหาที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยจึงได้จัดทำงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในด้านจำนวนที่จอดรถไม่เพียงพอ โดยวิเคราะห์จากข้อมูลการให้บริการของ CU Toyota Ha:mo ในอดีต กับข้อมูลการสำรวจความเป็นไปได้ในการเพิ่มจำนวนที่จอดรถของแต่ละสถานี จากนั้นก็นำผลวิเคราะห์มาสรุปผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อ

1.2 วัตถุประสงค์

คณะผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรองรับผู้ใช้บริการ โดยการเพิ่มจำนวนที่จอดรถ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการปฏิเสธการเดินทางของผู้ใช้บริการ ในกรณีที่จอดรถเต็มในสถานีที่กำลังจะไป

1.3 ขอบเขตและวิธีการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาข้อมูลจากการให้บริการของ CU TOYOTA Ha:mo ในช่วงเวลาเดือนมกราคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 โดยให้บริการในวิทยาเขตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเท่านั้น

จำนวนสถานีของ CU TOYOTA Ha:mo มีทั้งหมด 22 สถานี (สถานีอัดประจุไฟฟ้า 6 สถานี) มีพื้นที่จอดรถรวมทั้งหมด 60 ที่ มียานพาหนะที่ใช้งานทั้งหมด 25 คัน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ประยุกต์การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งนำมาใช้แก้ปัญหาทางธุรกิจและอุตสาหกรรมเพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้ฟังก์ชัน เส้นตรง (Linear Functions) เป็นตัวแทนในการแสดงวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเหล่านั้น โดยแบบจำลองที่จะใช้นั้น อ้างอิงมาจากทฤษฎี 2 รูปแบบ คือ

2.1 Linear Programming; LP

Linear Programming เป็นเทคนิคการทำ Optimization ที่ใช้สำหรับปัญหาที่มี Objective Function และ Constraints เป็นฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear Function) โดยที่สมการของ Constraints จะอยู่ในรูปที่เป็น Equalities Constraints หรือ Inequalities Constraints โดยการใช้ Linear Programming สำหรับการเริ่มทำ Optimization เริ่มมีการคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ.1930 โดยนัก เศรษฐศาสตร์คนหนึ่ง ขณะที่กำลังหาวิธีที่สามารถแบ่ง Resources ได้เหมาะสมที่สุด และในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 กองทัพอากาศของสหรัฐอเมริกาพยายามหา Resources ที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยการใช้วิธี Linear Programming ซึ่ง George B. Dantzig สมาชิกคนหนึ่งในกองทัพอากาศได้คิดค้นวิธีในการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่เป็น Linear Programming เรียกว่า Simplex Method ได้ในปี ค.ศ.1974 วิธีนี้ก็กลายมาเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้มีการใช้ Linear Programming มากขึ้น หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาทฤษฎี Linear Programming เพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ และงานส่วนใหญ่ได้มีการพัฒนาทฤษฎี Duality ของ Linear Programming โดย Kuhn และ Tucker สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับทางด้านอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาโดย Charles และ Cooper

การวิเคราะห์ Shadow Price นั้น จะวิเคราะห์จาก Sensitivity of RHS Coefficients โดยจะถูกกำหนดขอบเขตจาก Allowable Increase และ Allowable Decrease ของ Constraints นั้น ๆ กล่าวคือ Shadow Price ของ Constraint คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของ Objective Function Value ที่วิเคราะห์ได้ต่อการเปลี่ยนไปของ RHS Coefficient ของตัวมันเอง

การเปลี่ยนแปลงไปของ RHS จะทำให้ Optimal Solution ที่ได้เปลี่ยนไปด้วย ผู้วิจัยจึงใช้ประโยชน์จากข้อมูลส่วนนี้มาทำให้ต้นทุนลดน้อยลง (Manoj Lohatepanont, 2018a)

2.2 Network Flow Model

แบบจำลองการไหลในโครงข่าย หรือ Network Flow Model ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีสร้างแบบจำลองอย่างมีประสิทธิภาพ การไหลในโครงข่ายสามารถใช้สร้างแบบจำลองเพื่อแก้ไขปัญหาได้หลากหลาย เช่น Minimum Cost Flow Problem, Transshipment Problem, Shortest Path Problem เป็นต้น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 *สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง*

ชื่อ	วัตถุประสงค์
Chen et al., 2011	วิจัยเพื่อหาจำนวนที่จอดรถที่เหมาะสมที่สุดกับบริษัท PGIS ในประเทศจีน โดยศึกษาถึงพฤติกรรมการใช้ยานพาหนะของพนักงาน
Nadimi et al., 2021	วิจัยหาจำนวนที่จอดรถที่เหมาะสมที่สุดสำหรับมหาวิทยาลัย โดยมีข้อมูลการใช้งานจากการเก็บข้อมูลของมหาวิทยาลัย ทั้งปริมาณรถยนต์และจักรยานยนต์ที่เป็นของอาจารย์และของนักศึกษา

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้ Jupyter Notebook ผ่าน Anaconda 3 เป็นโปรแกรมหลักสำหรับเขียนภาษา

Python และได้ติดตั้ง Gurobi Optimizer สำหรับวิเคราะห์โมเดลที่สร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของ Linear Programing

Gurobi Optimizer เป็นหนึ่งใน Solver ที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับ Linear Programing และ Quadratic Programing ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในกลุ่มบริษัทเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็น Solver ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา (Gurobi Optimizer, 2008)

3.2 ขั้นตอนในการวิจัย

3.2.1 ศึกษาปัญหาที่จอดรถของ CU Toyota Ha:mo

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจาก CU Toyota Ha:mo ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ผู้ใช้บริการ เนื่องจากที่จอดรถเป็นเหมือนฐานรองรับยานพาหนะ ถ้าที่จอดรถเต็ม ก็ไม่มาสามรถเดินทางมายังสถานีนั้นได้ ทำให้เกิดความเสียหายจากการเสียโอกาสในการให้บริการของผู้ให้บริการ ดังนั้นข้อมูลการเดินทางในแต่ละวัน จำนวนยานพาหนะ จำนวนที่จอดยานพาหนะ จึงมีความสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากจำนวนที่จอดยานพาหนะที่ไม่เพียงพอ และทำการเพิ่มจำนวนที่จอดในสถานีเป้าหมายที่ทำให้เสียโอกาสการให้บริการเหล่านั้น

3.2.2 ศึกษาแบบจำลองและเครื่องมือในการปรับแต่งแบบจำลอง

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยเพื่อใช้วิเคราะห์และปรับปรุงแบบจำลอง เช่น Linear Programming Mixed, Integer Programming, Network Flow Modeling, Sensitivity Analysis เป็นต้น โดยพบว่าการที่จะวิเคราะห์หาจำนวนที่จอดรถในแต่ละสถานีที่เหมาะสมที่สุด จะต้องอ้างอิงตากทฤษฎี Linear Programing และ Network Flow Modeling เป็นหลัก แล้วจึงนำ Shadow Price ที่มาจาก Capacity ของแต่ละสถานีมาวิเคราะห์โดยใช้ Sensitivity Analysis แต่ก่อนที่จะได้ข้อมูลมาวิเคราะห์ จำเป็นจะต้องปรับแต่งแบบจำลองที่มีมาเสียก่อน เพื่อที่จะให้ Gurobi Optimizer วิเคราะห์ค่า Shadow Price มาและผู้วิจัยจะจำค่าที่ได้มาวิเคราะห์อีกรอบ

3.2.3 ปรับแต่งแบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าตามจุดประสงค์

เมื่อทำการศึกษาแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับแต่ง Code เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ปรับแต่งให้แบบจำลองสามารถทำ Sensitivity Analysis เพื่อนำมาหาค่า Shadow Price ได้ แล้วจึงทำการลองเพิ่ม Capacity ของที่จอดรถในสถานที่มีค่า Shadow Price สูง แสดงว่าสามารลดต้นทุนค่าเสียโอกาสได้มาก และเนื่องจากการเพิ่มที่จอดรถเป็นการลงทุนในระยะยาว จึงต้องมีการวิเคราะห์ต้นทุนที่สามารถลดได้ในอนาคต เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ต้องเสียไปของสถานที่นั้นเพื่อนำมาทำเป็นที่จอดรถของ CU Toyota Ha:mo

3.2.4 วิเคราะห์ผลลัพธ์

การนำ Shadow Price มาวิเคราะห์นั้น หมายถึงการลองเพิ่มที่จอดรถจำนวน 1 ที่ เพื่อที่จะได้ลดต้นทุนค่าเสียโอกาสได้ตามค่า Shadow Price ที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลอง ทำให้ได้จำนวนที่จอดที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะช่วยลดต้นทุนให้เหลือน้อยที่สุด

3.3 แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 Sets

S: Set of all stations – เซตของสถานีทั้งหมด

T: Set of time – เซตของเวลา

$In(s,t)$: Set of incoming trips into event (s,t) – เซตของการเดินทาขาเข้าสู่เหตุการณ์ (s,t)

$Out(s,t)$: Set of outgoing trips out of event (s,t) – เซตของการเดินทางขาออกจากเหตุการณ์ (s,t)

3.3.2 Parameters

$o \in S$: Origin Station – สถานีต้นทาง

$d \in S$: Destination Station – สถานีปลายทาง

$t_{di} \in T$: Initial Time of Demanded Trip – เวลาเริ่มต้นในการเดินที่ต้องการ

$t_{df} \in T$: Final Time of Demanded Trip – เวลาสิ้นสุดในการเดินทางที่ต้องการ

RJC: Rejection Cost – ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการปฏิเสธการเดินทางที่ต้องการ

(s,t): An event for vehicle at station s at time t – เหตุการณ์ของยานพาหนะที่สถานี s และเวลา t

q_s: The numbers of required vehicles at the beginning of the day at station s – จำนวนยานพาหนะที่จอดที่สถานีในจุดเริ่มต้นของวัน

CAP_s: The capacity limit of vehicles at station s – จำนวนที่จอดยานพาหนะในแต่ละสถานี

3.3.3 Variables

$D_{od}^{t_{ri}t_{rf}}$: Binary variable indicating, equal to 1 if demanded trip from station o to station d at time t_{di} to t_{df} is satisfied, and 0 otherwise – ตัวแปรฐาน 2 ที่ชี้วัดว่าการเดินทางที่ต้องการจากสถานีต้นทาง o ไปยังสถานีปลายทาง d ที่เวลาเริ่มต้นในการเดินทางที่ต้องการ t_{di} ถึงเวลาสิ้นสุดในการเดินทางที่ต้องการ t_{df} นั้นถูกปฏิเสธหรือไม่ กรณีที่ตอบสนองความต้องการได้ $D_{od}^{t_{ri}t_{rf}}$ จะเท่ากับ 1 และจะเท่ากับ 0 กรณีที่ความต้องการถูกปฏิเสธ

d_i: Demanded trip at event i – ความต้องการในการเดินทางในเหตุการณ์ i

$y_{(s,t^-)}$: The numbers of vehicles stationed at station s before time t – จำนวนรถที่จอดที่สถานี s ก่อนเวลา t

$y_{(s,t^+)}$: The numbers of vehicles stationed at station s after time t – จำนวนรถที่จอดที่สถานี s หลังเวลา t

$y_{(s,t_e)}$: The numbers of vehicles stationed at station s at the end of the day t_e – จำนวนรถที่จอดที่สถานี s ที่เวลาเมื่อสิ้นสุดวัน

3.3.4 Models

$$\sum_{(o,d,t_{di},t_{df})} RJC \times (D_{od}^{t_{di}t_{df}} - 1)$$

3.4 ข้อสมมติฐานในงานวิจัย

3.4.1 ค่าใช้จ่ายที่ใช้พิจารณาในแบบจำลอง

สำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองจะเกิดจากการปฏิเสธความต้องการเดินทางของผู้โดยสารไม่ว่ากรณีใดก็ตาม โดยอ้างอิงจากค่าบริการต่อเที่ยวที่กำหนดโดย CU Toyota Ha:mo อยู่ที่ 30 บาทต่อการปฏิเสธการเดินทาง 1 ครั้ง (Chulalongkorn University)

3.4.2 ช่วงเวลาดำเนินการของ CU Toyota Ha:mo

CU Toyota Ha:mo เปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 21.00 น. (Chulalongkorn University)

3.4.3 จำนวนยานพาหนะและจำนวนที่จอดรถในแต่ละสถานีที่จุดเริ่มต้นของวัน

ตารางที่ 2 จำนวนยานพาหระและจำนวนที่จอดรถในแต่ละสถานี

สถานี	จำนวนยานพาหนะในแต่ละสถานี	จำนวนที่จอดในแต่ละสถานี
01 Exit to Cham Square	1	3
02 Economics	3	5
03 Sala Prakeaw	2	3
04 Engineering	1	3
05 Arts	1	3
06 Chamchuri 9	2	5
07 Chamchuri 5	2	4
08 Witthaya Nives	1	2
09 Chamchuri 10	1	2
10 Chulapat 14	0	2
11 BTS – National Stadium	2	4
12 CU Terrace	2	3
13 Suan Luang Square	1	2
14 I'm Park	1	2
15 U Center	1	2
16 Communication Arts	0	2
17 Property Office	0	1
18 Art and Culture	1	2
19 Pharmaceutical Science	0	2
20 Veterinary Science	0	3
21 Wittayakit Building	1	2
22 Siam Square Soi 8	2	3

3.5 หลักการเพิ่มที่จอดรถจากค่า Shadow Price

ผู้วิจัยจะทำการหาค่า Shadow Price รวมตลอด 9 เดือน โดยเลือกตัวอย่างมาเดือนละ 1 สัปดาห์เป็นวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ หลังจากได้ค่า Shadow Price รวมมาแล้วจะวิเคราะห์ต่อว่าสถานีใดให้ค่า Shadow Price สูงที่สุดเป็นอันดับแรก ผู้วิจัยจะทำการเพิ่มที่จอดเป็นจำนวน 1 ที่ให้กับสถานีนั้น แล้วจึงกลับไปวิเคราะห์หาค่า Shadow Price รวมใหม่โดยใช้สัปดาห์เดิมที่ใช้วิเคราะห์ในรอบก่อนตลอด 9 เดือน ทำซ้ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Shadow Price รวมของสถานีอันดับแรกจากมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่ผู้วิจัยตั้งไว้ คือ -300 แล้วจึงทำการหยุดเพิ่มจำนวนที่จอดรถประกอบกับการพิจารณาปัจจัยทางกายภาพของสถานีนั้น ๆ ว่าพร้อมต่อการเพิ่มที่จอดรถ หรือคุ้มค่ากับการเพิ่มที่จอดรถหรือไม่ ปัจจัยทางกายภาพอย่างเช่น พื้นที่สถานีดังกล่าวอยู่ติดกับทางเข้า-ออกอาคาร ไม่สามารถเพิ่มได้แล้ว คือ สถานีที่ 15 U-Center ปัจจัยความคุ้มค่าอย่างเช่น สถานีที่ 21 อยู่ในพื้นที่ Siam Square ซึ่งมีการใช้พื้นที่รอบ ๆ สถานีเป็นที่จอดรถของบุคคลที่เข้ามาใช้บริการ มีการจัดเก็บค่าจอดรถเป็นรายได้เดิมอยู่แล้ว ผู้วิจัยคิดว่าไม่คุ้มค่าที่จะนำพื้นที่บริเวณดังกล่าวมาใช้กับ CU Toyota Ha:mo

4. ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์หา Shadow Price เพื่อนำมาพิจารณาเพิ่มจำนวนที่จอดรถในแต่ละสถานี

4.1.1 ขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย เป็นข้อมูลการขอใช้บริการของผู้ใช้บริการที่อ้างอิงมาจากโครงการ CU Toyota Ha:mo โดยข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้บริการได้รับการป้องกันเพื่อรักษาความปลอดภัยและความลับขององค์กร CU Toyota Ha:mo ข้อมูลทั้งหมดที่ได้รวบรวมมาตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2562 รวมเป็นเวลาทั้งหมด 9 เดือน ผู้วิจัยได้นำข้อมูลตัวอย่างมาจำนวน 1 สัปดาห์ โดยจะใช้วันจันทร์ถึงวันศุกร์ของแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 มาวิเคราะห์ โดยจะยกตัวอย่างค่าเสียโอกาสจากการที่ที่จอดรถในสถานีปลายทางที่จอดรถไม่พอ และมีจำนวนรถไม่พอใช้งาน

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์

วันที่	ค่าเสียโอกาส (บาท)
25 มกราคม พ.ศ. 2562	1230
22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	1260
15 มีนาคม พ.ศ. 2562	1170
26 เมษายน พ.ศ. 2562	1140
17 พฤษภาคม พ.ศ. 2562	990
21 มิถุนายน พ.ศ. 2562	840
12 กรกฎาคม พ.ศ. 2562	690
16 สิงหาคม พ.ศ. 2562	1290
27 กันยายน พ.ศ. 2562	1110

4.1.2 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบจำลอง

จากการนำข้อมูลตัวอย่างมาวิเคราะห์ในแบบจำลอง ทำให้ได้ค่า Shadow Price ของแต่ละสถานีมาวิเคราะห์ต่อเพื่อเพิ่มจำนวนที่จอดรถ การเลือกสถานีเพื่อที่จะเพิ่มที่จอดรถ 1 ที่นั้นมาจากนำค่า Shadow Price ที่ได้จากแบบจำลองมารวมกันทั้งหมดตลอด 9 เดือน แล้วดูว่าสถานีใดให้ค่า Shadow Price สูงสุด ก็จะไปเพิ่มที่จอดที่สถานีนั้น 1 ที่ แล้วจึงวนกลับมาหาค่า Shadow Price รวมตลอด 9 เดือนอีกรอบ เพื่อดูว่าสถานีใดให้ค่า Shadow Price สูงสุดอีกหลังจากเพิ่มที่จอดไปแล้ว 1 ที่จากการวิเคราะห์ครั้งก่อน แล้วจึงเพิ่มที่จอดอีก 1 ที่ให้กับสถานีที่ให้ค่า Shadow Price รวมสูงสุดจากการวิเคราะห์รอบที่ 2 จากนั้นก็ทำซ้ำแบบเดิมเป็นจำนวน 4 รอบ เนื่องจากรอบที่ 4 ให้ค่า Shadow Price รวมน้อยกว่าที่ผู้วิจัยตั้งเกณฑ์ไว้ คือ -300 การวิเคราะห์ค่าเสียโอกาสสามารถวิเคราะห์ได้

หลังจากที่ Gurobi Optimizer วิเคราะห์ออกมาได้แล้วก็จะส่งค่า Shadow Price มาให้

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาค่า Shadow Price รวมของแต่ละสถานี โดยวิเคราะห์ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เป็นจำนวน 1 สัปดาห์ของทุก ๆ เดือน ตลอด 9 เดือน

ตารางที่ 4 Shadow Price รวม 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์

สถานี	Shadow Price รวมรอบที่ 1
03 Sala Prakeaw	-1560
09 Chamchuri 10	-900
21 Wittayakit Building	-840
04 Engineering	-780
18 Art and Culture	-630
22 Siam Square Soi 8	-270
15 U Center	-240
02 Economics	-180
05 Arts	-120
08 Witthaya Nives	-120
14 I'm Park	-120
01 Exit to Cham Square	-90
12 CU Terrace	-60
07 Chamchuri 5	-30
06 Chamchuri 9	0
10 Chulapat 14	0
11 BTS – National Stadium	0
13 Suan Luang Square	0
16 Communication Arts	0
17 Property Office	0
19 Pharmaceutical Science	0
20 Veterinary Science	0

จะเห็นว่าสถานีที่ 3 ให้ค่า Shadow Price สูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกเพิ่มที่จอดรถจำนวน 1 ที่ให้กับสถานีที่ 3 จากเดิม 3 ที่เป็น 4 ที่ แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาค่า Shadow Price ใหม่ตลอด 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์ โดยใช้สัปดาห์เดิม

ตารางที่ 5 Shadow Price รวม 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์หลังเพิ่มที่จอดให้สถานีที่ 3

สถานี	Shadow Price รวมรอบที่ 2 หลังเพิ่มที่จอด 1 ที่ให้สถานี 03
04 Engineering	-870
09 Chamchuri 10	-720
21 Wittayakit Building	-720
03 Sala Prakeaw	-420
18 Art and Culture	-390
22 Siam Square Soi 8	-300
08 Witthaya Nives	-240
14 I'm Park	-180
15 U Center	-180
02 Economics	-150
05 Arts	-120
01 Exit to Cham Square	-90
12 CU Terrace	-60
07 Chamchuri 5	-30
06 Chamchuri 9	0
10 Chulapat 14	0
11 BTS – National Stadium	0
13 Suan Luang Square	0
16 Communication Arts	0
17 Property Office	0
19 Pharmaceutical Science	0
20 Veterinary Science	0

หลังจากเพิ่มที่จอดจำนวน 1 ที่ที่สถานี 3 แล้ว ทำให้ค่า Shadow Price ของสถานี 3 ลดลงจาก -1560 เหลือ -420 และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์รอบที่ 2 ได้ผลคือสถานีที่ 4 ให้ค่า Shadow Price รวมสูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกเพิ่มที่จอดจำนวน 1 ที่ให้กับสถานีที่ 4 จากเดิม 3 เป็น 4 ที่ แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาค่า Shadow Price ใหม่ตลอด 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์ โดยใช้สัปดาห์เดิม

ตารางที่ 6 Shadow Price รวม 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์หลังเพิ่มที่จอดอีกที่ให้สถานีที่ 4

สถานี	Shadow Price รวมรอบที่ 3 หลังเพิ่มที่จอดอีก 1 ที่ให้สถานี 04
21 Wittayakit Building	-840
09 Chamchuri 10	-690
18 Art and Culture	-390
04 Engineering	-330
03 Sala Prakeaw	-300
22 Siam Square Soi 8	-300
14 I'm Park	-240
08 Witthaya Nives	-180
15 U Center	-180
02 Economics	-120
05 Arts	-120
07 Chamchuri 5	-60
01 Exit to Cham Square	-30
12 CU Terrace	-30
06 Chamchuri 9	0
10 Chulapat 14	0
11 BTS – National Stadium	0
13 Suan Luang Square	0
16 Communication Arts	0
17 Property Office	0
19 Pharmaceutical Science	0
20 Veterinary Science	0

หลังจากเพิ่มที่จอดอีกจำนวน 1 ที่ที่สถานี 4 แล้ว ทำให้ค่า Shadow Price ของสถานี 4 ลดลงจาก -870 เหลือ -330 และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์รอบที่ 3 ได้ผลคือสถานีที่ 21 ให้ค่า Shadow Price รวมสูงสุดคือ -840 แต่เนื่องจากสถานีที่ 21 อยู่ภายในพื้นที่ Siam Square ไม่คุ้มค่าที่จะเพิ่มที่จอดรถเมื่อเทียบกับค่าที่จอดที่เก็บจากรถยนต์ส่วนตัวที่นำเข้ามาจอดภาพในพื้นที่ ผู้วิจัยจึงเลือกเพิ่มที่จอดจำนวน 1 ที่ให้กับสถานีที่ได้อันดับ 2 คือสถานีที่ 9 แทน จากเดิม 2 เป็น 3 ที่ แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาค่า Shadow Price ใหม่ตลอด 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์ โดยใช้สัปดาห์เดิม

ตารางที่ 7 Shadow Price รวม 9 เดือน เดือนละ 1 สัปดาห์หลังเพิ่มที่จอดอีกที่ให้สถานีที่ 9

สถานี	Shadow Price รวมรอบที่ 4 หลังเพิ่มที่จอดอีก 1 ที่ให้สถานี 09
21 Wittayakit Building	-780
18 Art and Culture	-360
04 Engineering	-300
03 Sala Prakeaw	-270
09 Chamchuri 10	-240
22 Siam Square Soi 8	-240
14 I'm Park	-180
08 Witthaya Nives	-180
15 U Center	-180
02 Economics	-120
05 Arts	-120
12 CU Terrace	-60
07 Chamchuri 5	-30
01 Exit to Cham Square	-30
06 Chamchuri 9	0
10 Chulapat 14	0
11 BTS – National Stadium	0
13 Suan Luang Square	0
16 Communication Arts	0
17 Property Office	0
19 Pharmaceutical Science	0
20 Veterinary Science	0

หลังจากเพิ่มที่จอดอีกจำนวน 1 ที่ให้สถานีที่ 9 แล้ว ทำให้ค่า Shadow Price ของสถานี 9 ลดลงจาก -690 เหลือ -240 และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์รอบที่ 3 ได้ผลคือสถานีที่ 21 ให้ค่า Shadow Price รวมสูงสุดคือ -720 แต่เนื่องจากสถานีที่ 21 อยู่ภายในพื้นที่ Siam Square จึงไม่คุ้มค่าที่จะเพิ่มที่จอดรถเมื่อเทียบกับค่าที่จอดที่เก็บจากรถยนต์ส่วนตัวที่นำเข้ามาจอดภาพในพื้นที่ ผู้วิจัยจึงเลือกเพิ่มที่จอดจำนวน 1 ที่ให้กับสถานีที่ได้อันดับ 2 คือสถานีที่ 18 แทน จากเดิม 2 เป็น 3 ที่ และเมื่อดูแนวโน้มการลดลงของ Shadow Price แล้วพบว่าค่า Shadow Price ที่จะได้จากการวิเคราะห์ครั้งต่อไปมีความเป็นไปได้สูงที่จะเหลือน้อยกว่าเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด คือ -300 ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเพิ่มที่จอด 1 ที่ให้กับสถานีที่ 18 เป็นสถานีสุดท้าย

หลังจากวิเคราะห์ค่า Shadow Price ทั้งหมด 4 รอบได้ผลสรุปว่าผู้วิจัยเลือกเพิ่มจำนวนที่จอดรถจำนวน 1 ที่ให้สถานีที่ 3, 4, 9 และ18

4.2 วิเคราะห์ปริมาณต้นทุนที่สามารถลดได้จากการเพิ่มจำนวนที่จอดรถในสถานีที่สนใจ

หลังจากวิเคราะห์ข้อมูล Shadow Price เพื่อเลือกเพิ่มที่จอดให้กับสถานีที่ให้ค่า Shadow Price รวมสูงสุดในแต่ละรอบแล้วจึงทำการดูว่าค่าเสียโอกาสที่ตลอด 9 เดือนลดลงไปเท่าใดดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าเสียโอกาสก่อนและหลังเพิ่มจำนวนที่จอดรถ

เดือน	ค่าเสียโอกาสก่อนเพิ่มที่จอดรถ (บาท)	ค่าเสียโอกาสหลังเพิ่มที่จอดรถ (บาท)
มกราคม พ.ศ. 2562	21120	20040
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562	23640	22440
มีนาคม พ.ศ. 2562	23160	22560
เมษายน พ.ศ. 2562	22320	21360
พฤษภาคม พ.ศ. 2562	21480	21120
มิถุนายน พ.ศ. 2562	15240	15150
กรกฎาคม พ.ศ. 2562	14280	14220
สิงหาคม พ.ศ. 2562	24720	23160
กันยายน พ.ศ. 2562	28680	26520

สามารถบอกได้ว่าการเพิ่มจำนวนที่จอดรถในสถานีที่มีค่า Shadow Price สูงสุดในแต่ละรอบการวิเคราะห์ ได้แก่สถานีที่ 3, 4, 9 และ 18 จามลำดับ สามารถช่วยลดต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธผู้โดยสารได้จริงและลดได้ในปริมาณที่มากในแต่ละเดือน แต่ปริมาณค่าเสียโอกาสที่ลดลงไม่สอดคล้องกับค่า Shadow Price ที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจาก Capacity หรือปริมาณที่จอดรถในสถานีปลายทาง เป็นเพียง 1 ในเงื่อนไขที่ใช้ลดต้นทุนเท่านั้น นอกจาก Capacity แล้ว ยังมีเงื่อนไขอื่นด้วย เช่น ปริมาณรถที่สถานีต้นทางไม่พอ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนที่จอดรถในสถานีปลายทางก็เพียงพอต่อการลดค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธผู้ขอใช้บริการที่อาจเกิดขึ้นได้อีกมากในอนาคต เนื่องจากปริมาณการใช้งานที่มากขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากความต้องการในการลดต้นทุนค่าเสียโอกาสอันเนื่องมาจากการปฏิเสธผู้โดยสารที่ต้องการเดินทางแล้วสถานีปลายทางเต็ม โดยวิเคราะห์จากค่า Shadow Price เฉพาะส่วนของ Capacity สถานีปลายทางได้ผลสรุปว่า การเพิ่มช่องจอดรถสามารถลดต้นทุนค่าเสียโอกาสจากการปฏิเสธผู้โดยสารได้จริง และต้นทุนที่ลดลงไปมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า Shadow Price ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองการเดินทางในแต่ละวัน เนื่องจากการเพิ่ม Capacity หรือเพิ่มช่องจอดรถเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ช่วยลดต้นทุนได้ แต่บางครั้งพบว่าไม่สามารถลดได้เท่ากับค่า Shadow Price ที่ได้ เพราะนอกจาก Capacity แล้ว ยังมีเรื่องของ Conservation of Flow, Inventory เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เป็นเหตุทำให้การปฏิเสธการเดินทางมีสาเหตุอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การที่สถานีต้นทางมีปริมาณรถไม่เพียงพอหรือพลังงานของรถที่สถานีต้นทางไม่พร้อมที่จะใช้บริการในเวลานั้น ๆ ของวัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่า Shadow Price สามารถทำให้การลดต้นทุนโดยการเพิ่มจำนวนที่จอดในสถานีที่มีค่า Shadow Price สูง ทำให้ต้นทุนลดลงอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5.2 ข้อจำกัด

1. ต้นทุนที่ลดลงจากการเพิ่มจำนวนช่องจอดรถไม่สามารถบอกได้ถึงแนวทางการเดินทางของผู้ใช้ในอนาคตได้ เนื่องจากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่เคยเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง แต่สามารถบอกแนวโน้มของต้นทุนที่สามารถลดได้เท่านั้น

2. ในการวิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้การวิเคราะห์จากสมการเชิงเส้น ผลลัพธ์ที่ได้มักมีความเชื่อมั่นต่ำ เพื่อที่จะเพิ่มความเชื่อมั่น จำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์แบบจำลองด้วยทฤษฎีอื่นประกอบด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ค่า Shadow Price ที่ได้จากแบบจำลอง เป็นเพียงการวิเคราะห์ Capacity เท่านั้น ไม่ได้วิเคราะห์ค่าอื่นที่ส่งผลต่อ Shadow Price ประกอบเข้าไปด้วย ต้นทุนที่ลดได้จึงมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าค่า Shadow Price ที่ได้จริง

2. การขยายขอบเขตตัวแปรที่ส่งผลต่อแบบจำลอง สามารถทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้คณะผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มกำไรที่เกิดจากระบบของการให้บริการเช่ารถยนต์ไฟฟ้าของ CU TOYOTA Ha:mo โดยงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมายเพราะได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้จาก รศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งที่กล่าวมาและไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และขออภัยมา ณ ที่นี้สำหรับข้อผิดพลาดใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Chen, M., Hu, C., & Chang, T. (2011). *The research on optimal parking space choice model in parking lots* (Vol. 2). https://doi.org/10.1109/ICCRD.2011.5764091

Chulalongkorn University. *Service and Operation Details*. Retrieved 5 April from https://www.chula.ac.th/en/about/green-university/cu-toyota-hamo/

Chulalongkorn University. แผนที่พื้นที่ให้บริการ. Retrieved 5 April from https://www.chula.ac.th/en/about/green-university/cu-toyota-hamo/

Gurobi Optimizer. (2008). *Gurobi Optimizer*. Retrieved 5 April from https://www.gurobi.com/products/gurobi-optimizer/

Ha:mo, C. T. (2019). *General*. Retrieved 29 March from https://www.cutoyotahamo.com

Ken. (2020). สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทยเผยยอดจดทะเบียนรถ *EV* ในไทยโตเป็นเท่าตัวในปี *2020*. Autostation.com. Retrieved 29 March from https://www.autostation.com/car/ev-in-thiland-grow-twice-in-2020-evat

Manoj Lohatepanont. (2018a). Linear Programming. In *2101558 Transportation and Logistics Optimization* (pp. 29-43).

Manoj Lohatepanont. (2018b). Network Flow Models. In *2101558 Transportation and Logistics Optimization* (pp. 73-99).

Nadimi, N., Afsharipoor, S., & Mohammadian Amiri, A. (2021). Parking Demand vs Supply: An Optimization-Based Approach at a University Campus. *Journal of Advanced Transportation*, *2021*, 7457021. https://doi.org/10.1155/2021/7457021

Nissan Thailand. (2020). *4* ข้อดีของการใช้รถยนต์ไฟฟ้า *100%*. Nissan. Retrieved 29 March from https://www.nissan.co.th/experience-nissan/Nissan-EV/EV-benefit.html

กรมขนส่งทางบก. (2020). กรมการขนส่งทางบก สนับสนุนการใช้รถยนต์พลังงานสะอาดสู้ฝุ่น *PM 2.5*. กรมขนส่งทางบก. Retrieved 29 January from https://www.dlt.go.th/th/public-news/view.php?_did=2502