การจัดเส้นทางขนส่งสำหรับปัญหาการรับและส่งมอบในระบบจักรยานเช่าสาธารณะ: กรณีศึกษาระบบจักรยานเช่าสาธารณะ จังหวัดเชียงใหม่

Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem in Bike Sharing System: A Case Study of the Chiang Mai Bike-Sharing System, Thailand

คธายุทธ ก๋ามะโน[1,*] และ มนวิภา อาวิพันธุ์[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ช้างเผือก เมือง เชียงใหม่ 50300

Katayut Kamano [1*] and Monwipa Arviphan [2]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Changpuak, Muang, Chiang Mai, 50300, Thailand

***Corresponding Author E-mail:** katayut.k@ku.ac.th

Received: Oct 20, 2022; **Revised:** Dec 26, 2021; **Accepted:** Feb 04, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับปัญหาการรับและส่งมอบในระบบจักรยานเช่าสาธารณะ กรณีศึกษาระบบจักรยานเช่าสาธารณะ จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อกำหนดเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะจากศูนย์กระจายจักรยานไปยังสถานีปลายทาง 12 สถานี โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้งหมด 2 ประการ ได้แก่ เพื่อให้มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุด และหาความจุยานพาหนะที่ใช้ในการบรรทุกจักรยานที่เหมาะสม เนื่องจากค่าขนส่งเป็นต้นทุนหลักในการกระจายจักรยาน เพราะฉะนั้นการจัดเส้นทางการขนส่งจักรยานจึงเป็นสิ่งสำคัญ ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งในลักษณะที่มีทั้งการรับและส่งมอบ โดยพิจารณาเส้นทางการขนส่งในปัจจุบันเทียบกับเส้นทางการขนส่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าหากทำการขนส่งตามเส้นทางที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถลดระยะทางการขนส่งได้ 6.33 กิโลเมตรต่อรอบ แต่หากเปลี่ยนยานพาหนะชนิดใหม่ที่มีความจุจักรยานยานลดลงจากพาหนะปัจจุบัน จะสามารถลดระยะทางลงได้ 4.83 กิโลเมตรต่อรอบ ด้วยการปรับขนาดของยานพาหนะที่บรรทุกของจักรยานผู้ให้บริการจะสามารถเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองและค่าใช้จ่ายอื่นๆเพิ่มเติมได้

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางการขนส่ง, จักรยานเช่าสาธารณะ, ปัญหาการรับและการส่งมอบ, การปรับสมดุลจำนวนจักรยาน

Abstract

This research will discuss several of the problems facing vehicle routing for delivery and pick- up services related to the bike-sharing system. Specifically, this research will analyse a case study of the Chiang Mai bike-sharing system, in

Thailand. This research will propose resolutions by routing the bike reallocation between the distribution hub to the 12 terminal bike stations in order to minimize the total distance of bike reallocation to reach an optimal fleet capacity. Given that transportation costs are significant for the bike-sharing system, it is crucial to consider route reallocation as a means to ensure economic success and viability. The study regarding pick-up and delivery routing problems was conducted by comparing current routing with a mathematical routing model. According to the computational model, the reallocation distance can be decreased by 6.33 km. The benefits of an alteration to the existing fleet with a lower capacity is also argued. These reallocations may reduce the total distance by only 4.83 km per route. The alternative fleet capacity providing the bike-sharing enterprises for making bike- reallocation cost properly.

Keywords: Vehicle routing problem, bike-sharing system, pick-up and delivery problem, bike rebalancing

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการรับและส่งมอบในระบบจักรยานเช่าสาธารณะ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบจักรยานเช่าของเทศบาลนครเชียงใหม่ ซึ่งได้เปิดบริการให้แก่ประชาชนในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สามารถเช่าจักรยานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งสถานีให้บริการเป็น 3 เขตพื้นที่ รวมทั้งหมด 13 สถานี กระจายอยู่บริเวณอำเภอเมืองเชียงใหม่ โดยมีสถานีหน้าพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาและสถานีหน้าวัดพระสิงห์เป็นจุดที่มีเจ้าหน้าที่ให้บริการ ผู้ที่สนใจใช้บริการต้องดำเนินการลงทะเบียนด้วยบัตรประชาชนสำหรับคนไทย หรือ หนังสือเดินทางสำหรับนักท่องเที่ยวต่างชาติก่อนที่จะทำการเช่าจักรยาน ทั้งนี้ผู้ใช้บริการสามารถเช่าจักรยานจากสถานีต้นทางเพื่อไปยังจุดหมายที่ต้องการ และจอดจักรยานคืนยังสถานีปลายทางโดยไม่จำเป็นต้องนำจักรยานกลับไปคืนยังสถานีต้นทางได้ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 24.00 น.

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงการจักรยานเช่าสาธารณะพบว่า เนื่องจากผู้ใช้บริการสามารถเช่าจักรยานจากสถานีต้นทางเพื่อเดินทางไปยังจุดหมายที่ต้องการ และจอดจักรยานคืนยังสถานีปลายทางโดยไม่จำเป็นต้องนำจักรยานกลับไปคืนยังสถานีต้นทาง ทำให้ในเวลาก่อนระบบเปิดให้ใช้งานในช่วงเช้า (ระบบจักรยานเช้าจะปิดให้เช่าจักรยานตั้งแต่ 24.00 น.–8.00 น.) บางสถานีมีจำนวนจักรยานไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการเนื่องจากถูกยืมออกไปเป็นจำนวนมาก และบางสถานีมีช่องจอดจักรยานไม่เพียงพอต่อจำนวนของจักรยานที่นำมาคืนเนื่องจากเป็นจุดที่มีผู้เช่านำจักรยานมาคืนเป็นจำนวนมาก

ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบจักรยานเช่าจะใช้ช่วงเวลาที่ระบบปิดเพื่อนำจักรยานไปเติมในสถานีที่มีจำนวนจักรยานไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการ และนำจักรยานที่ไม่ได้เก็บเข้าสู่ช่องจอดไปเติมยังสถานีอื่น หรือ นำจักรยานเข้าสู่ศูนย์กระจายจักรยานในกรณีที่ทำการขนส่งจักรยานครบทุกสถานี ด้วยการใช้รถกระบะบรรทุกจักรยานวนรอบเมืองเชียงใหม่โดยไม่มีการวางแผนการเดินทางขนส่ง ซึ่งการจัดการขนส่งจักรยานไปยังสถานีต่าง ๆ ให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการโดยมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดนั้น เป็นหนึ่งในปัญหาหลักของการจัดการระบบจักรยานเช่าสาธารณะ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ยังไม่มีวิธีการและเครื่องมือในการจัดการด้านการขนส่งที่ดี นอกจากการใช้ประสบการณ์ของผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการขนส่งเท่านั้น จึงส่งผลให้เกิดรอบการขนส่ง หรือจำนวนเที่ยวในการขนส่งมากกว่าที่ควรจะเป็น และทำให้เกิดระยะทางในการขนส่งที่มากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งมากขึ้นอีกด้วย

ด้วยเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะในลักษณะของการขนส่งที่มีทั้งการรับและการส่งมอบ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาลักษณะการเข้าใช้บริการของลูกค้าและลักษณะการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะ จากนั้นทำการออกแบบการจำลองสถานการณ์อัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการ เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทาง

การขนส่งจักรยานด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยมีเป้าหมายคือ ระยะทางรวมของการขนส่งที่ต่ำที่สุด และจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการบรรทุกจักรยานที่เหมาะสมที่สุด

ระบบจักรยานเช่าสาธารณะ (Bike Sharing System) ถือเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกสาธารณะที่จัดสรรให้กับผู้คนที่อาศัยอยู่ในชุมชนเพื่อการเดินทางในระยะสั้น ผู้ใช้บริการจะเช่าจักรยานจากสถานที่ต้นทาง ปั่นเดินทาง และจะต้องคืนจักรยานในสถานีปลายทาง หรือจะนำมาคืนที่สถานีเดิมก็ได้ ซึ่งระบบจักรยานสาธารณะส่วนใหญ่จะให้บริการโดยส่วนราชการในท้องถิ่นนั้นๆ หรือร่วมมือกับภาคเอกชน โดยส่วนมากสถานีเช่าจักรยาน จะตั้งอยู่ใกล้กับสถานีรถบัส สถานีรถไฟฟ้าเพื่อการเชื่อมต่อการเดินทางของผู้ใช้บริการ [1] ปัจจุบันมีระบบสถานีรถจักรยานสาธารณะมากกว่า 200 ระบบที่เปิดให้บริการทั่วโลก [2] แต่ก็มีหลายระบบที่ปิดตัวลงและมีการให้บริการที่ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากต้นทุนการให้บริการที่สูง รวมไปถึงระบบการบำรุงรักษาที่มีราคาสูง

ในปัจจุบันระบบจักรยานสาธารณะสามารถแบ่งการให้บริการด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในการให้บริการที่แตกต่างหลากหลาย เช่น การใช้ระบบบัตรสำหรับเช่าและตู้บริการอัตโนมัติ การเช่าและการคืนสามารถตรวจสอบได้ทันทีผ่านทางระบบสารสนเทศ รวมไปถึงสถานการณ์ให้บริการ ณ สถานีต่างๆ ระบบประเภทนี้จะมีค่าติดตั้ง และค่าการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง โดยมีการรายงานว่า จะต้องมีการลงทุนต่อปีถึง 3,000–4,000 เหรียญสหรัฐ ต่อจักรยาน 1 คัน ในระบบจักรยานสาธารณะในเมือง นิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา มีค่าบำรุงรักษาประมาณ 1,600 เหรียญสหรัฐ และมีค่าการเคลื่อนย้ายเพื่อเติมจักรยานในสถานีที่ขาดจักรยานประมาณ 3 เหรียญสหรัฐต่อครั้ง [1].

มีการศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนระบบจักรยานสาธารณะ การจัดการโครงข่าย และความสามารถในการให้บริการจักรยานสาธารณะในระยะยาว เพื่อจะเป็นตัวการในการตัดสินในในการจัดการของระบบ García และคณะ และ Midgley [3],[4] ได้ศึกษาและวิเคราะห์ ความต้องการของจักรยานในระบบปิดระหว่างจุดต่างๆ ในระบบขนส่งสาธารณะ เพื่อจะออกแบบจุดหมายของการเดินทางของผู้ใช้ เพื่อให้เกิดจุดบริการที่เหมาะสม Sayarshad และคณะ [5] ได้ศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความคุ้มค่าของระบบจักรยานเช้าสาธารณะ โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจะหาจุดคุ้มค่า โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์เป้าหมายของการศึกษาคือ การได้ประโยชน์สูงสุดจากค่าเช่าจากระบบจักรยานสาธารณะ โดยมีข้อจำกัดทั้งด้านต้นทุน การเสียค่าปรับในกรณีไม่มีจักรยานให้เข้าในระบบ รวมไปถึงอุปทานที่สูงมากจนระบบไม่สามารถรองรับได้

นอกจากความสามารถของระบบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสมดุลในการให้บริการ กล่าวคือเมื่อระบบดำเนินการไป จะต้องมีการเติมจักรยานในสถานีที่มีจักรยานจำนวนน้อย เพื่อรองรับผู้เช่า และจะต้องนำจักรยานออกจากสถานีเมื่อจำนวนจักรยานในสถานีมีมากเกินไปทำให้ผู้เช่าไม่สามารถคืนจักรยานได้ Raviv และคณะ[6] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ Mixed Integer Linear Programming (MILP) ซึ่งได้สร้างขึ้นด้วย ปัจจัยทั้งแบบสุ่มและปัจจัยแบบพลวัตของอุปทานในสมการวัตถุประสงค์ Ho และ Szeto [7] ได้ใช้วิธีการ การค้นหาแบบ Tabu เพื่อจะหาค่าปรับที่ต่ำที่สุดในแต่ละสถานีในสมการวัตถุประสงค์ ในการปรับสมดุลในระบบจักรยาน โดยการทดลองของพวกเขาได้แสดงให้เห็นว่า การใช้การค้นหาแบบ Tabu เป็นวิธีการที่ประยุกต์ใช้ได้งานและได้ผลดีต่อปัญหาประเภทนี้ Vogel และคณะ[8] ได้ใช้ MILP เพื่อหาค่าคาดหวังของต้นทุนที่น้อยที่สุดในการจัดสรรจักรยานในระบบจักรยานเช่าสาธารณะในกรุงเวียนนา พวกเขาได้สร้างระบบ Hybrid Metaheuristic โดยการใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search) นอกจากนี้ Wichapa และคณะ[9] ได้มีการศึกษา ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows) ซึ่งเป็นส่วนขยายจาก (Vehicle Routing Problem) โดยเป็นการนำเสนออัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งเป็นปัญหาแบบ Np-hard โดยได้เสนออัลกอริทึมเชิงพันธุ์กรรมแบบผสมผสาน (Hybrid Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นการบูรณา

การระหว่างฮิวริสติกแบบแทรกไปข้างหน้า (Push Forward Insertion Heuristic) วิธีเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm) และการค้นหาคำตอบเฉพาะที่จำนวน 3 วิธี (Three Local Searches) ผลการดำเนินการพบว่าอัลกอริทึมที่เสนอนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีโดยได้คำตอบเบี่ยงเบนจากคำตอบที่ดีที่สุดที่รู้ค่าเล็กน้อย มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับ Bike-sharing inventory rebalancing ที่มีปัญหาแบบ Vehicle routing โดย Shi และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาปัญหานี้ด้วยการใช้ particle swarm optimization ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการกำหนดพาหนะที่ใช้ขนส่งจักรยานจำนวน 5 คัน โดยมีจุดบริการทั้งหมด 25 จุด โดยงานวิจัยนี้พบว่าอัตราการใช้งานของพาหนะที่ใช้ขนส่งมีอัตราการใช้ค่อนข้างสูงและมีข้อเสนอแนะให้ผู้ให้บริการมีการจัดการตารางการปรับสมดุลของสถานีจักรยาน และยังมี Schuijbroek และคณะ [11] ได้ศึกษาการปรับสมดุลจักรยานโดยเสนอวิธีการ cluster-first route-second heuristic ในปัญหาแบบ polynomial-size Clustering โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของระดับการบริการและต้นทุนของเส้นทางที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสถานีจักรยานจาก บอสตัน และวอชิงตัน ดีซี ประเทศสหรัฐอเมริกา มาเป็นข้อมูลในการทดสอบวิธีการของพวกเขา ผลที่ได้ของงานวิจัยนี้พบว่า วิธีการที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาแบบ pure mixed-integer programming และ constraint programming นั้นมีผลลัพธ์ที่ดีกว่า

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีวิจัย

จักรยานเช่าสาธารณะถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการเดินทางท่องเที่ยวในระยะทางสั้น ผู้ใช้บริการสามารถเช่าจักรยานจากสถานีต้นทางเพื่อเดินทางท่องเที่ยว หรือ ไปยังจุดหมายที่ต้องการ และจอดจักรยานคืนยังสถานีปลายทางโดยไม่จำเป็นต้องนำกลับมาคืนยังสถานีต้นทาง ด้วยเหตุนี้ก่อนที่ระบบจักรยานเช่าจะเริ่มให้บริการในวันนั้นๆ ผู้ใช้บริการอาจจะพบจำนวนของจักรยานที่ให้บริการในแต่ละสถานีที่แตกต่างกันออกไปเช่น บางสถานีมีจักรยานไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้บริการเนื่องจากก่อนหน้านี้มีผู้มายืมจักรยานในสถานีดังกล่าวเป็นจำนวนมาก และบางสถานีมีช่องจอดจักรยานเช่าสาธารณะไม่เพียงพอต่อจำนวนของจักรยานที่นำมาคืนเนื่องจากเป็นสถานีที่ผู้ใช้บริการนำจักรยานมาคืนเป็นจำนวนมาก โดยที่ปัจจุบันแต่ละสถานีจะมีช่องจอดจักรยานเช่าสาธารณะจำนวน 6 ช่องจอด แต่ละช่องจะสามารถจอดจักรยานได้เพียง 1 คัน เพื่อให้งานวิจัยนี้เห็นภาพการดำเนินงานวิจัยที่ชัดเจน งานวิจัยนี้จึงแบ่งการดำเนินการวิจัยให้เป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้ ส่วนที่ 1 ลักษณะของการใช้บริการของผู้มาเช่าจักรยาน เพื่อให้ทราบถึงอัตราการเข้ามาใช้บริการ ลักษณะการใช้บริการตั้งแต่การเริ่มต้นยืมจักรยาน ไปจนถึงสิ้นสุดการใช้บริการโดยการนำจักรยานมาคืนที่ที่จอด ส่วนที่ 2 การขนส่งจักรยานหลังจากระบบให้เช่าบริการปิดลง เพื่อนำจักรยานไปเติมให้กับสถานีที่มีจำนวนจักรยานน้อยกว่าปริมาณจักรยานที่กำหนด และนำจักรยานออกจากสถานีที่มีจำนวนจักรยานมากเกินไปออกจากสถานี ส่วนที่ 3 การกำหนดตัวแปร และการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับปัญหาการรับและส่งมอบในบริการจักรยานเช่าสาธารณะ และในส่วนที่ 4 การกำหนดขนาดของรถที่จะนำจักรยานไปส่งเพื่อเติมจำนวนจักรยานในสถานีที่มีจักรยานน้อยและรับจักรยานในสถานีที่มีจำนวนมากเกินกำหนดออกจากสถานี

2.1 ลักษณะการใช้บริการ

การเข้ามาใช้บริการของลูกค้าในปัจจุบันมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละวัน โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดลักษณะปัญหาตามสมมติฐานดังต่อไปนี้ โดยอ้างอิงจากการใช้บริการจริงของระบบจักรยานเช่าของเทศบาลนครเชียงใหม่

1.) ผู้ใช้บริการสามารถเช่าและคืนจักรยานที่สถานีใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องยืมหรือคืนจักรยานในสถานีเดียวกัน โดยแต่ละสถานีจะมีช่องสำหรับจอดจักรยาน 6 ช่อง

2.) ผู้ใช้บริการหนึ่งท่านสามารถเช่าจักรยานได้เพียงครั้งละ 1 คัน ต่อหนึ่งรอบการท่องเที่ยว

3.) กำหนดให้หลังระบบปิด จักรยานทุกคันต้องถูกคืนเข้าสู่ระบบ กำหนดให้ระบบเปิดให้บริการตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 24.00 น. ก่อนที่ระบบจะเปิดให้บริการ แต่ละสถานีจะต้องมีรถจอดให้บริการในแต่ละสถานีจำนวน 4 คัน เพื่อให้มี

จักรยานเพียงพอต่อความต้องการในการใช้บริการ และมีช่องจอดที่ว่างอยู่จำนวน 2 ช่อง เพื่อรองรับจักรยานที่ผู้เช่าจากสถานีอื่นจะนำเข้ามาจอด

4.) กำหนดพฤติกรรมการใช้จักรยานเช่าสาธารณะด้วยการสุ่มอัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการ โดยแบ่งลักษณะของผู้เข้ามาใช้บริการในแต่ละสถานีออกเป็น 3 ประเภท

ก) อัตราการยืม มากกว่าอัตราการนำจักรยานมาคืน

ข) อัตราการยืม เท่ากับอัตราการนำจักรยานมาคืน

ค) อัตราการยืม น้อยกว่าอัตราการนำจักรยานมาคืน

ลักษณะการใช้บริการแบบ (ก) จะส่งผลให้สถานีดังกล่าวมีจำนวนจักรยานที่จอดให้บริการในสถานีน้อยลง แต่ในทางกลับกันจะทำให้ช่องจอดจักรยานมีจำนวนว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อการให้บริการถ้าหากอัตราการยืมมากกว่าอัตราการคืนในปริมาณที่สูง อาจจะส่งผลให้จักรยานในสถานีดังกล่าวหมด และไม่มีจักรยานให้ผู้ใช้บริการยืมได้อีกต่อไป โดยก่อนระบบให้เช่าจักรยานจะเปิดให้บริการจะต้องมีการเติมจักรยานให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ ลักษณะการใช้บริการแบบ (ข) ลักษณะการใช้บริการเช่นนี้จะส่งผลให้จำนวนจักรยานสำหรับให้บริการและจำนวนช่องว่างสำหรับการคืนจักรยานคงที่ ดังนั้นก่อนระบบจะเปิดให้บริการจะต้องมีการเพิ่มจักรยานเมื่อจำนวนจักรยานมีจำนวนต่ำว่าปริมาณของจักรยานที่กำหนดไว้ และหาจำนวนจักรยานมีจำนวนมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้จะต้องมีการนำจักรยานออกจากช่องจอดเมื่อจำนวนจักรยานมีจำนวนมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้ ในส่วนของลักษณะสุดท้ายคือแบบ (ค) การเข้าใช้บริการแบบนี้จะทำให้จำนวนจักรยานที่นำมาคืนมาก ซึ่งอาจจะส่งผลให้จำนวนช่องจอดจักรยานเต็มและผู้เช่าจักรยานไม่สามารถคืนจักรยานเข้าสู่ช่องจอดได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดเหตุการณ์ที่ (ก) จักรยานที่สถานีหมดทำให้ผู้มาใช้บริการไม่สามารถยืมจักรยานได้ จึงกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่มาใช้บริการที่สถานีที่จักรยานหมดจะต้องออกจากระบบ ในทางกลับกัน ในกรณีสถานีประเภท (ค) ผู้ใช้บริการที่มีจักรยานแล้วจะนำจักรยานมาคืนที่สถานีที่มีช่องจอดเต็มจะกำหนดให้ผู้ใช้บริการต้องคืนจักรยานที่สถานีที่ใกล้ที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้จำนวนจักรยานในระบบขาดหายไป

2.2 การขนส่งจักรยานและสถานีให้เช่า

หลังจากระบบเช่าจักรยานปิดตัวลง เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบจะต้องทำการตรวจสอบระดับจำนวนของจักรยานในแต่ละสถานีและต้องดำเนินการเติมจักรยานในสถานี (ก) หรือ (ข) ในกรณีที่จักรยานมีจำนวนต่ำกว่าปริมาณจักรยานที่กำหนด และจะต้องนำจักรยานออกจากสถานี (ข) หรือ (ค) เมื่อจำนวนจักรยานมีจำนวนมากกว่าปริมาณจักรยานที่กำหนดโดยการใช้ยานพาหนะบรรทุกจักรยานเพื่อเติมหรือเก็บจักรยาน โดยยานพาหนะดังกล่าวจะดำเนินการภายใต้สมมติฐานต่อไปนี้

1.) ยานพาหนะต้องเดินทางออกจากศูนย์กระจายจักรยานไปยังสถานีเป้าหมาย และเมื่อเติม หรือ เก็บจักรยานเช่าสาธารณะในแต่ละสถานีเสร็จสิ้นแล้ว ต้องกลับมายังศูนย์กระจายจักรยานเสมอ

2.) ยานพาหนะสามารถเดินทางไปเติม หรือ เก็บจักรยานเช่าสาธารณะได้เพียงสถานีละหนึ่งครั้ง ในระหว่างช่วงเวลาระบบปิด และจะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จก่อนระบบจะเปิดให้บริการอีกครั้ง

3.) เมื่อยานพาหนะบรรทุกจักรยานเช่าสาธารณะจนเต็มจะต้องเดินทางไปยังสถานีที่ต้องการเติมจักรยานเช่าสาธารณะ หรือ ต้องเดินทางไปยังศูนย์กระจายจักรยานเพื่อนำจักรยานลงจากยานพาหนะเท่านั้น จึงจะสามารถปฏิบัติงานต่อได้

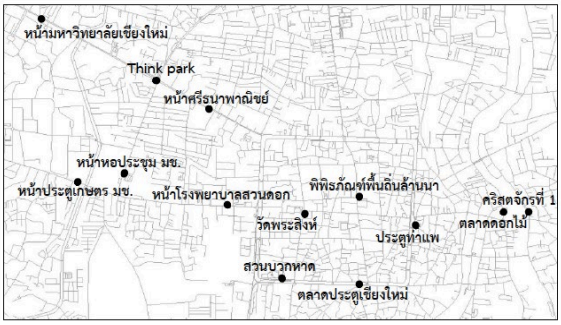
4.) แต่ละสถานีจะมียานพาหนะเดินทางมาเติมหรือเก็บจักรยานเช่าสาธารณะเพียงหนึ่งครั้ง

5.) ยานพาหนะต้องเดินทางไปทุกสถานีจักรยานเช่าสาธารณะถึงแม้จะไม่มีการเติม หรือ เก็บจักรยานก็ตาม เพื่อตรวจความเรียบร้อยของแต่ละสถานีจักรยานเช่าสาธารณะ

6.) ก่อนระบบเปิดให้บริการทุกสถานีจักรยานเช่าสาธารณะต้องมีจักรยานอยู่ในระบบ 4 คัน เมื่อทุกสถานีได้รับการเติม/เก็บจักรยาน หรือตรวจสอบความเรียบร้อยทุกสถานีแล้ว ยานพาหนะจะต้องกลับมายังศูนย์กระจายจักรยานและถือว่าเสร็จงาน

การให้บริการของจักรยานเช่าสาธารณะของเทศบาลนครเชียงใหม่เปิดให้บริการทั้งหมด 13 สถานี โดยมีสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาเป็นศูนย์ประสานงานและศูนย์

กระจายจักรยานเพื่อเติมและเก็บจักรยานในแต่ละสถานี ดังแสดงใน**รูปที่ 1**.



รูปที่ 1 สถานีจักรยานเช่าสาธารณะเทศบาลนครเชียงใหม่

2.3 การกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และการจำลองสถานการณ์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยฉบับนี้ กำหนดให้ N คือ จำนวนสถานีจักรยานเช่าสาธารณะทั้งหมด n คือ สถานีจักรยานเช่าสาธารณะใด ๆ โดยที่ $n=\{0,...,N\}$ และ D คือ เซตของเส้นเชื่อมระหว่างสถานี i ไปยังสถานี j หรือ เรียกว่า อาร์ค กำหนดให้ M คือ จำนวนยานพาหนะทั้งหมด m คือ ยานพาหนะใด ๆ d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างสถานี i ไปยังสถานี j โดยที่ระยะทางจากสถานี i ไปสถานี j ไม่เท่ากับ ระยะทางจากสถานี j ไปสถานี i หรือ $d_{ij} \neq d_{ji}$ ในบางจุดซึ่งเป็นแบบไม่สมมาตร ด้วยยานพาหนะชนิดเดียวกันที่มีความจุจักรยานเท่ากัน โดยมี V คือเซตของยานพาหนะที่มี Q_k คือความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ k โดยที่ $k \in V$ หรือ $k=\{1,..,M\}$ จะทำการขนส่งจักรยานไปยังสถานีต่าง ๆ เพื่อให้มีระยะทางรวมในการขนส่งที่สั้นที่สุด โดยที่จำนวนความต้องการจักรยานแต่ละสถานีที่ไม่แน่นอน

ปัญหาที่งานวิจัยนี้สนใจศึกษาสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

2.3.1 การกำหนดดัชนี

M คือ จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมด

N คือ จำนวนสถานีจักรยานเช่าสาธารณะทั้งหมด

i คือ สถานีจักรยานเช่าสาธารณะ i, $i = 1..., N$

j คือ สถานีจักรยานเช่าสาธารณะ j, $j = 1..., N$

p คือ สถานีจักรยานเช่าสาธารณะ p, $p = 1..., N$

k คือ ยานพาหนะคันที่ k, $k = 1..., M$

2.3.2 การกำหนดพารามิเตอร์

d_{ij} คือ ระยะทางจากสถานีจักรยานเช่าสาธารณะ i ไป j (ดู **ตารางที่ 1**)

s_i คือ จำนวนความต้องการจักรยานของสถานี i ณ เวลาระบบปิด

Q_k *คือ* ความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ k

2.3.3 การกำหนดตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij}^k เท่ากับ 1 เมื่อยานพาหนะ k มีการเดินทางจาก i ไป j และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

Y_{ij}^k เท่ากับ 1 เมื่อสถานี i ถูกเดินทางผ่านไปสถานี j โดยยานพาหนะ k และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

U_{ij}^k คือ ค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบ โดยที่ จำนวนจักรยานบนพาหนะ k จากสถานี i ต้องมีเพียงพอต่อความต้องการจักรยาน ที่จะไปส่งยังสถานี j และยานพาหนะ k จากสถานี i จะไม่เดินทางไปสถานี j เมื่อความต้องการจักรยานได้รับการปรับปรุงจนเพียงพอแล้ว

2.3.4 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สมการที่ (1) เป็นสมการระยะทางที่สั้นที่สุดของการขนส่งจักรยานเช่าจากสถานี i ไปยังสถานี j โดยยานพาหนะ k สมการที่ (2) เป็นสมการรับประกันว่ายานพาหนะ k จะเดินทางออกศูนย์กระจายจักรยานไปยังสถานี j อย่างน้อย 1 สถานี สมการที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่ายานพาหนะ k จะเดินทางเข้าและออกสถานีจักรยานเช่าสาธารณะเท่ากัน 1 ครั้ง สมการที่ (4) เป็นสมการรับประกันว่าสถานีจักรยานเช่าสาธารณะหนึ่ง ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านจากยานพาหนะอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (5) เป็นสมการรับประกันว่ายานพาหนะ k จะนำจักรยานไปส่งยังสถานีไม่เกินจำนวนที่สามารถบรรทุกได้ สมการที่ (6) เป็นสมการรับประกันว่าจะเดินทางเข้าสถานี i ได้ ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ k เดินทางผ่านสถานี i จากเส้นทางของสถานี j สถานีใดสถานีหนึ่งเท่านั้น สมการที่ (7) เป็นสมการที่รับประกันว่าสถานี j จะได้รับการเดินทางผ่านโดยยานพาหนะ k อย่างน้อย 1 ครั้ง โดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากสถานี i และสมการที่ (8) –(10) เป็นสมการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดทัวร์ย่อย

$$\sum_{k=1}^{M}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} d_{ij}X_{ij}^{k} \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^{N} X_{0j}^{k} \geq 1 \; \forall k \in \{1,\ldots,M\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} \; \forall p \in \{1,\ldots,N\}, \forall k \in \{1,\ldots,M\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{M} Y_{i}^{k} \; \forall i \in \{1,\ldots,N\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N} s_i Y_{i}^{k} \leq Q_k \forall k \in \{1,\ldots,M\} \quad (5)$$

$$Y_{i}^{k} \leq \sum_{j=0}^{N} X_{ji}^{k} \; \forall i \in \{1,\ldots,N\} \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{M}\sum_{i=0}^{N} X_{ji}^{k} \geq 1 \forall j \in \{1,\ldots,N\} \quad (7)$$

$$U_i^k \geq U_j^k + s_i - Q_k + \left(Q_k\left(X_{ij}^k + X_{ji}^k\right)\right) + \left(X_{ij}^k\left(s_i + s_j\right)\right) \forall k \in \{1,\ldots,M\}, \forall j \in \{1,\ldots,N\}, \forall i \in \{1,\ldots,N\}, i \neq j \quad (8)$$

$$U_i^k \leq Q_k - X_{ij}^k(Q_k - s_i) \; \forall i \in \{1,\ldots,N\}, \forall k \in \{1,\ldots,M\} \quad (9)$$

$$U_i^k \geq s_i + \sum_{i=1}^{N} s_j X_{ji}^k \; \forall i \in \{1,\ldots,N\}, \forall k \in \{1,\ldots,M\} \quad (10)$$

ตารางที่ 1 เมตริกระยะทางของสถานีจักรยานเช่าสาธารณะ (กิโลเมตร)

จาก \ ไป	พิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นฯ	Think Park	ตลาดดอกไม้	ตลาดประตู ชม.	ประตูเกษตร มช.	ประตูท่าแพ	วัดพระสิงห์	คริสตจักร ที่ 1	สวนบวกหาด	หน้า มช.	รพ.สวนดอก	รร.ศรีธนาพาณิชย์	หอประชุม มช.
พิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นฯ	0	3.06	2.37	1.22	3.08	1.17	0.81	2.81	2.19	4.48	2.20	2.43	3.62
Think Park	2.90	0	4.38	4.12	2.17	3.89	3.01	4.67	3.76	1.42	2.10	0.66	1.13
ตลาดดอกไม้	2.12	5	0	2.81	5.79	1.1	2.8	0.44	4.18	6.42	4.19	4.37	5.61
ตลาดประตู ชม.	1.06	4.19	3.01	0	4.04	1.7	1.48	2.89	1.99	5.61	2.44	3.56	3.86
ประตูเกษตร มช.	3.43	1.77	5.77	4.21	0	4.57	3	6.07	3.53	2.28	1.6	2.21	0.66
ประตูท่าแพ	1.28	4.28	1.93	1.75	4.69	0	1.7	2.2	3.08	5.7	3.09	3.65	4.51
วัดพระสิงห์	0.72	2.66	3.07	1.21	2.99	1.85	0	3.51	1.38	4.09	1.39	2.03	2.81
คริสตจักร ที่ 1	2.41	5.62	0.79	3.11	6.09	1.4	3.09	0	4.48	7.04	4.48	4.99	5.9
สวนบวกหาด	1.59	3.45	3.82	0.81	3.3	2.51	0.87	3.7	0	4.87	1.7	2.82	3.12
หน้า มช.	4.29	1.86	5.77	5.51	2.34	5.29	4.4	6.07	5.16	0	3.49	2.05	2.35
รพ.สวนดอก	1.82	2.07	4.17	2.61	1.6	2.97	1.4	4.46	1.93	3.49	0	1.72	1.42
รร.ศรีธนาพาณิชย์	2.24	0.63	3.72	3.46	2.23	3.23	2.35	4.02	3.1	2.05	1.83	0	1.54
หอประชุม มช.	3.23	1.1	5.26	4.02	0.68	4.38	2.8	5.56	3.33	2.35	1.41	1.54	0

เมื่อทราบเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์การตัดสินใจ โดยทำการคำนวณต้นทุนในการขนส่ง ซึ่งต้นทุน หรือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งในงานวิจัยนี้หมายถึง ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะ โดยพิจารณาวิธีการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้จะแบ่งลักษณะการจัดเส้นทางการขนส่งเป็น 3 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 การจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้เส้นทางเดิมที่พนักงานคุ้นชิน ความจุของพาหนะที่ใช้ขนส่งจักรยาน 10 คัน

วิธีที่ 2 การจัดเส้นทางการขนส่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ความจุของพาหนะที่ใช้ขนส่งจักรยาน 10 คัน

วิธีที่ 3 การจัดเส้นทางการขนส่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ความจุของพาหนะที่ใช้ขนส่งจักรยาน 5 คัน

2.3.5 การจำลองสถานการณ์

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง และข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวเลขทำให้ผลลัพธ์ของสมการการจัดเส้นทางการขนส่งแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงทำการสร้างข้อมูลแบบสุ่มตัวเลขที่นอกเหนือจากข้อมูลจริง เพื่อชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการ [12] ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการจำลองเพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่ทำให้ระยะทางในการขนส่งโดยรวมสั้นที่สุดของในแต่ละกรณี โดยการจำลองสถานการณ์การเข้ามาของผู้ใช้บริการที่มีอัตราการใช้บริการในรูปแบบการสุ่มอัตราการใช้บริการครั้งแรกจากฟังก์ชันการสุ่มตัวเลข ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล กำหนดช่วงของอัตราการใช้บริการตั้งแต่ 1 ถึง 5 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันการสร้างข้อมูลจากการสุ่มตัวเลขในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล กำหนดให้อัตราการใช้บริการมาจากการสุ่มตัวเลขครั้งแรก เพื่อจำลองสถานการณ์จำนวนจักรยานที่ผู้ใช้บริการเช่าและคืนในแต่ละสถานี สุดท้ายทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาระยะทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่สั้นที่สุด

จากสมการที่ (11) เป็นสมการเพื่อหาจำนวนจักรยานคงเหลือในสถานี i ณ เวลาระบบปิดทำการ โดยระบบจะเปิดทำการตั้งแต่เวลา 08.00 น.ถึง 24.00 น.ซึ่งในแต่ละวันจะมีจำนวนจักรยานคงเหลือในแต่ละสถานที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยกำหนดให้จำนวนจักรยานที่คงเหลือในสถานีอยู่ระหว่าง 0 คัน ถึง 6 คัน ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงในปัจจุบันและป้องกันจำนวนจักรยานขาด หรือ เกินในระบบ และสมการที่ (12) เป็นสมการเพื่อหาจำนวนความต้องการจักรยานของสถานี i ณ เวลาระบบปิดทำการ ซึ่งปริมาณความต้องการจักรยานหมายถึง จำนวนจักรยานเช่าสาธารณะที่เจ้าหน้าที่จะต้องนำไปเติม หรือ เก็บ ณ สถานี i ในช่วงเวลาระบบปิดทำการ

q_i คือ ความจุสูงสุดของจักรยานเช่าสาธารณะในสถานี i, $i = 1,..,N$

z_i คือ จำนวนจักรยานที่ต้องมีในสถานี i ณ เวลาก่อนระบบเปิดทำการ, $i = 1,...,N$

I_i คือ จำนวนจักรยานที่ถูกคืนในสถานี i ในระหว่างระบบเปิดทำการ, $i = 1,...,N$,

O_i คือ จำนวนจักรยานที่ถูกเช่าในสถานี i ในระหว่างระบบเปิดทำการ, $i = 1,...,N$,

y_i คือ จำนวนจักรยานที่คงเหลือในสถานี i ณ เวลาระบบปิดทำการ, $i = 1,...,N$

สามารถหาค่า y_i ได้จาก

$$y_i = z_i + I_i - O_i \tag{11}$$

โดยที่ $0 \le y_i \le 6$ ถ้า $y_i \begin{cases} y_i \ge 6, y_i = 6 \\ y_i \le 0, y_i = 0 \end{cases}$

s_i คือ จำนวนความต้องการจักรยานของสถานี i ณ เวลาระบบปิดทำการ, $i = 1,\ldots,N$ สามารถหาค่า s_i ได้จาก

$$s_i = y_i - z_i \tag{12}$$

โดยที่ $s_i \begin{cases} s_i > 0, \text{ต้องเดินทางไปเก็บจักรยานจากสถานี } i \\ s_i = 0, \text{ไม่ต้องเก็บหรือเติมจักรยานในสถานี } i \\ s_i < 0, , \text{ต้องเดินทางไปเติมจักรยานในสถานี } i \end{cases}$

3. ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองสถานการณ์การเข้ามาของผู้ใช้บริการที่มีอัตราการใช้บริการในรูปแบบการแจกแจงแบบปัวส์ซอง ด้วยการสุ่มอัตราการใช้บริการครั้งแรกจากฟังก์ชันการสุ่มตัวเลขในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล โดยกำหนดช่วงของอัตราใช้บริการตั้งแต่ 1 ถึง 5 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันการสร้างข้อมูลจากการสุ่ม

ตัวเลขในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล กำหนดให้อัตราการใช้บริการมาจากการสุ่มตัวเลขครั้งแรก โดยจะทำการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 30 ครั้ง (ข้อมูลของการจำลองสถานการณ์ ทั้ง 30 ครั้งแสดงใน**ภาคผนวก 1**) โดยฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างข้อมูลแสดงใน**ตารางที่ 2** ในการทดลองนี้สถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาจะไม่มีการเก็บหรือเติมจักรยานเนื่องจากเป็นสถานีเริ่มต้นที่ให้บริการ

ดังนั้นความต้องการของสถานีนี้จะมีค่าเท่ากับ 0 เสมอ และเมื่อนำตัวเลขสุ่มที่ได้จาก**ตารางที่ 2** มาแทนค่าในสมการที่ 11 และ 12 จะได้รูปแบบการเก็บและเติมจักรยานตาม**ตารางที่ 3**

ตารางที่ 2 แสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างข้อมูล

ลำดับ	การสร้างข้อมูล	ฟังก์ชัน
1	การสุ่มอัตราการเข้ามาใช้บริการ	RANDBETWEEN (BOTTOM, TOP)
2	จำนวนจักรยานคงเหลือในสถานี	RANDOM NUMBER GENERATION

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลจากฟังก์ชันการสุ่มตัวเลขจากการทดลองที่ 29

สถานีที่	q_i	z_i	I_i	O_i	y_i	s_i
1	6	6	3	1	6	0
2	6	4	3	2	5	1
3	6	4	1	2	3	-1
4	6	4	1	3	2	-2
5	6	4	4	2	6	2
6	6	4	4	2	6	2
7	6	4	2	3	3	-1
8	6	4	0	4	0	-4
9	6	4	2	2	4	0
10	6	4	6	3	6	2
11	6	4	1	3	2	-2
12	6	4	5	4	5	1
13	6	4	5	1	6	2

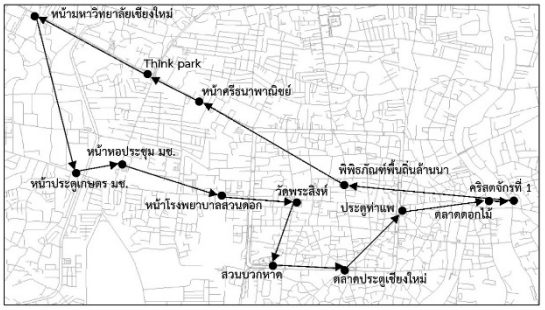
เนื่องจากการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะเป็นการจัดสมดุลแบบคงตัว จึงทำการขนส่งเพียงครั้งเดียวต่อหนึ่งวันในช่วงเวลาปิดทำการ โดยโปรแกรมจะรับข้อมูลระยะทางจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง ปริมาณความต้องการจักรยานในแต่ละสถานีพร้อมกับจำนวนความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ หลังจากนั้นโปรแกรมจะพิจารณาตามเงื่อนไขของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยประมวลผลตามหลักการเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด กล่าวคือ ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากศูนย์กระจายจักรยานเดินทางไปยังสถานีที่ใกล้ที่สุดจนกระทั่งเติม หรือ เก็บจักรยานเสร็จ จากนั้นจะเดินทางไปยังสถานีต่อไปที่มีระยะทางที่ใกล้ที่สุด ที่มีจำนวนความต้องการจักรยานในสถานีต่อไปมีน้อยกว่า หรือ เท่ากับปริมาณจักรยานที่บรรทุกบนยานพาหนะ [9]

เมื่อนำเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาแสดงการเชื่อมโยงระหว่างตำแหน่งการขนส่งจากสถานีต้นทางไปยังสถานีปลายทาง โดยจะแสดงให้เห็นในภาพของการเชื่อมโยงแบบระยะขจัดเพื่อความสะดวกในการแสดงผล แต่การเดินทางของยานพาหนะ ที่แท้จริงจะคดเคี้ยวไปตามถนน และเนื่องจากสถานการณ์ของแต่ละวันมีความแตกต่างกัน ทำให้ระยะทางและเส้นทางการขนส่งเปลี่ยนแปลงไป โดยผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งจากการจำลองสถานการณ์ โดยแยกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การจัดเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่มีความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะเท่ากับ 10 คัน และการจัดเส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่มีความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ 5 คัน ซึ่งมีเส้นทางการขนส่งแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

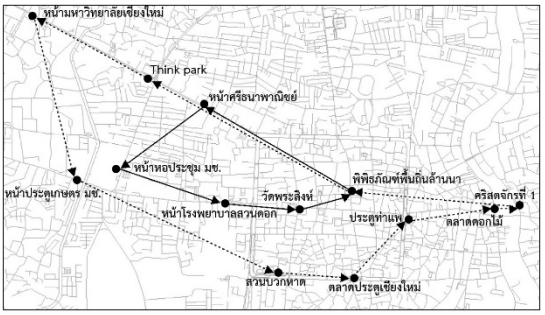
จาก**รูปที่ 2** แสดงเส้นทางการขนส่งจักรยาน ที่มีความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ 10 คัน มีเส้นทางการขนส่งเพียงเส้นทางเดียว โดยเริ่มเดินทางออกจากสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาไปยังสถานีหน้าโรงเรียนศรีธนาพาณิชย์, สถานี Think park, สถานีหน้ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานีประตูเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานีหอประชุมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ,สถานีโรงพยาบาลสวนดอก, สถานีวัดพระสิงห์, สถานีสวนบวกหาด, สถานีตลาดประตูเชียงใหม่, สถานีประตูท่าแพ, สถานีตลาดดอกไม้, สถานีคริสตจักรที่ 1 ตามลำดับ จากนั้นกลับมายังสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนา มีระยะทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะรวมเท่ากับ 18.96 กิโลเมตร

จาก**รูปที่ 3** แสดงเส้นทางการขนส่งจักรยานที่มีความจุจักรยานสูงสุดของยานพาหนะ 5 คัน จะสังเกตได้ว่าเกิด

เส้นทางการขนส่งอยู่ 2 รอบ โดยรอบแรกเดินทางออกจากสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาไปยังสถานีหน้าโรงเรียนศรีธนาพาณิชย์, สถานีหน้าหอประชุมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานีโรงพยาบาลสวนดอก, สถานีวัดพระสิงห์ ตามลำดับ และกลับมายังสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนา และรอบที่สองเริ่มเดินทางออกจากสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนาไปยังสถานี Think park, สถานีหน้ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานีประตูเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สถานีสวนบวกหาด, สถานีตลาดประตูเชียงใหม่, สถานีประตูท่าแพ, สถานีตลาดดอกไม้, สถานคริสตจักรที่ 1 ตามลำดับ และกลับมายังสถานีพิพิธภัณฑ์พื้นถิ่นล้านนา มีระยะทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะรวมเท่ากับ 25.15 กิโลเมตร



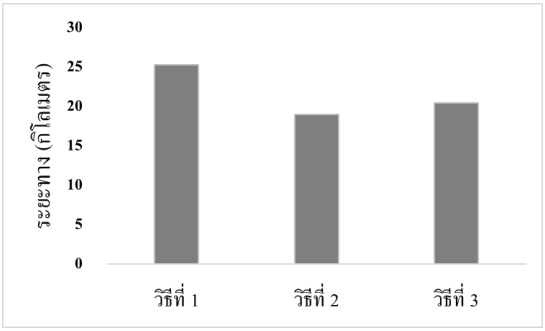
รูปที่ 2 เส้นทางการขนส่งจักรยาน ที่มีความจุของยานพาหนะเท่ากับ 10 คัน



รูปที่ 3 เส้นทางการขนส่งจักรยาน ที่มีความจุของยานพาหนะเท่ากับ 5 คัน

ซึ่งทั้งสองกรณีมีจำนวนความต้องการจักรยานเท่ากัน แต่เนื่องจากยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีความสามารถในการจุจักรยานไม่เท่ากันจึงส่งผลให้เส้นทางในการขนส่งแตกต่างกัน ซึ่งในกรณีที่ยานพาหนะมีความจุจักรยานสูงสุด 5 คัน เมื่อทำการวิเคราะห์หาเส้นทางจากสมการทางคณิตศาสตร์ พบว่าเกิดเส้นทางการขนส่งสองรอบ ณ ที่นี้ผู้วิจัยจึงต้องนำไปวิเคราะห์ว่าจะใช้ยานพาหนะ 2 คันเพื่อขนส่งจักรยาน หรือ ใช้ยานพาหนะเพียง 1 คัน แต่เดินทางวน 2 รอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับต้นทุนในการขนส่ง และถึงแม้ระยะทางการขนส่งโดยรวมของยานพาหนะที่มีความจุจักรยานสูงสุด 10 คัน จะน้อยกว่าระยะทางการขนส่งโดยรวมของยานพาหนะที่มีความจุจักรยานสูงสุด 5 คัน แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าจะเลือกใช้ยานพาหนะชนิดใด เนื่องจากต้องทำการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อตัดสินใจว่าจะเลือกวิธีการขนส่งแบบใด และใช้ยานพาหนะชนิดใดในขั้นต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งทั้งหมด 30 กรณี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งแบบเดิม ซึ่งผลการศึกษาได้นำเสนอตามแผนภูมิดังต่อไปนี้ โดยแผนภูมิจะมีการจัดเส้นทางการขนส่งทั้ง 3 วิธี จาก**รูปที่ 4** แสดงระยะทางการขนส่งเฉลี่ยของแต่ละวิธี เมื่อเทียบกับวิธีการที่ 1 พบว่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่ 2 ลดลง 6.33 กิโลเมตร และวิธีการที่ 3 ลดลง 4.83 กิโลเมตร



รูปที่ 4 ระยะทางการขนส่งเฉลี่ยของแต่ละวิธี

ผู้วิจัยได้ทำระยะทางในการขนส่งทั้งหมด 30 กรณี (ผลการทดลองแสดงใน**ภาคผนวกที่ 2**) มาทำการเฉลี่ยและนำไปเปรียบเทียบระยะทางในการขนส่ง ซึ่งเมื่อเทียบระยะทางการขนส่งของแต่ละวิธีกับวิธีการที่ 1 พบว่าระยะทางเฉลี่ยของวิธีการที่ 2 ลดลง 6.33 กิโลเมตร และวิธีการที่ 3 ลดลง 4.83 กิโลเมตร โดยเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อรอบการขนส่งของแต่ละวิธีกับวิธีการที่ 1 พบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของวิธีการที่ 2 ลดลง 0.53 ลิตร และวิธีการ

ที่ 3 ลดลง 1.18 ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจะใช้ขนาดของรถบรรทุกเท่าใดก็จะสามารถลดค่าขนส่งได้ และทางผู้ให้บริการสามารถนำผลการทดลองด้วยวิธีที่ 3 ไปคิดต้นทุนในการซื้อพาหนะคันใหม่ที่เล็กลงและมีอัตราการใช้น้ำมันที่น้อยกว่า

4. อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การรับและส่งมอบจักรยานสาธารณะด้วยข้อจำกัดของการกำหนดขนาดของการขนส่ง และจำลองสถานการณ์การรับส่งเพื่อเติมจักรยานในสถานีที่จักรยานมีจำนวนน้อยเกินกว่าข้อกำหนด และการนำจักรยานออกเมื่อจักรยานในสถานีมีมากกว่าข้อกำหนด โดยเริ่มจากการกำหนดจำนวนของสถานีบริการให้เช่าจักรยาน และเมื่อระบบปิดจะถือว่าระบบให้บริการจักรยานได้สิ้นสุดในวันนั้นๆ ทางผู้ให้บริการจะต้องทำการนำจักรยานไปเติมในสถานีที่มีจำนวนจักรยานต่ำกว่าปริมาณที่กำหนดและนำจักรยานออกจากสถานีที่มีจำนวนมากกว่าที่กำหนด โดยงานวิจัยนี้ได้จำลองพฤติกรรมของผู้มาใช้บริการด้วยการสุ่มตัวเลขจำนวนผู้มาเช่าและผู้มาคืนจักรยานในแต่ละสถานี เมื่อทราบว่าสถานีใดต้องได้รับการเติมหรือยกออก พาหนะบรรทุกจักรยานจะต้องออกไปปรับสมดุลจำนวนจักรยานให้อยู่ในจำนวนที่กำหนด โดยข้อจำกัดของโมเดลนี้คือขนาดบรรทุกสูงสุดของจำนวนจักรยาน เมื่อจำขนาดบรรทุกมีขนาดเล็กลงอาจจะต้องทำให้เกิดการวนรอบลดในจำนวนที่เพิ่มขึ้น

จากการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่า หากเจ้าหน้าที่ทำการขนส่งตามเส้นทางที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสามารถลดระยะทางการขนส่งได้ 6.33 กิโลเมตรต่อรอบ และลดปริมาณเชื้อเพลิงได้ 0.53 ลิตรต่อรอบ และหาเปลี่ยนยานพาหนะชนิดใหม่ที่มีความจุจักรยานและอัตราการสิ้นเปลืองน้อยกว่ายานพาหนะเดิมจะสามารถลดระยะทางการขนส่งได้ 4.83 กิโลเมตรต่อรอบ และลดปริมาณเชื้อเพลิงได้ 1.18 ลิตรต่อรอบ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พาหนะขนส่งที่เล็กลงสามารถขนส่งจักรยานได้น้อยลงแต่จะสามารถทำให้อัตราการสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันลดลงด้วยเช่นกัน การตัดสินใจลงทุนจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ในอนาคต ซึ่งงานวิจัยลักษณะนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการรับส่งแบบอื่นๆ ที่มีข้อจำกัดทางด้านขนาดของรถบรรทุกที่จะใช้ในการขนส่งเพื่อหาขนาดของพาหนะที่ใช้บรรทุกที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงระยะทางและต้นทุนอื่นๆมาประกอบการตัดสินใจ

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Demaio, “Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future,” *Journal of Public Transportation*, vol. 12, no. 4, pp. 41–56, 2009, doi: 10.5038/2375-0901.12.4.3.

[2] P. Demaio. “Bike-shairing World Map.” http://bike-sharing.blogspot.com/2021/10/the-meddin-bike-sharing-world-map-mid.html (accessed Jul. 29, 2020)

[3] J. C. García-Palomares, J. Gutiérrez and M. Latorre, “Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach,” *Applied Geography*, vol. 35, no. 1–2, pp. 235–246, 2012, doi: 10.1016/j.apgeog.2012.07.002.

[4] P. Midgley, “The role of smart bike-sharing systems in urban mobility,” *Journeys*, vol 2, pp. 23–31, 2009.

[5] H. Sayarshad, S. Tavassoli and F. Zhao, “A multi-periodic optimization formulation for bike planning and bike utilization,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, no. 10, pp. 4944–4951, 2012, doi: 10.1016/j.apm.2011.12.032.

[6] T. Raviv, M. Tzur and I. A. Forma, “Static repositioning in a bike-sharing system: models and solution approaches,” *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 2, pp. 187–229, 2013, doi: 10.1007/s13676-012-0017-6.

[7] S. C. Ho and W. Szeto, “Solving a static repositioning problem in bike-sharing systems using iterated tabu search,” *Transportation Research Part E: Logistics*

and Transportation Review, vol. 69, pp. 180–198, 2014, doi: 10.1016/j.tre.2014.05.017.

[8] P. Vogel, B. A. N. Saavedra and D. C. Mattfeld, "A Hybrid Metaheuristic to Solve the Resource Allocation Problem in Bike Sharing Systems," in *9th International Workshop*, Hamburg, Germany, 2014, pp. 16–29, doi: 10.1007/978-3-319-07644-7_2.

[9] N. Wichapa, T. Sudsuansee and P. Khokhajaikiat, "Solving the Vehicle Routing Problems with Time Windows Using Hybrid Genetic Algorithm with Push Forward Insertion Heuristic and Local Search Procedure" *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp.4–13, 2019.

[10] L. Shi, Y. Zhang, W. Rui and X. Yang, "Study on the bike-sharing inventory rebalancing and vehicle routing for bike-sharing system," *Transportation Research Procedia*, vol. 39, pp. 624–633, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.06.064.

[11] J. Schuijbroek, R. C. Hampshire and W.-J. van Hoeve, "Inventory rebalancing and vehicle routing in Bike Sharing Systems," *European Journal of Operational Research*, vol. 257, no. 3, pp. 992–1004, 2017, doi: 10.1016/j.ejor.2016.08.029.

[12] M. Dellamico, E. Hadjicostantinou, M. Iori and S. Novellani, "The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances," *Omega*, vol. 45, pp. 7–19, 2014, doi: 10.1016/j.omega.2013.12.001.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1 แสดงความต้องการจักรยานของแต่ละสถานีที่ได้จากการจำลองสถาณะการ

ตารางที่ ก แสดงตัวเลขความต้องการที่ได้จากการจำลองสถาณะการ

	สถานีที่												
กรณีที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	-1	2	1	-3	2	-2	-1	1	-1	2	-2	2
2	0	0	-4	-2	2	-1	0	2	0	-2	2	1	2
3	0	2	2	-2	-2	2	-1	2	2	-1	-2	0	-2
4	0	-3	-3	-1	1	2	2	-1	-1	2	-1	1	2
5	0	-1	1	1	-4	0	-1	2	-2	2	-2	2	2
6	0	-4	2	2	-2	2	0	0	1	2	-3	1	-1
7	0	-2	1	-2	0	2	-1	0	2	2	1	1	-4
8	0	2	0	1	1	-4	-1	1	0	-4	1	2	1
9	0	2	-1	-3	2	2	-2	0	-3	2	1	-1	1
10	0	-4	2	-2	1	2	0	2	2	-4	-1	2	0
11	0	-2	-2	0	1	-1	-1	2	0	1	-1	1	2
12	0	1	1	2	-2	2	0	-2	-1	0	2	1	-4
13	0	2	-1	-4	2	-1	1	-1	1	1	-1	2	-1
14	0	-3	2	1	-3	2	-2	0	-1	2	2	1	-1

ตารางที่ ก แสดงตัวเลขความต้องการที่ได้จากการจำลองสถาณะการ (ต่อ)

	สถานีที่												
กรณีที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	0	0	2	-3	0	2	-2	1	-1	-1	2	-2	2
16	0	-2	2	2	0	-2	0	2	2	1	-2	0	-3
17	0	-3	2	2	-2	2	2	-2	1	2	-1	-3	0
18	0	-3	-2	-1	2	2	2	-1	-2	2	-1	0	2
19	0	1	2	-1	-3	-2	2	-2	2	-1	2	2	-2
20	0	2	2	-1	2	-4	-2	1	-2	-2	1	2	1
21	0	1	0	-3	-2	2	2	-1	1	0	-4	2	2
22	0	2	-3	-2	1	2	1	0	-2	-1	2	-1	1
23	0	-1	2	2	1	-2	-1	2	-2	-3	2	1	-1
24	0	2	-1	1	2	-3	1	1	-2	1	1	1	-4
25	0	-1	2	2	1	-1	-3	1	2	-1	0	-2	0
26	0	0	-1	2	-3	1	-2	-1	2	2	-2	1	1
27	0	-4	2	2	2	-2	2	2	-4	-2	2	-2	2
28	0	-2	1	-2	1	2	1	-2	-1	1	-1	2	0
29	0	1	-1	-2	2	2	-1	-4	0	2	-2	1	2
30	0	-1	2	2	-3	-2	1	-1	2	-2	2	-2	2

ภาคผนวก 2 ผลลัพธ์เส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตาราง ข ผลลัพธ์เส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลำดับ	ความจุสูงสุด	รอบการขนส่ง	ระยะทางรวม	เส้นทาง
	(คัน)	(รอบ)	(กิโลเมตร)	
1	10	1	19.29	1-3-8-6-4-9-7-11-5-13-2-10-12-1
	5	1	19.29	1-3-8-6-4-9-7-11-5-13-2-10-12-1
2	10	1	19	1-7-11-5-13-2-10-12-9-4-8-3-6-1
	5	1	19.17	1-7-11-12-2-10-5-13-9-4-8-3-6-1
3	10	1	18.18	1-3-8-6-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
	5	2	22.97	1-3-8-7-9-11-12-2-10-5-13-1
				1-6-4-1
4	10	1	18.52	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-6-3-8-1
	5	1	18.52	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-6-3-8-1
5	10	1	19.12	1-3-8-6-4-9-7-12-2-10-5-13-11-1
	5	1	19.12	1-3-8-6-4-9-7-12-2-10-5-13-11-1

ตาราง ข ผลลัพธ์เส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ต่อ)

ลำดับ	ความจุสูงสุด (คัน)	รอบการขนส่ง (รอบ)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เส้นทาง
6	10	1	19.12	1-3-8-6-4-9-7-12-2-10-5-13-11-1
	5	2	22.94	1-3-8-6-7-12-2-10-5-13-1
				1-4-9-11-1
7	10	1	18.95	1-3-8-6-12-2-10-5-13-11-7-9-4-1
	5	1	18.95	1-3-8-6-12-2-10-5-13-11-7-9-4-1
8	10	1	18.53	1-12-2-10-5-13-11-7-9-4-8-3-6-1
	5	1	18.53	1-12-2-10-5-13-11-7-9-4-8-3-6-1
9	10	1	19.55	1-11-5-13-2-10-12-3-8-6-7-9-4-1
	5	1	23.48	1-2-10-12-3-8-6-4-11-5-13-9-7-1
10	10	1	18.18	1-3-8-6-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
	5	1	25.13	1-6-7-11-9-4-8-3-2-12-13-5-10-1
11	10	1	19.4	1-12-10-2-13-5-11-7-9-4-8-3-6-1
	5	1	19.4	1-12-10-2-13-5-11-7-9-4-8-3-6-1
12	10	1	20.64	1-6-3-8-4-9-11-12-2-10-5-13-7-1
	5	1	21.41	1-6-3-8-4-9-11-13-12-2-10-5-7-1
13	10	1	18.09	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-8-3-6-1
	5	2	22.36	1-7-12-3-8-6-1
				1-2-10-5-13-11-9-4-1
14	10	1	19.25	1-3-8-6-12-2-10-5-13-11-9-4-7-1
	5	1	19.25	1-3-8-6-12-2-10-5-13-11-9-4-7-1
15	10	1	18.18	1-3-8-6-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
	5	1	18.18	1-3-8-6-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
16	10	1	19.12	1-3-8-6-4-9-7-12-2-10-5-13-11-1
	5	1	21.37	1-3-8-6-4-7-12-2-10-5-13-9-11-1
17	10	1	19.12	1-3-8-6-4-9-7-12-2-10-5-13-11-1
	5	1	22.88	1-3-8-6-4-9-2-10-5-13-11-7-12-1
18	10	1	19.39	1-7-12-10-2-13-5-11-9-4-6-3-8-1
	5	1	19.39	1-7-12-10-2-13-5-11-9-4-6-3-8-1
19	10	1	19.1	1-7-9-4-11-5-13-2-10-12-3-8-6-1
	5	1	19.12	1-6-3-8-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
20	10	1	18.53	1-12-2-10-5-13-11-7-9-4-8-3-6-1
	5	1	20.46	1-12-2-10-5-13-7-11-9-4-8-3-6-1

ตาราง ข ผลลัพธ์เส้นทางการขนส่งจักรยานเช่าสาธารณะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ต่อ)

ลำดับ	ความจุสูงสุด (คัน)	รอบการขนส่ง (รอบ)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เส้นทาง
21	10	1	18.92	1-6-3-8-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
	5	2	20.87	1-6-8-3-12-2-10-5-13-11-1
				1-7-9-4-1
22	10	1	18.52	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-6-3-8-1
	5	1	18.52	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-6-3-8-1
23	10	1	19.44	1-3-8-6-4-7-12-2-10-5-13-11-9-1
	5	1	19.44	1-3-8-6-4-7-12-2-10-5-13-11-9-1
24	10	1	18.09	1-7-12-2-10-5-13-11-9-4-8-3-6-1
	5	1	18.31	1-7-12-2-10-13-5-11-9-4-8-3-6-1
25	10	1	19.29	1-3-8-6-4-9-7-11-5-13-2-10-12-1
	5	1	19.49	1-3-8-6-4-12-2-10-5-13-11-9-7-1
26	10	1	19.62	1-4-8-3-6-12-2-10-5-13-11-9-7-1
	5	1	19.62	1-4-8-3-6-12-2-10-5-13-11-9-7-1
27	10	1	19.29	1-3-8-6-4-9-7-11-5-13-2-10-12-1
	5	1	20.66	1-3-8-6-4-9-7-11-2-13-5-10-12-1
28	10	1	18.92	1-6-3-8-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
	5	1	18.92	1-6-3-8-7-12-2-10-5-13-11-9-4-1
29	10	1	18.96	1-12-2-10-5-13-11-7-9-4-6-3-8-1
	5	2	25.15	1-12-13-11-7-1
				1-2-10-5-9-4-6-3-8-1
30	10	1	19.12	1-7-9-4-11-5-13-2-10-12-3-8-6-1
	5	1	21.35	1-4-9-7-2-10-13-5-11-12-3-8-6-1