

การประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการเก็บขนขยะมูลฝอย กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ณัฐนิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล¹ อินทอร ศรีสว่าง² วนัฐณพงษ์ คงแก้ว³

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนวนิชย์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเส้นทางของรถเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ กำหนดขึ้นจากประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ของกองอาคารสถานที่ที่ผู้รับผิดชอบในการจัดการขยะมูลฝอย ซึ่งไม่สามารถหาได้ว่าเส้นทางที่ใช้อยู่มีความเหมาะสมหรือไม่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถใหม่สำหรับการเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยให้มีระยะทางรวมในการเดินรถน้อยที่สุด โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะจากจุดรวบรวมขยะต่างๆ และข้อมูลระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัยฯ เพื่อใช้ในการหาเส้นทางใหม่ในการเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการแบบประหยัด (Savings algorithm) และฟังก์ชันวิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary method) ที่อยู่ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โซลเวอร์ (Microsoft Excel Solver) โดยพิจารณาใน 2 กรณี คือ กรณีการเดินรถเพียง 1 เส้นทาง และกรณีการเดินรถจำนวน 2 เส้นทาง ผลการศึกษาพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี โดยในกรณีการเดินรถเพียง 1 เส้นทาง พบว่า วิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุด สามารถลดระยะทางจากเดิม 19.632 กิโลเมตรต่อวัน (มีการเดินรถจำนวน 2 เส้นทาง) เป็น 12.418 กิโลเมตรต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 36.75 สำหรับกรณีการเดินรถ 2 เส้นทาง พบว่า วิธีการเชิงวิวัฒนาการให้กลุ่มเส้นทางที่มีผลรวมระยะทางที่น้อยที่สุด สามารถลดระยะทางรวมเป็น 13.690 กิโลเมตรต่อวัน มีระยะทางรวมลดลง 5.942 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 30.27% อีกทั้งเส้นทางดังกล่าวมีสัดส่วนภาระงาน (ระยะทางในแต่ละเส้นทาง) ที่มีความสมดุลกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางเดินรถ วิธีการแบบประหยัด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ การเก็บขนขยะมูลฝอย เอ็กเซล โซลเวอร์

* Corresponding author. E-mail: wanatchapong.k@psu.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Application of the Vehicle Routing Problem for Solid Waste Collection: A Case Study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus

Nutnicha Rungrodchatchaval¹ Intuon Sriswang² Wanatchapong Kongkaew^{3*}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
15 Karnjanavanich Road, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand

Abstract

Nowadays, the route of the garbage trucks for collecting solid waste at Prince of Songkla University, Hat Yai Campus (PSU-Hat Yai) is decided by an officer, who is responsible for the solid waste management in the Physical Plant Service and Security Division, based on his information and experience. In this case, he was not able to determine which current route was suitable. This study aims to determine new truck routes with a minimum total distance for collecting garbage at PSU-Hat Yai. The garbage weights at the garbage dump points and the distances between two dump points were gathered throughout the university. Then these data were employed to find truck routes by using the savings algorithm and evolutionary method included in Microsoft Excel Solver. In choosing the routing for collecting the garbage, two cases were considered: the use of one route and the use of two routes. The results showed that the proposed methods can perform well. In the case of garbage collection with a single route, the evolutionary algorithm provided the shortest truck route. The total daily distance was reduced from 19.632 kilometers (obtained by the current method with two routes) to 12.418 kilometers, a decrease of 36.75%. For the garbage collection with two routes, the evolutionary algorithm provided a group of truck routes with a minimum value of the sum of the total daily distances (calculated from each route in the group). The sum of the total daily distances was reduced to 13.690 kilometers, a decrease of 30.27%. Furthermore, the balance of the work load (i.e., total daily distance for each route) in this group was better than that in the group of current routes.

Keywords: vehicle routing, savings algorithm, evolutionary algorithm, solid waste collection, excel solver

* Corresponding author. E-mail: wanatchapong.k@psu.ac.th

¹ Undergraduate Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

² Undergraduate Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

³ Lecturer in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตั้งอยู่ที่ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีพื้นที่ 2.731 ตารางกิโลเมตร ปัจจุบันมีจำนวนนักศึกษาเข้ามาศึกษา และบุคคลภายนอกเข้ามาติดต่อราชการภายในมหาวิทยาลัยเป็นจำนวนมาก นอกจากมหาวิทยาลัยจะมีพื้นที่ของคณะหรือหน่วยงานต่างๆ แล้ว ยังมีหอพักของนักศึกษาจำนวนทั้งหมด 15 หอพัก และที่พักอาศัยของบุคลากรประเภทบ้านพัก 140 หลัง และประเภทแฟลตอาคารจำนวน 23 อาคาร (จำนวนห้องพักทั้งหมด 709 ห้อง) ส่งผลให้มีขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยเป็นปริมาณมาก โดยขยะมูลฝอยที่ต้องจัดเก็บในปัจจุบันมีปริมาณเฉลี่ย 3 - 4 ตันต่อวัน ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานงานอาคารสถานที่ กองอาคารสถานที่ ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ในปัจจุบันหน่วยงานฯ ได้แบ่งเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยออกเป็น 2 เส้นทาง แต่ละเส้นทางใช้เที่ยววิ่งรถจำนวน 1 เที่ยว โดยเส้นทางเดินรถแต่ละเที่ยวไปยังจุดรวบรวมขยะต่างๆ กำหนดขึ้นภายใต้ประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลการเก็บขยะมูลฝอย อีกทั้งปริมาณขยะมูลฝอยโดยเฉลี่ยต่อวันมีไม่เกินความจุของรถเก็บขนขยะที่ใช้ในปัจจุบัน ทำให้เกิดความสูญเสียด้านระยะทางในการเดินรถเก็บขยะ จึงควรปรับปรุงการเดินรถเก็บขนขยะ เพื่อให้มีระยะทางที่สั้นและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

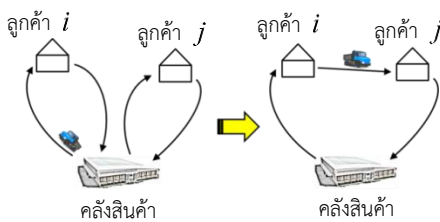
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงการเดินรถเก็บขนขยะภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยการประยุกต์ใช้วิธีการแบบประหยัด และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในการจัดเส้นทาง เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณขยะโดยเฉลี่ยต่อวันมีปริมาณไม่เกินความจุของรถงานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีเส้นทางการเดินรถเก็บขนขยะเพียง 1 เส้นทาง อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่หน่วยงานต้องการเดินรถ 2 เส้นทางเช่นเดิม ผู้วิจัยได้เสนอเส้นทางการเดินรถเก็บขนขยะแบบปรับปรุงจำนวน 2 รูปแบบ และเปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในการเก็บขนขยะมูลฝอย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) [1] เป็นปัญหาที่มีการศึกษาและได้รับความนิยมนานกว่า 40 ปี ในการประยุกต์ใช้แก้ปัญหาด้านการขนส่ง โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาหรือเหตุการณ์จริง จนทำให้ปัญหา VRP มีความหลากหลาย ในปัญหา VRP แบบดั้งเดิมนั้น การเดินทางของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งเริ่มจากจุดเริ่มต้น เช่น คลังสินค้า ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น ไปยังลูกค้าต่างๆ ที่ทราบแน่นอน เพื่อขนส่งสินค้าจากลูกค้าต่างๆ กลับมายังจุดเริ่มต้น โดยจุดรับสินค้าจากลูกค้าแต่ละรายสามารถรับบริการในการขนส่งสินค้าได้เพียงครั้งเดียวด้วยรถคันเดียว และปริมาณความต้องการขนส่งของทุกจุดรับสินค้าในแต่ละเส้นทางเมื่อรวมกันจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผลรวมของระยะทางหรือต้นทุนที่ใช้ในการเดินทางมีค่าน้อยที่สุด

เนื่องจากปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยหลายท่าน ทำให้มีวิธีการสำหรับการค้นหาคำตอบของเส้นทางเดินรถมีอยู่หลากหลายวิธี แต่คำตอบที่ได้รับจากแต่ละวิธีอาจมีคุณภาพของคำตอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาและรายละเอียดของแต่ละกรณีศึกษา วิธีการที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่ายในการจัดเส้นทางเดินรถ คือ วิธีการแบบประหยัด (Savings algorithm) ซึ่งเสนอโดย Clarke and Wright ในปี ค.ศ. 1964 [2] เป็นวิธีที่พิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความจุหลายขนาด เพื่อตอบสนองจุดความต้องการของลูกค้าหลายราย โดยส่งสินค้าออกจากคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว วิธีการนี้ได้พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของแนวคิดความประหยัดหรือค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อมีการให้บริการลูกค้าจำนวน 2 รายที่เชื่อมโยงกันตามลำดับภายในเส้นทางเดียวกัน แทนที่จะแบ่งแยกการให้บริการลูกค้าเป็น 2 เส้นทาง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แนวคิดของวิธีการแบบประหยัด

โดยวิธีการแบบประหยัด มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกปมที่จะเป็นจุดเริ่มต้นหรือคลังสินค้า

ขั้นที่ 2 เลือกปมลูกค้าใดๆ จำนวน 2 ปม เพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง และคำนวณค่าประหยัดของระยะทางในการขนส่ง ดังสมการที่ (1)

$$s_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} \quad (1)$$

เมื่อ 0 คือ จุดเริ่มต้นในการขนส่งหรือคลังสินค้า (Depot)

s_{ij} คือ ค่าประหยัดของระยะทางระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j

d_{0j} คือ ระยะทางระหว่างคลังสินค้า 0 และลูกค้า j

d_{i0} คือ ระยะทางระหว่างคลังสินค้า 0 และลูกค้า i

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j

ขั้นที่ 3 เรียงลำดับค่า s_{ij} จากมากไปหาน้อย

ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงเส้นทางของยานพาหนะโดยการเชื่อมปม i และปม j ที่มีค่า s_{ij} มากที่สุดเป็นอันดับแรกที่ได้จากขั้นที่ 3 หรือแทรกลูกค้าเข้าไปในเส้นทางเดิมถ้าการเชื่อมปมอยู่ภายใต้เงื่อนไข

ขั้นที่ 5 วนซ้ำการสร้างเส้นทางโดยมีเงื่อนไขของข้อจำกัดในการเดินทางแต่ละยานพาหนะต้องบรรทุกสินค้าไม่เกินความจุ จนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้อีก

2.2 วิธีการเชิงวิวัฒนาการ

วิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) [1, 3] เป็นวิธีที่ใช้กลุ่มประชากรเป็นฐานในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด วิธีการนี้จะใช้กลไกการคำนวณที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากการวิวัฒนาการทางชีววิทยา ได้แก่ การสืบพันธุ์ การกลายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนยีน และการคัดเลือกโดยคำตอบที่ได้รับคัดเลือกในปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสม

ที่สุดจะแทนด้วยประชากร และฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) เป็นฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหาที่ศึกษาเพื่อใช้คัดเลือกประชากรที่เหมาะสมภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนดไว้

ในการหาคำตอบของวิธีการเชิงวิวัฒนาการนั้นจะสุ่มคำตอบที่ได้รับคัดเลือกจากพื้นที่ค้นหาคำตอบของปัญหามา แล้วใช้ฟังก์ชันความเหมาะสมประเมินค่าความเหมาะสมและคัดเลือกคำตอบบางส่วนที่ดีกว่าในแต่ละรอบการคำนวณไปเป็นประชากรรุ่นถัดไป โดยการสืบพันธุ์ การกลายพันธุ์ และการแลกเปลี่ยนยีนประกอบในโครโมโซมจะถูกนำมาดำเนินการเพื่อสร้างคำตอบรุ่นใหม่ แล้วการคัดเลือกถูกนำมาใช้ในการคัดเลือกคำตอบรุ่นใหม่ที่ดีกว่ารุ่นเก่าเพื่อไปเป็นประชากรในรอบการคำนวณถัดไป กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการไปจนกระทั่งได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือจนกว่าการคำนวณเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

อย่างไรก็ตาม คำตอบที่ค้นหาได้จากวิธีการเชิงวิวัฒนาการ อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา แต่คำตอบเหล่านี้เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดและสามารถนำไปใช้ได้ สำหรับวิธีการเชิงวิวัฒนาการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) วิธีการการโปรแกรมวิวัฒนาการ (Evolutionary programming) และวิธีการเชิงวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm) เป็นต้น [1] นอกจากนี้ วิธีการเชิงวิวัฒนาการยังได้นำมาใช้ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) สำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยผ่านฟังก์ชัน “Evolutionary” ในเครื่องมือโซลเวอร์ (Solver) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวพัฒนามาจากวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) [3]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดเส้นทางเดินทางโดยใช้วิธีการประหยัดนั้น มีนักวิจัยหลายท่านนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งหลากหลายกรณี เช่น การจัดเส้นทางขนส่งของรถบรรทุกน้ำแข็งหลอดที่มีขนาดต่างกันไปยังลูกค้า [4] โดยสามารถลดระยะทางในการขนส่งจากวิธีจัดเส้นทางแบบเดิมลง 29.135 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ

30.52 และต้นทุนค่าเชื้อเพลิงลดลงจากเดิมคิดเป็น 64.33 บาท การพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางรถบรรทุกเพื่อขนส่งอัญมณีในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล [5] ที่มีการเพิ่มเงื่อนไขด้านข้อจำกัดเวลาการเดินทางรถบรรทุกขนาดใหญ่ตามข้อบังคับของกฎหมายไว้ในโปรแกรมดังกล่าว โดยได้จัดกลุ่มลูกค้าตามเงื่อนไขของช่วงเวลาเดินทางก่อนที่จะจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด และทำการปรับปรุงคำตอบที่ได้ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทางผสมกับวิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง จากผลการทดลองพบว่า เส้นทางที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอมีระยะทางรวมลดลงจากวิธีการเดิม 1,878 กิโลเมตร คิดเป็น 9.70%

สุพรรณ สุตสนธิ และคณะ [6] ประยุกต์วิธีการแบบประหยัดร่วมกับวิธีระบบดแม็ก-มินในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลาและความเร็วในการขนส่งที่จำกัด โดยแบ่งความเร็วออกเป็น 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (กม./ชม.) จากการทดลองพบว่า ระดับความเร็วของรถที่ 50 กม./ชม. ใช้ระยะทางรวมในการขนส่งเท่ากับ 805 กิโลเมตร และเป็นระยะทางรวมที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเร็วอื่นๆ ในขณะที่การใช้ระดับความเร็วของรถที่สูง ไม่ได้ส่งผลต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าในกรณีที่ลูกค้ามีกรอบเวลาในการรับสินค้าสำหรับการจัดเส้นทางในการขนส่งน้ำดื่มของโรงงานน้ำดื่มในเขตตำบลบ้านดู่ จังหวัดเชียงราย [7] จะทำการรวมกลุ่มของลูกค้าก่อนโดยแบ่งตามพื้นที่ที่อยู่ติดกัน อยู่ในซอยเดียวกัน และอยู่ในหมู่บ้านเดียวกัน แล้วจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัดภายใต้เงื่อนไขด้านความจุของรถ และนำเส้นทางที่ได้จากวิธีดังกล่าวมาจัดใหม่โดยนำมาสร้างเป็นตัวแทนปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem: TSP) แล้วหาคำตอบด้วยเครื่องมือโซลเวอร์ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล พบว่า ระยะทางรวมของเส้นทางที่ได้จากตัวแทน TSP (เท่ากับ 39,810 เมตร) มีค่าลดลงจากวิธีการแบบประหยัด (เท่ากับ 41,537 เมตร) คิดเป็นร้อยละ 4.16

สำหรับการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้วิธีในกลุ่มวิธีการเมตาฮิวริสติกส์และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ ได้แก่ อัลกอริทึมพันธุกรรม และวิธีพันธุกรรม [8] ประยุกต์วิธีการอาณานิคมมดและการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการย้าย

ลูกค้าระหว่างเส้นทาง การสลับสองตำแหน่ง และการย้ายหนึ่งตำแหน่ง เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับขนส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้าของบริษัท โดยวิธีการดังกล่าวสามารถสร้างเส้นทางใหม่ที่มีระยะทางเท่ากับ 441.35 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางลดลงคิดเป็นร้อยละ 24.46 จากเส้นทางเดิมที่มีระยะทางเท่ากับ 584.25 กิโลเมตร และต่อมาในปี พ.ศ. 2557 นพฤษ สังข์แป้น และสุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา [9] ประยุกต์วิธี GA ในการขนส่งซากไก่ของโรงกำจัดซากไก่ที่ตำบลทับทิม จังหวัดสระบุรี พบว่า ต้องใช้รถขนส่งทั้งหมด 13 รอบ และมีระยะทางรวมในการขนส่ง 3,996.90 กิโลเมตรต่อวัน สำหรับการใช้ฟังก์ชัน “Evolutionary” ในเครื่องมือโซลเวอร์ของโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซลนั้น ได้มีการนำมาใช้หาคำตอบของตัวแทนทางคณิตศาสตร์สำหรับปรับสมดุลงานในปัญหา TSP กรณีหลายคนด้วยหลักการคำนวณน้อยสุดของค่ามากที่สุด [10] โดยการหาคำตอบด้วยฟังก์ชัน “Evolutionary” สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ จะให้คำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่ได้จากการใช้ตัวแทนทางคณิตศาสตร์ และมีการกระจายภาระงานที่ไม่แตกต่างกัน แต่การหาคำตอบด้วยฟังก์ชัน “Evolutionary” ใช้เวลาประมวลผลที่น้อยกว่า

สำหรับการจัดเส้นทางในการจัดเก็บขยะนั้น สุทธิชา ทับตรา และเสรี เสวตเศรณี [11] ได้พัฒนาโปรแกรมจัดเส้นทางเดินทางเก็บขยะชุมชนในกรุงเทพมหานครโดยประยุกต์แนวคิดของปัญหา VRP ร่วมกับวิธีการจัดกลุ่มจุดรับสินค้าก่อนแล้วจึงจัดเส้นทางเดินทาง โดยทำการจัดกลุ่มของจุดรวบรวมขยะให้กับรถเก็บขยะก่อนการจัดเส้นทางเดินทางขยะ ต่อมาในปี พ.ศ. 2556 ไพจิตร อุบลมณี [12] ประยุกต์วิธี GA เพื่อจัดเส้นทางในการเก็บขยะแต่ละหมู่บ้านขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น โดยเส้นทางที่ได้จากวิธี GA มีระยะทางรวมลดลงจากวิธีจัดเส้นทางแบบเดิม และยังทำให้ระยะเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานลดลงอีกด้วย

3. วิธีการดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์

3.1 วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านการจัดการขยะมูลฝอยจากหน่วยงานงานอาคารสถานที่

ขั้นตอนที่ 2 เก็บข้อมูลปริมาณน้ำหนักขยะจากจุดรวบรวมขยะต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัย และระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะ 2 จุดใดๆ เพื่อสร้างเป็นเมตริกซ์ระยะทาง โดยใช้แผนที่จากกูเกิ้ล แมพ (Google maps) ในการหาระยะทางร่วมกับการพิจารณาด้านกฎการจราจรและความเป็นไปได้ในการใช้เส้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลในขั้นตอนที่ 2 ไปสร้างเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการแบบประหยัด

ขั้นตอนที่ 4 สร้างเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการผ่านฟังก์ชัน “Evolutionary” ที่อยู่ในเครื่องมือโซลเวอร์ ของโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล

ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบเส้นทางที่ดีที่สุดจากทั้ง 2 วิธี ที่นำมาใช้จัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอย

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผล

3.2 อุปกรณ์

- Personal computer with Intel(R) Core(TM) i7-4790, processor speed: 3.60 GHz, memory (RAM): 4 GB.
- Microsoft Excel Solver

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลพื้นฐานด้านการจัดการขยะมูลฝอยจากหน่วยงานงานอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หน่วยงานจะใช้รถเก็บขนขยะประเภทบรรทุก 6 ล้อ แบบระบบอัดท้ายไฮดรอลิก ที่มีปริมาตรความจุ 5,000 กิโลกรัม จำนวน 1 คัน และมีพนักงานเก็บขยะจำนวน 4 คน คนเก็บขยะสนามจำนวน 1 คน และผู้ควบคุมงานจำนวน 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานแบบจ้างเหมาช่วงและดำเนินการเก็บขนขยะที่จุดรวบรวมขยะต่างๆ ในช่วงเวลา 05.00 - 09.00 น. โดยเริ่มต้นออกจากจุดจอดรถเก็บขยะ (0) เพื่อเก็บขนขยะมูลฝอยตามจุดรวบรวมขยะต่างๆ ที่อยู่ภายใต้การดูแลของหน่วยงานงานอาคารสถานที่ทั้งหมด 217 จุด ได้แก่ พื้นที่ของ

คณะและหน่วยงานต่างๆ หอพักของนักศึกษา และพื้นที่ที่พักอาศัยของบุคลากร และต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จภายในช่วงเวลาที่กำหนดทุกวัน เมื่อดำเนินการเก็บขยะมูลฝอยครบทุกจุดแล้ว รถเก็บขนขยะจะกลับมายังจุดจอดเพื่อทำการขนน้ำหนักและคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนที่จะนำไปทิ้งที่บ่อทิ้งขยะมูลฝอยแบบฝังกลบของเทศบาลนครหาดใหญ่ ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะจุดจอดรถเก็บขนขยะและจุดรวบรวมขยะภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น เนื่องจากเส้นทางเดินรถจากมหาวิทยาลัยไปยังบ่อทิ้งขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่มีการกำหนดเส้นทางที่แน่นอน

ในปัจจุบัน ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 3 - 4 ตันต่อวัน และสามารถจัดเก็บขยะทั้งหมดได้ภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยหน่วยงานฯ กำหนดให้มีการเก็บขนขยะมูลฝอยประมาณ 2 เที่ยวต่อวัน แบ่งเป็นพื้นที่หอพักนักศึกษา คณะและหน่วยงานต่างๆ จำนวน 1 เส้นทาง และพื้นที่บริเวณที่พักอาศัยของบุคลากร จำนวน 1 เส้นทาง ซึ่งลำดับการจัดเก็บขยะที่จุดรวบรวมขยะต่างๆ จะถูกจัดเส้นทางโดยอาศัยประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลการเก็บขยะมูลฝอยของหน่วยงานฯ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจพื้นที่ของจุดรวบรวมขยะต่างๆ พบว่า มีบางพื้นที่ที่จุดรวบรวมขยะอยู่ใกล้กันมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการรวมจุดรวบรวมขยะเหล่านั้นเข้าด้วยกัน ได้แก่ จุดรวบรวมขยะบริเวณหอพักนักศึกษาที่อยู่ติดกัน จุดรวบรวมขยะของแฟลตอาคารที่พักบุคลากรที่อยู่ติดกัน และจุดรวบรวมขยะของบ้านพักของบุคลากรที่อยู่ในซอยเดียวกัน แล้วจะเหลือจุดรวบรวมขยะที่จะต้องเดินทางทั้งหมด 30 จุด แสดงดังตารางที่ 1 และปริมาณขยะมูลฝอยจากจุดรวบรวมขยะทั้งหมดมีปริมาณเฉลี่ย 3,101.90 กิโลกรัมต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 จุดรวบรวมขยะที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

จุดที่	พื้นที่ทิ้งขยะ	จุดที่	พื้นที่ทิ้งขยะ
1	คณะทรัพยากรธรรมชาติ	16	แฟลตอาคาร 1-5
2	คณะเศรษฐศาสตร์/คณะนิติศาสตร์	17	แฟลตอาคาร 6-7
3	คณะพยาบาลศาสตร์	18	แฟลตอาคาร 8-9
4	คณะวิทยาศาสตร์	19	แฟลตอาคาร 10-12
5	คณะศิลปศาสตร์	20	แฟลตอาคาร 13-14
6	คณะวิทยาการจัดการ	21	แฟลตอาคาร 15-17
7	คณะวิศวกรรมศาสตร์	22	แฟลตอาคาร 18-21
8	คณะอุตสาหกรรมเกษตร	23	แฟลตอาคาร 22-23
9	คณะทันตแพทย์	24	บ้านพัก 1
10	สำนักงานอธิการบดี	25	บ้านพัก 2
11	หอสมุดคุณหญิงหลงฯ	26	บ้านพัก 3
12	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม	27	บ้านพัก 4
13	หอพักนักศึกษา 5	28	บ้านพัก 5
14	หอพักนักศึกษา 8-9	29	บ้านพัก 6
15	หอพักนักศึกษา 10-11	30	บ้านพัก 7

ตารางที่ 2 น้ำหนักขยะเฉลี่ยของแต่ละจุด (หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวัน)

จุดที่	น้ำหนักขยะ	จุดที่	น้ำหนักขยะ	จุดที่	น้ำหนักขยะ
1	202.2	11	81.6	21	49.3
2	69.4	12	252.3	22	70.1
3	145.5	13	97.4	23	47.3
4	204.5	14	147.7	24	2.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	83.4	20	18	30	3.5

ในการสร้างเมตริกซ์ระยะทาง จะใช้แผนที่จากกูเกิ้ล แมพ เพื่อหาระยะทางในการเดินทางระหว่างจุดรวบรวมขยะ 2 จุดใดๆ โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นทางร่วมด้วย เช่น เส้นทางที่ห้ามรถยนต์ผ่าน เส้นทางที่กำหนดให้เดินรถทางเดียว เป็นต้น และจะได้เมตริกซ์ระยะทางที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เมตริกซ์ระยะทางระหว่างจุดใดๆ (หน่วยเป็น กิโลเมตร)

ไป จาก	0	1	2	3	...	30
0	0	0.985	1.272	1.365	...	1.230
1	0.995	0	1.377	0.400	...	1.780
2	1.277	1.286	0	0.926	...	2.062
3	1.085	0.400	1.054	0	...	1.870
⋮	...	...	...	...	⋮	...
30	1.230	1.789	2.076	2.169	...	0

หลังจากรวมกลุ่มจุดรวบรวมขยะจาก 217 จุด ลดลงเหลือ 30 จุด และสร้างเมตริกซ์ระยะทางแล้ว เมื่อนำไปเทียบเคียงกับเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะได้ข้อมูลการเดินทางเก็บขนขยะดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

กลุ่มพื้นที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนัก ขยะ
1. คณะ/ หน่วยงาน ต่างๆ และ หอพัก นักศึกษา	จุดจอด (0)->7->8 -> 1->3-> 4->12 ->13 ->2->5->6->9 ->10 ->11->14->15 ->จุดจอด (0)	10.819	2,778.40
2. แฟลตที่ พัก/ บ้านพัก บุคลากร	จุดจอด (0)->18->19 ->20->17->27->28 ->30->29->16 ->21 ->22->23->26->25 ->24->จุดจอด (0)	8.813	323.50
รวม		19.632	3,101.90

จากกรณีศึกษาของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับการเก็บขนขยะมูลฝอย กรณีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i=0}^N x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq p}}^N x_{ip} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq p}}^N x_{pj} = 0 \quad \forall p = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^N q_i \left(\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ij} \right) \leq Q \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0j} \leq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0} \leq 1 \quad (8)$$

$$u_i - u_j + N x_{ij} \leq N - 1 \quad \forall i, j; i \neq j \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (10)$$

โดยกำหนดให้

N คือ จำนวนจุดรวบรวมขยะทั้งหมด

0 คือ จุดจอดรถเก็บขนขยะ

i, j คือ จุดเก็บขยะต่างๆ เมื่อ $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$

q_i คือ ปริมาณขยะที่ต้องเก็บในจุดรวบรวมขยะที่ i

Q คือ ปริมาณความจุของรถเก็บขนขยะ

d_{ij} คือ ระยะทางจากจุดรวบรวมขยะที่ i ไปยังจุดที่ j

x_{ij} คือ ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (“0” หรือ “1”) ในการสร้างเส้นทางจากจุดรวบรวมขยะที่ i ไปยังจุดรวบรวมขยะที่ j (นั่นคือ จะมีค่าเป็น 1 ถ้ามีการเดินทางในเส้นทางระหว่างจุดรวบรวมขยะ 2 จุดใดๆ)

สำหรับความหมายของแต่ละสมการเป็นดังนี้ คือ สมการที่ 2 เป็นสมการวัตถุประสงค์ เพื่อหาระยะทางรวมในการขนส่งทุกเที่ยววิ่งที่ต่ำที่สุด สมการที่ 3 - 5 เป็นสมการที่จะประกันว่ารถเก็บขยะจะเดินทางผ่านเข้า-ออก เพื่อเก็บขยะที่จุดรวบรวมขยะต่างๆ ที่กำหนดไว้ สมการที่ 6 กำหนดให้รถเก็บขยะต้องรับน้ำหนักขยะไม่เกินความสามารถ

ในการบรรทุกขยะ สมการที่ 7 และ 8 ประกันว่าจะมีจำนวนรถ 1 เที่ยวเท่านั้น ที่ออกเดินทางจากจุดจอดรถเพื่อไปเก็บขยะที่จุดรวบรวมขยะต่างๆ และเดินทางกลับมายังจุดจอดเมื่อเก็บขยะครบทุกจุดในเส้นทางจนครบตามเงื่อนไข สมการที่ 9 เป็นสมการที่มีไว้เพื่อป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) ขึ้นในคำตอบ (เส้นทางย่อย คือ เส้นทางที่ไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางอยู่ที่จุดจอดรถเก็บขยะ) และสมการที่ 10 กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกเดินทางเก็บขยะบนเส้นทางระหว่างจุดทั้งเก็บขยะ 2 จุดใดๆ

ในงานวิจัยนี้ แบ่งการจัดเส้นทางออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีการเดินทางเก็บขนขยะ 1 เส้นทาง และกรณีการเดินทางเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง สำหรับกรณีการเดินทางเก็บขนขยะ 1 เส้นทาง ผู้วิจัยประยุกต์วิธีการแบบประหยัดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการในการจัดเส้นทาง สำหรับกรณีการเดินทางเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง ผู้วิจัยประยุกต์วิธีการแบบประหยัดในการจัดเส้นทางใหม่ภายใต้กลุ่มพื้นที่ของจุดรวบรวมขยะที่หน่วยงานกำหนดไว้ในปัจจุบัน และประยุกต์วิธีการเชิงวิวัฒนาการในการจัดเส้นทางการเดินทางรถเก็บขนขยะใหม่ทั้ง 2 เส้นทาง โดยให้ความสำคัญของการกระจายภาระงาน (ระยะทางในแต่ละเส้นทาง) ที่สมดุลกันเป็นอันดับแรก และระยะทางรวมกันของทั้ง 2 เส้นทาง ต้องน้อยที่สุดเป็นอันดับที่สอง

ในการจัดเส้นทางเดินทางด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบมี 2 เป้าหมายดังกล่าว ผู้วิจัยได้ปรับใช้เทคนิคและวิธีการค้นหาคำตอบภายใต้ตัวแบบโปรแกรมเป้าหมาย (Goal programming) ของ อภิศักดิ์ วิทยาประภากร และพิรุณฤทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล [10] ซึ่งมีขั้นตอนการหาคำตอบ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างตัวแบบบนโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล เพื่อจัดสมดุลระยะทางในการเก็บขนขยะแต่ละเส้นทาง โดยการหาค่าน้อยที่สุดของระยะทางที่มากที่สุดของเส้นทางที่ได้ด้วยหลักการมินิแมกซ์ (Minimax) แล้วนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปสร้างเป็นขอบเขตบนของระยะทางในแต่ละเส้นทางในตัวแบบของขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 การสร้างตัวแบบเพื่อจัดเส้นทางเพื่อให้มีผลรวมของระยะทางน้อยที่สุด โดยการเปลี่ยนเป้าหมายของตัวแบบในขั้นที่ 1 ให้เป็นการหาผลรวมของระยะทางน้อยที่สุดแทน และเปลี่ยนค่าเป้าหมายของตัวแบบในขั้นที่ 1 เป็น

ค่าคงที่ และนำไปเพิ่มเป็นเงื่อนไขขอบเขตบนของระยะทางแต่ละเส้นทางในตัวแบบของขั้นที่ 2

4.2 ผลการวิจัย

จากการจัดเส้นทางเก็บขนขยะมูลฝอย ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ด้วยวิธีการแบบประหยัดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการ จะพิจารณาพร้อมๆ กับเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกได้ของรถเก็บขยะคือ 5,000 กิโลกรัม จนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครอบคลุมจุดรวบรวมขยะทั้งหมด แล้วนำเส้นทางที่ได้จากวิธีที่ใช้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ดังต่อไปนี้

4.2.1 การจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด

ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการแบบประหยัด จะจัดเส้นทางในการเก็บขยะจากจุดรวบรวมขยะทุกจุดที่นำมาพิจารณาที่ขึ้นอยู่กับนโยบายการจัดกลุ่มและแต่ละเส้นทางต้องมีน้ำหนักขยะรวมไม่เกินน้ำหนักบรรทุกของรถ ซึ่งจะใช้ขั้นตอนการดำเนินงานดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 สำหรับตัวอย่างการหาค่าประหยัดของระยะทางแสดงดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เลือกปม 0 ที่ป็นจุดจอดรถเก็บขนขยะ

ขั้นที่ 2 เลือกคู่ของจุดรวบรวมขยะ (i, j) ใดๆ เพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง และคำนวณค่าประหยัดของระยะทางด้วยสมการที่ (1) แสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

จุดรวบรวมขยะที่ 1 และ 2:

$$s_{1,2} = d_{1,0} + d_{0,2} - d_{1,2} \\ = 0.995 + 1.272 - 1.377 = 0.890$$

$$s_{2,1} = d_{2,0} + d_{0,1} - d_{2,1} \\ = 1.277 + 0.985 - 1.286 = 0.976$$

ขั้นที่ 3 เมื่อคำนวณค่าประหยัดของระยะทางครบทุกคู่ (i, j) แล้ว จะเรียงลำดับค่า s_{ij} จากมากไปหาน้อย

ขั้นที่ 4 เชื่อมโยงเส้นทางของยานพาหนะ (แบบอนุกรม) โดยการเชื่อมปม i และปม j ที่มีค่า s_{ij} มากที่สุดเป็นอันดับแรก หรือแทรกถูกค่าเข้าไปในเส้นทางเดิมถ้าการเชื่อมโยงปมอยู่ภายใต้เงื่อนไข

ขั้นที่ 5 วนซ้ำการสร้างเส้นทางโดยมีเงื่อนไขของข้อจำกัดในการเดินทางแต่ละยานพาหนะต้องบรรทุกขยะไม่เกินความจุ จนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้อีก

ผลจากการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการแบบประหยัด กรณีการเดินรถเก็บขนขยะเพียง 1 เส้นทาง จะได้เส้นทาง คือ 0->27->28->30->29->18->24->25->22->23->21->26->16->17->20->19->8->7->11->1->3->4->12->10->5->2->14->13->15->6->9->0 มีระยะทางรวมเท่ากับ 12.914 กิโลเมตรต่อวัน และมีปริมาณขยะรวมเท่ากับ 3,101.90 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับผลการจัดเส้นทางแบบปรับปรุงโดยใช้วิธีการแบบประหยัด กรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง ภายใต้กลุ่มพื้นที่ของจุดรวบรวมขยะที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด (กรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง)

กลุ่มพื้นที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนักขยะ
1. คณะ/หน่วยงานต่างๆ และหอพักนักศึกษา	0->8->7->11->1->3->9->10->5->2->14->13->15->6->12->4->0	7.600	2,778.40
2. แฟลตที่พัก/บ้านพักบุคลากร	0->27->28->30->29->18->24->25->22->23->21->26->16->17->20->19->0	6.749	323.50
รวม		14.349	3,101.90

4.2.2 การจัดเส้นทางด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการ

สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซลนั้น จะดำเนินการโดยใช้ฟังก์ชัน “Evolutionary” ในเครื่องมือโซลเวอร์ (Solver) ซึ่งพัฒนามาจากวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) โดยจัดเส้นทางรถเก็บขนขยะจากจุดรวบรวมขยะทุกจุด และต้องมีน้ำหนักขยะรวมในแต่ละเส้นทางไม่เกินน้ำหนักบรรทุกของรถ สำหรับการจัดเส้นทางด้วยวิธีนี้ ผู้วิจัยจะอธิบายการค้นหาคำตอบเฉพาะกรณีการเดินรถจำนวน 2 เส้นทาง และมีการปรับสมดุลภาระงาน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 นำข้อมูลน้ำหนักขยะเฉลี่ยของแต่ละจุดในตารางที่ 2 และเมตริกชี้ระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะใดๆ จากตารางที่ 3 มาสร้างในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โดยมีการแต่งเติมเมตริกซ์ด้วยการเพิ่มจุดที่ 31 (ข้อมูลชุดเดียวกันกับจุดที่ 0) เข้ามา เพื่อให้มีจำนวนจุดเริ่มต้นเท่ากับจำนวนเส้นทางที่ต้องการสร้าง ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เมตริกซ์ระยะทางแบบแต่งเติมที่ใช้ในการจัด
เส้นทาง

	A	B	C	D	E		AF	AG	AH
1		0	1	2	3	...	30	31	Weight
2	0	99999	0.985	1.272	1.365	...	1.230	99999	
3	1	0.995	99999	1.377	0.400	...	1.780	0.985	202.2
4	2	1.277	1.286	99999	0.926	...	2.062	1.272	69.0
5	3	1.085	0.400	1.054	99999	...	1.870	1.365	145.5
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
32	30	1.230	1.789	2.076	2.169	...	99999	1.230	3.5
33	31	99999	0.985	1.272	1.365	...	1.230	99999	

ขั้นที่ 2 สร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจ การแปลงรูปแบบการเดินทางให้เป็นระยะทาง การหาผลรวมระยะทางของเส้นทาง การอ้างอิงค่าน้ำหนักขยะ และการหาผลรวมน้ำหนักขยะจากทุกจุดรวบรวมขยะ ดังแสดงในรูปที่ 2

ตัวแปรตัดสินใจ		อ้างอิงระยะทางจากเมตริกซ์ระยะทางโดยใช้คำสั่ง "INDEX(\$B\$2:\$AG\$33,AJ2+1,AK2+1)"						
จุดเริ่มต้น		From	To	Distance	Weight	Route_ID	Route 1	Route 2
1		0	26	0.955	3.5	1	1	0
2		26	25	0.1	2.9	1	1	0
4		25	22	0.324	70.1	1	1	0
		...	...					
16		15	13					
17		13	18					
18		18	31					
19		31	29	1.26	3.9	2	0	1
20		29	30	0.12	3.5	2	0	1
21		30	28	0.2	3.5	2	0	1
		...	...					
31		6	2	0			0	1
32		2	14	0.29	147.2	2	0	1
		14	0	1.345	0	2	0	1
34		Total Distance		15.660	3101.9	Distance	7.786	7.874
35		Truck Capacity		5000		Max Weight	1210.1	1891.8

อ้างอิงน้ำหนักจากตารางที่ 6 โดยใช้คำสั่ง "VLOOKUP(AK2,\$A\$2:\$AH\$33,4,FALSE)"

ผลรวมระยะทาง โดยใช้คำสั่ง "SUM(\$AM\$2:\$AM\$33)"

ผลรวมระยะทาง โดยใช้คำสั่ง "SUM(\$AI\$2:\$AI\$33)"

รูปที่ 2 การสร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบของชั้นที่ 2

ขั้นที่ 3 การแบ่งวงรอบเส้นทาง การแยกจุดรวบรวมที่อยู่ในแต่ละเส้นทาง การหาระยะทางรวมและน้ำหนักยะรวมในแต่ละเส้นทาง และการเลือกระยะทางมากที่สุดเพื่อนำไปตั้งเป็นเป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 3

การแบ่งวงรอบเส้นทาง โดยใช้คำสั่ง
 “COUNTIF(\$AJ\$2:\$AJ\$2,0)+COUNTIF(\$AJ\$2:\$AJ\$2,31)”

	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
1	From	To	Distance	Weight	Route ID	Route 1	Route 2
2	0	26	0.955	3.5	1	1	0
3	26	25	0.1	2.9	1	1	0
4	25	22					0
...	...						...
15	15	13					0
16	13	18	0.98	44.3	1	1	0
17	18	31	0.538				1
18	31	29	1.26				
19	29	30	0.12				
20	30	28	0.2	3.5	2	0	1
21							
31							1
32							1
33	14	0	1.345	0	2	0	1
34					Distance	7.786	7.874
35					Max		7.874
36					Weight	1210.1	1891.8

การแยกจุดรวบรวมที่อยู่ในเส้นทางที่ 1
 โดยใช้คำสั่ง “IF(\$AN\$2=1,1,0)”

การแยกจุดรวบรวมที่อยู่ในเส้นทางที่ 2: “IF(\$AN\$2=2,1,0)”

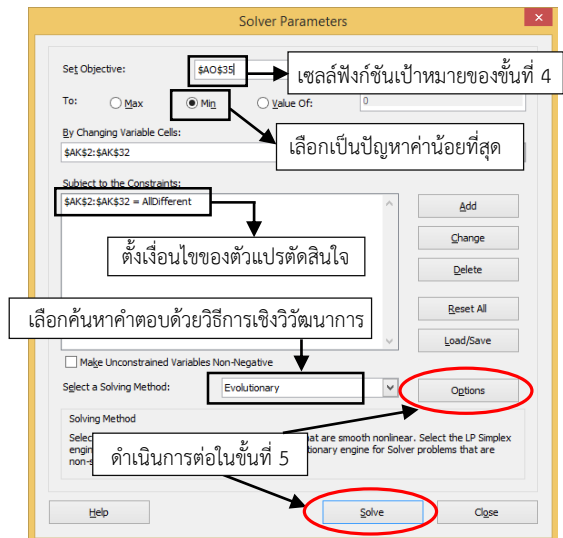
ระยะทางรวมของเส้นทางที่ 1 โดยใช้คำสั่ง
 “SUMPRODUCT(\$AL\$2:\$AL\$33,\$AO\$2:\$AO\$33)”

การเลือกระยะทางมากที่สุด โดย
 ใช้คำสั่ง “MAX(AO34:AP34)”

น้ำหนักขยรวมของเส้นทางที่ 1 โดยใช้คำสั่ง
 “SUMPRODUCT(\$AM\$2:\$AM\$33,\$AO\$2:\$AO\$33)”

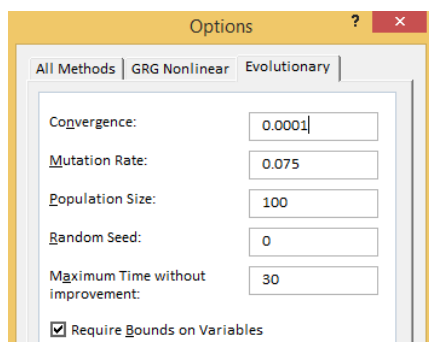
รูปที่ 3 การสร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบของขั้นที่ 3

ขั้นที่ 4 หลังจากสร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบเสร็จแล้ว จึงเรียกใช้เครื่องมือโซลเวอร์มาช่วยในการคำนวณ โดยตั้งค่าหาคำตอบสำหรับเป้าหมายที่ 1 ดังนี้ คือ การกำหนดให้ค่ามากที่สุดของระยะทางรวมของเส้นทางที่ได้จากทั้ง 2 เส้นทาง (เซลล์ “\$AO\$35”) เป็นเซลล์ของฟังก์ชันเป้าหมาย ใน “Set Objective” และกำหนดให้เป็น “Min” เพื่อหาค่าระยะทางมากที่สุดของเส้นทางที่น้อยที่สุด การกำหนดเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจ (ชุดลำดับของจุดรวบรวมขยะที่อยู่ในเส้นทาง) ใน “Changing Variable Cells” และกำหนดให้ค่าในเซลล์ดังกล่าวเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่แตกต่างกันด้วยเงื่อนไข “AllDifferent” ใน “Constraints” และการกำหนดวิธีค้นหาคำตอบเป็นวิธีการเชิงวิวัฒนาการโดยเลือกใช้ฟังก์ชัน “Evolutionary” ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตั้งค่าในเครื่องมือโซลเวอร์ของการค้นหารอบที่ 1

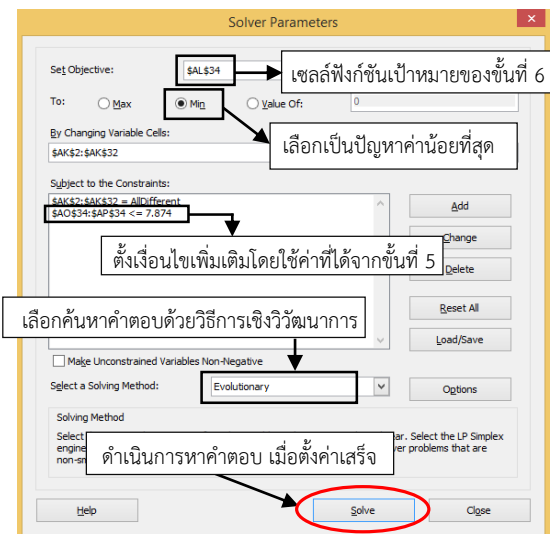
ขั้นที่ 5 หลังจากตั้งค่าต่างๆ และเลือก “Option” เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่ามาตรฐาน (Default) ของฟังก์ชัน “Evolutionary” ดังแสดงในรูปที่ 5 แล้ว จึงกด “Solve” (ดังรูปที่ 4) เพื่อให้โปรแกรมค้นหาคำตอบโดยการจัดเรียงลำดับจุดรวบรวมขยะที่อยู่ในเส้นทาง จนกระทั่งได้ค่าเป้าหมายที่ 1 ในขั้นที่ 4



รูปที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน “Evolutionary” ที่ใช้

ขั้นที่ 6 หลังจากได้คำตอบในการค้นหารอบที่ 1 แล้ว จึงเรียกใช้เครื่องมือโซลเวอร์มาช่วยในการหาคำตอบสำหรับเป้าหมายที่ 2 ดังนั้น คือ การกำหนดผลรวมระยะทางจากทุกเส้นทาง (เซลล์ “\$AL\$34”) เป็นเซลล์ฟังก์ชันเป้าหมายใน “Set Objective” และกำหนดให้เป็น “Min” เพื่อหาค่าที่น้อยที่สุด และเพิ่มเงื่อนไขใน “Constraints” โดยกำหนดให้ค่าระยะทางมากที่สุดของแต่ละเส้นทางไม่เกินค่า

เป้าหมายที่ได้จากขั้นที่ 5 และค้นหาคำตอบโดยเลือกใช้ฟังก์ชัน “Evolutionary” ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การตั้งค่าในเครื่องมือโซลเวอร์ของการค้นหารอบที่ 2

สำหรับผลการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีใช้เพียง 1 เส้นทาง จะได้เส้นทางคือ 0->27->28->30->29->18->24->25->21->23->22->26->16->17->20->19->8->7->11->1->10->5->6->13->15->14->2->9->3->4->12->0 มีระยะทางรวมเท่ากับ 12.418 กิโลเมตรต่อวัน และมีปริมาณขยะรวมเท่ากับ 3,101.90 กิโลกรัมต่อวัน สำหรับผลการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทางนั้น จะแบ่งกลุ่มของจุดรวบรวมขยะใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับ การกระจายของภาระงาน (ระยะทาง) แต่ละเส้นทาง และผลรวมระยะทางที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ ดังแสดงในตารางที่ 7

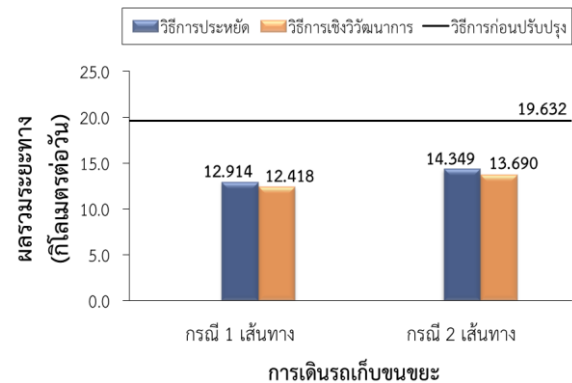
ตารางที่ 7 ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ (กรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง)

กลุ่มพื้นที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนักขยะ
กลุ่มที่ 1	0->11->1->3->9->4 -> 12->10->5->2->14 -> 13->15->6->0	6.880	2,151.70
กลุ่มที่ 2	0->27->28->30->29 -> 7->8->19->20->17 -> 16->26->22->23->21 ->25->24->18->0	6.810	950.20
รวม		13.690	3,101.90

4.3 การเปรียบเทียบผล

จากผลการค้นหาคำตอบของแต่ละวิธีในหัวข้อ 4.2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอยในปัจจุบัน (จากตารางที่ 4) พบว่า การจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการแบบประหยัดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการ ให้ผลรวมของระยะทางลดลงจากวิธีจัดเส้นทางแบบเดิมในทุกนโยบายของการเดินรถเก็บขนขยะ (นั่นคือ กรณีใช้ 1 เส้นทาง และกรณีใช้ 2 เส้นทาง) โดยที่วิธีการเชิงวิวัฒนาการสามารถค้นหาเส้นทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นกว่าวิธีการแบบประหยัดในทุกนโยบายของการเดินรถ

เมื่อพิจารณาผลรวมระยะทางในเส้นทาง พบว่าวิธีการแบบประหยัดกรณีเดินรถเพียง 1 เส้นทาง สามารถลดระยะทางรวมจากวิธีเดิม 19.632 กิโลเมตรต่อวัน (กม./วัน) เป็น 12.914 กม./วัน (มีค่าลดลง 6.718 กม./วัน หรือคิดเป็น 34.22%) ในกรณีเดินรถ 2 เส้นทาง ภายใต้กลุ่มพื้นที่แบบเดิม พบว่า สามารถลดระยะทางรวมจากเดิมเป็น 14.349 กม./วัน (ลดลง 5.283 กม./วัน หรือคิดเป็น 26.91%) ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบผลรวมระยะทางที่ได้จากแต่ละวิธี

สำหรับวิธีการเชิงวิวัฒนาการนั้น เมื่อนำจุดรวบรวมขยะทั้งหมดมาค้นหาเส้นทางในกรณีเดินรถเก็บขนขยะเพียง 1 เส้นทาง พบว่า สามารถลดระยะทางรวมลง 7.214 กม./วัน เป็น 12.418 กม./วัน (จากเดิม 19.632 กม./วัน) หรือคิดเป็น 36.75% เมื่อใช้วิธีการเชิงวิวัฒนาการในการจัดเส้นทางและจัดกลุ่มจุดรวบรวมขยะใหม่กรณีเดินรถ 2 เส้นทาง ที่พิจารณาด้านการกระจายภาระงาน (นั่นคือ ระยะทางในแต่ละเส้นทาง) ที่สมดุลกันและระยะทางรวมกันต้องน้อยที่สุด จะได้เส้นทางที่มีระยะทางรวมเป็น 13.690 กม./วัน (ลดลง 5.942 กม./วัน หรือคิดเป็น 30.27%) โดยเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2 มีระยะทางรวมเป็น 6.880 และ 6.810 กม./วัน ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะที่ใช้ในปัจจุบันกับทุกวิธีที่นำเสนอ พบว่า วิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีเดินรถเพียง 1 เส้นทาง ให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยมีระยะทางรวมลดลงจากวิธีเดิมร้อยละ 36.75 สำหรับเส้นทางที่ได้จากวิธีการเชิงวิวัฒนาการทั้งกรณีเดินรถเพียง 1 เส้นทาง และกรณีเดินรถ 2 เส้นทาง แสดงดังรูปที่ 8 - 10



รูปที่ 8 เส้นทางที่ได้จากวิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีการเดินรถเพียง 1 เส้นทาง



รูปที่ 9 เส้นทางที่ได้จากวิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีการเดินรถ 2 เส้นทาง (เส้นทางที่ 1)



รูปที่ 10 เส้นทางที่ได้จากวิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีการเดินรถ 2 เส้นทาง (เส้นทางที่ 2)

สำหรับการเปรียบเทียบสัดส่วนภาระงาน (ระยะทางแต่ละเส้นทางต่อระยะทางรวม) ของแต่ละวิธี ในกรณีเดินรถเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ภาระงานของแต่ละวิธี (กรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง)

วิธีการ	สัดส่วนภาระงาน (%)			
	เส้นทางที่ 1	เส้นทางที่ 2	พิสัย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปัจจุบัน	55.11	44.89	10.22	5.11
วิธีการแบบประหยัด	47.03	52.97	5.93	2.97
วิธีการเชิงวิวัฒนาการ	50.26	49.74	0.51	0.26

จากตารางที่ 8 พบว่า วิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีการกระจายภาระงานที่มีความสมดุลมากที่สุด โดยมีค่าพิสัยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนภาระงานเป็น 0.51% และ 0.26% ตามลำดับ และมีค่าลดลงจากวิธีการปัจจุบันที่มีค่าเป็น 10.22% และ 5.11% ตามลำดับ

5. สรุป

การประยุกต์ใช้การจัดเส้นทางในการเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัย ที่มีเป้าหมายในการจัดเส้นทาง การเก็บขนขยะมูลฝอยที่มีระยะทางสั้นที่สุด และมีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำหนักขยะในปัจจุบัน โดยประยุกต์และเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางที่มีอยู่ ได้แก่ วิธีการแบบประหยัด และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ เมื่อนำเส้นทางที่ได้จากทฤษฎีบทที่พัฒนาขึ้นจากทั้ง 2 วิธีข้างต้นมาเปรียบเทียบผลรวมของระยะทางในเส้นทาง พบว่า ในกรณีเดินรถเก็บขนขยะเพียง 1 เส้นทาง วิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด สามารถลดระยะทางลงร้อยละ 36.75 จากเส้นทางที่กำหนดขึ้นโดยกองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่หน่วยงานกำหนดให้มีการเดินรถ 2 เส้นทางเช่นเดิม พบว่าวิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมสั้นกว่าและมีสัดส่วนภาระงานที่สมดุลกว่าเส้นทางเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน และเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบประหยัด

สำหรับการวิจัยในลำดับถัดไป สามารถขยายการวิจัยเพิ่มเติมในเชิงลึกโดยการพิจารณาประเด็นด้านความไม่แน่นอนของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละวันร่วมด้วย ซึ่งจะทำให้ปัญหากลายเป็นตัวแบบปัญหากำหนดการพันสุ่ม (Stochastic programming) และส่งผลให้การจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับเก็บขยะมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณธวัชชัย รุย์ล ห้วนหน้าหน่วยสาธารณสุขและโยธา กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. *วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์*. อุบลราชธานี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- [2] G. Clarke and J. W. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operations Research.*, Vol. 12, pp. 568-581, 1964.
- [3] C. T. Ragsdale, *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Business Analytics*. 7th edition. Connecticut: Cengage Learning, 2015, pp. 402-411.
- [4] เกียรติศักดิ์ พระเนตร กนกวรรณ สุภักดี และ ฐาตา โคตมมงคล. "การพัฒนาโปรแกรมเพื่อจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีประหยัด: กรณีศึกษาโรงงานน้ำแข็งจิตต์ดำรงวานิช," *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, ปีที่ 2 (ฉบับที่ 4), หน้า 9-16, 2555.
- [5] อภิชาติ มณีงาม กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และ อภินันทนา อุดมศักดิ์กุล. "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถโดยสารโดยมีการจำกัดเวลาการเดินทางรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ กรณีศึกษา: การขนส่งอิฐบล็อกจากในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล," *วารสารเทคโนโลยี*

อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, ปีที่ 3 (ฉบับที่ 6), หน้า 73-85, 2556.

- [6] สุพรรณ สุตสนธิ์ สรายุทธ กรวิรัตน์ และ นคร สุตสนธิ์. "การประยุกต์วิธีเซพวิ้งร่วมกับระบบมดแม็ก-มินในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลาและความเร็วในการขนส่งที่จำกัด," *วิศวกรรมสาร มช.*, ปีที่ 41 (ฉบับที่ 2), หน้า 243-252, 2557.
- [7] นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ ประเวช อนันต์ นินเวศ จินะบุญเรือง เสกสรรค์ วินยาศกุล ขวัญเรือน สันณรงค์ ธนากร จักรแก้ว วุฒิชัย ใจบาล และ ณัฐวุฒิ ศรีสว่าง. "การจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซพวิ้งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 3 (ฉบับที่ 1), หน้า 51-61, 2558.
- [8] ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนายน้ำดื่ม จำกัด," *วารสารวิจัย มช.*, ปีที่ 17 (ฉบับที่ 5), หน้า 706-714, 2555.
- [9] นพรุจ สังข์แป้น และ สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา. "การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาเส้นทางรถขนส่งของโรงกำจัดซากไก่," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 3), หน้า 526-536, 2557.
- [10] อภิศักดิ์ วิทยาประภากร และ พิรยุทธ ชาญเศรษฐิกุล. "ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปรับสมดุลงานในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาด้วยหลักการค่าน้อยสุดของค่ามากที่สุด," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 3 (ฉบับที่ 1), หน้า 13-30, 2558.
- [11] สุทธิชา ทับดารา และ เสรี เสวตเศรณี. "การจัดการขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร," *วิศวกรรมสาร มก.*, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 78), หน้า 34-46, 2554.
- [12] ไพจิตร อุปถัมภ์. *การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ: กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.