วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะมูลฝอย กรณีศึกษา เทศบาลตำบลอุบล จังหวัดอุบลราชธานี

Solution Methods for Vehicle Routing problems of Garbage Truck: A Case Study of Ubon District, Ubon Ratchathani Province

คลอเคลีย วจนะวิชากร[1]* กนกกาญจน์ ศรีสุรินทร์[1,2]

[1] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

Klorklear Wajanawichakon[1]* Kanokkarn Srisurin[1,2]

[1] Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubon Ratchathani 34000.

[2] Faculty of Engineering, Ratchathani University, Muang, Ubonratchathani 34000.

* Corresponding author.

E-mail: klorklear.w@ubru.ac.th; Telephone: 0 4535 2000

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะของชุมชนในเขตเทศบาลตำบลอุบล จังหวัดอุบลราชธานี โดยจัดเส้นทางการเดินรถใหม่เพื่อให้ระยะทางรวมน้อยที่สุด ส่งผลต่อการลดต้นทุนและรอบเวลาการทำงานการเดินรถเก็บขยะ ทั้งนี้เทศบาลตำบลอุบล รับผิดชอบพื้นที่ 3.5 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็น 2 ตำบล 7 ชุมชน ใช้รถบรรทุกขยะมูลฝอยชนิดอัดท้าย มีการเดินรถ 4 เส้นทาง จำนวนรถ 4 คัน ขนาด 1,200 กิโลกรัม และ 600 กิโลกรัม มีจุดบริการเก็บขยะทั้งสิ้น 45 จุด ระยะทางรวม 123 กิโลเมตร จากการศึกษาคณะผู้วิจัยได้จัดกลุ่มจุดเก็บขยะใหม่เหลือเพียง 27 จุด ระยะทางรวม 73 กิโลเมตร โดยใช้ฟังก์ชันวิธีเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary method) และวิธีแบบประหยัด (saving algorithm) โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีการเดินรถ 1 เส้นทาง และกรณีการเดินรถ 2 เส้นทาง ผลลัพธ์จากการศึกษา พบว่า วิธีเชิงวิวัฒนาการ ให้ระยะทางการเดินรถสั้นที่สุด โดยกรณีเดินรถ 1 เส้นทาง วิธีเชิงวิวัฒนาการ ให้ระยะทางรวมเท่ากับ 23.70 กิโลเมตร เมื่อระยะทางเดินรถก่อนปรับปรุงคือ 73 กิโลเมตร ลดลงจากเดิม 49.3 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 67.53 และกรณีเดินรถ 2 เส้นทาง วิธีเชิงวิวัฒนาการ ให้ระยะทางเดินรถทั้งสิ้น 33 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเดินรถก่อนปรับปรุงคือ 73 กิโลเมตร ระยะทางเดินรถลดลงจากเดิม 40 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 54.79 และพบว่าการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทางได้ระยะทางสั้นกว่าการจัดเส้นทางเดินรถ 2 เส้นทาง

คำสำคัญ

การจัดเส้นทางเดินรถ วิธีวิวัฒนาการ วิธีแบบประหยัด จำลองแบบปัญหา

Abstract

The study aims to solve the vehicle routing problems of garbage trucks of Ubon District, Ubonratchathani Province, by rearranging the route in order to reduce the total overall distance to a minimum which will then reduce the cost and

saves time in the scheduled working hours of the garbage truck route. The responsibility of areas covers 3.5 square kilometers, two districts, and seven communities. There are 4 ways for 4 trucks sized 1,200 Kgs. and 600 Kgs. with 45 garbage collection points and totaling 123 km. According to the study, the researcher organized new garbage collection points to 27 garbage collection points and total distance of 87 km. based on Evolutionary Method and Saving Algorithm, there are two cases; one way and two ways. The results of the study found that the Evolutionary Method with one route gives the shortest route with the total distance of, 23.70 kilometers. The distance before the improvement is 73 km., 49.3 km. reduced or 67.53%. The results of the study found that the Evolutionary Method gives a total distance of 33 kilometers when compared to the distance before the adjustment, which was 73 kilometers in total. This shows there is a reduction of 40 kilometers in distance, which is equivalent to 54.79%. Moreover, the research finds that arranging garbage pick up with one route has an overall shorter distance than the two ways route arrangement.

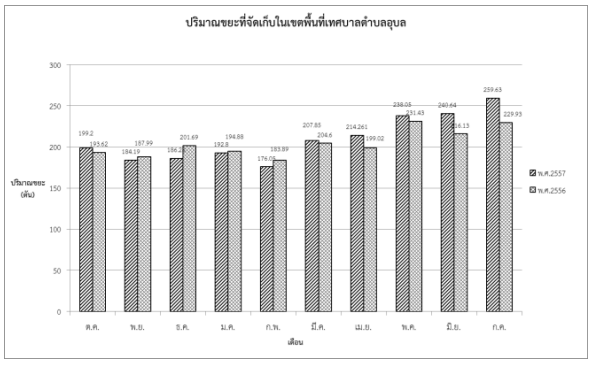
Keywords

vehicle routing problem; evolutionary method; saving algorithm; simulation

1. บทนำ

จังหวัดอุบลราชธานีเป็นเมืองที่มีขนาดใหญ่มีประชากรและมีสำนักงานขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นปัญหาที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ ปัญหาขยะหรือของเสียจากกิจกรรมต่างๆ ซึ่งถ้าขาดการจัดเก็บขยะที่ดีจะทำให้เกิดขยะที่ไม่ได้จัดเก็บเหลือสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศตามมา ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ ในการจัดการขยะเหล่านั้นด้วยระบบการจัดเก็บโดยใช้รถเก็บขยะตามประเภทของขยะที่ทำการจัดเก็บ เช่น รถยกภาชนะ จะทำการเก็บถังขยะขนาดใหญ่ตามตลาดหรือโรงงานเมื่อทำการพิจารณาในเขตพื้นที่ศึกษาทำให้เห็นภาพและปริมาณรถที่ใช้ในการจัดเก็บแต่ละประเภท ซึ่งในเขตพื้นที่ที่ทำการสำรวจ คือ เทศบาลตำบลอุบล จังหวัดอุบลราชธานี พบว่ารถที่ใช้ในการจัดเก็บขยะประกอบด้วยรถบรรทุกขยะมูลฝอยชนิดอัดท้าย จำนวน 4 คัน มีจุดบริการเก็บขยะทั้งสิ้น 27 จุด พบว่าปัญหาขยะมูลฝอยซึ่งส่วนใหญ่มาจากบ้านเรือนต้องใช้รถในการดำเนินการจัดเก็บมากที่สุด ประชากรในอุบลราชธานีมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณขยะจากการอุปโภคและบริโภคจากครัวเรือนมีปริมาณสูงขึ้น จากรูปที่ 1 แสดงให้ทราบถึงปริมาณขยะครัวเรือนที่ถูกจัดเก็บในปีพ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2557 พบว่ามีปริมาณขยะเพิ่มสูงขึ้นจาก 2,043.18 ตัน เป็น 2,098.95 ตัน เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะ เป็น 674,249.4 บาท และ 692,653.83 บาท ตามลำดับ จากแนวโน้มทำให้ทราบว่าต้องมีขยะเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บเพิ่มขึ้นตามมา

จากข้อมูลพื้นฐานข้างต้นพบว่า การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะในปัจจุบัน มีการเดินรถที่ทับซ้อนจุดเก็บขยะเดิมในแต่ละวัน ทำให้เกิดต้นทุนดำเนินการที่สูงเกินความจำเป็น งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีแบบประหยัดและวิธีเชิงวิวัฒนาการเข้ามาจัดกลุ่มพื้นที่จุดเก็บขยะใหม่ รวมไปถึงการจัดเส้นทางใหม่เพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสม ในขณะที่ได้ปริมาณขยะใกล้เคียงกันโดยไม่เกินความจุของรถเก็บขยะ ผลลัพธ์การดำเนินงานที่



รูปที่ 1 ปริมาณขยะที่จัดเก็บในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลอุบล

ได้เปรียบเทียบกับวิธีการเดินรถเก็บขยะแบบเดิมเพื่อให้ได้เส้นทางการเดินรถที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม

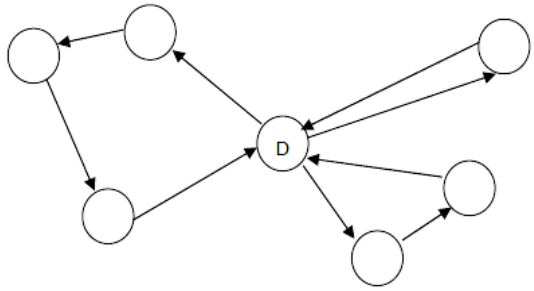
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมมายาวนานในสายการวิจัยและดำเนินงาน (operation research) ทั้งนี้การสร้างแบบจำลองปัญหาขึ้นอยู่กับเงื่อนไขรวมไปถึงข้อจำกัดด้านต่าง ๆ ที่แตกต่างกันไปตามกรณีศึกษา เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือเป็นคำตอบที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่จำกัด

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

การจัดเส้นทางยานพาหนะถูกแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามชนิดของปัญหาสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางที่รู้จักใช้กันอย่างแพร่หลายคือปัญหาพนักงานขาย (traveling salesman problem: TSP) ได้อธิบายถึงปัญหาที่มีพนักงานขาย 1 คน เริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นไปยังเมืองต่าง ๆ ทั้งหมด N เมืองโดยต้องเดินผ่านทุกเมืองและกลับมาจุดเริ่มต้นโดยหาระยะทางรวมที่สั้นที่สุด เมื่อพิจารณาที่ปัญหาที่ต้องการจัดเส้นทางที่มีพนักงานขายมากขึ้นจึงมีการแก้ปัญหาที่มีพนักงานขายจำนวน M คน (M-traveling salesman problem: M-TSP) เป็นการเดินทางของพนักงานจำนวน M คน โดยที่ระยะทางรวมทั้งหมดให้ได้น้อยที่สุดและเมื่อเพิ่มรายละเอียดข้อจำกัดด้านต่าง ๆ เข้าไปในปัญหาพนักงานขาย (TSP) เช่น น้ำหนักที่บรรทุกได้จะกลายเป็นปัญหาที่เรียกว่าการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีน้ำหนักบรรทุกจำกัด (capacitated vehicle routing problem: CVRP) หรืออาจกล่าวได้ว่าปัญหาพนักงานขายเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ จากรูปที่ 2 แสดงการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีคลังสินค้า (D) 1 แห่ง

วิธีการจัดเส้นทางการเดินรถที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่าย คือ วิธีการแบบประหยัด (saving algorithm) ของ Clarke และ Wright มีแนวคิดการจัดเส้นทางแบบมีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว แต่ตอบสนองลูกค้าหลายราย และวิธีเชิงวิวัฒนาการ (evolution algorithm) มีพื้นฐานแนวคิดมาจากการใช้กลุ่มประชากรที่มีอยู่ในเชิงทางชีววิทยา กล่าวคืออาศัยหลักการคัดเลือกคำตอบที่ดี (fitness function) จากประชากรรุ่นพ่อแม่ ด้วยวิธีการสืบพันธุ์ กลายพันธุ์ หรือการแลกเปลี่ยนยีนภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด



รูปที่ 2 การจัดเส้นทางเดินที่รถที่มีคลังสินค้า 1 แห่ง

2.2 วิธีเชิงวิวัฒนาการ

วิธีเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary algorithm) เริ่มต้นจากแนวคิดการพัฒนาพันธุกรรมตามหลักชีววิทยา ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซม ได้แก่ การสืบพันธุ์ การแลกเปลี่ยนยีน การกลายพันธุ์ และการคัดเลือก เป็นการคำนวณหาค่าคำตอบที่เหมาะสมในเวลาที่จำกัดแบบเมตาฮิวริสติก มีขั้นตอนการทำงานตั้งแต่

1.) การกำหนดประชากรเริ่มต้น
2.) ผสมคู่ประชากรเริ่มต้น ได้สมาชิกใหม่
3.) ทำการกลายพันธุ์สมาชิกที่เกิดจากขั้นตอนที่ผ่านมา
4.) ประเมินความเหมาะสมแต่ละสมาชิก
5.) คัดเลือกสมาชิกที่ดีเพื่อนำมาใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป

จากวิธีการขั้นต้นพบว่า การแลกเปลี่ยนโครโมโซมจากการสืบพันธุ์ และการกลายพันธุ์ เป็นวิธีการในการสร้างโอกาสให้เกิดประชากรใหม่ เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม วิธีการนี้ถูกดำเนินการไปจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสม

ภายในระยะเวลาที่จำกัดหรือเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ พบว่าวิธีเชิงวิวัฒนาการนี้ถูกนำมาใส่ไว้ในโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะสม (optimization) ด้วยฟังก์ชัน evolutionary ในเครื่องมือโซลเวอร์ (solver)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐณิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล อินทุอร ศรีสว่าง และวนัฐฌพงษ์ คงแก้ว (2559) ศึกษาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เพื่อจัดเส้นทางเดินรถใหม่ให้มีระยะทางรวมน้อยที่สุด ด้วยวิธีการแบบประหยัด (saving algorithm) และฟังก์ชั่นวิธีการเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary Method) ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล โซลเวอร์ (Microsoft Excel Solver) โดยพิจารณาใน 2 กรณี คือ กรณีการเดินรถเพียง 1 เส้นทาง และกรณีการเดินรถจำนวน 2 เส้นทาง ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี 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 อีกทั้งเส้นทางดังกล่าวมีสัดส่วนภาระงานที่มีความสมดุลกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ศุภพัชร พวงแก้ว (2553) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของรถจัดเก็บขยะในครัวเรือนโดยใช้พนักงานในการยกขยะ จากจุดเริ่มต้นผ่านการเก็บตามจุดและกลับมาที่จุดเริ่มต้นใหม่ โดยที่รถทุกคันต้องวิ่งกลับไปที่จุดปล่อยขยะก่อนที่จะกลับมาจุดเริ่มต้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินรถ และจำนวนรถขนขยะที่ต้องใช้ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ที่สามารถจัดเก็บขยะให้ได้ครบทุกจุด นอกจากต้นทุนการเดินทางที่ต่ำแล้วงานวิจัยนี้ยังได้พิจารณาถึงภาระงานในการยกขยะของพนักงาน ซึ่งพนักงานทุกคนจะต้องใช้พลังงานไม่เกินกว่าขีดจำกัดความสามารถการใช้พลังงานที่กำหนดไว้ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถนำมาจัดการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินทางของรถจัดเก็บขยะนี้โดยแยกเป็น 2 กรณี กรณีที่มีจุดปล่อยขยะ 1 จุด กับกรณีที่มีจุดปล่อยขยะหลายจุด ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น คือ มีจำนวนจุดเก็บขยะมากขึ้น ทำให้ปัญหาในการจัดเส้นทางซับซ้อนยิ่งขึ้นเป็นผลทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมยาวนานมากขึ้น และในบางครั้งไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงได้นำวิธีเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางเพื่อหาคำตอบภายในเวลาที่เหมาะสม พารามิเตอร์ของวิธีการเชิงพันธุกรรมได้ถูกกำหนดตามผลการทดลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ พบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบในทุกขนาดของปัญหาภายใต้เวลาการประมวลผลที่น้อยกว่า

สุภกิณห์ สมศรี (2545) ได้ทำการศึกษาในการหาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยนำเสนอแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอย ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและคุ้มค่าต่อการลงทุน และหาแนวโน้มในการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์โดยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่สัมพันธ์กับการเกิดขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัย และศึกษาปริมาณลักษณะสมบัติและการจัดการขยะมูลฝอย จากนั้นได้ออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอยให้สอดคล้องกับปัจจัยพื้นฐานและลักษณะของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการเลือกสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย และออกแบบเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะมูลฝอยที่เหมาะสม ผลที่ได้จากงานวิจัยได้สร้างรายได้ให้กับมหาวิทยาลัยคิดเป็นเงิน 55.4 ล้านบาท

สมบัติ สินธุเชาวน์ (2557) ได้ศึกษาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเทศบาลนครอุบลราชธานี โดยเลือกเขต 2 สำหรับการทำวิจัย ซึ่งมีเขตย่อยอยู่ 4 เขต มีจุดรวบรวมขยะรวมกันทั้งสิ้น 358 จุด ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการจัดเส้นทางการเก็บขยะ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณาจุดเก็บขยะเดิมของรถแต่ละคัน และแนวทางที่ 2 จัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะที่พิจารณามอบหมายจุดเก็บขยะใหม่ทั้งหมดให้กับรถแต่ละคัน โดยแนวทางที่ 1 นั้น สามารถพิจารณาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะว่าเป็นปัญหา TSP 4 ปัญหาแยกอิสระจากกันโดยใช้โปรแกรม Lingo ผลการจัดเส้นทางใหม่พบว่าสามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 62.246 กิโลเมตร เหลือ 53.449 กิโลเมตร ระยะทางลดลง 8.797 กิโลเมตร หรือลดลงจากเดิมคิดเป็น 14.13% แนวทางที่ 2 เป็นปัญหาแบบ VRP ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีฮิวรีสติกส์ที่มีชื่อว่า GRASP with VLSN ในการกำหนดจุดรับผิดชอบเก็บขยะใหม่ของรถเก็บรวบรวมขยะแต่ละคัน พร้อมทั้งจัดเส้นทางการเก็บขยะของรถทั้ง 4 คัน ผลลัพธ์ที่ได้เส้นทางการเก็บขยะใหม่ของรถแต่ละคันที่มีระยะทางรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 49.157 กิโลเมตร ระยะทางลดลงจากเดิม 13.089 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21.03

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

เทศบาลตำบลอุบล รับผิดชอบพื้นที่ 3.5 ตารางกิโลเมตร แยกเป็น 2 ตำบล 7 ชุมชน ใช้รถบรรทุกขยะมูลฝอยชนิดอัดท้ายจำนวน 4 คัน

หมายเลขทะเบียน 82-1383 ขนาดบรรจุ 1,200 กิโลกรัม

หมายเลขทะเบียน 82-4072 ขนาดบรรจุ 1,200 กิโลกรัม

หมายเลขทะเบียน 82-6420 ขนาดบรรจุ 600 กิโลกรัม

หมายเลขทะเบียน 82-8973 ขนาดบรรจุ 600 กิโลกรัม

และมีจัดเก็บขยะ 28 จุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จุดเก็บขยะ 28 จุด

จุดที่	พื้นที่ทิ้งขยะ
0	สำนักงานเทศบาลตำบลอุบล จ.อุบลราชธานี
1	ถนนชยางกูร ฝั่งตลาดสันติสุข
2	ถนนชยางกูร ฝั่งเทคโนฯ
3	ถนนเทคโน/ซอยจารุแพทย์
4	ซอยสุขาพัฒนา
5	ถนนชินสวัสดิ์
6	ซอยสินอุดม/หมู่บ้านปิ่นดาว/ซอยชินสวัสดิ์
7	สำนักงานขนส่งจังหวัดอุบลราชธานี
8	ซอยสามัคคี 1 (P-mart)
9	ถนนฝั่งห้างสรรพสินค้าแม็คโคร/โรงแรมเดอบัว
10	ถนนสุขาพัฒนา
11	ซอยเสรี 1 - 6
12	ซอยพิทักษ์สันติสุข
13	ซอยศิริป้อง (ซอยจันทร์ศิริ)
14	หมู่บ้านกรีนฟิลด์/บ้านพักทรัพย์ศรีทอง
15	ถนนคลังอาวุธ
16	ซอยศิริสาน
17	ซอยราษฎร์บำรุง
18	ซอยสหมิตร
19	ซอยปัจจาพาย 2/ซอยสุขพัฒนา 2/ซอยสุขพัฒนา 1/ซอยปัจจาพาย 1
20	ถนนคลังอาวุธ/โรงแรมฉัตรสุรีย์
21	ซอยสามัคคี 2
22	ถนนสีห์พนม/ซอยสามัคคี 1/ร้านอาหารกอแก้ว
23	ถนนหนองไหล
24	ถนนท่าบ่อ/โรงแรมฮอฟอิน/ซอยราษฎร์อุทิศ
25	ศูนย์รถยนต์ มิตซูบิชิ มอเตอร์
26	ถนนชยางกูรฝั่งยูปาร์ค
27	ถนนแม่ชี
28	สำนักงานเทศบาลตำบลอุบล จ.อุบลราชธานี

3.2 ออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา

จากข้อมูลพื้นฐานที่ได้นำมาสร้างเมตริกซ์ระยะทาง โดยใช้แผนที่จาก Google map ในการหาระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะ 2 จุดใด ๆ โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นทาง ได้เมตริกซ์ระยะทางที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 2

จากกรณีศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับการจัดเก็บขยะมูลฝอย กรณีศึกษา เทศบาลตำบลอุบล จังหวัดอุบลราชธานี สามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

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

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \; ; j = 1,2...,N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=0}^{N} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \; ; i = 1,2...,N \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ j\neq p}}^{N} X_{ipk} - \sum_{\substack{j=0 \\ j\neq p}}^{N} X_{pjk} = 0$$

$$\forall p \; ; p = 1,2,...,N \quad \forall k; k = 1,2...,M \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N} q_i \left(\sum_{\substack{j=0 \\ j\neq i}}^{N} X_{ijk} \right) \leq Q_k \quad \forall k; k = 1,2...,M \quad (5)$$

$$u_i - u_j + N x_{ijk} \leq N - 1 \; \forall i, j; i \neq j \; \forall k \in \{1,2...,M\} \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in \{1,2...,M\} \quad \forall i, j \in \{1,2...,N\} \quad (7)$$

โดยกำหนดให้

N คือ จำนวนจุดรวบรวมขยะทั้งหมด

o คือ จุดจอดรถเก็บขนขยะ

i, j คือ สำนักงานเทศบาลตำบลอุบลหรือจุดรวบรวมขยะ เมื่อ $i, j \in \{0,1,2...,N\}$

k คือ รถเก็บขนขยะ เมื่อ $k \in \{1,2...,M\}$

q_i คือ ปริมาณขยะที่ต้องเก็บในจุดรวบรวมขยะที่ i

ตารางที่ 2 เมทริกซ์ระยะทางระหว่างจุดใด ๆ (หน่วยเป็นกิโลเมตร)

	0	1	2	3	4	....	28
0	0	3.4	5.5	6	4	....	0
1	3.4	0	2.1	2.6	3.6	....	3.4
2	2	2.1	0	1	4.5	....	5.5
3	2.6	2.6	1	0	1	....	6
4	2.8	2.4	2	1	0	....	4
...	....	....	....	....	....	....	....
28	0	3.4	5.5	6	4	....	0

หมายเหตุ: กำหนดให้จุดที่ 28 เป็นจุดแต่งเติมเมตริกซ์ โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับจุดที่ 0

โดย $q_0 = 0$

Q_k คือ ปริมาณความจุของรถเก็บขนขยะ คันที่ k

d_{ij} คือ ระยะทางจากจุดที่ i ไปยังจุดที่ j

X_{ijk} คือ ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (“0” หรือ “1”) ในการสร้างเส้นทางจากจุดรวบรวมขยะที่ i ไปยังจุดรวบรวมขยะที่ j (มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการเดินทางในเส้นทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยรถเก็บขนขยะคันที่ k)

จากสมการคณิตศาสตร์ข้างต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมาย กล่าวคือ เพื่อหาระยะทางรวมในการจัดเก็บขยะมูลฝอยให้น้อยที่สุดต่อมา

สมการเงื่อนไข

สมการที่ (2) ถึงสมการที่ (4) เป็นสมการที่กำหนดว่ารถเก็บขยะต้องเดินผ่านเส้นทางเข้า–ออก ในการเก็บขยะตามที่จุดเก็บขยะที่กำหนดไว้ โดยแต่ละจุดเก็บขยะจะมีรถไปเก็บขยะเพียงคันเดียว

ข้อจำกัดที่ (5) กำหนดให้ปริมาณขยะที่เก็บต้องไม่เกินปริมาณความจุของขนาดรถเก็บขยะที่สามารถบรรทุกได้

ข้อจำกัดที่ (6) กำหนดไว้เพื่อป้องกันการเกิดเส้นทางเดินรถย่อย (sub tour) ขึ้นในคำตอบ

(หมายเหตุ: เส้นทางย่อย หมายถึง เส้นทางที่ไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางอยู่ที่จุดจอดรถ)

และข้อกำหนดที่ (7) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจในการเลือกเดินรถเก็บขยะบนเส้นทางระหว่างจุดเก็บขยะ 2 จุดใด ๆ

งานวิจัยฉบับนี้ ใช้วิธีการในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ 2 วิธี ได้แก่ 1. วิธีการแบบประหยัด (saving algorithm) และ 2. วิธีเชิงวิวัฒนาการ (evolutionary method) มีจุดเก็บขยะทั้งหมด 27 จุด ออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 เป็นการเดินรถเก็บขยะ 1 เส้นทาง และกรณีที่ 2 เป็นการเดินรถเก็บขยะ 2 เส้นทาง โดยทั้ง 2 กรณีถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางเดินรถทั้ง 2 วิธี

การจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm)

ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วยวิธีการแบบประหยัด จะจัดเส้นทางในการเก็บขยะจากจุดทิ้งขยะทุกจุดที่นำมาพิจารณาที่ขึ้นอยู่กับนโยบายการจัดกลุ่ม โดยมีเงื่อนไขคือแต่ละเส้นทางต้องมีน้ำหนักขยะรวมไม่เกินน้ำหนักบรรทุกของรถเก็บขยะ แนวคิดแบบวิธีการแบบประหยัดเป็นการพิจารณาการขนส่งจากคลังสินค้า (depot: D) ไปยังลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็นการส่งสินค้าออกจากคลังสินค้า (D) เพียงแห่งเดียว ค่าใช้จ่ายจะลดลงเมื่อมีการให้บริการลูกค้า 2 ราย (ลูกค้า i และลูกค้า j) ที่เชื่อมโยงกันภายในเส้นทางเดียวกันแทนการแบ่งส่งลูกค้าทีละราย ตัวอย่างขั้นตอนการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีการแบบประหยัด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ “0” เป็น จุดเริ่มต้นของจุดจอดรถเก็บขยะ

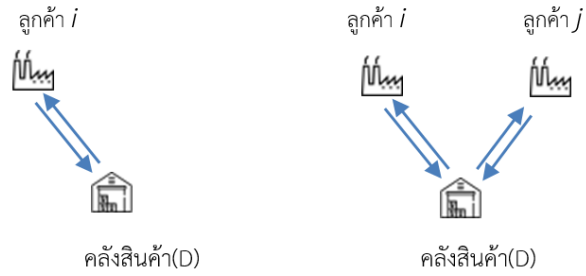
ขั้นตอนที่ 2 กำหนดตำแหน่งของจุดรวบรวมขยะ จากจุด i ไป j ใด ๆ (i, j) เพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง และคำนวณค่าประหยัดของระยะทางด้วยสมการที่ (8),(9)

จุดรวบรวมขยะที่ 1 และ 2

$$S_{1,2} = d_{1.0} + d_{0,2} - d_{1,2} \quad (8)$$

$$= 3.40 + 5.50 - 2.10$$

$$= 6.80$$



รูปที่ 3 การส่งสินค้าหนึ่งเที่ยวต่อหนึ่งลูกค้า

$$S_{1,2} = d_{2.0} + d_{0,1} - d_{2,1} \quad (9)$$

$$= 2.00 + 3.40 - 2.10$$

$$= 3.30$$

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากคำนวณได้ค่าระยะทางที่ประหยัดครบทุกตำแหน่ง (i, j) แล้ว ให้เรียงลำดับค่า $S_{i,j}$ จากมากไปหาน้อย

ขั้นตอนที่ 4 เชื่อมโยงเส้นทางของยานพาหนะ (แบบอนุกรม) โดยการเชื่อมจุด i ไป j ใด ๆ ที่มีค่า $S_{i,j}$ มากที่สุด ให้เรียงมาเป็นอันดับแรก หรือทำการแทรกลูกค้าเข้าไปในเส้นทางเดิมถ้าการเชื่อมโยงจุดใด ๆ อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

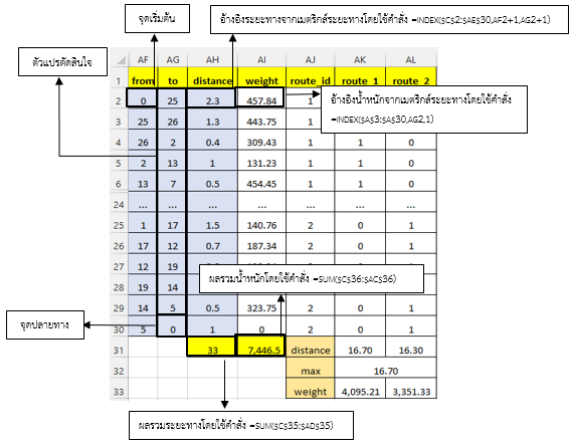
ขั้นตอนที่ 5 ทำวนซ้ำจากข้อ 1–4 จนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้อีก ภายใต้เงื่อนไขคือ การเดินทางของรถเก็บขยะแต่ละเส้นทางต้องมีน้ำหนักขยะไม่เกินความจุของรถบรรทุก

การจัดเส้นทางด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm)

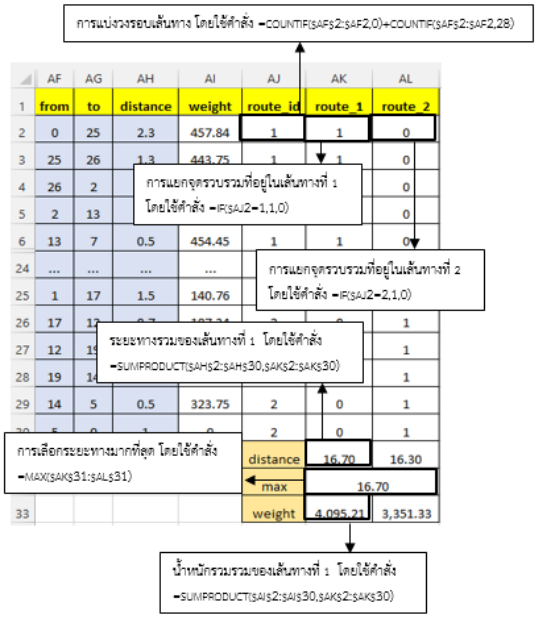
สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วย วิธีการเชิงวิวัฒนาการในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft Excel) ดำเนินการโดยใช้ฟังก์ชัน “Evolutionary” ในเครื่องมือ โซลเวอร์ (Solver) โดยจัดเส้นทางการเก็บขนขยะจากจุดรวบรวมขยะทุกจุด และต้องมีน้ำหนักขยะรวมในแต่ละเส้นทางไม่เกินน้ำหนักบรรทุกของรถ สำหรับการจัดเส้นทางด้วยวิธีนี้ ผู้วิจัยอธิบายการค้นหาคำตอบ มีขั้นตอนดังนี้

	A	B	C	D	E	F	G	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	weight		0	1	2	3	4	23	24	25	26	27	28
2	0.000	0	999	3.4	5.5	6	4	7	8	2.3	3.6	0.3	999
3	312.32	1	3.4	999	2.1	2.6	3.6	8.4	7.2	4.6	1.7	2.5	3.4
4	309.43	2	2	2.1	999	1	4.5	5	5.5	5.5	1	5	5.5
5	315.67	3	2.6	2.6	1	999	1	5.2	5.5	5.7	1	4	6
6	153.12	4	2.8	2.4	2	1	999	5.3	5.5	5.8	1.3	4.6	4
24		22	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
25	412.23	23	5	4	4.8	5	3	999	1	8.4	3.8	3.5	7
26	408.78	24	5.9	6	4.3	5.1	3.1	0.2	999	8.7	3.9	3.8	8
27	457.84	25	1.9	3.4	3.2	2.7	3.9	7.1	8.5	999	1.3	5.4	2.3
28	443.75	26	3	1.7	0.4	2.8	2.9	4.1	5.4	6.1	999	3.3	3.6
29	426.46	27	2.5	2.4	3	3	1.5	4.6	5.3	6.7	2.4	999	0.3
30	0.000	28	999	3.4	5.5	6	4	7	8	2.3	3.6	0.3	999
31	7,446.54												

รูปที่ 4 เมทริกซ์ระยะทางแบบแต่งเติมที่ใช้ในการจัดเส้นทาง



รูปที่ 5 การสร้างตัวแบบค้นหาคำตอบของขั้นตอนที่ 2.



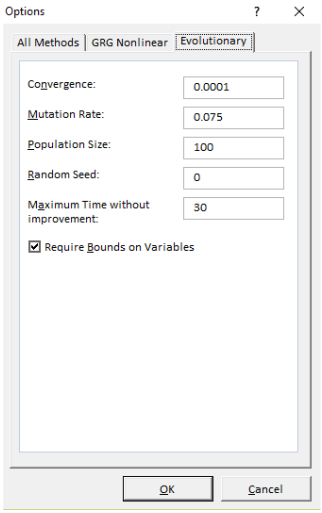
รูปที่ 6 การสร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบของขั้นตอนที่ 3.

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลน้ำหนักขยะเฉลี่ยของแต่ละจุด และเมตริกซ์ระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะใด ๆ จาก มาสร้างในโปรแกรม Microsoft Excel โดยมีการแต่งเติมเมตริกซ์ด้วยการเพิ่มจุดที่ 28 (ข้อมูลชุด เดียวกันกับจุดที่ 0) เข้ามา เพื่อให้มีจำนวนจุดเริ่มต้นเท่ากับ จำนวนเส้นทางที่ต้องการสร้าง ในรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างระยะทางแบบแต่งเติมที่ใช้ในการจัดเส้นทาง โดยกำหนด "0" เป็นจุดเริ่มต้นของจุดจอดรถเก็บขยะ

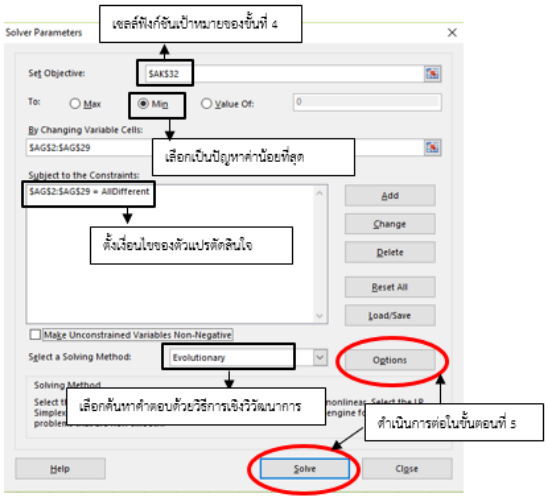
ขั้นตอนที่ 2 สร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบในโปรแกรม Microsoft Excel โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจ การแปลงรูปแบบการเดินทางให้เป็นระยะทาง การหาผลรวมระยะทางของเส้นทาง การอ้างอิงค่าน้ำหนักขยะ และการหาผลรวมน้ำหนักขยะจากทุกจุดรวบรวมขยะ ในรูปที่ 5 การสร้างตัวแบบค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 การแบ่งวงรอบเส้นทาง การแยกจุด รวบรวมที่อยู่ในแต่ละเส้นทาง การหาระยะทางรวมและ น้ำหนักขยะรวมในแต่ละเส้นทาง และการเลือกระยะทางมากสุดเพื่อนำไปตั้งเป็นเป้าหมาย ในรูปที่ 6 เป็นตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบดังอธิบายในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากสร้างตัวแบบสำหรับค้นหาคำตอบเสร็จ จึงเรียกใช้เครื่องมือโซลเวอร์ (Solver) มาช่วยในการคำนวณ โดยตั้งค่าหาคำตอบสำหรับเป้าหมายที่ 1 ดังนี้ คือ การกำหนดให้ค่ามากสุดของระยะทางรวมของเส้นทางที่ได้จากทั้ง 2 เส้นทาง (เซลล์ “AK32”) เป็นเซลล์ของฟังก์ชันเป้าหมาย ใน “Set Objective” และกำหนดให้เป็น “Min” เพื่อหาค่าระยะทางมากสุดของเส้นทางที่น้อยที่สุด การกำหนดเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจ (ชุดลำดับของจุดรวบรวม ขยะที่อยู่ในเส้นทาง) ใน “Changing Variable Cells” และ กำหนดให้ค่าในเซลล์ดังกล่าวเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่แตกต่างกันด้วยเงื่อนไข “All Different” ใน “Constraints” และการกำหนด



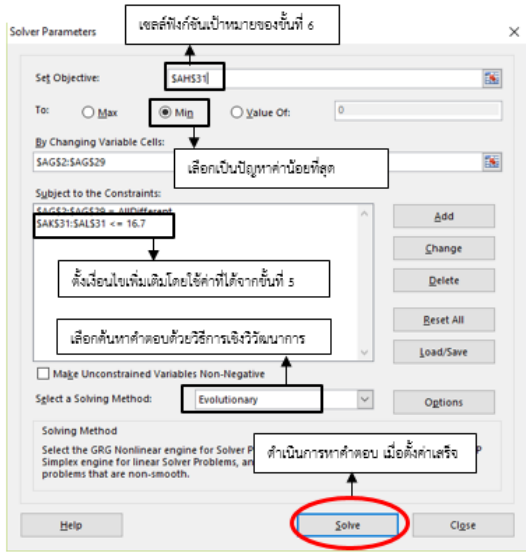
รูปที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชัน Evolutionary ที่ใช้



รูปที่ 8 การตั้งค่าในเครื่องมือโซลเวอร์ของการค้นหารอบที่ 1

วิธีค้นหาคำตอบเป็นวิธีการเชิงวิวัฒนาการโดย เลือกใช้ฟังก์ชั่น “Evolutionary”

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากตั้งค่าต่าง ๆ และเลือก “Option” เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่ามาตรฐาน (default) ของฟังก์ชั่น “Evolutionary” ดังแสดงในรูปที่ 7. แล้ว จึงกด “Solve” (ดังรูปที่ 8) เพื่อให้โปรแกรมค้นหาคำตอบโดยการจัดเรียงลำดับจุดรวบรวมขยะที่อยู่ในเส้นทาง จนกระทั่งได้ค่าเป้าหมายที่ 1 ในขั้นตอนที่ 4



รูปที่ 9 การตั้งค่าในเครื่องมือโซลเวอร์ของการค้นหารอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากได้คำตอบในการค้นหารอบที่ 1 แล้ว จึงเรียกใช้เครื่องมือโซลเวอร์มาช่วยในการหาคำตอบ สำหรับเป้าหมายที่ 2 ดังนี้ คือ การกำหนดผลรวมระยะทาง จากทุกเส้นทาง (เซลล์ “AH31”) เป็นเซลล์ฟังก์ชัน เป้าหมายใน “Set Objective” และกำหนดให้เป็น “Min” เพื่อหาค่าที่น้อยที่สุด และเพิ่มเงื่อนไขใน “Constraints” โดยกำหนดให้ค่าระยะทางมากสุดของแต่ละเส้นทางไม่เกินค่าเป้าหมายที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 และค้นหาคำตอบโดยเลือกใช้ ฟังก์ชัน “Evolutionary” ดังแสดงในรูปที่ 9

3.3 อุปกรณ์

- เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มีหน่วยประมวลผล Intel Core i7-7500U (2.70–3.50 GHz) memory RAM 8 GB DDR4 ใช้ในการประมวลผลข้อมูล
- ระบบปฏิบัติการ Windows 10 Home (64 Bit)
- ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประมวลผล

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลลัพธ์วิจัย

ผลจากการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะด้วย วิธีการแบบประหยัด กรณีการเดินรถเก็บขนขยะเพียง 1 เส้นทาง จะได้

ตารางที่ 3 ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด (กรณี การเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง)

กลุ่มพื้นที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนักขยะ (กิโลกรัม)
กลุ่มที่ 1	0->7->25->27 ->1->4->26->3 ->2->8->5->6->0	27.90	3,875.9
กลุ่มที่ 2	0->10->18->21 ->15->22->11 ->23->20->19 ->12->13->16 ->14->17->24 ->9->0	38.70	3,570.6
รวม		66.60	7,446.54

ตารางที่ 4 ผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ (กรณี การเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง)

กลุ่มพื้นที่	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	น้ำหนักขยะ (กิโลกรัม)
กลุ่มที่ 1	0->25->26->2 ->13->7->8 ->22->23->24 ->9->18->16 ->10->0	16.70	4,095.21
กลุ่มที่ 2	0->27->15->6 ->4->3->21 ->20->11->1 ->17->12->19 ->14->5->0	16.30	3,351.33
รวม		33.00	7,446.54

เส้นทาง คือ 0->9->8->6->5->17->14 ->16->13->2->12->20->3->4->24->22->21->26->1->11->19->15->23->10->18->7->25->27->0 มีระยะทางรวมเท่ากับ 50.4 กิโลเมตรต่อวัน ส่วนกรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทางแบ่งกลุ่มของจุดรวบรวมขยะใหม่ ตามการกระจายของภาระงาน (ระยะทาง) แต่ละเส้นทาง และผลรวมระยะทางที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 5 ผลการจัดเส้นทางของแต่ละวิธี

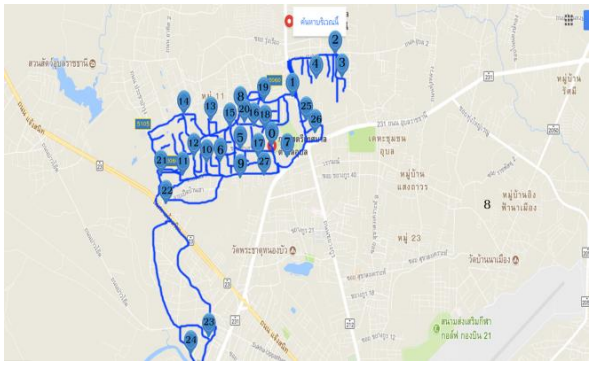
วิธี	ระยะทางเดินรถ (กิโลเมตร)	
	กรณี เส้นทาง 1	กรณี เส้นทาง 2
ปัจจุบัน	73	
แบบประหยัด	50.4	66.6
เชิงวิวัฒนาการ	23.7	33.0

สำหรับผลการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขนขยะด้วย วิธีการเชิงวิวัฒนาการ กรณีใช้เพียง 1 เส้นทาง จะได้เส้นทาง คือ 0->25->26->23->24->22->8->21->9->10->18->5->27->15->6->17->20->16->19->12->4->3->2->14->11->14->1->13->7->0 มีระยะทางรวมเท่ากับ 23.70 กิโลเมตรต่อวัน ส่วนกรณีการเก็บขนขยะ 2 เส้นทาง ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์จากการจัดเสินทางด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ กรณี การเดินรถแบบ 2 เส้นทาง พบว่าได้ระยะทางรวมทั้งสิ้น 33 กิโลเมตร

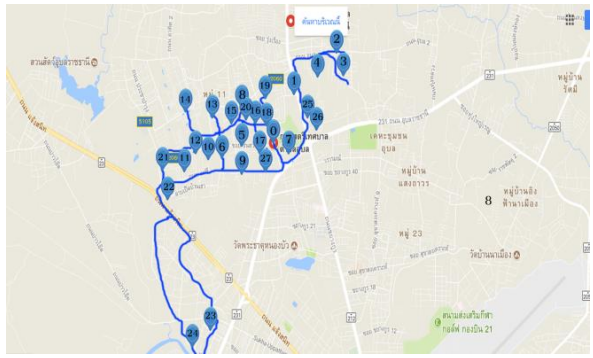
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากวิธีการเดินรถเก็บขยะแบบเดิมจำนวน 4 เส้นทาง ใช้รถเก็บขยะ 4 คัน มีระยะทางรวมประมาณ 73 กิโลเมตร จุดเก็บขยะ 27 จุด (จัดตามความเหมาะสมในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกัน) พบว่าหลังจากประยุกต์ใช้วิธีการแบบประหยัดและวิธีเชิงวิวัฒนาการ ในตารางที่ 5 แสดงผลลัพธ์จากการจัดเสินทางเดินรถทั้ง 3 วิธี โดยวิธีที่ 1 เป็นการเดินรถแบบปัจจุบัน วิธีที่ 2 แบบประหยัด และวิธีที่ 3 วิธีเชิงวิวัฒนาการ จากตารางที่ 6 สรุปได้ว่า วิธีเชิงวิวัฒนาการให้ผลลัพธ์ในการจัดเสินทางเดินรถเก็บขยะได้ดีที่สุดคือ 23.7 กิโลเมตร พบว่าในกรณีการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทาง วิธีเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมเท่ากับ 23.70 กิโลเมตรต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางการเดินรถเก็บขยะแบบเดิมคือ 73



รูปที่ 10 เส้นทางก่อนปรับปรุง 27 จุด



รูปที่ 11 เส้นทางจากวิธีเชิงวิวัฒนาการ กรณีเดินรถ 1 เส้นทาง

กิโลเมตร ลดลงจากเดิม 49.3 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 67.53 และในกรณีจัดการเดินรถ 2 เส้นทางพบว่า วิธีเชิงวิวัฒนาการให้ระยะทางเดินรถเก็บขยะสั้นที่สุดคือ 33 กิโลเมตร ลดลง 40 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 54.79 ดังแสดงในรูปที่ 10–11

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่า น้ำหนักขยะที่จัดเก็บในแต่ละวัน เพียงพอต่อขนาดรถเก็บขยะขนาด 1,200 กิโลเมตร ซึ่งปัจจุบันเทศบาลตำบลอุบลมีรถที่มีความจุนี้จำนวน 2 คัน หากใช้รถขนาดความจุ 600 กิโลเมตร จะไม่สามารถจัดเก็บให้เพียงพอต่อปริมาณการจัดเก็บขยะในแต่ละวันได้ นอกจากนี้งานวิจัยฉบับนี้ยังไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขในเรื่อง ระยะเวลา ที่ใช้ในการจัดเก็บขยะมาเป็นตัวแปรตัดสินใจ หากในอนาคตอาจมีเงื่อนไขในเรื่องเวลาในการจัดเก็บมาพิจารณาอาจมีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงของเทศบาลตำบลอุบลได้มากขึ้นกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบล จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐณิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล, อินทุอร ศรีสว่าง, วนัฐณพงษ์ คงแก้ว. การประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถสำหรับการเก็บขนขยะมูลฝอย กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2559; 4(2): 18–31.

[2] ศุภพัชร พวงแก้ว. วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะตามครัวเรือนโดยใช้คนงานในการจัดเก็บ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2553.

[3] สุภกิณห์ สมศรี. การหาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2545.

[4] สมบัติ สินธุเชาวน์. การจัดเส้นทางของการเก็บขยะในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2557.

[5] ดิเรกฤทธิ์ ทวะกาญจน์. การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับเทศบาลนครหาดใหญ่, สารนิพนธ์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, สงขลา. 2553.

[6] Sibel A, Bahar YK. A New Model for the Hazardous Waste Location-Routing Problem. *Computers and Operations Research*. 2007; 34 (5): 1406–1423.

[7] Nanthavanij S, Boonprasurt P, Jaruphongsa W, Ammarapala V. Vehicle Routing Problem with Manual Material Handling: Flexible Delivery Crew–Vehicle Assignment. In: *Proceedings of the 9th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*. Bali; 2008. p. 2905–2911.