การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม สำหรับปัญหาเส้นทางการขนส่งของโรงกำจัดซากไก่

นพรุจ สังข์แป้น[1] และ สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา[2]*

บทคัดย่อ

การส่งออกเนื้อไก่สดมีการถูกกีดกันโดยข้ออ้างเรื่องการจัดการซากไก่ที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ทำให้ภาครัฐมีแนวคิดที่จะสร้างโรงกำจัดซากไก่ที่ตำบลทับกวาง จังหวัดสระบุรี เพื่อรองรับปริมาณซากไก่จากพื้นที่โดยรอบ สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาเส้นทางการขนส่งซากไก่และเศษซากไก่จากศูนย์รวมซากไก่ต่างๆ ทั้ง 22 จุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งให้ต่ำที่สุด โดยในการขนส่งจะเป็นการจ้างเหมารถบรรทุกซึ่งคิดค่าขนส่งเป็นอัตราเหมาจ่ายแบบขั้นบันได ตามระยะทาง และลักษณะปัญหานี้เป็นรูปแบบพิเศษของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีเงื่อนไขเวลาและความจุของรถ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อนแบบ NP-Hard จึงได้เสนอวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีทางฮิวริสติก โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือ การสร้างคำตอบตั้งต้นด้วยวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm) และพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ผลลัพธ์ที่ได้จากการไปรับซากไก่และเศษซากไก่จากศูนย์รวมซากไก่ต่างๆ ทั้ง 22 จุด พบว่าใช้รถขนส่งทั้งหมด 13 รอบ โดยใช้ค่าใช้จ่ายรวม 100,350 บาทต่อวัน ระยะทางรวม 3,996.90 กม.ต่อวัน และใช้เวลาประมวลผลประมาณ 1.78 วินาที ดังนั้น การวิจัยโดยวิธีนี้ไม่เพียงแต่สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว และได้คำตอบที่ค่อนข้างดีแล้วยังสามารถนำไปปรับใช้เพื่อหาคำตอบได้ง่ายและรวดเร็ว หากต้องการเปลี่ยนสถานที่ตั้งโรงกำจัดซากเป็นที่อื่น

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทาง วิธีการเชิงพันธุกรรม โรงกำจัดซากไก่

[1] นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2218-6833 อีเมล: surapong.s@chula.ac.th

รับเมื่อ 10 มีนาคม 2557 ตอบรับเมื่อ 26 พฤษภาคม 2557

Application of Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem of Chicken Rendering Plants

Nopparuj Sangpan[1] and Surapong Sirikulvadhana[2]*

Abstract

One of the non-tariff barriers for chicken export is the hygienic disposal of the chicken carcasses. This leads to a construction of a public chicken rendering plant in Tubkwang, Saraburi to accommodate the large quantity of chicken carcasses from 22 nodes nearby. This is a Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window, which is one of the classical combinatorial problems with NP-Hard complexity. Furthermore, the stepwise linear objective function makes this problem more challenging. The authors proposed a method to tackle this problem with 2 phases; initialization with a saving algorithm and improvement with a genetic algorithm. The saving algorithm was chosen because it delivers good solutions for the linear objective function problems while the genetic algorithm was chosen because of its efficiency in finding a good solution having a good starting point. The combination of the two meta-heuristic yields a solution of 13 routes for the 22 pickup nodes with the total transportation cost of 100,350 baht per day and total distance of 3,996.90 km. per day within a few seconds of computation. This approach will not only deliver a good solution for this problem quickly, but it also can be applied to solve for another solution in a timely manner when considering a new plant location.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Genetic Algorithm, Chicken Rendering Plants

[1] Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

[2] Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

* Corresponding Author, Tel. 0-2218-6833, E-mail: surapong.s@chula.ac.th

Received 10 March 2014; Accepted 26 May 2014

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อนับว่าเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย โดยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากตลาดต่างประเทศเปิดตลาดให้ประเทศไทยสามารถส่งออกเนื้อไก่สด ได้ส่งผลทำให้มีปริมาณการเลี้ยงไก่เพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของตลาด ในทางกลับกันการเพิ่มปริมาณการเลี้ยงก็ส่งผลต่อความเสี่ยงของการควบคุมโรคและการจัดการฟาร์ม โดยในปัจจุบันการจัดการซากไก่ที่ตายในฟาร์มยังคงใช้วิธีการฝังกลบหรือเผาซาก นอกจากนี้ยังมีการลักลอบนำซากไก่ไปขายเพื่อบริโภค เกิดโอกาสในการแพร่กระจายของเชื้อโรคและส่งผลต่อสุขภาพร่างกายของประชาชนได้ ดังนั้นทางภาครัฐจึงมีแนวคิดที่จะส่งเสริมให้มีการจัดตั้งโรงกำจัดซากไก่ขึ้นเพื่อกำจัดซากไก่จากฟาร์มให้เป็นไปอย่างถูกสุขลักษณะและไม่กระทบกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นยังได้กากเนื้อและกระดูกป่นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของโรงกำจัดซากไก่มาผลิตเป็นอาหารสัตว์เลี้ยง ทำให้สามารถลดการนำเข้าวัตถุดิบดังกล่าวจากต่างประเทศได้

แต่อย่างไรก็ดี โดยลักษณะโรงกำจัดซากไก่จะมีขนาดใหญ่และก่อตั้งเพียงแห่งเดียวในประเทศ ดังนั้นปัญหาที่ตามมาส่วนหนึ่งของการจัดตั้ง คือ ปัญหาการขนส่งซากไก่ตายและเศษซากไก่จากจุดต่างๆ เพื่อให้มีความสม่ำเสมอและสามารถรองรับกำลังการผลิตของโรงกำจัดซากไก่ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างเส้นทางการขนส่งเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและระยะทางการขนส่ง เพื่อที่จะได้ข้อมูลในการตัดสินใจในการลงทุนในด้านการขนส่งซากไก่และเศษซากไก่ได้อย่างถูกต้องในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem) [1] เป็นการออกแบบเส้นทางเดินรถในแต่ละคันให้มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในเรื่องของค่าใช้จ่ายและข้อจำกัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ปริมาณความจุของรถบรรทุก เวลาในการเดินรถ เวลาในการขนส่งสินค้าขึ้นหรือลงจากรถ โดยที่ทราบปริมาณสินค้าและตำแหน่งของลูกค้าในแต่ละราย โดยมีข้อจำกัดว่าปริมาณสินค้าที่จัดส่งหรือไปรับต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งนั้นๆ และลูกค้าแต่ละรายจะได้รับหรือจ่ายสินค้าจากการขนส่งสินค้าจากคันเดียวหรือหลายคันก็ได้ รวมไปถึงเวลาในการวิ่งรถในแต่ละคันเพื่อส่งสินค้าให้ลูกค้านั้นมีจำกัดด้วย

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจำเป็นต้องทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่เนื่องจากการประมวลผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีการใช้เวลาในการประมวลผลที่นานและบางทีไม่สามารถประมวลผลได้เนื่องจากข้อจำกัดหน่วยความจำบนคอมพิวเตอร์ ดังนั้น Clarke-Wright [2] จึงได้เสนอวิธีการทางฮิวริสติกซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่าและได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด (Near Optimal Solution) ที่เรียกว่า Saving Algorithm ซึ่งใช้การคำนวณจากระยะทางการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าที่มีเพียงแห่งเดียวไปสู่ลูกค้าในแต่ละราย โดยใช้หลักการคือการเดินทางในหนึ่งรอบสามารถไปหาลูกค้าได้มากกว่าหนึ่งแห่งในรอบการวิ่งเดียว โดยพิจารณาจากเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากระยะทางที่มีความประหยัดสูงสุดของแต่ละคู่ของลูกค้าจากคู่ของลูกค้าที่มีความประหยัดมากไปยังน้อย ตามลำดับ

$$S_{ij} = D_{0i} + D_{j0} - D_{ij} \quad (1)$$

โดย S_{ij} = ระยะทางการเดินทางที่ประหยัดได้เมื่อวิ่งรถรอบเดียว

D_{0i} = ระยะทางการเดินทางจากคลังสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้า i

D_{j0} = ระยะทางการเดินทางจากลูกค้า j กลับมาถึงคลังสินค้า (Depot)

D_{ij} = ระยะทางการเดินทางจากลูกค้า i ไปยัง j

เมื่อ $i = 1,2,...,N$

$j = 1,2,...,N$

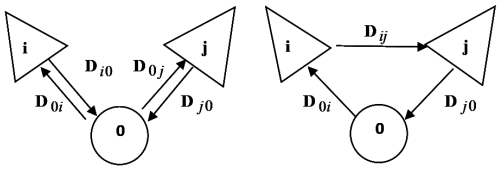
โดยที่ $i \neq j$

และ N = จำนวนลูกค้าทั้งหมด

โดยขั้นตอนในการจัดเส้นทางโดยใช้ Saving Algorithm จากรูปที่ 1 เริ่มต้นจากการสร้างตารางเมทริกซ์ระยะทางระหว่างลูกค้าทั้งหมด จากนั้นนำระยะทางของแต่ละคู่ของลูกค้ามาคำนวณเพื่อหาค่าความประหยัด แล้วจึงเริ่มทำการจัดเรียงเส้นทางโดยเรียงตามจากค่าความประหยัดที่ได้จากมากไปยังน้อยตามลำดับ จนไม่สามารถเพิ่มจำนวนลูกค้าเข้ามาในเส้นทางได้จากข้อจำกัด เช่น ความจุในการบรรทุกของรถ หรือข้อจำกัดด้านเวลาในการเดินทาง เป็นต้น จนได้เส้นทางครบทั้งหมด จึงหยุดกระบวนการจัดเส้นทาง

หลังจากนั้น Holland [3] จึงได้พัฒนาวิธีการทางเมตาฮิวริสติกที่ได้จำลองการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า Genetic Algorithm โดยใช้หลักการในการเลียนแบบการพัฒนาทางวิวัฒนาการ มาเป็นวิธีการในการคัดเลือกคำตอบที่ดี และมีการพัฒนาจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อที่จะให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยลักษณะของรุ่นพ่อแม่จะถูกถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกโดยใช้รูปแบบของโครโมโซม (Chromosome) และในโครโมโซมจะประกอบไปด้วยยีนส์ (Gene) ซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ เช่น สีผิว สีผม เป็นต้น และจากวิธีการ Evolutionary Algorithm สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงหรือสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้จะมีโอกาสที่จะสืบสายพันธุ์ต่อไป

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีผู้นำไปใช้ในการจัดเส้นทางอย่างแพร่หลาย ดังนี้ ศุภพัชร [4] ได้ศึกษาสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งนำมาแก้ปัญหาในการจัดเส้นทาง ที่มีจำนวนจุดเก็บจำนวนมาก และซับซ้อน ซึ่งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่นานมาก จึงได้มีการนำ Genetic Algorithm มาประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางเพื่อหาคำตอบภายในเวลาที่เหมาะสม โดยพารามิเตอร์ถูกกำหนดตามผลการทดลอง พบว่า



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบการเดินทางแบบสองรอบและหนึ่งรอบ

Genetic Algorithm มีการใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่า ในขณะที่ พศวีร์ [5] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางทั้งหมด 4 วิธี คือ วิธีที่ 1 Greedy Algorithm วิธีที่ 2 Saving Algorithm วิธีที่ 3 Nearest Algorithm และวิธีที่ 4 Genetic Algorithm ในการขนส่งสินค้าวัสดุก่อสร้างไปถึงลูกค้า เพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุด จากการเปรียบเทียบพบว่าวิธี Genetic Algorithm สามารถจัดเส้นทางการขนส่งได้สั้นที่สุด และอุบลรัตน์ [6] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยได้ประยุกต์ใช้ Saving Algorithm เพื่อหาคำตอบตั้งต้นและปรับปรุงคำตอบด้วย Genetic Algorithm โดยมีการออกแบบโครโมโซมประกอบด้วยข้อมูลคลังสินค้า ลำดับรอบการวิ่ง และลำดับของลูกค้าภายในลำดับรอบการวิ่งนั้น โดยพบว่า Genetic Algorithm สามารถหาระยะทางรวมได้น้อยลงกว่า Saving Algorithm โดยเฉลี่ย 20% และวันวิสา [7] ยังได้กล่าวถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ Genetic Algorithm ในการจัดลำดับการผลิตไว้โดยการทำ Weighted Mapping Crossover และ Reciprocal Exchange Mutation โดยทดลองค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และการมิวเทชัน (Pm) อยู่ในช่วง 0.7-0.9 และ 0.1-0.3 ตามลำดับ ว่าเป็นค่าที่พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของลักษณะปัญหา

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความเหมาะสมการนำเอาวิธีการทางฮิวริสติกทั้ง Saving Algorithm และ Genetic Algorithm มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเส้นทางการขนส่งของซากไก่ตายสำหรับโรงกำจัดซากไก่ให้มีประสิทธิภาพทั้งในด้านค่าใช้จ่ายและระยะทาง

3. ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินการ

ในส่วนของขั้นตอนการวิจัยจะประกอบไปด้วย การจัดการข้อมูลของงานวิจัย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

3.1 การจัดการข้อมูลของงานวิจัย

ในขั้นตอนเริ่มต้นผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีเงื่อนไขเวลาและความจุของรถมีจำกัด (Vehicle Routing Problem with Time Window and Capacitated Vehicle Constraints) โดยมีโรงกำจัดซากไก่ 1 แห่ง (Single Depot Vehicle Routing Problem) มีจำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับตามจุด (Node) ต่างๆ แล้วกลับมายังโรงกำจัดซากไก่ทั้งหมด 22 จุด แต่ละแห่งจะมีสินค้าเพียงอย่างเดียวคือ ซากและเศษซากไก่ จำนวนสินค้าที่ขนส่งในแต่ละวันมีปริมาณคงที่ ขนาดรถขนส่งมีเพียงขนาดเดียว คือ 12 ตัน โดยกำหนดกรอบเวลาในการขนส่งให้เสร็จสิ้นภายใน 24 ชั่วโมง ระยะเวลาเคลื่อนย้ายสินค้า 20 นาที/ตัน และกำหนดให้รถขนส่งมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 60 กม./ชม. โดยราคาค่าขนส่งมีการคิดแบบเป็นอัตราเหมาจ่ายแบบขั้นบันไดตามระยะทางที่ขนส่ง และในการกำหนดการหาจุดโรงกำจัดซากไก่และจุดที่ต้องไปรับสินค้าด้วย GPS และคำนวณหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละจุดโดยใช้วิธีการวัดจาก Google Map แล้วทำการบันทึกระยะทางลงในตารางเมทริกซ์ระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เมทริกซ์ระยะทางระหว่างจุดต่างๆ

Dist (KM)	Depot	1	2	3	4	…	22
Depot	0	131	166	181	233	…	190
1	131	0	67.1	128	115	…	137
2	166	67.1	0	120	151	…	128
3	181	128	120	0	236	…	16,6
4	233	115	151	236	0	…	250
…	…	…	…	…	…	0	…
22	190	137	128	16.6	250	…	0

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่จะเข้าสู่โรงกำจัดซากไก่ประกอบด้วยซากไก่และเศษซากไก่มีปริมาณรวมทั้งสิ้น 132.57 ตันต่อวัน โดยมีรายละเอียดของปริมาณในแต่ละจุด (ข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลปริมาณซากและเศษซากไก่ในแต่ละจุดเพื่อเข้าสู่โรงกำจัดซากไก่ในต่อวัน

จุด	ซากไก่จากฟาร์มต่อวัน (กก.)	เศษซาก 5% ที่จะเข้าโรงกำจัดซาก (กก.)	ปริมาณซากและเศษซากในแต่ละจุด ต่อวัน (กก.)
1	5567.01	1350	6.91
2	1855.67	450	2.31
3	10515.46	2550	13.06
4	3092.78	750	3.84
…	…	…	…
22	1546.39	375	1.92
			132.57

ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นอัตราเหมาจ่ายแบบขั้นบันไดตามระยะทางโดยใช้รถบรรทุกห้องเย็นขนาด 10 ล้อ ซึ่งสามารถบรรทุกสูงสุดได้ 12 ตัน (ข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตไก่เพื่อส่งออกไทย) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราค่าเหมาจ่ายของการขนส่ง

ระยะทางรวม (กม.)	ราคาเหมาจ่าย (บาท)
0-100	3,740
100.1-200	5,270
200.1-300	6,700
300.1-400	8,300
400.1-500	9,800
500.1-600	11,300
600.1-700	13,000
700.1-800	14,400
800.1-900	16,000
900.1-1000	17,500

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การกำหนดดัชนี

$i = \{0,1,2,...,N\}$ เป็นเซตของลูกค้าทั้งหมด N

$j = \{0,1,2,...,N\}$ เป็นเซตของลูกค้าทั้งหมด N

$k = \{0,1,2,...,N\}$ เป็นเซตของลูกค้าทั้งหมด N

$c = \{1,2,...,C\}$ เป็นเซตของรถบรรทุกทั้งหมด C

$r = \{1,2,...,R\}$ เป็นเซตของรอบการวิ่งทั้งหมด R

$e = \{1,2,...,E\}$ เป็นเซตของช่วงของราคารถทั้งหมด E

การกำหนดพารามิเตอร์

$dist_{ij}$ = ระยะทางจากลูกค้า i ไปลูกค้า j (กิโลเมตร)

t_{ij} = ระยะเวลาการเดินทางจากลูกค้า i ไปลูกค้า j (นาที)

W_i = น้ำหนักของสินค้าทั้งหมดที่ต้องรับจากลูกค้า i (ตัน)

Lt_j = ระยะเวลาขนสินค้าขึ้นรถ ณ ลูกค้า j (นาที/ตัน)

Cap_c = ความสามารถในการบรรทุกของรถ c (ตัน)

LimitTime = กรอบเวลาในการขนส่งสูงสุด (นาที)

M = Big M Parameter

$distedge_e$ = ช่วงระยะการเดินทางของรถมากที่สุดในช่วงระยะเหมาจ่ายแบบขั้นบันได e (กิโลเมตร)

$costedge_e$ = ค่าใช้จ่ายของระยะการเดินทางของรถในช่วงระยะเหมาจ่ายแบบขั้นบันได e (บาท)

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ij}^{cr} = 1 กรณีที่มีการขนส่งโดยรถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r โดยเดินทางจากลูกค้า i ไป j

X_{ij}^{cr} = 0 กรณีที่ไม่เกิดการขนส่งขึ้น

beg_{cr} = เวลาออกเดินทางจากโรงกำจัดซากไก่ของรถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r

end_{cr} = เวลาที่กลับมาถึงโรงกำจัดซากไก่ของรถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r

WV_{icr} = น้ำหนักของสินค้าจากลูกค้า i ที่บรรทุก โดยคันที่ c รอบการวิ่งที่ r

CWV_{ijcr} = น้ำหนักที่สะสมของสินค้าจากลูกค้า i ไปลูกค้า j โดยรถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r

u_{icr} = การป้องกันการเดินรถย่อย (Sub-Tour) $\in Z^+$

$zedge_{cre}$ = 1 กรณีที่รถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r วิ่งด้วยระยะทางภายในช่วงของราคารถ e

$zedge_{cre}$ = 0 กรณีที่รถคันที่ c รอบการวิ่งที่ r ไม่ได้วิ่งด้วยระยะทางภายในช่วงของราคารถ e

ซึ่งเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

สมการ (2) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการขนส่งเป็นอัตราเหมาจ่ายแบบขั้นบันไดตามระยะทางที่มีต้นทุนต่ำที่สุด ดังนี้

$$Minimize \sum_c \sum_r \sum_e \cos tedge_e * zedge_{cre} \qquad (2)$$

สมการ (3) เป็นเงื่อนไข แสดงน้ำหนักรวมที่รถทุกคันทุกรอบไปรับจากจุด i ต้องไม่น้อยกว่าน้ำหนักที่กำหนดของจุด i ดังนี้

$$\sum_r \sum_c WV_{icr} \geq W_i \qquad \forall_i \qquad (3)$$

สมการ (4) และ (5) เป็นเงื่อนไขบังคับให้รถวิ่งออกจากโรงกำจัดซากไก่ไปยังลูกค้าจุดต่างๆ แล้วกลับมาที่โรงกำจัดซากไก่เสมอ ไม่ให้มีการวิ่งวนโดยไม่ผ่านโรงกำจัดซากไก่ (ป้องกันการ Sub-Tour) ดังนี้

$$u_{icr} + u_{jcr} + n * X_{ij}^{cr} \leq n-1 \; \forall_i \forall_j \forall_c \forall_r ; i \neq 0, j \neq 0 \qquad (4)$$

$$\sum_{j=0}^{n} X_{ij}^{cr} - \sum_{k=0}^{n} X_{ki}^{cr} = 0 \qquad \forall_i \forall_c \forall_r \qquad (5)$$

สมการ (6) เป็นเงื่อนไขบังคับให้น้ำหนักที่บรรทุกออกจากที่จุดใดๆ จะเท่ากับน้ำหนักที่รถวิ่งเข้าจุดนั้นรวมกับน้ำหนักที่บรรทุกจากจุดนั้นเสมอ โดยมี Big M Parameter ใช้สำหรับบังคับในกรณีที่รถวิ่งออกจากจุดเริ่มต้นไปที่จุดเดียวแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้น ดังนี้

$$\sum_i CWV_{ijcr} + WV_{jcr} \le \sum_k CWV_{jkcr} + M * X_{j0}^{cr} \quad \forall_j \forall_c \forall_r ; i \ne j \ne k \tag{6}$$

สมการ (7) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้น้ำหนักที่รถบรรทุกในแต่ละรอบการวิ่งรับสินค้าไม่เกินขีดจำกัดในการบรรทุกของรถ ดังนี้

$$CWV_{ijcr} \le Cap_c \qquad \forall_i \forall_j \forall_c \forall_r \tag{7}$$

สมการ (8) เป็นเงื่อนไขที่น้ำหนักบรรทุก ณ จุดใดๆ ที่รับขึ้นรถไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ ดังนี้

$$WV_{jcr} \le Cap_c * \sum_i X_{ij}^{cr} \qquad \forall_j \forall_c \forall_r \tag{8}$$

สมการ (9) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้เวลาสิ้นสุดการวิ่งในแต่ละรอบเท่ากับเวลาเริ่มการวิ่งจากโรงกำจัดซากไก่รวมกับเวลาในการวิ่งระหว่างจุดภายในรอบการวิ่งและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสินค้าของที่จุดนั้นๆ ดังนี้

$$\sum_i \sum_j t_{ij} * X_{ij}^{cr} + \sum_j Lt_j * WV_{jcr} + beg_{cr} = end_{cr} \ \forall_c \forall_r \tag{9}$$

สมการ (10) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้เวลาเริ่มการวิ่งในรอบถัดไปของรถแต่ละคันมีค่าไม่ต่ำกว่าเวลาสิ้นสุดการวิ่งของรอบการวิ่งก่อนหน้า ดังนี้

$$beg_{c,r+1} \ge end_{cr} \quad \forall_c \forall_r \tag{10}$$

สมการ (11) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดไม่ให้มีการวิ่งข้ามรอบ เช่น วิ่งรอบที่ 2 ก่อนรอบที่ 1 เป็นต้น ดังนี้

$$\sum_j X_{0j}^{cr} \ge \sum_j X_{0j}^{c,r+1} \qquad \forall_c \forall_r \tag{11}$$

สมการ (12) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้เวลาสิ้นสุดการวิ่งของรถต้องมีค่าไม่เกินข้อกำหนดของเวลาที่อนุญาตให้วิ่งรถได้ ดังนี้

$$end_{cr} \le LimitTime \qquad \forall_c \forall_r \tag{12}$$

สมการ (13) และ (14) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ช่วงราคาแบบเหมาจ่ายของระยะทางในการขนส่งในแต่ละรอบการวิ่ง โดยการวิ่งในแต่ละรอบจะอยู่ในช่วงราคาช่วงใดช่วงหนึ่งเท่านั้น ดังนี้

$$\sum_i \sum_j dist_{ij} * X_{ij}^{cr} \le \sum_e distedge_e * zedge_{cre} \quad \forall_c \forall_r \tag{13}$$

$$\sum_e zedge_{cre} \le 1 \qquad \forall_c \forall_r \tag{14}$$

ในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ทำการออกแบบด้วยการใช้โปรแกรม CPLEX โดยผลลัพธ์จากการจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากแบบจำลองโดยรับทั้งหมด 5 จุด

รอบการวิ่งที่	เส้นทาง	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)
1	0->3->0	8,300	362
2	0->2->4->5->1->3->0	14,400	788.7
3	0->1->0	6,700	262
		29,400	1,412.7

เมื่อขยายปัญหาให้มีจำนวนจุดมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นและใช้หน่วยความจำจนไม่เพียงพอในการคำนวณ จึงไม่สามารถหาคำตอบของการเดินทางไปรับสินค้าตั้งแต่ 6 จุดขึ้นไปได้ ตัวอย่างการเดินทาง

ไปรับสินค้าจาก 5 จุด ได้คำตอบที่ดีที่สุดคือ ค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายทั้งหมด 29,400 บาทต่อวัน ใช้ระยะทางทั้งหมด 1,412.7 กม.ต่อวัน โดยใช้เวลาประมวลผลทั้งหมด 19.15 นาที

3.3 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

จากปัญหาข้อจำกัดหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จึงจำเป็นต้องนำวิธีทางฮิวริสติกมาประยุกต์ในการหาคำตอบโดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบตั้งต้นด้วย Saving Algorithm สำหรับในระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบตั้งต้นที่ได้จากระยะแรกด้วย Genetic Algorithm ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การสร้างคำตอบตั้งต้น

การสร้างคำตอบตั้งต้น (Initial Solution) ที่ดีทำให้มีโอกาสได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ Saving Algorithm ในการสร้างเส้นทางตั้งต้น เนื่องจาก ปฏิพัทธ์ [8] มีการนำ Saving Algorithm มาใช้ในการจัดเส้นทาง ซึ่งให้ผลแตกต่างจากค่าคำตอบที่ดีที่สุดไม่เกิน 5% ทำให้เราเลือก Saving Algorithm เป็นคำตอบตั้งต้น

ขั้นตอนของ Saving Algorithm มีดังนี้

1. คำนวณระยะห่างของแต่ละจุด
2. คำนวณหาค่าความประหยัด
3. ทำการจัดเรียงรอบการวิ่งโดยเรียงตามจากค่าความประหยัดที่ได้จากมากไปน้อยตามลำดับ
4. ถ้าจำนวนสินค้าทั้งหมดของทั้งสองเส้นทางไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถและไม่เกินกรอบเวลาในการขนส่ง รอบการวิ่งทั้งสองจะถูกนำมารวมเป็นรอบการวิ่งเดียวกัน
5. ทำวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนครบทุกค่าความประหยัด จึงหยุดกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างคำตอบตั้งต้นโดยวิธี Saving Algorithm โดยทำการออกแบบด้วยการใช้ JAVA Script ตัวอย่าง 5 จุด โดยมีผลลัพธ์จากการประมวลผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของ Saving Algorithm โดยรับทั้งหมด 5 จุด

รอบการวิ่งที่	เส้นทาง	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)
1	0->4->5->0	11,300	513.7
2	0->2->1->3->0	11,300	542.1
3	0->3->0	8,300	362
		30,900	1,417.8

จากผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Saving Algorithm และวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดพบว่าการไปรับสินค้าทั้งหมด 5 จุด ใน Saving Algorithm มีค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายและระยะทางมากกว่า 5.1% และ 0.361% ตามลำดับ แสดงว่า Saving Algorithm มีประสิทธิภาพในการประมวลผลจึงเป็นคำตอบตั้งต้นที่มีคุณภาพ

จากนั้นจึงหาผลลัพธ์สำหรับการไปรับสินค้าทั้งหมด 22 จุด เพื่อนำไปเป็นคำตอบตั้งต้น พบว่าใช้ค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายทั้งหมด 101,850 บาทต่อวัน ใช้ระยะทางทั้งหมด 4,015.9 กม.ต่อวัน โดยใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วเพียง 1 วินาที

3.3.2 การปรับปรุงคำตอบตั้งต้น

หลังจากที่ได้เส้นทางซึ่งเป็นคำตอบตั้งต้นโดย Saving Algorithm ในระยะที่สองผู้วิจัยทำการปรับปรุงคำตอบโดย Genetic Algorithm

ขั้นตอนของ Genetic Algorithm มีดังนี้

1. สร้างโครโมโซมแทนคำตอบจากคำตอบตั้งต้นเพื่อใช้เป็นโครโมโซมพ่อและแม่ตั้งต้นใน Genetic Algorithm โดยมีการจัดเซตของแต่ละยีนส์เป็น ลำดับรอบการวิ่ง ลำดับของลูกค้าภายในลำดับรอบการวิ่งนั้น
2. ทำการสลับยีนส์ภายในแต่ละลำดับรอบการวิ่งเพื่อหาโครโมโซมตั้งต้นใหม่เพิ่มอีก 14 โครโมโซม รวมเป็น 15 โครโมโซม แล้วทำการรวมโครโมโซมตั้งต้นเดิมและใหม่เพื่อนำมาเป็นประชากรตั้งต้น
3. พิจารณาค่าความเหมาะสม (Fitness) ของประชากรตั้งต้น

4. ทำการคัดเลือกสตริงโดยการใช้การสร้างวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel) โดยหาค่าผลรวมของ Fitness ของสตริงคำตอบทั้งหมด แล้วจึงหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection: p_i) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว

5. ทำการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธีการ Binary Tournament Selection เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเข้าสู่ Mating Pool

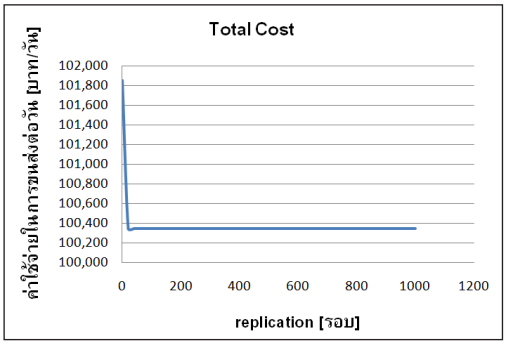
6. เข้าสู่ Genetic Algorithm โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Genetic Algorithm สำหรับการจัดเส้นทางของโรงกำจัดซากไก่

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
วิธีการครอสโอเวอร์	Weighted Mapping Crossover	[7]
วิธีการมิวเทชัน	Reciprocal Exchange Mulation	[1]
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) มิวเทชัน (Pm)	set 1: Pc = 0.7, Pm = 0.1	การทดลอง
	set 2: Pc = 0.7, Pm = 0.2	
	set 3: Pc = 0.7, Pm = 0.3	
	set 4: Pc = 0.8, Pm = 0.1	
	set 5: Pc = 0.8, Pm = 0.2	
	set 6: Pc = 0.8, Pm = 0.3	
	set 7: Pc = 0.9, Pm = 0.1	
	set 8: Pc = 0.9, Pm = 0.2	
	set 9: Pc = 0.9, Pm = 0.3	
จำนวนรอบการทดสอบ (Replication)	20 รอบ	การทดลอง

7. ทำการทดลองเพื่อหาจำนวนรอบของการประมวลผลที่เหมาะสม โดยเริ่มต้นทดสอบที่ 20 รอบ จนถึง 1000 รอบ โดยขยับขึ้นครั้งละ 20 รอบ และสุ่มใช้ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และมิวเทชัน (Pm) ที่ 0.7, 0.3 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่าผลการทดลองการหาจำนวนรอบของการประมวลผลที่เหมาะสมพบว่าค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรวมในการประมวลผลที่ 20 รอบ จนถึง 1000 รอบ ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันคือ 100,350 บาท ดังนั้นงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 แสดงผลของราคาค่าขนส่งแบบเหมาจ่ายรวมต่อจำนวนรอบการประมวลผล

จึงกำหนดจำนวนรอบการทำงานที่ 20 รอบ ในทุกๆ การทดลอง

8. ทำการทดลองความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และมิวเทชัน (Pm) ที่เหมาะสมในงานวิจัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 9 เซต โดยในแต่ละเซตมีการเก็บข้อมูลของค่าใช้จ่ายรวมแบบเหมาจ่ายรวม ระยะทางรวมและเวลาในการประมวลผลทั้งหมด 2 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลองความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และมิวเทชัน (Pm)

ลำดับเซต	Pc / Pm	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อวัน)	ระยะทาง (กม.ต่อวัน)	CPU Time (s)
1	0.7 / 0.1	100,350	3,996.9	1.90
		100,350	3,996.9	1.92
2	0.7 / 0.2	100,350	3,996.9	1.87
		100,350	3,996.9	1.89
3	0.7 / 0.3	100,350	3,996.9	1.86
		100,350	3,996.9	1.88
4	0.8 / 0.1	100,350	3,996.9	1.78
		100,350	3,996.9	1.79
5	0.8 / 0.2	100,350	3,996.9	1.82
		100,350	3,996.9	1.81
6	0.8 / 0.3	100,350	3,996.9	1.88
		100,350	3,996.9	1.87
7	0.9 / 0.1	100,350	3,996.9	1.92
		100,350	3,996.9	1.94
8	0.9 / 0.2	100,350	3,996.9	1.95
		100,350	3,996.9	1.93
9	0.9 / 0.3	100,350	3,996.9	1.97
		100,350	3,996.9	1.96

จากตารางที่ 7 คำตอบที่ได้จากผลการทดลองที่เก็บได้จากการประมวลผลทั้ง 18 ครั้ง พบว่าได้ค่าเท่ากัน คือมีค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรวม 100,350 บาท และมีระยะทางรวม 3,996.9 กม.แตกต่างกันเพียงเวลาในการประมวลผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสรุปในเบื้องต้นได้ว่าค่าใช้จ่ายรวมแบบเหมาจ่ายรวมและระยะทางรวมของในแต่ละเซตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการประมวลผลของแต่ละเซตในการเลือก โดยเซตที่ 4 Pc=0.8, Pm=0.1 ใช้เวลาในการประมวลผลเร็วที่สุด คือ 1.78 วินาที ดังนั้นจึงเลือกใช้พารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่ 0.8 และมิวเทชันที่ 0.1

9. ทำการปรับปรุงคำตอบตั้งต้นโดย Genetic Algorithm ตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการทดลองข้างต้น

4. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงคำตอบตั้งต้นโดย Genetic Algorithm โดยทำการออกแบบด้วยการใช้ JAVA Script และทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Core (TM) 2 Duo Processor P8600 2.40 Ghz, 3.0 GB of RAM บน Windows XP โดยมีผลลัพธ์จากการประมวลผล ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของ Genetic Algorithm โดยรับทั้งหมด 22 จุด

รอบการวิ่งที่	เส้นทาง	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)
1	0->13->11->0	8,300	303.8
2	0->18->0	3,740	29
3	0->16->5->0	9,800	455.4
4	0->10->9->0	8,300	320.1
5	0->14->0	8,300	382
6	0->6->4->3->	13,000	667.7
7	0->8->0	8,300	324
8	0->1->12->0	6,700	250
9	0->19->0	5,270	109.6
10	0->15->0	5,270	184.2
11	0->20->21->0	5,270	117.9
12	0->2->7->17->22->0	9,800	491.6
13	0->3->0	8,300	362
		100,350	3,996.90

จากผลลัพธ์จาก Genetic Algorithm จะเห็นได้ว่าการรับทั้งหมด 22 จุด จะใช้รถทั้งหมด 13 รอบ โดยใช้ค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายทั้งหมด 100,350 บาทต่อวัน ใช้ระยะทางรวมทั้งหมด 3,996.90 กม.ต่อวัน โดยใช้เวลาประมวลผลทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วเพียง 1.78 วินาที

5. อภิปรายผลและสรุป

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างเส้นทางการขนส่งของโรงกำจัดซากไก่ โดยเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด แต่ด้วยปัญหาของหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้เมื่อเพิ่มจำนวนจุดของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น จึงประยุกต์ใช้วิธีการทางฮิวริสติกโดยวิธี Saving Algorithm เพื่อหาคำตอบตั้งต้นของเส้นทางพบว่าได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด และพัฒนาคำตอบตั้งต้นเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีกว่าโดยวิธี Genetic Algorithm โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก Genetic Algorithm เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Saving Algorithm สามารถลดค่าใช้จ่ายแบบเหมาจ่ายรวมและระยะทางรวมทั้งหมดได้ 1,500 บาทต่อวัน หรือ 1.47% และ 19 กม.ต่อวัน หรือ 0.47% ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการประมวลผลไม่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Keenan, “Using a GIS as a DSS generator,” Working paper MIS, Graduate School of Business, University College Dublin, pp. 9-95, 1997.

[2] G. Clarke, and J. V. Wright, “Scheduling of Vehicle from a Central Depot to a Number of Delivery Point,” *Operations Research*, pp. 568-581, 1964.

[3] J. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: Ann Arbor*, University of Michigan Press, 1975.

[4] S. Plungkeaw, “Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with manual material handing in household waste collection,” Thesis of Industrial

Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2010 (in Thai).

[5] P. Triviset, et al., "A Transportation Management Model Using the Application of Genetic Algorithms (GAs): A Case Study of Construction Material Company," *Rajabhat Maha Sarakham University Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 131-138, 2011 (in Thai).

[6] U. Theantanakhom, "Heuristic Approach for Multi-depot Vehicle Routing Problem," Thesis of Industrial Engineering, Kasetsart University, 2008 (in Thai).

[7] W. Naruemitwong and P. Chutima, "Multi-Objective Sequencing Problem on Mixed-Model Two-sided Assembly Lines under Learning Effect," *The Journal of KMUTNB*, vol. 23, no. 1, pp. 115-128, 2013 (in Thai).

[8] P. Hongsuwan, W. Chantaraksa, and S. Chuaphisutkul, "Study to optimize the routes of water transport of Samut Songkram Province," *Industrial Engineering Network 2013* (in Thai).