

การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งน้ำแข็งเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งโดย
วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค

The improvement of ice transportation routing for minimizing the
transportation cost by particle swarm optimization

อริวัฒน์ บุญมี¹, วรญา เนืองมัจฉา^{1*}, อัมภิกา บุญมี²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

²สาขาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

E-mail: fengwyn@ku.ac.th*

Atiwat Boonmee¹, Woraya Neungmacha^{1*}, Ampika Boonmee²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart

University, Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Nakornpathom, 73140

²Department of Basic Science and Physical Education, Faculty of Science at Si Racha,

Kasetsart University, Siracha Campus, Siracha, Chon Buri, 20110

E-mail: fengwyn@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็ง ซึ่งถือเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความซับซ้อนสูงปัญหาหนึ่ง เนื่องจากข้อจำกัดด้านคุณภาพของสินค้าประเภทน้ำแข็งที่หากมีการใช้เวลาในการขนส่งมากเกินไปจะส่งผลน้ำแข็งเกิดการละลายและรวมตัวเป็นก้อนเดียวกัน ส่งผลให้ต้องมีข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ภายใต้กรอบเวลาที่ลูกค้าต้องการ รวมไปถึงความหลากหลายของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งน้ำแข็ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาแนวทางในการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็งโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคทางเมตะฮิวริสติกส์ที่เรียกว่า วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค ซึ่งระหว่างกระบวนการค้นหาตอบผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่ เพื่อช่วยให้สามารถเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีเป้าหมาย คือเพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย 1) ต้นทุนค่าจ้างคนขับรถบรรทุก 2) ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำแข็ง และ 3) ค่าปรับในกรณีที่มีการส่งสินค้าล่าช้า นอกจากนี้เพื่อป้องกันการติดอยู่ในคำตอบเฉพาะถิ่นจึงได้มีการนำหลักการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่มาใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการหาคำตอบที่เหมาะสมในปรภูมิคำตอบ ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาคไม่เพียงแต่จะช่วยให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีสถานการณ์จริงและวิธีทางเมตะฮิวริสติกส์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังวิธีการที่นำเสนอยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการอุตสาหกรรมอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันให้มีศักยภาพในการแข่งขันได้อีกด้วย

คำหลัก เมตะฮิวริสติกส์, วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค, การขนส่งน้ำแข็ง, ต้นทุนการขนส่ง

Abstract

This paper attempts to improve the efficiency of ice transportation which is the one of difficult and challenging problem in the field of vehicle routing problems (VRP). Since the restriction of the ice quality if there is too much time spending in transportation would result in the melting of ice, the maximum duration of a route with soft delivery time window and the variant of vehicles with different capacity constraints must be considered. Therefore, the purpose of this paper is to provide the decision support tool for the ice transportation problem, based on optimization techniques. A well-known meta-heuristic called Particle Swarm Optimization (PSO) is brought to develop an efficient algorithm. The objective function is the minimization of the total cost which consists of 1) a fixed cost of driver's labor, 2) fuel cost of the truck and 3) soft time window penalties. In order to avoid being trapped into a local optimum, a re-initialization strategy is used to improve the possibility of finding an optimal solution in the searching space. The results obtained from this study show that the proposed PSO is not only useful for reducing the transportation cost when compared to the firm's current practice and other meta-heuristic techniques for all problem instances. Furthermore, the heuristic models developed in this study should prove beneficial to other, similar businesses in Thailand and other interested parties.

Keywords: Metaheuristics, Particle swarm optimization, Ice transportation, Transportation cost

1. บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 18-34 องศาเซลเซียส โดยในปี พ.ศ. 2558 พบว่าในช่วงเดือนเมษายน ประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงถึง 43.1 องศาเซลเซียส [1] จากสภาวะดังกล่าวส่งผลให้ปัจจุบันมีการเติบโตของโรงงานผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อรองรับความต้องการสินค้าที่เพิ่มขึ้นอัน โดยในปี 2553 ประเทศไทยมีผู้ประกอบการที่ดำเนินธุรกิจผู้ผลิตน้ำแข็งอยู่ 1,857 ราย ส่วนใหญ่เป็นผู้ประกอบการอยู่ในภาคกลาง ตอนล่าง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน และภาคใต้ [2] อย่างไรก็ตาม ในช่วงระยะหลังจะเห็นว่ามีผู้ลงทุนใหม่เข้ามาลงทุนในอุตสาหกรรมนี้จำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการแข่งขันด้านราคาอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ผู้ประกอบการต่างมองหากลยุทธ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจให้สามารถอยู่รอดต่อไปได้ โดยปัจจุบันการดำเนินงานของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็งจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีต้นทุนในการใช้พลังงานที่สูงมาก อันเนื่องมาจากระบบที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งและการกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในพื้นที่ต่างๆ ตามกรอบ

ของเวลาและคุณภาพของสินค้าที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งในปัจจุบันต้นทุนการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าคิดเป็นสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับต้นทุนอย่างอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากปัจจัยราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากสถานการณ์การสั่นไหวไม่มีการวางแผนการจัดส่ง ทำให้มีการขนส่งทับซ้อนเส้นทางของพาหนะขนส่งทำให้ระยะทางในการขนส่งรวมค่อนข้างสูงเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายเพื่อการขนส่งสินค้ามากขึ้น รวมทั้งไม่มีการวัดประสิทธิภาพในการจัดส่งหรือวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างรายได้ของแต่ละเส้นทาง ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นปัญหาที่ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น

ดังนั้นในสภาวะการแข่งขันธุรกิจน้ำแข็งที่รุนแรงมากขึ้นทั้งจากปัจจัยภายในและภายนอก ทำให้ผู้ประกอบการต่างต้องหามาตรการในการลดต้นทุนการดำเนินการให้ต่ำที่สุด เช่นเดียวกับโรงงานกรณีศึกษาที่เป็นโรงงานผลิตน้ำดื่มและน้ำแข็งที่มีที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ก็กำลังประสบปัญหาการแบกรับต้นทุนที่สูง ประกอบกับมีคู่แข่งทางธุรกิจเกิดขึ้นใหม่จำนวนมาก จึงเป็นเหตุผลที่ผู้ประกอบการมีความต้องการแนวทางสนับสนุนการตัดสินใจที่จะสามารถเข้ามาช่วยลดต้นทุนดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางในการตัดสินใจเพื่อ

แก้ปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็ง เพื่อลดต้นทุนรวมในการขนส่งให้ต่ำลง รวมทั้งช่วยในด้านการตอบสนองต่อความพึงพอใจของลูกค้าที่สามารถส่งน้ำแข็งไปยังแหล่งความต้องการต่างๆ ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดและประเภทของรถที่มีความหลากหลาย โดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย 1) ต้นทุนค่าจ้างคนขับรถบรรทุก 2) ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำแข็ง และ 3) ค่าปรับในกรณีที่มีการส่งสินค้าล่าช้า ซึ่งผลลัพธ์และแนวทางการตัดสินใจนี้จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถตัดสินใจในการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่งน้ำแข็งได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งนำไปสู่การต่อยอดในการขนส่งสินค้าประเภทอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน อย่างการขนส่งอาหาร เป็นต้น

2. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งของพาหนะเพื่อบริการลูกค้า ทั้งที่ต้องการพาหนะมาส่งสินค้า และต้องการให้พาหนะมารับสินค้า หรือต้องการทั้งให้พาหนะมารับและมาส่งสินค้า เช่น การขนส่งและกระจายสินค้าให้แก่ลูกค้า การขนส่งขยะ การขนส่งมูลชน และการจัดเส้นทางเพื่อพบลูกค้าของพนักงานขาย เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งมีค่าต่ำที่สุด โดยต้นทุนในการขนส่งอาจจะประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง ค่าจ้างคนขับ ค่าเช่าใช้พาหนะ หรืออื่นๆ เป็นต้น ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนี้จัดเป็นปัญหาประเภท เอ็นพีแบบยาก ซึ่งการหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแน่นอน จะกระทำได้ยากโดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ และมีเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น โดยเทคนิคที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ได้มีนักวิจัยจำนวนมากทำการพัฒนาเทคนิคต่างๆ สำหรับใช้ในการแก้ปัญหา เช่น วิธี อัลกอริทึมตะกอล วิธี Dijkstra's algorithm หรือวิธี อัลกอริทึมแบบประหยัด เป็นต้น ซึ่งมีนักวิจัยอยู่จำนวนไม่น้อยที่ได้นำวิธีการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทางฮิวริสติกส์ไปประยุกต์ใช้สำหรับปัญหาการขนส่งใน

ด้านต่างๆ เช่น ในงานวิจัยเพื่อหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก ของ กวีศรีเมือง [3] หรืองานวิจัยด้านการจัดการทางโลจิสติกส์เกษตร ของ Boonmee et al. [4] เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีที่นำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานั้นจะสามารถนำไปใช้งานได้ดีเฉพาะบางปัญหา และเมื่อทดลองใช้กับปัญหาอื่นที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกันรวมไปถึงเมื่อนำไปพิจารณากับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้มีค่าต่ำลง

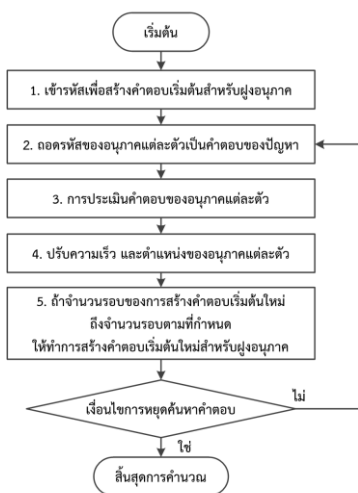
ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเมตะฮิวริสติกส์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบที่ดี สำหรับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อน โดยในการแก้ปัญหาวิธีการเมตะฮิวริสติกส์มักจะถูกใช้ในการค้นหาคำตอบภายใต้การหาคำตอบที่ขึ้นอยู่กับเลขสุ่ม เพื่อให้เกิดการค้นหาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ โดยจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง เช่น งานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการขนส่งที่มีจุดประสงค์เพื่อจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ของ Venkatesan et al. [5] หรือในงานวิจัยของ Dechamapai et al. [6] เพื่อแก้ปัญหาการขนส่งภายใต้เงื่อนไขระบบการขนส่งรูปแบบการรับและส่งสินค้า และกรอบเวลาในการขนส่งสูงสุดที่กำหนดไว้ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งน้ำแข็งที่มีนักวิจัยได้นำเสนอมาในช่วงต้นนั้น ยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากยังขาดการพิจารณาเงื่อนไขด้านคุณภาพของสินค้าประเภทน้ำแข็งที่หากมีการใช้เวลาในการขนส่งมากเกินไปจะส่งผลน้ำแข็งเกิดการละลายและรวมตัวเป็นก้อนเดียวกัน รวมไปถึงความหลากหลายของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งน้ำแข็ง เป็นต้น

3. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็ง

ในการพัฒนาระบบสนับสนุนเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจสำหรับแก้ปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็ง ได้ทำการประยุกต์ใช้ PSO ซึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย James Kennedy และ Russell Eberhart ในปี 1995 [7] เป็นวิธีการค้นหา

คำตอบโดยอาศัยกลุ่มประชากรที่มีการเปลี่ยนแปลง
ธรรมชาติในการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว ที่มี
กลไกในการค้นหาไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่อยู่หรืออาหาร
ด้วยการเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มฝูง โดยภายในกลุ่มหรือ
ฝูงจะมีกลไกการเรียนรู้เพื่อค้นหาอาหารด้วยกันทั้งที่
อาศัยประสบการณ์ส่วนตัวของนกหรือปลาแต่ละตัว
รวมทั้งการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างสมาชิกภายใน
กลุ่ม [8] โดยมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างคำตอบ
เริ่มต้นใหม่ (Re-initialization) เพื่อช่วยให้สามารถ
เข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุด ได้ซึ่งฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่
นำเสนอ สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมวิธีฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่นำเสนอ สำหรับ
ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำแข็ง

วิธีอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง
การขนส่งน้ำแข็งนั้น มีเงื่อนไขในการหยุดการคำนวณ
เมื่อเวลาในการคำนวณนั้นครบตามจำนวนที่กำหนด
ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การ
เข้ารหัสเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น 2) การถอดรหัสของ
อนุภาคเพื่อเป็นคำตอบของปัญหา 3) การประเมิน
ค่าของอนุภาคแต่ละตัว 4) การปรับความเร็วและ
ตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว และ 5) การสร้าง
คำตอบเริ่มต้นใหม่ เพื่อนำไปสู่การจัดเส้นทาง
ขนส่งน้ำแข็งที่มีต้นทุนรวมในการขนส่งให้ต่ำที่สุด
ภายใต้การตอบสนองต่อความพึงพอใจของลูกค้าที่
สามารถส่งน้ำแข็งไปยังแหล่งความต้องการต่างๆ
ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการขนส่งและกรอบ

เวลาที่ลูกค้าต้องการ และประเภทของรถที่มีความ
หลากหลาย โดยมีสมการวัตถุประสงค์สมการ (1)
สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$\text{Total Cost} = \left(\sum_k a_k \times x_k \right) + \left(\sum_i \sum_{j \neq i} \sum_k b_k \times d_{i,j} \times y_{i,j,k} \right) + \left(\sum_i z_i \times (t_i^a - t_i^u) \times p \right) \quad (1)$$

โดยที่

i, j = ดัชนีของโรงงานหรือลูกค้า: $i, j = 1, 2, \dots, I$

k = ดัชนีของประเภทรถขนส่งน้ำแข็ง: $k = 1, 2, \dots, K$

$d_{i,j}$ = ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j [กิโลเมตร]

a_k = ต้นทุนค่าจ้างคนขับ สำหรับรถขนส่งน้ำแข็งประเภท k [บาท/คัน]

b_k = ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำแข็ง สำหรับรถขนส่งน้ำแข็งประเภท k [บาท/กิโลเมตร]

p = ต้นทุนค่าปรับในกรณีที่มีการส่งสินค้าล่าช้าให้แก่ลูกค้า [บาท/นาที]

t_i^a = เวลาที่รถขนส่งน้ำแข็งมาส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า i

t_i^u = เวลาขอบเขตบนในการต้องการรับสินค้าของลูกค้า i

x_k = จำนวนรถขนส่งน้ำแข็งประเภท k ที่ใช้ในการขนส่งน้ำแข็ง (ตัวแปรตัดสินใจ)

$y_{i,j,k}$ = 1 ถ้ารถขนส่งน้ำแข็งมีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j ด้วยรถขนส่งน้ำแข็งประเภท k
= 0 อื่นๆ (ตัวแปรตัดสินใจ)

z_i = 1 ถ้ารถขนส่งน้ำแข็งมาส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า i ล่าช้าเกินกว่าเวลาขอบเขตบนที่ลูกค้ายอมรับได้
= 0 อื่นๆ (ตัวแปรตัดสินใจ)

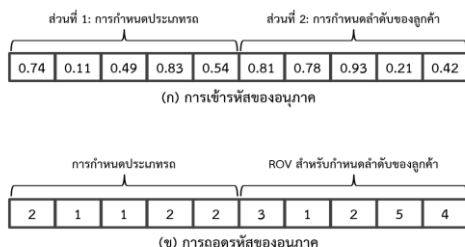
3.1 การเข้ารหัสเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น

การสร้างคำตอบเริ่มต้นของปัญหานี้ วิธีในการเข้ารหัสสำหรับฝูงอนุภาคประกอบด้วย 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 เข้ารหัสโดยใช้ขั้นตอนวิธีการเพื่อน

บ้านใกล้ที่สุด จำนวนร้อยละ 10 ของอนุภาคทั้งหมด และรูปแบบที่ 2 เข้ารหัสโดยใช้วิธีการสุ่มตำแหน่งอนุภาคในแต่ละมิติด้วยการแจกแจงแบบสม่ำเสมอระหว่าง $[0,1]$ จำนวนร้อยละ 90 ของอนุภาคทั้งหมด ซึ่งการเข้ารหัสแต่ละรูปแบบจะแบ่งอนุภาคออกเป็น 2 ส่วน สำหรับส่วนแรกเป็นการเข้ารหัสเพื่อกำหนดประเภทของรถขนส่งน้ำแข็งสำหรับแต่ละอนุภาค และส่วนที่สองจะเป็นการเข้ารหัสเพื่อกำหนดลำดับในการจัดส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้าแต่ละราย ในการกำหนดขนาดมิติของอนุภาคในแต่ละส่วนจะมีขนาดมิติเท่ากับจำนวนลูกค้าที่ต้องไปจัดส่งน้ำแข็งให้ทั้งหมด โดยตัวอย่างการเข้ารหัสแสดงดังรูปที่ 2(ก)

3.2 การถอดรหัสของอนุภาคเพื่อเป็นคำตอบของปัญหา

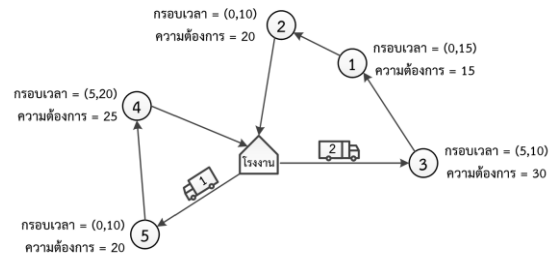
จากขั้นตอนการเข้ารหัสข้างต้น จะเป็นการเข้ารหัสที่ไม่สามารถบอกถึงผลเฉลยได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการถอดรหัสของอนุภาคเพื่อให้ได้คำตอบของปัญหา โดยการถอดรหัสของอนุภาคจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนที่กำหนดประเภทของรถขนส่งน้ำแข็ง จะทำการถอดรหัสโดยการพิจารณาจากประเภทรถขนส่งน้ำแข็งทั้งหมดนามากำหนดอัตราส่วนความน่าจะเป็นในการเลือกประเภทรถแต่ละประเภทอย่างเท่าเทียมกัน 2) ส่วนที่กำหนดลำดับในการจัดส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้าแต่ละราย จะทำการถอดรหัสโดยใช้หลักการให้ลำดับความสำคัญตามค่าสุ่มที่ได้ โดยตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดจะถูกจัดเรียงลำดับลูกค้าให้มีการจัดส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้ารายนั้นก่อน โดยตัวอย่างการถอดรหัสเพื่อเป็นคำตอบของปัญหาแสดงดังรูปที่ 2 (ข)



รูปที่ 2 ตัวอย่างการเข้ารหัสและถอดรหัสของอนุภาคสำหรับปัญหาที่มีลูกค้า 5 ราย และรถขนส่งน้ำแข็ง 2 ประเภท

หลังจากขั้นตอนการถอดรหัสอนุภาคในแต่ละ

ส่วนแล้ว ในการกำหนดผลเฉลยของปัญหาสำหรับแต่ละอนุภาคจะได้มาจากการพิจารณาข้อมูลในส่วนของ 1) ปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย 2) รายละเอียดการใช้งานของรถแต่ละประเภท 3) เวลาในการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง และ 4) ข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ในการขนส่งและกรอบเวลาที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งจะนำไปสู่การจัดสรรรถขนส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้าแต่ละราย แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างคำตอบของปัญหาที่ได้จากการถอดรหัสของอนุภาค

3.3 การประเมินคำตอบของอนุภาคแต่ละตัว

ในการประเมินคำตอบของอนุภาคแต่ละตัว โดยการถอดรหัสด้วยวิธีที่กล่าวในขั้นตอนที่ 3.2 การหาค่าวัตถุประสงค์เป้าหมายของอนุภาคแต่ละตัวจะได้จากการคำนวณต้นทุนรวมในการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งที่เกิดขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 1) ต้นทุนค่าจ้างคนขับรถบรรทุก 2) ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการขนส่งน้ำแข็ง และ 3) ค่าปรับในกรณีที่มีการส่งสินค้าล่าช้า ดังสมการที่ (1)

3.4 การปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว

การปรับความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัวจะกำหนดค่าน้ำหนักความเฉื่อยในแต่ละรอบการคำนวณ โดยการปรับค่าน้ำหนักความเฉื่อยออฟเทคค่าน้ำหนักในลักษณะการลดลงเชิงเส้น ดังสมการที่ (2) และสามารถคำนวณหาความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวในรอบถัดไปได้จากสมการที่ (3) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่ 1) ส่วนของค่าน้ำหนักความเฉื่อยในรอบปัจจุบัน 2) ส่วนของผลต่างของตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ดีที่สุดในปัจจุบันของแต่ละอนุภาค ($pbest$) และ 3) ส่วนของผลต่างของตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง ($gbest$) เพื่อนำไปสู่การ

คำนวณตำแหน่งใหม่ของอนุภาคในรอบถัดไปโดยใช้สมการที่ (4)

$$w(\tau) = w(C^{\max}) + \frac{C - C^{\max}}{1 - C^{\max}} (w(1) - 1(C^{\max})) \quad (2)$$

$$\omega_h(\tau+1) = w(\tau)\omega_h(\tau) + c_p u(\psi_{th} - \theta_h(\tau)) + c_g u(\psi_{gh} - \theta_h(\tau)) \quad (3)$$

$$\theta_h(\tau+1) = \theta_h(\tau) + \omega_h(\tau+1) \quad (4)$$

ในกรณีที่ตำแหน่งของอนุภาคในแต่ละมิติมีค่าต่ำกว่าค่าขอบเขตล่าง ($\theta^{\min}$) หรือสูงกว่าค่าขอบเขตบน ($\theta^{\max}$) ดังนั้นจึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคในการปรับเรียบข้อมูล (Normalization) เพื่อปรับตำแหน่งของมิติสำหรับอนุภาคนั้นๆ ให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่ยอมรับได้

3.5 การสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่

ในระหว่างกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีที่นำเสนอ คำตอบที่ได้อาจติดอยู่กับค่าเหมาะสมเฉพาะที่แบบวงแคบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่ เพื่อช่วยให้สามารถเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับขั้นตอนนี้จะดำเนินการก็ต่อเมื่อเงื่อนไขของจำนวนรอบของการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่ถึงเกณฑ์ตามที่กำหนด ซึ่งการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่จะใช้วิธีสุ่มตำแหน่งอนุภาคในแต่ละมิติด้วยการแจกแจงแบบสม่ำเสมอระหว่าง [0,1] ทั้งสองส่วนของอนุภาคสำหรับทุกอนุภาค

4. ผลการทดลอง

การวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้การร้อยละการปรับปรุงคำตอบของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากสถานการณ์จริง (Relative improvement: RI) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) และสามารถสรุปตารางการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีสถานการณ์จริงเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาในแต่ละวิธี ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบ

ประสิทธิภาพของวิธีสถานการณ์จริงเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาในแต่ละวิธี

ปัญหาที่	วิธีสถานการณ์จริง	วิธี GA			วิธีการที่นำเสนอ (PSO)		
		Avg.	SD	RI	Avg.	SD	RI
1	2,352.2	2,012.4	78.2	14.4	1,998.3	78.5	15.0
2	3,188.8	2,433.8	117.4	23.7	2,352.6	53.0	26.2
3	3,648.6	2,835.5	155.1	22.3	2,776.5	84.0	23.9
4	4,948.9	3,845.0	123.6	22.2	3,353.1	23.3	32.2
5	3,742.4	3,628.8	128.4	3.0	3,018.3	4.3	19.3
6	5,403.5	4,968.9	194.4	8.0	4,596.8	154.5	14.9
7	7,877.0	7,143.1	222.8	9.3	6,512.1	128.0	17.3
8	7,996.6	7,238.1	232.6	9.5	6,700.4	165.4	16.2
9	7,888.6	6,966.0	172.8	11.7	5,835.8	76.4	26.0

$$RI = ((Sol_{cur} - Sol_{heu}) / Sol_{cur}) \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ RI คือ ร้อยละการปรับปรุงคำตอบระหว่างวิธีสถานการณ์จริงและวิธีการแก้ปัญหาในแต่ละวิธี, Sol_{cur} คือ ค่าคำตอบจากวิธีสถานการณ์จริง และ Sol_{heu} คือ ค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการแก้ปัญหาในแต่ละวิธี

ในการหาคำตอบของปัญหาการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งน้ำแข็ง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาในแต่ละวิธีกับวิธีสถานการณ์จริง โดยกำหนดให้วิธีการที่นำเสนอและวิธีทางเมตาดิวริสติกส์อื่นๆ (วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม: GA) มีจำนวนประชากรเท่ากับ 50, 100 และ 200 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 60, 120 และ 300 วินาที สำหรับปัญหาที่ 1-3, 4-6 และ 7-9 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละปัญหาจะทำการทดลองด้วยจำนวนซ้ำเท่ากับ 10 ซ้ำ สามารถสรุปผลการทดลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการหาคำตอบด้วยวิธีการแก้ปัญหาแต่ละวิธีกับวิธีของสถานการณ์จริง ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองต้นทุนรวมและประสิทธิภาพของแต่ละวิธี

ปัญหาที่	จำนวนลูกค้า(ราย)	ประเภทรถบรรทุก(ประเภท)	กรอบเวลาสูงสุด (นาที)
1 - 3	10	2	30
4 - 6	20	3	30
7 - 9	30	3	40

หมายเหตุ Avg. = ค่าคำตอบเฉลี่ย (Average)
SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

จากผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 2 พบว่าวิธีการ PSO ที่นำเสนอในการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งมีร้อยละการปรับปรุงคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีสถานการณ์จริงอยู่ที่ 14.90 ถึง 32.20 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าวิธี GA ที่นำมาเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในส่วนของการทดลองค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า วิธีการ PSO ที่นำเสนอมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำกว่าวิธี GA โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง 4.30 ถึง 165.40 ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.27 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการ PSO ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาและมีการกระจายตัวของคำตอบที่น้อยกว่าวิธีการอื่นๆ จึงส่งผลให้คำตอบที่ได้จากการทดลองในแต่ละซ้ำจะมีโอกาสเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดได้ดีกว่า

5. สรุปผลการวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำแข็งที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นผู้ประกอบการโรงงานผลิตน้ำดื่มและน้ำแข็งขนาดกลางที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร โดยมีกลุ่มลูกค้าจำนวนมาก กระจายตัวอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอพังโคนและอำเภอใกล้เคียง ซึ่งในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคทางเมตธีอริสติกส์ที่เรียกว่า วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค โดยการสร้างคำตอบเริ่มต้นของปัญหานี้จะแบ่งการเข้ารหัสและการถอดรหัสออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การกำหนดประเภทของรถขนส่งน้ำแข็ง และการกำหนดลำดับในการจัดส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้าแต่ละ

ราย ซึ่งระหว่างการค้นหาคำตอบ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่ เพื่อช่วยให้สามารถเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุด

เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอิวิริสติกส์อัลกอริทึมที่นำเสนอ (PSO) ในการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งน้ำแข็ง ได้ทำการออกแบบการทดลองโดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการวางแผนการขนส่งน้ำแข็ง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) จำนวนลูกค้าทั้งหมด 2) ประเภทของรถบรรทุกทั้งหมด และ 3) กรอบเวลาสูงสุดในการเดินทางไปยังลูกค้ารายสุดท้าย ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาที่นำเสนอนั้น พบว่าวิธี PSO ที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้ดีทั้งในปัญหาที่มีขนาดเล็กและเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีสถานการณ์จริงและวิธี GA เนื่องจากความสามารถในการสร้างคำตอบเริ่มต้นใหม่ จะช่วยเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุดได้มากขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการขนส่งน้ำแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอุตุนิยมวิทยา, การคาดหมายลักษณะอากาศ ช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย พ.ศ. 2559, ข้อมูลจาก http://www.tmd.go.th/programs/uploads/forecast/2016-02-01_Seasonal_143155.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2559)
- [2] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, บทวิเคราะห์ธุรกิจผู้ผลิตน้ำแข็ง ปี 2553, ข้อมูลจาก <http://www.sme.go.th/SiteCollectionDocuments/วิจัยSMEs/สภาพแวดล้อมทางธุรกิจ/รายงานบทวิเคราะห์ธุรกิจ%20ภาคการผลิตและบริการ/บทวิเคราะห์ธุรกิจ-ผู้ผลิตน้ำแข็ง%20ปี%202553.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กุมภาพันธ์ 2559)
- [3] กวี ศรีเมือง, การหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าในธุรกิจค้าปลีก

กรณี ศึกษาที่อัสซุปเปอร์มาร์เก็ต,
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, 2550

- [4] Boonmee, A., Sethanan, K., and
Theerakulpisut, S., Optimizing Vehicle
Utilization for Chicken Egg Logistics
Management, Advanced Science Letters.
19, 3708-3712, 2013
- [5] Venkatesan, S.R., Logendran, D., and
Chandramohan, D., Optimization of
capacitated vehicle routing problem using
PSO, International Journal of Engineering
Science and Technology, 3(10), 7469-
7477, 2011

- [6] Dechampai, D., Tanwanichkul, L.,
Sethanan, K., and Pitakaso, R., A
differential evolution algorithm for the
capacitated VRP with flexibility of mixing
pickup and delivery services and the
maximum duration of a route in poultry
industry, Journal of Intelligent
Manufacturing, 1-20, 2015
- [7] Kennedy, J., and Eberhart, R.C., Particle
swarm optimization, In Proceedings of the
1995 IEEE International Conference on
Neural Networks, Piscataway, New Jersey,
1942-1948, 1995
- [8] กาญจนา เศรษฐนันท์, เมตะฮิโรฮิโกะ และการ
ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรง
พิมพ์ คลังนาวิทยา, 2558