การจัดเส้นทางการจัดส่งโลหิตด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบผสมผสาน กรณีศึกษากลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลา

คุณานนต์ อินทปาน[1], วนัฐณพงษ์ คงแก้ว[2*], เสกสรร สุธรรมานนท์[3], สุภัตตรา มิถุนดี[4] และ ศิริภัทร์ สารานพคุณ[5]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

[4,5] ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Received: 26 January 2022; Revised: 3 April 2022; Accepted: 5 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดส่งโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นศูนย์กลางการกระจายโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลาและจังหวัดอื่น ๆ ในภาคใต้ตอนล่าง การจัดส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตฯ แห่งนี้เป็นรูปแบบปัญหาการจัดรถขนส่งที่อยู่ภายใต้ความแน่นอนของอุปสงค์ที่มีเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่แบบใหม่ (DE+NLS) เพื่อจัดเส้นทางขนส่งโลหิตให้มีระยะทางรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จะทดสอบด้วยข้อมูลการจัดส่งโลหิตในกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลาในสถานการณ์ขนส่งแบบปกติในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 30 วัน และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี DE+NLS กับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) จากการทดลองพบว่า วิธี DE+NLS ให้ผลรวมระยะทางที่น้อยกว่าวิธีการแบบเดิม วิธี DE และวิธี SA ซึ่งวิธี DE+NLS ให้ระยะทางรวมลดลงเป็น 4,017.38 กิโลเมตร (จากระบบเดิม 10,804.20 กิโลเมตร) นอกจากนี้ผลการทดสอบทางสถิติจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า วิธี DE+NLS เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านเวลาที่ใช้ค้นหาคำตอบพบว่า วิธี DE+NLS ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี SA อย่างไรก็ดี วิธี DE+NLS ยังคงใช้เวลามากกว่าวิธี DE เล็กน้อย เนื่องด้วยการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าด้วยการค้นหาแบบเฉพาะที่ นอกจากนี้ วิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 17,463.54 บาท คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81% จากวิธีการแบบเดิม ดังนั้น วิธี DE+NLS จึงเป็นวิธีการที่ได้รับการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาที่กำหนด

คำสำคัญ: วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง, การค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่, ปัญหาการจัดส่งโลหิต

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

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[3] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4] หัวหน้าภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา

[5] หัวหน้างานผลิตส่วนประกอบโลหิต ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา

A Hybrid Differential Evolution for the Blood Routing Problems: A Case Study of Hospital Cluster in Songkhla Province

Kunanon Intapan[1], Wanatchapong Kongkaew[2*], Sakesun Suthummanon[3], Supattra Mitundee[4] and Siriphat Saranobphakhun[5]

[1,2,3] Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

[4,5] The 12th Regional Blood Centre, khuanlang Sub-district, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

Received: 26 January 2022; Revised: 3 April 2022; Accepted: 5 May 2022

Abstract

This research has studied the blood delivery for the 12th Regional Blood Centre (RBC), Songkhla province, where is the center of blood distribution to hospitals in Songkhla province and other provinces in lower South of Thailand. The blood delivery of this RBC was modelled as the capacitated vehicle routing problem under the known demand of blood. This work has proposed the differential evolution hybridized with the new local search, called DE+NLS algorithm, to find out the optimal route with shortest total distance. For the testing of performance, it was executed on the 30 datasets of real-world case study that were collected during the period of August, 2021. The performance of DE+NLS, in addition, were compared with the current routing method, standard differential evolution (DE) algorithm and simulated annealing (SA) algorithm. As a results, the DE+NLS produced the route having less total distance than the DE and SA. The overall total distance obtained by the DE+NLS was reduced from 10,804.20 kilometers (by current routing method) to 4,017.38 kilometers. The statistical results clearly indicated that the DE+NLS was an efficient method and it significantly outperformed the DE and SA methods. The DE+NLS spent less time than the SA while it consumed slightly more than the DE due to the local search procedure. Moreover, the DE+NLS achieved the lowest transportation cost at 17,463.54 Baht, which was decreased by 61.82% from the current method. Thus, the DE+NLS was a well-design and efficient algorithm for the given problems.

Keywords: differential evolution, local Search, blood routing problem

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

[1] Student in the Industrial and Systems Engineering Master's Program, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

[2] Assistant Professor in Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

[3] Associate Professor in Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

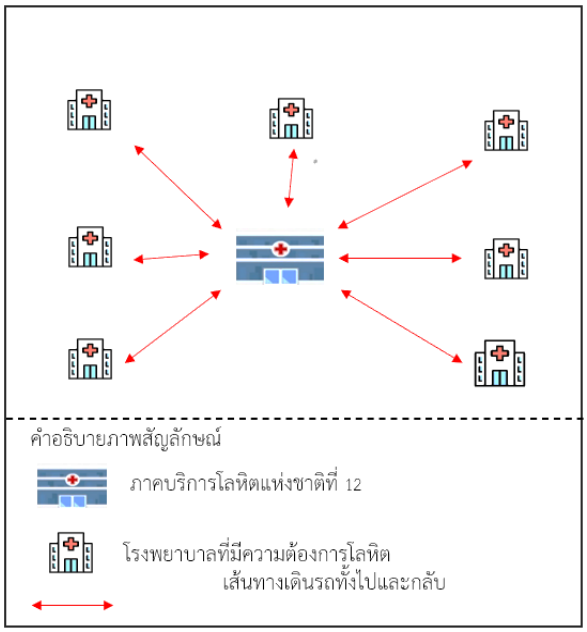
[4] Chief of the 12th Regional Blood Centre, Songkhla

[5] Head of Blood preparation unit of the12th Regional Blood Centre, Songkhla

1. คำนำ

โลหิตหรือเลือดเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตอยู่ของมนุษย์ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางติดต่อระหว่างเซลล์ของร่างกาย เพื่อขนส่งออกซิเจนและอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปขับออกทางปอด แล้วนำของเสียต่าง ๆ เพื่อขับออกทางไต นอกจากนี้เลือดยังเป็นระบบป้องกันด้วยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ซึ่งการได้มาของโลหิตเพื่อใช้ในระบบสาธารณสุขของประเทศไทยนั้นต้องมาจากการบริจาคของผู้บริจาคโลหิตเท่านั้น โดยมีการดำเนินงานต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกันและเชื่อมโยงกันภายในโซ่อุปทานโลหิตที่ประกอบด้วย การจัดหาโลหิต การตรวจสอบโลหิต การผลิตและปั่นแยกส่วนประกอบโลหิต การจัดการคลังโลหิต การจัดสรรโลหิตและการถ่ายโลหิต [1] ในการดำเนินงานภายในโซ่อุปทานโลหิตมีองค์กรหลักที่ดูแลการรับบริจาคโลหิตในประเทศไทย คือ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย โดยโรงพยาบาลที่ต้องการโลหิตเพื่อบริการให้ผู้ป่วย ต้องดำเนินการผ่านศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (National Blood Centre, NBC) ซึ่งองค์กรที่จัดตั้งเพื่อการบริการโลหิตในเขตกรุงเทพมหานครโดยเฉพาะ มีหน้าที่ประชาสัมพันธ์การรับบริจาคโลหิต จัดตั้งจุดรับบริการโลหิตนอกสถานที่ การคัดกรองโลหิต การสำรองโลหิต การบริหารคลังและการจัดส่งโลหิต สำหรับส่วนภูมิภาคได้มีจัดตั้งภาคบริการโลหิตแห่งชาติ (Regional Blood Centre, RBCs) ซึ่งมีทั้งหมด 12 แห่ง และแบ่งตามภูมิภาคการบริหารของกระทรวงมหาดไทย ที่ทำหน้าที่เหมือนกับ NBC และมีความต้องการโลหิตในแต่ละวันของประเทศไทยแบ่งตามหมู่โลหิต คือ หมู่ A 400 ยูนิต หมู่ B 400 ยูนิต หมู่ O 600 ยูนิต และหมู่ AB 100 ยูนิต (1 ยูนิตมีค่าประมาณโลหิต 400 ซีซี) [2] เมื่อภาคบริการโลหิตแห่งชาติได้รับความต้องการโลหิตจากโรงพยาบาลที่อยู่ในเครือข่ายแล้ว จะจัดเตรียมโลหิตและแจกจ่ายให้แต่ละโรงพยาบาลตามความต้องการ

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาการแจกจ่ายโลหิตโดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นศูนย์ห่วงโซ่อุปทานโลหิตใน 7 จังหวัดพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ได้แก่ สงขลา พัทลุง ตรัง สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยมีโรงพยาบาลในเครือข่ายที่ใช้บริการเบิกโลหิตและส่วนประกอบโลหิตจำนวน 89 แห่ง อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การแจกจ่ายโลหิตภายในจังหวัดสงขลาเท่านั้นและมีจำนวนโรงพยาบาลที่อยู่ภายใต้การบริการโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทั้งหมด 21 โรงพยาบาล [3] ในปัจจุบันโรงพยาบาลจะแจ้งความต้องการใช้แต่ละวันมายังภาคบริการโลหิตฯ เมื่อความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลนั้น ๆ ได้รับการอนุมัติแล้ว โรงพยาบาลนั้น ๆ จะจัดสรรรถของโรงพยาบาลมารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิตฯ (ดังรูปที่ 1) ซึ่งบางครั้งเป็นการวิ่งรถเปล่าเพียงเพื่อมารับโลหิตเท่านั้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการขนส่งหรือสูญเสียโอกาสในการใช้รถ ณ เวลานั้น ๆ ของโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังมีระยะทางรวมในการขนส่งโลหิตในแต่ละรอบสูง เนื่องจาก 1 โรงพยาบาลส่งรถมาพียงเพื่อรับโลหิตตามที่ร้องขอเท่านั้น ไม่ได้มีการเวียนส่งโลหิตให้แก่โรงพยาบาลอื่น ๆ ที่มีความต้องการในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 1 รูปแบบการกระจายโลหิตในกลุ่มโรงพยาบาลจังหวัดสงขลาในปัจจุบัน

จากปัญหาข้างต้น ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการแจกจ่ายให้แต่ละโรงพยาบาลโดยใช้รถขนส่งที่ได้รับจัดสรรมาจำนวน 1 คัน เพื่อช่วยให้ต้นทุน

ภายในโซ่อุปทานโดยรวมลดลง ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกระจายโลหิตที่มีระยะทางมากจนเกินไป โดยแนวคิดดังกล่าวจะจัดส่งโลหิตเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังแต่ละโรงพยาบาลที่แจ้งความต้องการโลหิตในวันนั้น ๆ ซึ่งลักษณะแนวคิดนี้สอดคล้องกับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) สำหรับรถ 1 คัน ที่พิจารณาทั้งความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลและความจุของรถที่ใช้ในการจัดส่งต่อหนึ่งรอบเมื่อจัดส่งโลหิตครบตามความต้องการของแต่ละโรงพยาบาลแล้วจะกลับมาที่จุดเริ่มต้น เพื่อหยุดการจัดส่งหรือเริ่มต้นรอบการขนส่งรอบใหม่ในการกระจายโลหิตไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีความต้องการโลหิตและยังไม่ได้จัดส่ง

ปัญหาการจัดส่งโลหิต (Blood Routing Problem) เป็นลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งชนิดหนึ่งที่มีเงื่อนไขด้านความจุในการขนส่ง (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) และทราบปริมาณความต้องการของแต่ละโรงพยาบาล (ลูกค้า) และสถานที่ในการจัดส่งที่แน่นอน ซึ่งโรงพยาบาลแต่ละแห่งต้องแจ้งความต้องการโลหิตมายังภาคบริการโลหิตฯ เพื่อจัดเตรียมโลหิตตามความต้องการ ก่อนที่จะดำเนินการจัดเส้นทางรถเพื่อการกระจายโลหิต [2, 4, 5] สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดส่งโลหิตมีการนำเสนอรูปแบบที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขที่พิจารณา เช่น การพิจารณาปริมาณความต้องการตามหมู่เลือด [2] การพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลาของสถานที่บริจาคและด้านเวลาที่เน่าเสียของเลือด [4] การพิจารณาเวลาขนส่งร่วมกับเวลาที่อยู่ในโรงพยาบาล [6] เป็นต้น เนื่องจากปัญหาการจัดส่งโลหิตเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง จึงทำให้วิธีการแก้ปัญหาอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยเวลาโพลีโนเมียลแบบยาก (Non Polynomial Hard, NP-Hard) ซึ่งมีความซับซ้อนในการแก้ปัญหาและอาจใช้เวลานานถ้าแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรง เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก โดยทั่วไปมักนิยมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) [2, 4-5, 7-9]

วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือได้และมีคุณภาพดีเพียงพอต่อการนำไปใช้วางแผนการดำเนินงานต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิตและโลจิสติกส์ที่หลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Lot Sizing Problem) ปัญหาการจัดลำดับงานการผลิต (Scheduling Problem) ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) เป็นต้น สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิตได้มีนำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหา เช่น การแก้ปัญหาการจัดส่งเลือดด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Hybrid Cuckoo Search Algorithm, HCS) [2] การจัดเส้นทางในการรับส่งเลือดด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing, SA) [4] เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิต กรณีศึกษาการจัดส่งโลหิตภายในจังหวัดสงขลาของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีที่มีการนำเสนอก่อนหน้า เนื้อหาที่เหลือของบทความนี้ประกอบด้วย สมการและเงื่อนไขของปัญหาการจัดส่งโลหิต วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและการค้นหาเฉพาะที่สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต การออกแบบการทดลอง ผลการทดลองและการสรุปผล

2. สมการและเงื่อนไขของปัญหาการจัดส่งโลหิต

รูปแบบของสมการปัญหาการจัดส่งโลหิตสำหรับรถ 1 คัน มีเป้าหมายเพื่อหาระยะทางการขนส่งโลหิตรวมน้อยที่สุด โดยเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลาที่มีความต้องการโลหิตให้ครบทุกโรงพยาบาล โดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติฯ จะบรรจุถุงโลหิตแต่ละหมู่ลงในกล่องโฟมขนาดเดียว และรถสามารถบรรทุกได้สูงสุด 40 กล่อง ซึ่งความหมายของตัวแปรต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์

สัญลักษณ์	ความหมาย
N	จำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด
K	จำนวนรถทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งโลหิต

ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
i	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลต้นทาง i
j	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลปลายทาง j
k	ดัชนีแทนรถขนส่งโลหิตหรือรอบจัดส่ง k
Z	ระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาล
d_{ij}	ระยะทางที่ใช้สำหรับจัดส่งจากโรงพยาบาล i ไปโรงพยาบาล j
q_i	ความต้องการใช้โลหิต (ทุกหมู่โลหิต) ของโรงพยาบาล i
a_k	ความจุของรถขนส่งโลหิต k
U_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบหรือป้องกันเส้นทางจัดส่งโลหิตวนรอบไม่ครบ
X_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 ถ้ารถขนส่งโลหิต k มีการเดินทางจากโรงพยาบาล i ไป j และเป็น 0 เมื่อไม่มีการเดินทาง
Y_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 เมื่อโลหิตสำหรับโรงพยาบาลที่ i ถูกบรรทุกในรถขนส่ง k และเป็น 0 เมื่อไม่มีการบรรทุกโลหิตในรถขนส่ง k

สำหรับตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ปรับจากตัวแบบ VRP ใน [2, 9] โดยมีการกำหนดสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดดังต่อไปนี้

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

โดยมีสมการข้อจำกัด (Constraints) ดังนี้

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

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

$$\sum_{k=1}^{K} Y_i^k = 1 \quad , i = 1,...,N \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_i^k \le a_k \quad , k = 1,2,...,K \quad (5)$$

$$Y_i^k \le \sum_{j=0}^{N} X_{ji}^k \quad , i = 1,...,N; \; k = 1,2,...,K \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N} X_{ij}^k \ge 1 \quad , j = 1,2,...,N \quad (7)$$

$$U_i^k \ge U_j^k + q_i - a_k + \left(a_k\left(X_{ij}^k + X_{ij}^k\right)\right) - X_{ij}^k\left(q_i + q_j\right),$$
$$k = 1,2,...,K; \; i = 1,...,N; \; j = 1,2,...,N \text{ เมื่อ } i \ne j \quad (8)$$

$$U_i^k \le a_k - X_{0i}^k\left(a_k + q_i\right), \quad k = 1,2,...,K; \; i = 1,...,N, \quad (9)$$

$$U_i^k \le q_i + \sum_{j=1}^{N} q_j X_{ji}^k, \quad k = 1,2,...,K; \; i = 1,...,N \quad (10)$$

$$X_{ij}^k = \{0,1\}, \quad i = 1,...,N; \; j = 1,2,...,N; \; k = 1,2,...,K \quad (11)$$

$$Y_i^k = \{0,1\} \, , i = 1,...,N; \; k = 1,2,...,K \quad (12)$$

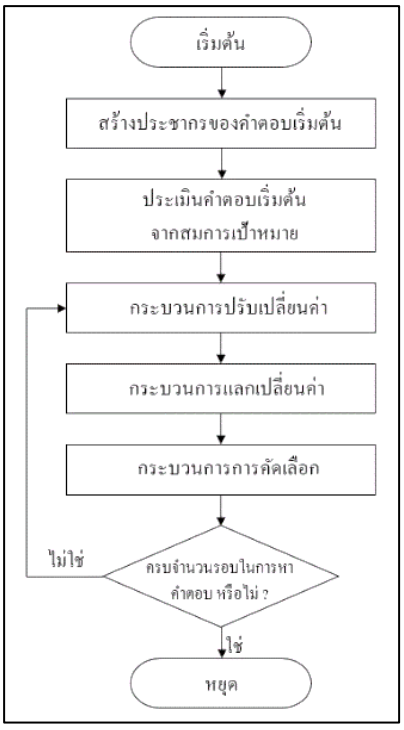
$$U_i^k \ge 0 \quad , \; i = 1,...,N; \; k = 1,2,...,K \quad (13)$$

วัตถุประสงค์ (1) เป็นระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากโรงพยาบาล i ไปโรงพยาบาล j โดยรถขนส่งโลหิต k เงื่อนไขที่ (2) เป็นการประกันว่า รถขนส่งโลหิต k จะเดินทางออกจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติฯ (ตำแหน่งที่ 0) และจัดส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาล j อย่างน้อย 1 แห่ง เงื่อนไขที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่าโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง ๆ จะได้รับเดินทางเข้าและออกเท่ากันเป็นจำนวน 1 ครั้ง เงื่อนไขที่ (4) เป็นการรับประกันว่าโรงพยาบาลหนึ่ง ๆ จะได้รับการจัดส่งโลหิตจากรถขนส่งอย่างน้อย 1 คัน เงื่อนไขที่ (5) เป็นการประกันว่ารถขนส่งโลหิตใด ๆ จะขนโลหิตไปส่งให้กับโรงพยาบาลไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ เงื่อนไขที่ (6) รับประกันว่าการจัดส่งให้โรงพยาบาล i ได้ก็ต่อเมื่อรถขนส่งโลหิต k เดินทางผ่านโรงพยาบาล i จากเส้นทางของโรงพยาบาล j แห่งใดแห่งหนึ่งเท่านั้น และเงื่อนไขที่ (7) รับประกันว่าโรงพยาบาล j ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยรถขนส่งโลหิตใด ๆ อย่างน้อย 1 ครั้ง โดยใช้เส้นทางที่ผ่านมากจากเมือง i ใด ๆ เงื่อนไขที่ (8) – (10) เป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดเส้นทางย่อย (Subtour) และเงื่อนไขที่ (11) – (13) เป็นการจำกัดขอบเขตค่าของตัวแปรตัดสินใจ

3. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm, DE) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของเลขจำนวนจริงและนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีวิวัฒนาการ ซึ่งได้มีการนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2000 เริ่มแรกใช้ในการแก้ปัญหาจัดสรรเส้นทางการบิน ต่อมาได้มีการพัฒนาการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย หนึ่งในการแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมที่สุดคือการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการของวิธีนี้มีความคล้ายกับวิธีวิวัฒนาการตามปกติ คือ การสร้างประชากรเริ่มต้น ประเมินค่าฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย และผลิตประชากรรุ่นใหม่ด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) การสร้างไทรอัลเวกเตอร์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) และการเลือกเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไป (Selection) [9, 10, 13]

การทำงานของวิธี DE จะพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นไปเรื่อย ๆ ในแต่ละรอบของการหาคำตอบ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของวิธี DE สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

4. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต

ในหัวข้อนี้จะอธิบายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (Differential Evolution with New Local Search, DE+NLS) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตดังต่อไปนี้

4.1 การแทนคำตอบและการสร้างประชากรเริ่มต้น

ในการสร้างประชากรเริ่มต้น ผู้วิจัยได้สร้างอาร์เรย์สองมิติ ความกว้างแทนด้วยตำแหน่งของโรงพยาบาลโดยหลักของโรงพยาบาลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการดำเนินการ ความยาวแทนจำนวนเส้นทางที่ทำการออกแบบในแต่ละรอบโดยใช้หลักการสุ่มเลข ตั้งแต่ 0.01 – 1.00 (ใช้ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ให้ทุก ๆ หลักในอาร์เรย์หลังจากนั้นทำการเรียงเลขสุ่มจากน้อยไปมาก จะได้เส้นทางหลังจากเรียงเลขสุ่มดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบการสร้างเลขสุ่มของประชากร

1	2	3	4	5	6
0.34	0.22	0.36	0.77	0.89	0.11
0.21	0.34	0.65	0.55	0.27	0.83
0.45	0.55	0.50	0.36	0.35	0.33
0.88	0.78	0.31	0.79	0.36	0.99
0.34	0.44	0.21	0.11	0.81	0.56

จากตารางที่ 2 แสดงการสร้างประชากรเริ่มต้น 5 เส้นทาง จากโรงพยาบาลจำนวน 6 แห่ง และการหาเส้นทางจัดส่งจะทำโดยการเรียงเลขสุ่มจากน้อยไปมาก กล่าวคือ โรงพยาบาลที่มีเลขสุ่มน้อยที่สุดในแต่ละแถวจะถูกกำหนดให้เป็นโรงพยาบาลแรกที่ต้องเดินทางไปส่งโลหิต และส่งให้โรงพยาบาลเลขสุ่มที่มากขึ้นในลำดับถัด ๆ ไป จนครบทุกโรงพยาบาล เมื่อจัดส่งครบทุกโรงพยาบาลแล้วจะจบการจัดส่งทั้งหมดที่ตำแหน่ง 0 (ภาคบริการโลหิตฯ)

4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี DE+NLS สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิต

ขั้นตอนการทำงานของวิธี DE+NLS สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างคือ ค่า F, CR, NP และจำนวนรอบการรัน โดยที่สามารถเปลี่ยนแปลงความต้องการโลหิตให้เป็นไปตามความเป็นจริงได้ทุกเมื่อที่เริ่มการรันรอบใหม่

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเส้นทางขนส่งเริ่มต้น เป็นการสร้างประชากรชุดแรกเพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบในรุ่นถัด ๆ ไป โดยการสร้างประชากรเริ่มต้นจะเป็นรูปแบบเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 4.1 ในงานวิจัยนี้กำหนดประชากรเริ่มต้นที่ 10 เส้นทาง โดยการสุ่มค่าเลขสุ่มจากการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution) ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าวัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้ค่าวัตถุประสงค์คือ ระยะทางโดยรวม โดยการคำนวณค่าระยะทางเป็นการอ้างอิงข้อมูลระยะทางจากอาร์เรย์ 2 มิติ ที่ได้เก็บค่าระยะทางจากโรงพยาบาลต่าง ๆ ไว้ โดยอ้างอิงข้อมูลระยะทางคู่ของสถานที่ใด ๆ จากกูเกิล แมพ (Google Map) และการตรวจสอบค่าระยะทางของแต่ละเส้นทางจะบอกถึงคุณภาพของการหาคำตอบที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้ ตามจำนวนรอบของการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) จากความเชื่อที่ว่าการพัฒนาจะให้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าชุดคำตอบเดิม ซึ่งในการสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์จะเป็นลักษณะของการปรับค่าสุ่มประจำหลักของเส้นทาง โดยทำไปทีละเส้นทางจากขั้นตอนที่ 2 เริ่มจากการสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์ r_1, r_2 และ r_3 และอ้างอิงค่าจากเวกเตอร์เป้าหมาย X จากเลขลำดับของเวกเตอร์ข้างต้น แล้วทำการปรับค่าด้วยสมการของ DE/rand/1/bin [9, 10, 13] ดังในสมการ (14) ซึ่งค่าพิกัดใหม่จะแตกต่างไปจากค่าพิกัดในประชากรเริ่มต้นด้วยปัจจัยขยายผลต่าง (Weighting factor, F) การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดมีขั้นตอนย่อยดังนี้

1. เลือกเวกเตอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า X และสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์

2. พัฒนาคำตอบด้วยสมการอย่างง่าย ดังนี้

$$V_{i,g} = X_{r_1,g} + F(X_{r_2,g} - X_{r_3,g}) \quad (14)$$

สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณของขั้นตอนที่ 2 ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ 1

โรงพยาบาล	1	2	3	4	5	6
$X_{1,g}$	0.34	0.22	0.36	0.77	0.89	0.11
$X_{4,g}$	0.88	0.78	0.31	0.79	0.36	0.99
$X_{5,g}$	0.34	0.44	0.21	0.11	0.81	0.56
$V_{1,g}$	0.83	0.53	0.45	1.38	0.49	0.50

จากตารางที่ 3 แสดงการหามิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant Vector) ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ 1 โดยใช้ค่า F = 0.9, r_1= 1, r_2 = 4 และ r_3 = 5 จากค่าพิกัดที่ 1 ในตารางที่ 2 และแทนค่าลงในสมการ (14) ได้คือ 0.34 + 0.9*(0.88-0.34) เท่ากับ 0.83

3. ถอดรหัสเพื่อจัดเส้นทางเดินรถใหม่ ด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) เป็นการสร้างไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector) โดยการสุ่มค่า CR ที่อยู่ในช่วง (0, 1) สำหรับการสลับค่า $X_{i,g}$ และ $V_{i,g}$ สำหรับเส้นทางที่จะสร้างขึ้นมาใหม่ โดยค่าสุ่มในช่องใดที่มีค่าต่ำกว่าค่า CR ให้ใช้ค่า $X_{i,g}$ และช่องใดมีค่ามากกว่า CR ให้ใช้ค่า $V_{i,g}$ ต่อมาสุ่มค่าประจำหลักให้กับทุก ๆ ตำแหน่ง โดยใช้ค่าสุ่มเท่ากับจำนวนโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในรอบนั้น ๆ ตำแหน่งเลขสุ่มใดตรงกับตำแหน่งโรงพยาบาลนั้น ๆ ให้ใช้ค่า $V_{i,g}$ เพื่อเป็นการทวนสอบว่าจะมีการสลับค่าในเส้นทางใหม่ของ $X_{i,g}$ และ $V_{i,g}$ ก่อนจบขั้นตอนทำการหาเส้นทางใหม่เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้คำตอบจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแล้ว ให้ส่งคำตอบมายังขั้นตอนการค้นหาแบบเฉพาะที่แบบใหม่ (New Local Search, NLS) จะสร้างคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงของปัญหาปัจจุบันด้วยวิธีการค้นหาแบบเฉพาะที่ทั้งหมด 5 วิธี คือ การแลกเปลี่ยน (Swap) การแทรก (Insert) การพลิกกลับด้านภายในคำตอบ (Inverse) การค้นหาแบบเดินสุ่ม (Random Walk) [11] และการนำค่าเฉลี่ยเลขสุ่มของเส้นทางที่มีค่าระยะทางดีที่สุดมาแทรกกลางเส้นทาง [12] โดยดำเนินการไปพร้อมกันทุก ๆ วิธี

ขั้นตอนที่ 7 การส่งคืนคำตอบที่ดีที่สุด เป็นการส่งค่าจากขั้นตอนที่ 1 - 6 เพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบในรอบถัด ๆ ไป เมื่อตรวจสอบว่าการรันครบตามจำนวนรอบการค้นหา (รอบการรัน) ที่กำหนดไว้ ให้แสดงเส้นทางที่ดีที่สุดและจบการดำเนินการ

จากขั้นตอนที่ 1 - 7 สามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3

ALGORITHM: DE+NLS

NP: population size, F: weighting factor, CR: recombination probability, $MAXFES$: maximum number of functions evaluations

INITIALIZATION at g = 0; Initialize all NP individuals with random positions in the search space;

While $FES < MAXFES$ do

For i = 1 to NP do

GENERATE ten individuals $X_{1,g}$, $X_{2,g}$, ..., $X_{10,g}$ from the current population randomly.

MUTATION From the donor vector using Eq. (14)

RECOMBINATION The trial vactor $U_{i,g}$ is developed either from the elements of the target vector $X_{i,g}$ or the elements of the donor vector $V_{i,g}$, as follows:

$$U_{i,j} = \begin{cases} V_{i,j} & \text{, if } r_{i,j} \le CR \text{ or } j = j_{\text{rand}} \\ X_{i,j} & \text{, Otherwise} \end{cases},$$

รูปที่ 3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DE+NLS

ALGORITHM: DE+NLS (Continued)

where I = {1,..., NP}, J= {1,...,D}, $r_{i,j} \sim U(0,1)$ is a uniformly distributed random number which is generated for each j and $j_{\text{rand}} \in$ {1,..., D} is a random interger used to ensure that $U_{i,g} \neq X_{i,g}$ in all cases

EVALUATE AND SELECTION if $f(U_{i,g}) \le f(X_{i,g})$ then replace the individual $X_{i,g}$ in the population with trial vector $U_{i,g}$

Submit best solution to next process amount = NP

NEW LOCAL SEARCH (NLS)

Begin

Every solution is executed by all of 5 local search methods: swap, insert, reverse, random walk, and insert the average of the value of best path vector.

End

RETURN The best solution.

รูปที่ 3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DE+NLS (ต่อ)

5. การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (DE+NLS) ในการหาเส้นทางการขนส่งโลหิตโดยใช้ค่าระยะทางรวมในการขนส่งเป็นตัวชี้วัด นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบกับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulating Annealing, SA) ซึ่งวิธี SA เป็นวิธีที่ได้มีการนำมาใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับปัญหาการขนส่งโลหิต [4] และการจัดเส้นทางในปัญหาดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายกันกับงานวิจัยนี้ การเปรียบเทียบผลจากแต่ละวิธีกับผลการดำเนินงานในระบบปัจจุบัน รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบภายใต้จำนวนรอบการรันที่เท่ากัน

ในการทดลองสำหรับทั้งสามวิธีข้างต้น จะเขียนชุดคำสั่ง (Code) ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์จาวา (Java) บน

โปรแกรม NetBeans IDE 8.2 RC และทำการทดลองบนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันที่มีระบบปฏิบัติการ Intel Core i5-1135G7 2.40GHz, Ram 8 GB, 64-bit ด้วยปัญหาทดลองหรือปัญหาการจัดเส้นทางจำนวน 30 ชุดข้อมูล (ปัญหา) ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการโลหิตย้อนหลังจำนวน 30 วัน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา และแต่ละปัญหาจะรันเป็นจำนวน 10 รอบ ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับวิธี DE และวิธี DE+NLS ใช้ค่าพารามิเตอร์จาก [11] นั่นคือ F = 0.9, CR = 0.7, จำนวนเส้นทางเริ่มต้น (NP) เท่ากับ 10 เส้นทาง ส่วนวิธี SA ใช้ค่าพารามิเตอร์จาก [4] นั่นคือ อุณหภูมิต้นเท่ากับ 1,500 จนถึงอุณภมิปลายเท่ากับ 0.01 และลดลงด้วยอัตราเย็นตัวลง β = 0.99

6. ผลการทดลอง

จากการทดสอบความสามารถของทั้ง 3 วิธี ด้วยปัญหาการจัดส่งโลหิตจำนวน 30 ปัญหา โดยจำนวนรอบการหาคำตอบสำหรับวิธี DE และวิธี DE+NLS คือ 100 รอบ ส่วนวิธี SA ไม่ได้กำหนดจำนวนรอบ แต่จะกำหนดให้ค้นหาคำตอบโดยเริ่มจากค่าอุณหภูมิต้นเท่ากับ 1,500 จนถึงอุณภมิปลายเท่ากับ 0.01 และลดลงด้วยอัตราเย็นตัวลง β = 0.99 [4] ผลการทดลองของแต่ละวิธีแสดงได้ดังตารางที่ 4

จากผลการทดลองในตาารางที่ 4 พบว่า การจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตด้วยวิธี DE, SA และ DE+NLS สามารถทำให้ระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตแต่ละวันลดลง ยกเว้นบางวันที่ไม่มีความต้องการโลหิต รวมไปถึงวันที่มีความต้องการโลหิตเพียงโรงพยาบาลเดียว อย่างไรก็ดี การจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตในภาพรวมตลอดทั้งเดือนสิงหาคม พบว่าทั้ง 3 วิธี ให้ผลรวมระยะทางลดลงจากระบบเดิมอยู่ที่ 10,804.20 กิโลเมตร ลดลงเป็น 4,232.40, 4,185.49 และ 4,017.38 กิโลเมตร ตามลำดับ และวิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางการจัดส่งโลหิตที่ให้ผลรวมระยะทางสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับวิธี DE และวิธี SA นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการจัดเส้นทางรายวันพบว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางการจัดส่งโลหิตที่มีระยะทางน้อยกว่า (หรือเท่ากับ) วิธี DE ทุกวัน และวิธี SA เกือบทุกวัน ยกเว้นการจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตในวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ที่วิธี SA ให้เส้นทางที่ดีกว่า

เมื่อพิจารณาด้านเวลาการค้นหาคำตอบพบว่า ในภาพรวมวิธี DE ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุด ในขณะที่วิธี DE+NLS ใช้เวลาในการค้นหาที่รองลงมา และวิธี SA ใช้เวลานานที่สุด ซึ่งวิธี DE+NLS จะใช้เวลานานกว่าวิธี DE เนื่องมาจากวิธี DE+NLS จะใช้ระยะเวลาส่วนหนึ่งกับการค้นหาแบบเฉพาะที่ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาด้านขนาดปัญหา (จำนวนโรงพยาบาล) พบว่า จำนวนโรงพยาบาลมีผลต่อการหาคำตอบ ซึ่งจะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากวิธี DE, SA และ DE+NLS จะมีระยะทางที่น้อยกว่าวิธีระบบเดิมอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ วิธี DE, SA และวิธี DE+NLS จะใช้เวลาค้นหาคำตอบที่น้อย ดังนั้น การแก้ปัญหาด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์มีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้จัดเส้นทางในทางปฏิบัติ

ตารางที่ 4 ผลการจัดเส้นทางของแต่ละวิธี

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล	ค่าเฉลี่ยของระยะทางรวมในแต่ละวิธี (กิโลเมตร)				ค่าเฉลี่ยของเวลาในการค้นหาคำตอบ (วินาที)		
		ระบบเดิม	DE	SA [4]	DE+NLS	DE	SA [4]	DE+NLS
1	6	807.60	169.50	154.62	**140**	**1.10**	1.40	1.20
2	5	292.80	151	138.35	**131.40**	**1.00**	1.10	1.10
3	5	504.80	248.80	247.60	**239.20**	**1.00**	1.20	**1.00**
4	3	112.20	30.40	**29**	**29**	**0.30**	**0.30**	**0.30**
5	2	182.40	**25**	**25**	**25**	**0.30**	0.40	**0.30**
6	5	335	166.60	161.99	**159.98**	**1.00**	1.10	1.10
7	2	145.20	**57**	**57**	**57**	**0.10**	0.20	0.20
8	7	644.40	340.10	354.46	**322.60**	**1.10**	1.20	**1.10**
9	6	443.40	205.60	**198.40**	200.80	**1.00**	1.10	**1.00**
10	6	573.20	245.6	227	**223**	**1.00**	**1.00**	**1.00**
11	0	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*
12	5	483.40	160.5	172.5	**159**	**1.00**	1.10	1.10
13	2	64	**39**	**39**	**39**	**0.10**	**0.10**	**0.10**
14	1	**36**	**36**	**36**	**36**	**0.10**	0.30	**0.10**
15	6	498.60	182.7	185.6	**182**	**1.00**	1.20	**1.00**
16	5	454.20	160	160.6	**151**	**1.00**	1.10	**1.00**
17	3	246.80	**102**	**102**	**102**	**0.30**	0.40	0.40
18	3	266.60	**92**	**92**	**92**	**0.30**	0.50	0.50
19	7	472	188.8	**188**	**188**	1.50	**1.40**	**1.40**
20	2	122.80	**24**	**24**	**24**	**0.20**	0.30	**0.20**
21	3	112.20	**29**	**29**	**29**	**0.20**	0.4	**0.20**
22	6	441.20	146.8	160.57	**124**	**1.10**	1.20	1.20
23	5	452.80	146	142.3	**133**	**0.90**	1.2	**0.90**
24	4	420.80	184	**179**	**179**	**1.20**	**1.20**	**1.20**
25	6	567.80	199.2	190.6	**187**	**1.20**	**1.20**	**1.20**
26	5	322	211.7	**209.9**	**209.9**	1.00	**0.80**	**0.80**
27	4	337.60	97.6	98.2	**97.3**	**1.00**	1.20	1.20
28	4	520.40	182.6	194.6	**177.2**	**0.30**	0.60	0.40
29	5	472	220	197	**190**	**1.30**	1.50	**1.30**
30	5	472	190.9	191.2	**190**	**0.90**	1.10	**0.90**
ผลรวม		10,804.20	4,232.40	4,185.49	**4,017.38**	**22.5**	25.8	23.4

* N/A คือ ไม่มีการจัดเส้นทาง เนื่องจากไม่มีความต้องการโลหิตในวันดังกล่าว

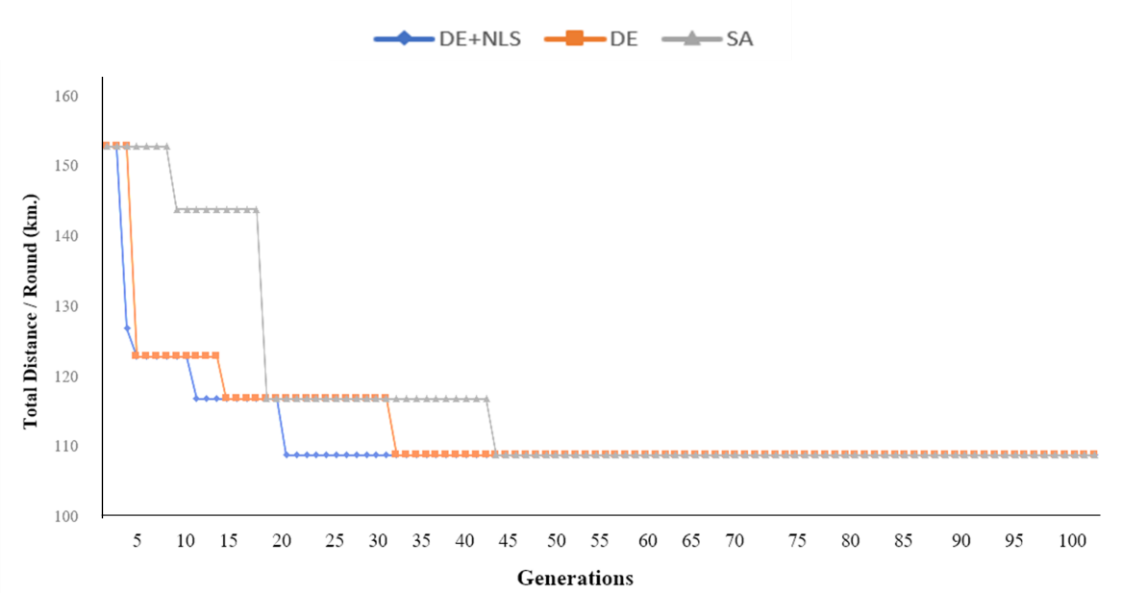
เนื่องจากระยะทางที่ได้จากแต่ละวิธีการไม่แตกต่างกันมาก (ดังแสดงในตารางที่ 4) เพื่อยืนยันผลลัพธ์ว่าวิธี DE+NLS ที่นำเสนอให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA จะทดสอบโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีทดสอบ t แบบจับคู่ (Paired-Sample t-Test) เนื่องจากต้องการทดสอบความแตกต่างของวิธีการแต่ละคู่ในแต่ละวัน โดยไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของประชากรและมีจำนวนข้อมูล 29 ค่า (ไม่นำวันที่ 11 มาวิเคราะห์ เพราะไม่มีการจัดเส้นทาง) ซึ่งข้อมูลระยะทางได้มาจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจากประชากรระยะทางของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างเท่าเทียมกันและเป็นอิสระต่อกัน การทดสอบนี้ใช้ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบวิธีทดสอบ t แบบจับคู่

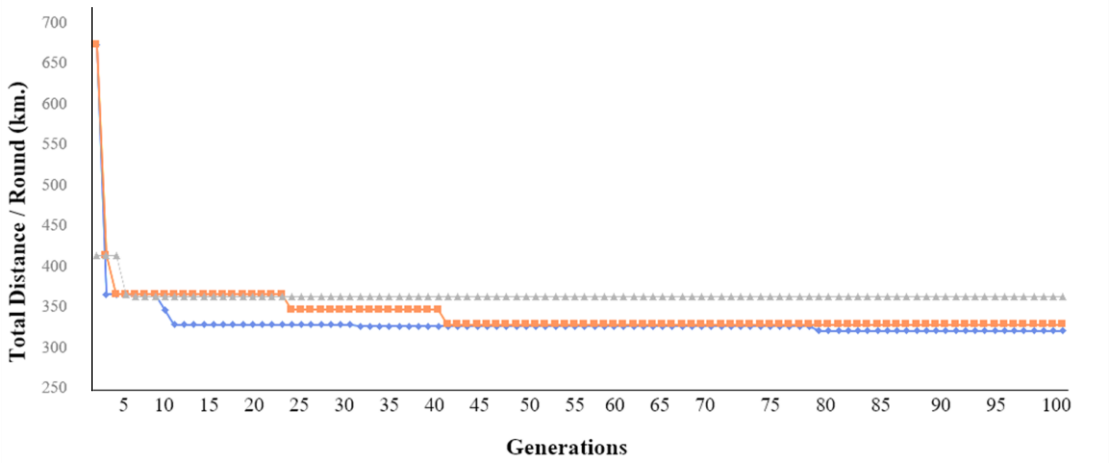
คู่ของวิธีการที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่า P-value
DE+NLS vs. DE	0.0025
DE+NLS vs. SA	0.0026
DE vs. SA	0.3190

จากการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติพบว่า คู่ของวิธี DE+NLS เทียบกับวิธี DE และคู่ของวิธี DE+NLS เทียบกับวิธี SA ให้ค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ในขณะที่คู่ของวิธี DE เทียบกับวิธี SA มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทดสอบ ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

นอกจากนี้ ผลการจัดเส้นทางสำหรับวิธี SA ในตารางที่ 4 ไม่ได้มีการกำหนดจำนวนรอบการหาคำตอบดังเช่นที่มีการกำหนดในวิธี DE และวิธี DE+NLS โดยการหยุดค้นหาคำตอบของวิธี SA จะกำหนดด้วยการกำหนดค่าอุณหภูมิต้นที่ 1,500 และและอุณหภูมิปลายที่ 0.01 และมีอัตราการเย็นตัวลง (β = 0.99) ส่งผลให้มีจำนวนรอบในการหาคำตอบประมาณ 1,500 รอบ อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์พฤติกรรมการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี ภายใต้เงื่อนไขจำนวนรอบ 100 รอบ แสดงดังในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า ทั้ง 3 วิธี สามารถลู่เข้าสู่คำตอบที่อาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาตัวอย่างวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ภายในจำนวนรอบ 100 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ในขณะที่การลู่เข้าสู่คำตอบของปัญหาตัวอย่างวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2564 จะเห็นว่า วิธี DE+NLS สามารถลู่เข้าสู่คำตอบที่รวดเร็วกว่าวิธี DE และวิธี SA อีกทั้งเมื่อรันครบจำนวน 100 รอบ พบว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาคำตอบของปัญหาได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA



(ก) ปัญหาตัวอย่างวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564



(ข) ปัญหาตัวอย่างวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2564

รูปที่ 4 พฤติกรรมการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี ภายใต้รอบการรันจำนวน 100 รอบ

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการจัดส่ง งานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าน้ำมันรถที่ใช้ไปในการจัดส่งโลหิต ซึ่งคำนวณจากราคาน้ำมัน 29.69 บาทต่อลิตร ณ วันที่ 29 สิงหาคม 2564 [14] คูณกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถขนส่ง (รถตู้ 4 ล้อ แบบดีเซล) และคูณด้วยระยะทางที่ใช้ในการจัดส่ง ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นว่าวิธี DE, SA และ DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งจากวิธีแบบเดิมได้อย่างเห็นได้ชัด และวิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งมีต้นทุนลดลงจากวิธีแบบเดิมเท่ากับ 17,463.54 บาท (คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบต้นทุนการจัดส่งโลหิต

ข้อมูล	วิธีการ			
	แบบเดิม	DE	SA	DE+NLS
ระยะทางรวมทั้งเดือน (กิโลเมตร)	10,804.20	4,232.40	4,185.49	4,017.38
อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถขนส่ง (กิโลเมตรต่อลิตร)*	6.83			
ต้นทุนค่าน้ำมัน (บาท)	46,965.84	18,398.23	18,194.31	17,463.54
ร้อยละลดลงจากวิธีการแบบเดิม	-	60.82	61.26	62.81

หมายเหตุ * ข้อมูลจากการทดลองในการจัดส่งโลหิตจริงด้วยการเติมน้ำมัน 1 ครั้ง วันที่ 15 มกราคม 2565

7. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่แบบใหม่ เรียกว่า DE+NLS เพื่อจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ภายในจังหวัดสงขลาที่ได้แจ้งความต้องการโลหิต โดยในการจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตแต่ละรอบนั้น จะจัดเส้นทางเฉพาะโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตเท่านั้น ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี DE+NLS ได้ทดลองด้วยปัญหาตัวอย่างจำนวน 30 ชุด ซึ่งเป็นข้อมูลการจัดส่งโลหิตของเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 30 วัน และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลรวมของระยะทางทั้งเดือนสิงหาคม วิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางที่มีผลรวมของระยะทางน้อยกว่าวิธีแบบเดิม วิธี DE และวิธี SA นอกจากนี้ในการจัดเส้นทางรายวันพบว่า วิธี DE+NLS ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีแบบเดิมและวิธี DE ในทุกวัน ในขณะที่วิธี DE+NLS ให้คำตอบที่แย่กว่าวิธี SA เพียง 1 วันเท่านั้น

ในด้านเวลาที่ใช้ค้นหาคำตอบพบว่า วิธี DE+NLS ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี SA อย่างไรก็ดี วิธี DE+NLS ยังคงใช้เวลามากกว่าวิธี DE เล็กน้อย เนื่องด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าด้วยการค้นหาแบบเฉพาะที่ ในด้านต้นทุนการจัดส่งพบว่า วิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 17,463.54 บาท คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81% ดังนั้น วิธี DE+NLS เป็นวิธีที่มีการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบในการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตสำหรับปัญหากรณีศึกษานี้

สำหรับการต่อยอดในงานวิจัยต่อไป จะเกี่ยวข้องกับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา การพัฒนาปรับปรุงวิธีการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การเทียบเคียงวิธีการกับตัวแบบปัญหาที่อื่นเกี่ยวข้อง และการพิจารณาต้นทุนให้ครอบคลุมทุกด้าน รวมไปถึงการเพิ่มความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีขนาดปัญหาที่ใหญ่ขึ้น มีความซับซ้อนและสอดคล้องกับการดำเนินงานในสถานการณ์จริงมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] วิจัย บุญญานุสิทธิ์, “การพัฒนาตัวแบบการจัดสรรโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ในประเทศไทย,” สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559.

[2] คณน สุจารี และสิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์, “การแก้ปัญหาการจัดส่งเลือดด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า,” *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*., ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, หน้า 206-226, พฤษภาคม - สิงหาคม 2561.

[3] ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย, “สูจิบัตรภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา,” วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2559.

[4] T. Iswari, V. F. Yu, A. M. S. Asih, “Simulated Annealing for the blood pickup routing problem,” *International Journal of Information*

and Management Sciences., vol. 27, pp. 317-327, 2016.

[5] M. A. H. Akhand, H. P. Zahrul, T. Sultana, and Al-Mahmud. "Solving capacitated vehicle routing problem with route optimization using intelligence," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies*, EICT, Khulna, Bangladesh, 2015.

[6] N. Taweeugsornpun and M. Raweewan, "Vehicle routing for blood product delivery," *Panyapiwat Journal*, vol. 9, no. Supplementary, pp. 230-243, 2560.

[7] ณัตพร ไชยเสนา, "การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกส์: กรณีศึกษา บริษัทผู้ให้บริการขนส่ง," *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์.*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, น. 64-76, 2561.

[8] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์," พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

[9] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง: สำหรับแก้ไขปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์," ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.

[10] วนัฐฌพงษ์ คงแก้ว และศิวศิษย์ วิทยศิลป์, "การวิจัยดำเนินงาน: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้," สงขลา: ไอคิวมีเดีย, 2564.

[11] กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบ เส้นตรงประเภทที่ 1 : กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, น. 39-50, 2556.

[12] วนัฐฌพงษ์ คงแก้ว และศิวศิษย์ วิทยศิลป์, "ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสานเพื่อลดต้นทุนรวมจากงานที่เสร็จก่อนและงานที่เสร็จล่าช้าให้น้อยที่สุด ในการจัดตารางการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, น. 79-91, 2564.

[13] M. Georgioudakis and V. Plevris, "A comparative study of differential evolution variants in constrained structural optimization," *Frontiers in Built Environment.*, vol. 6, no. 102, 2020.

[14] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, "ราคาขายปลีกน้ำมัน," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/petroleum/price/oil-price?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1. [วันที่เข้าถึง 28 มกราคม 2565].