

การแก้ปัญหาเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนด้วยวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง Vaccine Cold Chain Network Problem Using Hybrid Central Force Optimization

คณน สุจारी

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร

ศูนย์นวัตกรรมโลจิสติกส์และระบบขนส่งทางน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร

Corresponding Author. E-mail: Kanon.suj@rmutr.ac.th

(Received: March 18, 2018; Revised: June 1, 2018; Accepted: July 26, 2018)

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนโดยใช้วิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง โดยการประยุกต์ใช้วิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบดั้งเดิมร่วมกับวิธีการค้นหาแบบทาบูและวิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้าน ในขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นและขั้นตอนการพัฒนาผลเฉลยตามลำดับ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน สำหรับการจัดเส้นทางการจัดส่งวัคซีนให้มีระยะทางรวมน้อยที่สุด ขอบเขตของงานวิจัยคือจัดเส้นทางการจัดส่งวัคซีนของสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค 1 จังหวัดเชียงใหม่ การวัดประสิทธิภาพการจัดส่งวัคซีนของวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง เปรียบเทียบกับวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบดั้งเดิมและการจัดส่งวัคซีนในปัจจุบัน การวิเคราะห์ผลของงานวิจัยนี้แนะนำเสนอวิธีฟูแลคทอเรียลสำหรับสังเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการจัดส่งวัคซีน โดยผลเฉลยของวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลางมีระยะทางสั้นกว่าวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบดั้งเดิมและการจัดส่งวัคซีนในปัจจุบัน 22 กิโลเมตร และ 119 กิโลเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครือข่ายห่วงโซ่อุปทานเย็น วิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง วิธีการค้นหาแบบทาบู วิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้าน

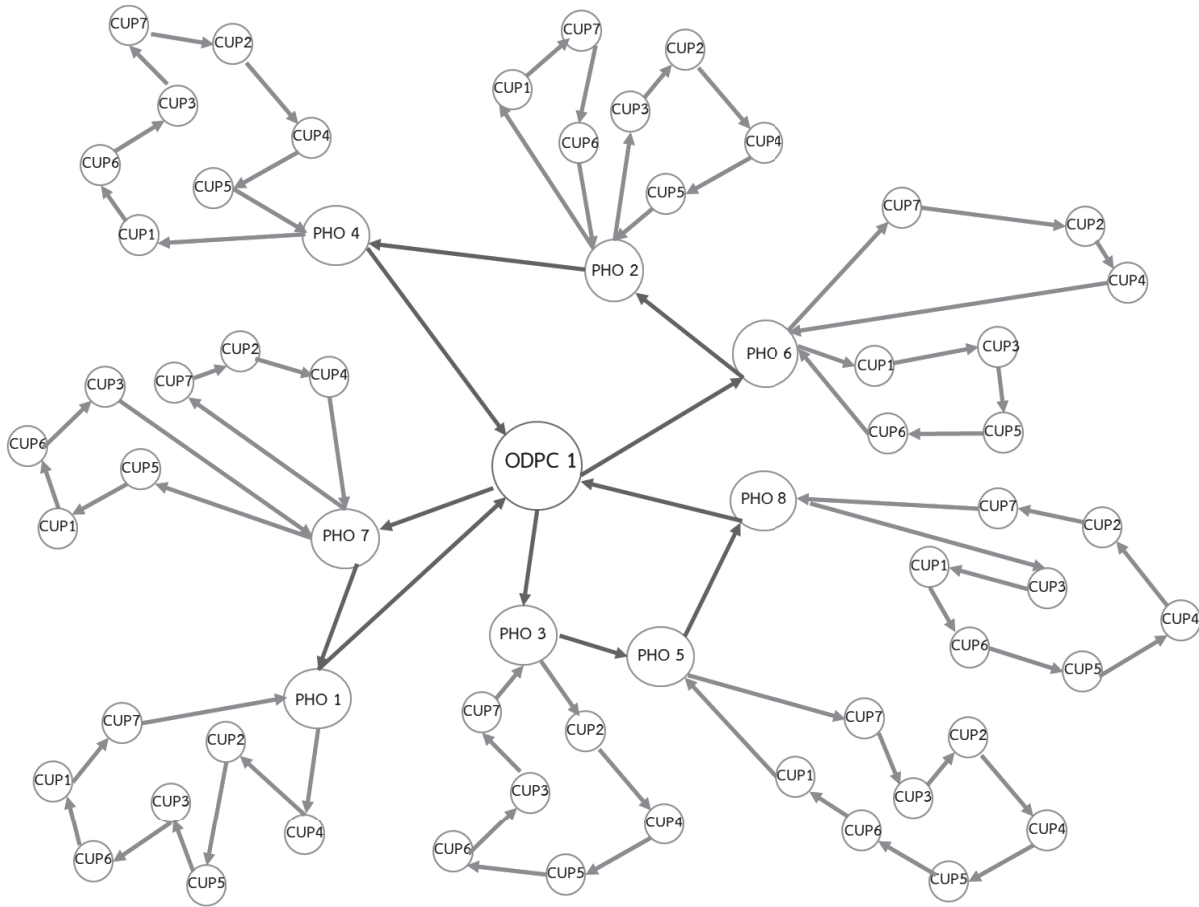
Abstract : This research proposes the solution for solving vaccine cold chain network via Hybrid Central Force Optimization (HCFO). The proposed algorithm is the structure of central force optimization. Both tabu search and nearest neighbor search are to insert in initial solution and developing solution process respectively. This approach is to improve the potential for vaccine cold chain network problem that is to rearrange routes with the minimizing total distances. The scope of this research is to focus on the Office disease prevention and control area 1 (Chiang Mai). The experiments were conducted to compare the efficiency of the hybrid algorithm with the traditional algorithm and real situation. The results of this research provide a full factorial design approach for appropriate parameters in the supply vaccine. The HCFO can rearrange routes shorter than the other methods 22 kilometers and 117 kilometers respectively.

Keywords: Vaccine Cold Chain Network, Central Force Optimization, Tabu Search, Nearest Neighbor Search

1. บทนำ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ประกาศคำจำกัดความของห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนว่า การรักษาคุณภาพของวัคซีนตั้งแต่โรงงานผลิตวัคซีน การจัดส่งวัคซีน การเก็บรักษาวัคซีน ตลอดเส้นทางจนถึงผู้รับวัคซีน [1] เนื่องจากว่าคุณภาพของวัคซีนขึ้นอยู่กับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของการเก็บวัคซีน เพราะวัคซีนแต่ละชนิดเก็บที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เช่น วัคซีน HB วัคซีน JE วัคซีน DTP เก็บอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส วัคซีน OPV เก็บช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส วัคซีน MMR วัคซีน BCG เก็บที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ดังนั้น อุณหภูมิ ความร้อน ความเย็น และแสง มีผลต่อคุณภาพวัคซีนทั้งสิ้น สำหรับวัคซีนในประเทศไทย ถูกส่งมารวมกันที่กรมควบคุมโรค (Department of Disease Control : DDC) กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งมาจากแหล่งผลิตวัคซีนทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ วัคซีนจากกรมควบคุมโรคที่อยู่กรุงเทพมหานคร ถูกส่งไปยังสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค (Office of Disease Prevention and Control : ODPC) ซึ่งมีอยู่

ทั้งหมด 13 แห่งทั่วประเทศ กระจายอยู่ตามจังหวัดขนาดใหญ่ หลังจากนั้นวัคซีนจากสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค ถูกส่งไปยังสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด (Province Health Office : PHO) แต่ละจังหวัดของเขตสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค วัคซีนจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ส่งไปยังโรงพยาบาลหรือศูนย์ประสานงานการปฐมพยาบาลเบื้องต้น (Contracting Unit for Primary Care : CUP) ตามเขตรับผิดชอบ [2] งานวิจัยนี้นำเสนอการวางแผนจัดส่งวัคซีนของสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค เขต 1 จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งรับผิดชอบพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง แพร่ และน่าน ซึ่งแต่ละจังหวัดมีสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 8 แห่ง โดยแต่ละแห่งมีศูนย์ประสานงานการปฐมพยาบาลเบื้องต้นกระจายอยู่ตามพื้นที่ชุมชน ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างเครือข่ายการจัดส่งวัคซีนของสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค เขต 1 จังหวัดเชียงใหม่ ดังภาพที่ 1 แสดงการจัดส่งวัคซีนจาก ODPC ไปยัง PHO และจาก PHO ไปยัง CUP ตามลำดับ โดยการจัดส่งวัคซีนของ ODPC 1 ตามความต้องการของ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างเครือข่ายการจัดส่งวัคซีนของ OPDC

PHO ซึ่งคำนึงถึงความจุของรถห้องเย็นขนส่งวัคซีนและ PHO จัดส่งวัคซีนไปยัง CUP ในเขตความรับผิดชอบของแต่ละ PHO งานวิจัยนี้หาข้อมูลระยะทางจาก Google Map ซึ่งเป็นภูมิสารสนเทศ ที่เป็นการทำข้อมูลเชิงพื้นที่ และการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม [3] เป็นข้อมูลเส้นทางทางการเดินทางจริง ซึ่งมีระยะทางและจำนวนโรงพยาบาล

ทั้งหมด 102 โรงพยาบาล [4] โดยตารางที่ 1 แสดงระยะทางจาก OPDC 1 ถึงแต่ละ PHO โดยจังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่มีระยะทางการจัดส่งไกลที่สุด โดยปัญหาห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนจัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาการจัดเส้นทางทางการเดินทาง ซึ่งมีการจัดส่งสินค้า (วัคซีน) ไปยังลูกค้า (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและโรงพยาบาล)

ตารางที่ 1 ระยะทางและจำนวนโรงพยาบาลของ
ODPC 1

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด	ระยะทาง	จำนวน โรงพยาบาล
จังหวัดเชียงใหม่	8.3 กม.	24 โรงพยาบาล
จังหวัดเชียงราย	200 กม.	18 โรงพยาบาล
จังหวัดพะเยา	158 กม.	9 โรงพยาบาล
จังหวัดน่าน	328 กม.	15 โรงพยาบาล
จังหวัดแม่ฮ่องสอน	250 กม.	7 โรงพยาบาล
จังหวัดลำพูน	19.6 กม.	8 โรงพยาบาล
จังหวัดลำปาง	97.7กม.	13 โรงพยาบาล
จังหวัดแพร่	197 กม.	8 โรงพยาบาล

ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทางจัดเป็นปัญหาแบบ Non Polynomial Hard (NP Hard) ซึ่งมีความซับซ้อนสำหรับแก้ปัญหา โดยงานวิจัยการจัดเส้นทางรถเดินทางมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัด เช่น รูปแบบการขนส่ง จำนวนจุดที่ไปส่งสินค้า จำนวนยานพาหนะในการส่ง ปริมาณที่ขนส่งได้ ข้อจำกัดด้านเวลาสำหรับการส่งสินค้า ทำให้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทางได้รับความนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย แม้มีการศึกษามาอย่างยาวนาน [5] โดยเมื่อก่อนวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทางใช้วิธีแบบ Exact Algorithm เช่น Linear Programming (LP) หรือ Dynamic Programming (DP) ซึ่งเหมาะกับปัญหาปริมาณของข้อมูลไม่มาก เพราะใช้เวลาคำนวณไม่นาน แต่เนื่องจากในปัจจุบันข้อมูลมีความซับซ้อนและข้อมูลมีปริมาณมากขึ้น ทำให้วิธีแบบเดิมใช้เวลาในการคำนวณด้วยระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ปัญหาการจัด

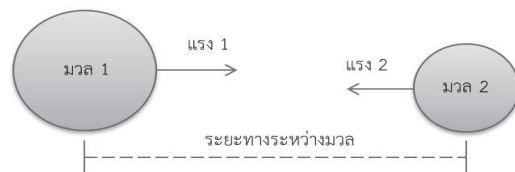
เส้นทางรถเดินทางแบบความจุรถขนส่งมีจำกัด ได้รับความนิยมนมากที่สุด [6] วิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทางแบ่งวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ประเภท คือ วิธีแรก คือ วิธีแก้ปัญหาแบบสมการคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถหาผลเฉลยได้ดีที่สุดเนื่องจากใช้หลักการทางคณิตศาสตร์เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก เพราะใช้เวลาในการหาผลเฉลยใช้เวลานาน โดยมีเวลาการคำนวณเพิ่มขึ้นเป็น Exponential ตามขนาดของปัญหา วิธีการแบบที่สอง คือ วิธีแก้ปัญหาแบบเฉพาะเจาะจงกับชนิดของปัญหา (Specific Approach) เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการแบบเฉพาะเจาะจงจึงไม่สามารถนำไปประยุกต์แก้ปัญหาอื่นได้ และไม่รับรองผลเฉลยที่ดีที่สุดเพราะผลเฉลยมาจากการประมาณ (Approximation) เช่น วิธี Pert และ CPM วิธีการแบบที่สาม คือวิธีแก้ปัญหาแบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) หรือเรียกว่า วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีปริมาณข้อมูลมาก ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อนสูง เพราะวิธีการนี้มีความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหา และมีการเรียนรู้การสร้างผลเฉลย การพัฒนาผลเฉลยด้วยตัวของอัลกอริทึมเอง เหมาะกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) แต่หัวใจสำคัญคือการประยุกต์วิธีแก้ปัญหากับปัญหาให้มีความเหมาะสม วิธีเมตาฮิวริสติกถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขาวิชา เช่น วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ บริหารธุรกิจ การจัดการทรัพยากร เป็นต้น โดยส่วนมากวิธีเมตาฮิวริสติกพัฒนามาจากแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และสังคม วิธีเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากหลักการหรือกฎทางฟิสิกส์ เช่น วิธี Gravity Search Algorithm (GSA) [7], วิธี Intelligent Water Drops Algorithm (IWD) [8], วิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง หรือ Central Force Optimization (CFO) เป็นต้น วิธีที่พัฒนามาจากพื้นฐานทางชีววิทยาหรือจากพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น วิธี Ant Colony Optimization (ACO) [9], วิธี Cuckoo Search (CS)

[10], Particle Swarm Optimization (PSO) [11] และวิธีการทางพันธุกรรมหรือ Genetic Algorithm (GA) [12] เป็นต้น วิธีที่พัฒนามาจากพื้นฐานทางเคมี เช่น วิธี Artificial Chemical Reaction Optimization (ACROA) [13] วิธีที่พัฒนามาจากพื้นฐานทางสังคมวิทยา เช่น วิธี Imperialist Competitive Algorithm (ICA) [14], วิธีการค้นหาแบบทาปู [15] และวิธีการค้นหาแบบเพื่อนบ้าน [16] วิธีที่พัฒนามาจากพื้นฐานทางมานุษยดนตรีวิทยา เช่น วิธี Harmony Search Algorithm (HSA) [17] จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการแบ่งวิธีเมตาฮิวริสติกด้วยพื้นฐานการพัฒนา แต่ถ้าแบ่งด้วยวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบสุ่ม (Random) ซึ่งความน่าจะเป็นเท่ากันเช่น GA, PSO และแบบความน่าจะเป็นไปยังตำแหน่งถัดไปเช่น ACO, CFO [18] โดยหลักการสำคัญของวิธีเมตาฮิวริสติก คือการเรียนรู้ด้วยตัวของอัลกอริทึม จากประสบการณ์หรือผลเฉลยก่อนหน้า ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบนำเอาผลเฉลยเก่ามาพัฒนาต่อ เช่นวิธี GA วิธี PSO ซึ่งนำผลเฉลยจากรอบการคำนวณครั้งก่อนมาเก็บเป็นผลเฉลยเริ่มต้นของรอบการคำนวณถัดมาและวิธีการนำผลเฉลยครั้งก่อนมาแทนเป็นตัวเลขเพื่อสร้างผลเฉลยรอบถัดไป เช่น วิธีของกลุ่ม ACO การจัดเส้นทางการจัดส่งวัคซีนในปัจจุบัน ยังขาดการวางแผนการจัดส่งที่ดี โดยกำหนดจัดส่งอาทิตย์ละ 1 ครั้ง โดยเลือกจากระยะทางที่ใกล้ที่สุดจัดส่งก่อน ทำให้ผลรวมของระยะทางรวมมีค่ามาก ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและด้านเวลาจากระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งปัญหามีขอบเขตของผลเฉลยขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีของกลุ่ม เมตาฮิวริสติก ซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง งานวิจัยนี้มีหัวข้อดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 1 บทนำ แสดงถึงทฤษฎีและความหมายของปัญหา หัวข้อที่ 2 แนวคิดวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง วิธีการค้นหาแบบทาปูและวิธีการค้นหาแบบเพื่อนบ้าน หัวข้อที่ 3 สมการวัตถุประสงคและเงื่อนไขของสมการ หัวข้อที่ 4 ปัญหาวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

สำหรับปัญหาเครือข่ายโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน หัวข้อที่ 5 การออกแบบการทดลองและผลการทดลอง หัวข้อที่ 6 สรุป หัวข้อ 7 กิตติกรรมประกาศ โดยได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และข้อมูลจากงานวิจัยจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (HDC) หัวข้อ 8 เอกสารอ้างอิง สำหรับทำวิจัย

2. แนวคิดวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง วิธีการค้นหาแบบทาปูและวิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้าน

แนวคิดวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางมาจากกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน (Newton's Universal Law of Gravitation) อธิบายไว้ว่าแรงที่ดึงดูดระหว่างมวลโดยขนาดของแรงขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างมวลและขนาดของมวล โดยมีค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง (Gravity Constant) ซึ่งแปรผันตามสภาพแวดล้อม เช่น โลก ดวงจันทร์ ดาวพุธ เป็นต้น โดยกำหนดมวลทั้ง 2 อยู่บนโลกกำหนดค่าคงที่แรงโน้มถ่วงที่ 9.807 m/s^2 ซึ่งแรงดึงดูดระหว่างมวลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แรงดึงดูดระหว่างมวลขนาดต่างกัน

วิธี CFO เป็นหนึ่งในวิธีของเมตาฮิวริสติก ซึ่งถูกนำเสนอโดย R.A. Formato ในปี 2007 วิธีการนี้อยู่บนพื้นฐานของหลักกลศาสตร์อนุภาคในสนามแรงโน้มถ่วง ซึ่งตามหลักของฟิสิกส์อนุภาคเคลื่อนที่ในระนาบ 3 มิติ คือ x, y, z และขนาดของมวลที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีแรงดึงดูดมากกว่ามวลขนาดเล็ก ซึ่งในหลักการของวิธี CFO อนุภาคแต่ละอนุภาคที่เคลื่อนที่แทนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยหลักการของวิธี CFO ไม่ใช้การสุ่ม แต่จะใช้ความน่าจะเป็นสำหรับการสร้างผลเฉลยและนิยมนำไปแก้ปัญหาทาง

วิศวกรรมไฟฟ้าและฟิสิกส์ [18] วิธีการค้นหาแบบทาบูกุมนำเสนอครั้งแรก โดย F. Glover ในปี 1986 การค้นหาแบบทาบูกุมนำมาใช้สำหรับแก้ปัญหาสำหรับหาคำตอบของสมการคณิตศาสตร์ หรือแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนกระบวนการทำงานของวิธีการค้นหาแบบทาบูกุมนำ คือ การสร้างผลเฉลยหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เมื่อดำเนินการเรียบร้อยแล้วทำบันทึกของผลเฉลยนั้นไว้ เพื่อป้องกันการซ้ำซ้ำ เรียกว่าทาบูกูลิสต์ (Tabu List) และ ทำซ้ำ จนถึงเงื่อนไขที่กำหนดและเลือกผลเฉลยที่ดีที่สุด [14] วิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้านใกล้เคียง เป็นวิธีที่การค้นหาที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบหรือผลเฉลย โดยมีแนวคิดการสลับตำแหน่งกับตำแหน่งข้างเคียง และอาจหาจุดที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดเจอได้ หรือเรียกการหาผลเฉลยแบบนี้ว่าวิธี การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ถูกนำเสนอครั้งแรกปี ค.ศ. 1973 โดย D. Knuth [15] จากทฤษฎีของอัลกอริทึมที่กล่าวมา จึงนำส่วนดีของแต่ละอัลกอริทึมมารวมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาผลเฉลย โดยใช้ชื่อว่า วิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นวิธีในกลุ่มของเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการหาผลเฉลยแบบการประมาณซึ่งเหมาะกับปัญหาการจัดส่งวัคซีน เนื่องจากปริมาณข้อมูลมากและความน่าจะเป็นของผลเฉลยมีจำนวนมาก

3. สมการวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของสมการ

งานวิจัยนี้นำเสนอสมการวัตถุประสงค์ของปัญหาห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน เป็นการหาระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับการจัดส่งวัคซีน สามารถอธิบายความหมายของตัวแปร สมการวัตถุประสงค์ เงื่อนไขและข้อจำกัดของสมการดังนี้

- Z หมายถึงผลรวมของระยะทางทั้งหมด
- j หมายถึง PHO j
- m หมายถึง CUP m
- o หมายถึง ODPC 1
- k หมายถึงการขนส่งวัคซีนด้วยรถ k จาก ODPC ถึง PHO
- l หมายถึงการขนส่งวัคซีนด้วยรถ l จาก PHO ถึง CUP

- c หมายถึงขนาดความจุรถจัดส่งวัคซีน
- a หมายถึงความต้องการวัคซีน
- d_{ij} คือระยะทางจาก ODPC i ถึง PHO j
- d_{jm} คือระยะทางจาก PHO j ถึง CUP m
- N คือจำนวนของ PHO
- M คือจำนวนของ CUP
- K คือจำนวนรถขนส่งวัคซีนจาก ODPC ถึง PHO
- L คือจำนวนรถขนส่งวัคซีนจาก PHO ถึง CUP
- p คือ PHO (1,2,3,...,N)
- q คือ CUP (1,2,3,...,M)
- v คือวัคซีน จาก ODPC ถึง PHO
- y คือวัคซีน จาก PHO ถึง CUP

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- $X_{ij}^k = 1$ ถ้ารถ k จาก ODPC i ถึง PHO j นอกนั้น 0
- $X_{jm}^l = 1$ ถ้ารถ l จาก PHO j ถึง CUP m นอกนั้น 0
- $Y_i^k = 1$ ถ้าวัคซีนถูกบรรทุกด้วยรถ k นอกนั้น 0
- $Y_j^l = 1$ ถ้าวัคซีนถูกบรรทุกด้วยรถ l นอกนั้น 0
- $U_i, U_j, U_m =$ ตัวแปรช่วย มีค่า ≥ 0

สมการวัตถุประสงค์ แสดงดังนี้

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K d_{ij} X_{ij}^k + \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L d_{jm} X_{jm}^l \quad (1)$$

โดยที่

$$\sum_{j=1}^N X_{ij}^k \leq 1 \quad (k = 1, 2, 3, \dots, K) \quad (2)$$

$$\sum_{m=1}^M X_{jm}^l \leq 1 \quad (l = 1, 2, 3, \dots, L) \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ip}^k - \sum_{j=0}^N X_{pj}^k = 0 \quad (p = 1 \dots N) \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^M X_{jq}^l - \sum_{m=0}^M X_{jq}^l = 0 (q=1 \dots M) \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_i^k = 1 \quad (i=1,2,3,\dots,K) \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L Y_j^l = 1 \quad (j=1,2,3,\dots,L) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N c_i^v Y_i^K \leq a_k^v \quad (k=1 \dots K) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^M c_j^y Y_j^L \leq a_L^y (l=1 \dots L) \quad (9)$$

$$Y_i^k \leq \sum_{i=1}^N X_{ij}^k \quad (i=1 \dots N), (k=1 \dots K) \quad (10)$$

$$Y_j^l \leq \sum_{j=1}^M X_{jm}^l \quad (j=1 \dots M), (l=1 \dots L) \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N X_{ij}^k \geq 1 \quad (j=1,2,3,\dots,N) \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^M X_{jm}^l \geq 1 \quad (m=1,2,3,\dots,M) \quad (13)$$

$$U_i - U_j + N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k \leq N-1, \quad \forall_{i,j} = (2,\dots,N) \quad (14)$$

$$U_j - U_m + N \sum_{l=1}^L X_{jm}^l \leq N-1, \quad \forall_{j,m} = (2,\dots,N) \quad (15)$$

สมการที่ 1 คือผลรวมระยะทางทั้งหมดของการจัดส่งวัคซีน จาก ODPC ถึง CUP เงื่อนไขที่ 2 แสดงถึงรถขนส่งวัคซีนจาก ODPC ไปยัง PHO j เงื่อนไขที่ 3 แสดงถึงรถขนส่งวัคซีนจาก PHO j ไปยัง CUP m เงื่อนไขที่ 4

กับเงื่อนไข 5 เชื่อกันไว้ว่า PHO j และ CUP m ได้รับวัคซีน เงื่อนไขที่ 6 และเงื่อนไขที่ 7 เชื่อกันไว้ว่ารถขนส่งวัคซีน k และ l ผ่าน PHO j และ CUP m ตามลำดับ เงื่อนไขที่ 8 และ เงื่อนไขที่ 9 การขนส่งวัคซีนต้องไม่เกินจำนวนความจุของรถ k และ l เงื่อนไขที่ 10 และ 11 รถขนส่งวัคซีนต้องผ่าน PHO j และ CUP m เงื่อนไขที่ 12 กับ เงื่อนไข 13 ทั้ง PHO j และ CUP m ต้องได้รับการส่งวัคซีนอย่างน้อย 1 ครั้ง ตามความต้องการ เงื่อนไขที่ 14 และ เงื่อนไขที่ 15 เป็นการป้องกันการเกิดทัวร์ย่อย เพื่อให้รถจัดส่งวัคซีนตรงตามเงื่อนไข

4. วิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลางสำหรับปัญหาเครือข่ายโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน

กำหนดข้อมูลระยะทางของ ODPC 1 ไปยัง PHO และ PHO ไปยัง CUP ข้อมูลเป็นแบบตารางระยะทางแสดงระยะทางระหว่างจุด ซึ่งเก็บข้อมูลจาก Google Map เก็บข้อมูลความต้องการวัคซีนของ CUP ถูกส่งความต้องการไปยัง PHO และ PHO ส่งความต้องการวัคซีนไปยัง ODPC ซึ่งต้องคำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกวัคซีนของรถจัดส่งวัคซีน กำหนดค่าตัวแปร \bar{R}_j คือค่าความน่าจะเป็นสำหรับการเลือก PHO และ CUP ในการจัดส่งวัคซีนมีลักษณะเป็นเวกเตอร์ ซึ่งในหลักการของ HCFO เปรียบเสมือนอนุภาคเคลื่อนที่ในระนาบและ \bar{a}_j คือค่าเวกเตอร์ความเร่งของอนุภาค ซึ่งเริ่มต้นกำหนดค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากขั้นตอนการหาผลเฉลยเริ่มต้น เมื่อนำตัวแปร \bar{a}_j แทนในสมการที่ 16 เพื่อทำให้ความน่าจะเป็นสำหรับการเลือก PHO และ CUP เท่ากัน ซึ่งสามารถแทนด้วยเลขค่าคงที่ตัวอื่นได้ ยกเว้นเลข 0 โดยงานวิจัยของ Formato R.A. กำหนดให้เป็น 1 [19] เพื่ออำนวยความสะดวกเข้าใจ

4.1 ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น

เริ่มจากกำหนด ODPC 1 เป็นจุดเริ่มต้นของการจัดส่งวัคซีนและเป็นจุดสุดท้ายเมื่อรถจัดส่งวัคซีนเสร็จแล้ว หลังจากนั้นกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือก PHO ที่จัดส่งวัคซีนเป็นลำดับถัดไปจากสมการของวิธี HCFO

$$\overline{R}_{ij} = \overline{V}_{ij}t + \frac{1}{2}a_{ij}t^2 + n_{ij}, \quad j > 1 \quad (16)$$

โดยที่ \overline{V}_j คือค่าความเร็วเริ่มต้นที่เป็นเวกเตอร์ซึ่งกำหนดค่าเริ่มต้นไว้ที่ 1 และ t คือเวลาซึ่งเริ่มต้นกำหนดให้เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 และ n_{ij} คือหนึ่งส่วนระยะทางจาก ODPC i ไป PHO j หลังจากแทนค่าในสมการ 16 เพื่อสร้างค่าความน่าจะเป็นของเส้นทางที่เป็นไปได้โดยเลือกจากวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel) สำหรับเลือก PHO j ที่ไปส่ง และเช็คความต้องการวัคซีนของ PHO ที่ไปส่งแล้วนำไปหักจาก วัคซีนที่บรรทุกไป เลือก PHO ในการส่งวัคซีนถัดไปจนครบเส้นทางหรือวัคซีนที่บรรทุกไปหมด จำเป็นต้องกลับไปนำวัคซีนที่ ODPC 1 ใหม่ แล้วจัดส่งวัคซีนตามหลักการข้างต้น ต่อจนครบทุกความต้องการของ PHO แล้วคำนวณหาระยะทางของการเดินทางขนส่งวัคซีนทั้งหมด บันทึกค่าผลเฉลย ตามหลักการข้างต้น แต่ละ PHO จัดส่งวัคซีนไปยัง CUP ภายในจังหวัดแต่ละจังหวัด ทำการรวบรวมระยะทางสำหรับการจัดส่งของแต่ละ PHO มารวมกับระยะทางจาก ODPC 1 ถึง PHO เป็นผลรวมระยะทางทั้งหมด กำหนดให้เป็นผลเฉลยเริ่มต้น หลังจากนั้นคำนวณเส้นทางใหม่ทำให้ครบตามจำนวนที่กำหนดเป็นผลเฉลยเบื้องต้น โดยหลักการผลเฉลยเริ่มต้นควรกระจายครอบคลุมทั้งขอบเขตของปัญหา ซึ่งสมการวัตถุประสงค์สามารถแทนด้วยระยะทางที่ผ่านตั้งแต่เริ่มต้นคือ ODPC 1 ไปยัง PHO และกลับมายัง ODPC และจาก PHO ไปยัง CUP และกลับมายัง PHO อีกครั้งซึ่งแทนด้วยสมการดังนี้

$$M = f(R_{0i}, R_{ij}, R_{jk}, \dots, R_{X0}) \quad (17)$$

โดยการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง สำหรับปัญหาเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานยื่นสร้างในรูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ ไม่สมมาตร เนื่องจากจำนวนจุดส่งวัคซีนของแต่ละ PHO ไม่เท่ากัน แสดงดังภาพที่ 3 แกน X แสดงจำนวนของ CUP ที่ต้องจัดส่งของแต่ละ PHO ซึ่งมีปริมาณในการจัดส่งไม่เท่ากัน แกน Y แสดงจำนวน PHO ที่จัดส่งจาก ODPC 1 ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 8 PHO โดยแต่ละ PHO ได้ทำการจัดส่งวัคซีนไปยัง CUP ในเขตความรับผิดชอบของแต่ละ PHO โดยใช้วิธีการสุ่ม CUP สำหรับการเลือกจุดส่ง หลังจากสร้างตารางแบบไม่สมมาตรเสร็จแล้วก็นำมาประมวลผลหาระยะทางของแต่ละ PHO ไปยัง CUP แล้ว นำระยะทางมารวมกัน ซึ่งก็คือค่าผลเฉลยของสมการวัตถุประสงค์

4.2 การประยุกต์วิธีการค้นหาแบบทาบู

วิธีการค้นหาแบบทาบูถูกประยุกต์ใช้สำหรับการป้องกันการสร้างเส้นทางจัดส่งวัคซีนเริ่มต้นซ้ำกัน เพื่อเพิ่มโอกาสสำหรับการกระจายผลเฉลยเริ่มต้น และเพิ่มโอกาสสำหรับหาผลเฉลยที่ดีขึ้น โดยการกำหนดผลเฉลยที่ถูกสร้างขึ้นไว้ในทาบูลิสต์ เพื่อเช็คเส้นทางและป้องกันการซ้ำ เริ่มจากตรวจสอบเส้นทางจัดส่งวัคซีนของกระบวนการข้างต้น เปรียบเทียบกับเส้นทางในทาบูลิสต์ที่เก็บไว้ ถ้าเส้นทางจัดส่งวัคซีนซ้ำกันก็ยกเลิกเส้นทางนั้นและสร้างเส้นทางใหม่จากกระบวนการข้างต้น

CUPs

PHO1	3	4	1	2	6	8	9	5	7
PHO2	2	6	1	7	5	3	4		
PHO3	3	5	7	8	1	4	2	6	
PHO4	4	6	9	7	8	1	2	3	5
PHO5	5	4	3	1	2				
PHO6									
PHO7	5	6	1	4	3	2			
PHO8	7	5	1	6	2	3	4		
	4	6	7	2	5	1	3		

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น

4.3 ขั้นตอนการวนลูปและการตรวจสอบเงื่อนไข

หลังจากกระบวนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของวิธี HCFO ขั้นตอนต่อมาคือ วนลูปเพื่อพัฒนาผลเฉลยจากผลเฉลยเริ่มต้น โดยนำค่าจากผลเฉลยเริ่มต้นมาคำนวณสำหรับหาความน่าจะเป็น โดยที่คำนวณค่าความเร่งใหม่จากสมการดังนี้

$$\overrightarrow{a_{new}} = \frac{GM^\alpha}{(r_{ij})^\beta} \quad (18)$$

ค่า G เป็นค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงของโลกกำหนดเท่ากับ 9.807 m/s^2 ค่า M คือค่าระยะทาง จากสมการที่ 17 ส่วนค่า α กำหนดให้ $\alpha > 0$ และค่า β กำหนดให้ $\beta > 0$ วิธี HCFO กำหนดให้ทั้งสองค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ตามลำดับ [18] วิธี HCFO กำหนดการควบคุมค่าความเร่งให้อยู่ในขอบเขต เพื่อโอกาสสร้างผลเฉลยใหม่ที่ตีมีมากขึ้น โดยกำหนดค่าดังนี้

$$\overrightarrow{a_{max}} = M - \frac{1}{2}(M - r_{ij}) \quad (19)$$

โดยที่

$$\overrightarrow{a_{min}} = \frac{\overrightarrow{a_{max}}}{2} \quad (20)$$

$$\text{ถ้า } \overrightarrow{a_{new}} < \overrightarrow{a_{min}} \text{ ดังนั้น } \overrightarrow{a_{new}} = \overrightarrow{a_{min}} \quad (21)$$

$$\text{ถ้า } \overrightarrow{a_{min}} < \overrightarrow{a_{new}} < \overrightarrow{a_{max}} \text{ ดังนั้น } \overrightarrow{a_{new}} = \overrightarrow{a_{new}} \quad (22)$$

$$\text{ถ้า } \overrightarrow{a_{new}} > \overrightarrow{a_{max}} \text{ ดังนั้น } \overrightarrow{a_{new}} = \overrightarrow{a_{max}} \quad (23)$$

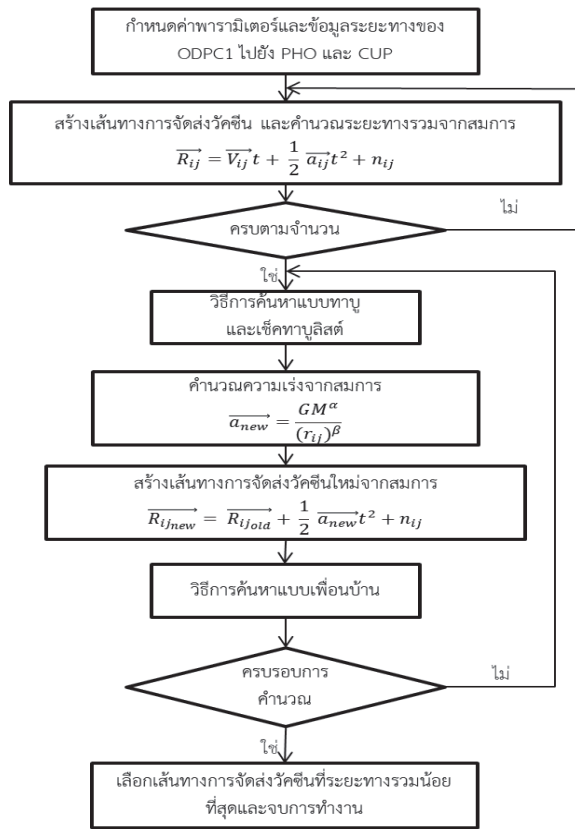
หลังจากได้ค่าความเร่งใหม่สำหรับในรอบการคำนวณถัดไปสามารถนำไปแทนในสมการหาความน่าจะเป็นดังต่อไปนี้

$$\overrightarrow{R_{j_{new}}} = \overrightarrow{R_{j_{old}}} + \frac{1}{2}\overrightarrow{a_{new}}t^2 + n_{ij}, \quad j > 1 \quad (24)$$

4.4 การประยุกต์วิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้าน

หลังจากกระบวนการหาผลเฉลยของการจัดส่งวัคซีนแล้วขั้นตอนถัดมาคือนำเส้นทางผลเฉลยมาเข้าสู่กระบวนการค้นหาแบบเพื่อนบ้าน ซึ่งเลือกเส้นทางที่มีระยะทางรวมของการจัดส่งวัคซีนน้อยที่สุดของรอบการคำนวณนั้น มาสุ่มตำแหน่งของการสลับจุดส่ง โดยกำหนดสุ่ม 1 ตำแหน่ง แล้วสลับตำแหน่ง ชาย-ขวาและเลือกเส้นทางที่ให้ค่าระยะทางน้อยที่สุดหลังจากนั้นก็กลับไปยังขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นเพื่อสร้างผลเฉลยใหม่

และผ่านกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพกระบวนการทำงานของวิธี HCFO ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของ HCFO

5. ผลการทดลอง

โปรแกรมของงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาด้วยภาษา Visual Basic 2012 Express Edition โปรแกรม Minitab 18 เวอร์ชันทดลองใช้ 30 วันสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ Intel core i7 3.40 GHz Ram 8 GB งานวิจัยนี้กำหนดให้วิธี HCFO มีจำนวนพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ รอบการคำนวณต่อตำแหน่งเริ่มต้น I/PP (Iteration / Probe Positions) หน่วยเป็นครั้ง ค่าถ่วงน้ำหนักมวล (α) และค่าถ่วงน้ำหนักระยะทางระหว่างมวล (β) โดยมีการตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยทดสอบสมมติฐาน 4 ตัว

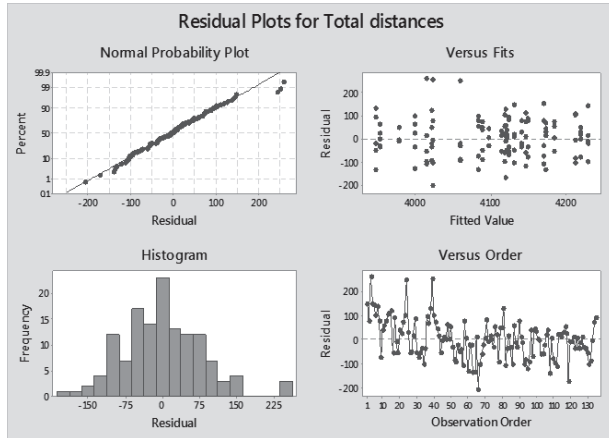
คือ การทดสอบสมมติฐานกราฟแท่งฮิสโตแกรมส่วนตักข้าง การทดสอบสมมติฐานความปกติส่วนตักข้าง การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนที่มีค่าคงที่และการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ [20] การออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial Design 3 ระดับ (3^k) โดย k เป็นจำนวนปัจจัย ซึ่งทั้งวิธี CFO และ HCFO ใช้พารามิเตอร์ชุดเดียวกันซึ่งงานวิจัยนี้แสดงพารามิเตอร์ของ HCFO ในตารางที่ 2 เนื่องจากจำนวนพารามิเตอร์ 3 ตัว ทำให้เป็น 33 กำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของการทดลอง ทำให้มีจำนวนการทดลอง 135 ครั้ง

ตารางที่ 2 ค่า 3 ระดับของพารามิเตอร์ของ CFO และ HCFO

ปัจจัย CFO และ HCFO	ระดับ		
	ต่ำ	กลาง	สูง
I/PP	50/200	100/100	200/50
α	1	2	3
β	1	2	3

การตรวจสอบสมมติฐานทั้ง 4 เป็นการทดสอบสมมติฐานของวิธี CFO และวิธี HCFO โดยกำหนดการวิเคราะห์การกระจายตัวของเศษเหลือ (Residual) โดยพิจารณากราฟความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) และกราฟแท่ง (Histogram Plot) พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ กราฟ Versus Fits และกราฟ Versus Order สามารถสรุปข้อมูลได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแปรแบบปกติและข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันแสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งมีลักษณะแบ่งเป็น 4 กราฟคือ กราฟ Normal Probability Plot ช่องซ้ายบน กราฟ Versus

Fits อยู่ช่องซ้ายล่าง กราฟ Histogram Plot อยู่ช่องซ้าย
ล่างและกราฟ Versus Order อยู่ช่องซ้ายล่าง ตามลำดับ



ภาพที่ 5 การทดสอบสมมติฐานของ HCFO

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการละเมิดสมมติฐาน ซึ่งทำให้
สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบสมการเชิงเส้น
(ANOVA General Linear Model) โดยวิเคราะห์
จากค่า P-Value ที่กำหนดค่าความเชื่อมั่นไว้ที่ 95% จาก
การออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการผล
เฉลยของวิธี CFO และ HCFO คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระยะ
ทางระหว่างมวล เท่ากับ 3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์
ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

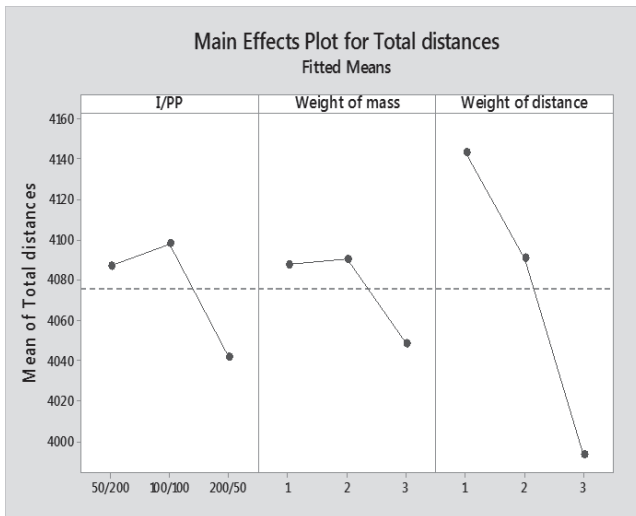
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ CFO

Source	DF	SS	MS	F	P
<i>I/PP</i>	2	79476	39738	2.51	0.086
α	2	49281	24641	1.56	0.215
β	2	521050	260525	16.47	0.000
<i>I/PP</i> * α	4	34679	8670	0.55	0.701
<i>I/PP</i> * β	4	112938	28235	1.79	0.137
α * β	4	28234	7059	0.45	0.775
<i>I/PP</i> * α * β	8	100656	12582	0.8	0.608
Error	108	1707881	15814		
Total	134	2634197			

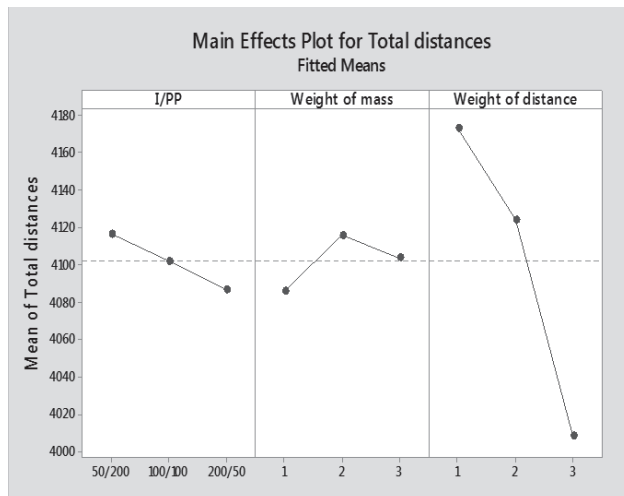
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ HCFO

Source	DF	SS	MS	F	P
<i>I/PP</i>	2	19454	9727	1.18	0.312
α	2	19953	9976	1.21	0.303
β	2	642919	321459	38.94	0.000
<i>I/PP</i> * α	4	60825	15206	1.84	0.123
<i>I/PP</i> * β	4	8791	2198	0.27	0.899
α * β	4	13720	3430	0.42	0.797
<i>I/PP</i> * α * β	8	51075	6384	0.77	0.627
Error	108	891510	8255		
Total	134	1708247			

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 สามารถนำข้อมูลมาแสดงผลเป็นกราฟ Main Effect Plot ของวิธี CFO และ HCFO เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการเฉลยของปัญหาห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน ซึ่งแสดงว่าปัจจัย ค่าถ่วงน้ำหนักระยะทางระหว่างมวลหรือ β มีผลต่อการหาผลเฉลยที่ดี



ภาพที่ 6 ปัจจัยผลกระทบหลักของ CFO



ภาพที่ 7 ปัจจัยผลกระทบหลักของ HCFO

จากภาพที่ 6 และภาพที่ 7 แสดงว่าปัจจัยที่มีผลต่อการหาผลเฉลย คือ ระยะทางระหว่างมวล (β) เนื่องจากว่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และค่าเฉลี่ยระยะทางน้อยที่สุด โดยกำหนด ชุดของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับประมวลผลการแก้ปัญหาห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีน โดยกำหนดให้ วิธี CFO กำหนดให้ I/PP เท่ากับ 200/50 ค่าถ่วงน้ำหนักมวล เท่ากับ 3 และค่าถ่วงน้ำหนักระยะทางระหว่างมวล เท่ากับ 3 วิธี HCFO กำหนดให้ I/PP เท่ากับ 200/50 ค่าถ่วงน้ำหนักมวล เท่ากับ 1 และค่าถ่วงน้ำหนักระยะทางระหว่างมวล เท่ากับ 3 หลังจากได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับประมวลผลการแก้ปัญหาห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนแล้ว กำหนดให้ประมวลผลแต่ละวิธี จำนวน 20 ครั้ง ซึ่งผลเฉลยของการประมวลผลด้วยวิธี CFO สามารถหาเส้นทางการจัดส่งวัคซีนได้ระยะทางสั้นกว่าสถานการณ์จริง 97 กิโลเมตร และวิธี HCFO สามารถหาเส้นทางการจัดส่งวัคซีนได้ระยะทางสั้นกว่าสถานการณ์จริง 119 กิโลเมตร จากการทดลองพบว่าวิธีการค้นหาแบบทายูและวิธีการค้นหาแบบเพื่อนบ้านทำให้ประสิทธิภาพของวิธี HCFO ดีกว่าวิธี CFO ประมาณ 22 กิโลเมตร ระยะทางรวมและเวลาการประมวลผลของแต่ละวิธีแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การสรุปผลจากการประมวลผล

วิธี	ผลรวมระยะทาง	เวลาประมวลผล
HCFO	3804 กม.	24.65 วินาที
CFO	3826 กม.	21.36 วินาที
การขนส่งปัจจุบัน	3923 กม.	-

จากตารางที่ 5 เวลาของการประมวลผลสรุปได้ว่าวิธี HCFO ใช้เวลาการคำนวณมากกว่าวิธี CFO เนื่องจากวิธี HCFO เพิ่มขั้นตอนการค้นหาแบบทาบ และ การค้นหาแบบเพื่อนบ้านทำให้เวลาประมวลผลมากกว่าวิธี CFO อยู่ 3.29 วินาที

6. สรุปผล

ปัญหาเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานเย็นของวัคซีนจัดเป็นปัญหาที่องค์การอนามัยโลกให้ความสำคัญ เนื่องจากว่าการรักษาคุณภาพของวัคซีนตั้งแต่โรงงานที่ผลิตไปยังคนไข้ที่ได้รับการรักษาต้องมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิการจัดเก็บวัคซีนที่เหมาะสม ความร้อน ความเย็นและแสง มีผลต่อคุณภาพของวัคซีนทั้งสิ้น การวางแผนการจัดส่งที่ดีเพื่อให้วัคซีนรักษาคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของคนไข้ จึงถือเป็นเรื่องที่สำคัญ งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยคือ การจัดส่งวัคซีนจากสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค เขต 1 จังหวัดเชียงใหม่ไปยังสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด 8 แห่ง และจัดส่งไปยังศูนย์ประสานงานการปฐมพยาบาลเบื้องต้น 102 แห่ง โดยนำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติก ชื่อว่าวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลางและกำหนดให้จัดส่งวัคซีนครบทุกจุดส่งซึ่งกำหนดให้มีการเปรียบเทียบการหาผลเฉลยของวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลางกับวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบดั้งเดิมและการจัดส่งวัคซีนในปัจจุบัน การทดลองกำหนดให้มีการออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีไฮบริดแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง สำหรับการประมวลผลหาผลเฉลยและสามารถสร้างผลเฉลยที่มีระยะทางการจัดส่งวัคซีนสั้นกว่าวิธีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแบบดั้งเดิมและการจัดส่งวัคซีนในปัจจุบัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นความต้องการของวัคซีนมีความแปรปรวนของแต่ละช่วงเวลา ทำให้ความต้องการวัคซีนแตกต่างกัน จึงไม่มีความจำเป็นต้องส่งครบทุกจุดส่งแต่เลือกส่งเฉพาะจุดส่งที่มีความต้องการวัคซีนหรือสร้างแบบจำลองเพื่อกำหนดจุดพักวัคซีนตามศูนย์ประสานงานการปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่มีความพร้อม

ด้านการจัดเก็บและรักษาคุณภาพของวัคซีนเพื่อสามารถป้องกันการขาดแคลนวัคซีนและสามารถจัดส่งวัคซีนได้ทันที

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และได้รับข้อมูลสำหรับงานวิจัยจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ (HDC)

8. บรรณานุกรม

- (1) World Health Organization (WHO), 2017. Vaccine cold chain. <http://www.who.int/immunization/documents>
- (2) แพพรพรณ ภูริปัญญา, 2555. แนวทางการดำเนินงานโครงการสร้างเสริมภูมิคุ้มกันโรคด้วยวัคซีนด้วยระบบ VMI. สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น.
- (3) พลเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2559. ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, เล่มที่ : 14 เลขหน้า 1-8.
- (4) กรมป้องกันและควบคุมโรค, 2559. พื้นที่ความรับผิดชอบ ของสำนักงานป้องกันและควบคุมโรค, <http://odpc1.ddc.moph.go.th/area61.html>
- (5) เครือวัลย์ จำปาเงิน, 2547. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าเพื่อการบริโภคสู่ร้านค้าปลีกในสถานบริการน้ำมันจังหวัดนนทบุรี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (6) Jaegere N., Defraeye M., I. Van Nieuwenhuyse, 2013. Vehicle routing problem: state of the art classification and review. KU Leuven.
- (7) Rashedi E., Nezamabadi H., Saryadi S, 2009. Gravatational Search Algorithm, Information sciences, Vol 179: pp 2232-2248.
- (8) Shah-Hossemimi H., 2009. Optimization with the Nature-Inspired Intelligent Water Drops Algorithm, Evolutionary computation, Wellington Pinheiro dos Santos (Ed.).
- (9) Dorigo M. and Gambardella L. M., 1997. Ant Colony System: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem, IEEE Transaction, Vol. 1, pp. 53-66.
- (10) Xin S.Y., Suash D., 2010. Cuckoo search via Lévy flights, Mathematical Modeling and Numerical Optimization, Vol. 1(4), pp. 210-214.

- (11) Kennedy J., Eberhart R.C., 1995. The Particle swarm optimization, IEEE Transaction, Vol. 4, pp. 1942-1948.
- (12) Goldberg D.E., 1989. Genetic Algorithm in Search, The Optimisation and Machine Learning, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC.
- (13) Alatas B., 2012. A novel chemistry based the metaheuristic optimization method for mining of classification rules, Expert system with application, Vol. 39, pp. 11080-11088.
- (14) Gargari A.E., Lucas C., 2007. Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. IEEE Congress on Evolutionary Computation, Vol.7, pp. 4661-4666.
- (15) Glover F., 1986. Future paths for integer programming and link to artificial intelligence, computers and operation research, Vol 13, No. 5, pp. 533-549.
- (16) Knuth D., 1973. The Art of Computer Programming, Vol.3, Stanford University, ADDISON-WESLEY: An Imprint of Addison Wesley Longman inc.
- (17) Lee K.S, Geem Z.W., 2005. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony search theory and practice, Computer Methods in Applied mechatronic and Engineering, Vol.194, pp. 3902-3933.
- (18) คณน สุจาวรี, สติเทพ สังข์ทอง, จีรัตน์ จิตธรรมมา, 2559. การออกแบบเครือข่ายห้วงโซ่อุปทานเลือดโดยใช้วิธีแรงเข้าสู่จุดศูนย์กลาง, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2559. หน้า 2-10.
- (19) Formato R.A., 2007, Central force optimization: A new metaheuristic with applications in applied electromagnetics, Progress in electromagnetics research, Vol 77, pp.425-491.
- (20) Montgomery DC., 2001. Design and analysis of experiments, 5th edition, New York, John Wiley and Sons.