การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ด้วยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสาน

A Design of Blood Transportation in Lower Southern Province using Hybrid Metaheuristic Algorithms

คุณานนต์ อินทปาน

Kunanon Intapan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ด้วยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสาน

A Design of Blood Transportation in Lower Southern Province using Hybrid Metaheuristic Algorithms

คุณานนต์ อินทปาน

Kunanon Intapan

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ด้วยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสาน

ผู้เขียน นายคุณานนต์ อินทปาน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนัฐณพงษ์ คงแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี)

.....กรรมการ

(ดร. สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถกิง วงศ์ศิริโชติ)

รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนัฐณพงษ์ คงแก้ว)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....
(รองศาตราจารย์ ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ .....
(นายคุณานนต์ อินทปาน)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นายคุณานนต์ อินทปาน)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างด้วยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสาน
ผู้เขียน นายคุณานนต์ อินทปาน
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบการขนส่งของห่วงโซ่อุปทานโลหิตในภาคใต้ตอนล่างจำนวน 7 จังหวัด ปัจจุบันมีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลาเป็นศูนย์กลาง และมีโรงพยาบาลในห่วงโซ่อุปทานดังกล่าวทั้งสิ้น 89 โรงพยาบาล การศึกษาวิจัยเรื่องการจัดเส้นทางขนส่งโลหิต งานวิจัยจึงต้องเริ่มต้นจากการศึกษาระบบการทำงานโดยภาพรวมของภาคบริการโลหิตและหาแนวทางในการพัฒนาระบบการขนส่งให้ดีขึ้น โดยการสร้างอัลกอริทึมสำหรับคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิตแบบรายวัน ที่ประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกในการหาคำตอบของปัญหาจัดเส้นทางขนส่งโลหิตแบบเวียนเที่ยวรถและประยุกต์ใช้ทฤษฎีต้นทุนฐานกิจกรรมสำหรับคำนวณต้นทุนการขนส่ง ทำให้มีจำนวนเที่ยวรถสำหรับการขนส่งที่สูง ส่งผลให้ต้นทุนรวมในกระบวนการขนส่งโลหิตสูงขึ้น

ผลจากการศึกษาการขนส่งโลหิตในห่วงโซ่อุปทานนี้ ทำให้ทราบว่าในปัจจุบันโรงพยาบาลภายใต้การดูไม่มีเครือข่ายการขนส่งโลหิตที่เชื่อมต่อกัน มีความเป็นอิสระต่อกัน มีเพียงภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นตัวเชื่อมตรงกลางระหว่างโรงพยาบาลต่าง ๆ

งานวิจัยได้ร่วมกันออกแบบรูปแบบการขนส่งโลหิต และแบ่งแยกกลุ่มของโรงพยาบาลเป็น 3 กลุ่ม คือ โรงพยาบาลกลุ่ม A, B และ C สำหรับการออกแบบเส้นทาง เมื่อได้รูปแบบการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้แล้ว งานวิจัยได้นำปัญหาและรูปแบบการขนส่งซึ่งเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขสำหรับการขนส่ง นำเข้าสู่กระบวนการแก้ปัญหาเชิงตรรกะ และนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ด้วยวิธี Coding โดยที่มีตัวดำเนินการสำหรับการหาคำตอบเส้นทางขนส่งโลหิตที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละวัน งานวิจัยได้ศึกษาวิธีเมตาฮิวริสติกต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้จำนวนมาก อาธิเช่น ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย (FA) และ การจำลองการอบเหนียว (SA) เป็นต้น เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับขั้นตอนวิธีใหม่ที่ผู้วิจัยต้องการพัฒนาขึ้นมาใหม่ในงานวิจัยนี้ รวมถึงเป็นตัวเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพสำหรับทดสอบความสามารถในการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีที่ได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นมา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้คิดค้นขั้นตอนวิธีใหม่ขึ้นมา สองขั้นตอนวิธี คือ ขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (DENLS) และ ขั้นตอนหิ่งห้อยแบบผสมผสาน (HFA+NLS) จากการทดสอบทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหานี้ ทั้งนี้ขั้นตอนวิธีทั้งสองถูกใช้ในงานวิจัยซึ่งได้ถูกนำเสนอผลงานให้และเป็นที่ยอมรับทั้งในระดับประเทศ และระดับนานาชาติ

คำสำคัญ ปัญหาการจัดส่งเลือด, โซ่อุปทานโลหิต, วิธีการเมตาฮิวริสติก

Thesis Title *A Design of Blood Transportation in Lower Southern Province using Hybrid Metaheuristic Algorithms*

Author Mr. Kunanon Intapan

Major Program Industrial and Systems Engineering

Academic Year 2022

ABSTRACT

This dissertation aims to develop the transportation of blood supply chain in the 7 lower southern provinces of Thailand which has 12th Regional Blood Center as a center of blood supply with 89 hospitals under its management. This research studies on the blood delivery routing problem. Therefore, the research initially emphasizes on the understanding of blood center working process, then finding the solutions to enhance the transportation system. In this regard, the researcher has created an algorithm for computation of daily route for blood transportation by applying metaheuristic in solving vehicle routing problem (VRP) and activity-based costing in computation of transportation cost.

As a result, the study shows that there is no interconnection of transportation routing between the mentioned hospitals. Regardless of the blood center which is the only thing connecting each hospitals together, the routing is unsystematically managed resulting in high number of transporting routes and cost.

For the purpose of blood transportation design, the hospitals have been divided into 3 groups which are Group A, B, and C. Then the researcher has discussed with concerned people in designing suitable transportation pattern as a practical condition for routing. The problem will be processed through logical thinking and problem solving, and subsequently imported to computer by coding which will all be conducted daily. In designing the best proposed method for this research, the researcher has studied numbers of metaheuristic such as Differential Evolution (DE),

Firefly Algorithm (FA), and Stimulated Annealing (SA). These studied metaheuristics also used as a comparative factor in analyzing effectiveness of the new proposed method. The researchers have proposed 2 new methods which Differential evolution with new local search (DENLS) and Hybrid firefly algorithm with new local search (HFA+NLS) which considers as an appropriate and suitable methods for this problem. Moreover, these two methods were used in the paper which was accepted nationally and internationally.

Keywords: Blood Routing Problem, Blood Supply Chain, Metaheuristic

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้ความดูแลช่วยเหลือเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี ประธานกรรมการสอบ และ อาจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวัชรชัยติวงศ์ กรรมการสอบ ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติม จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณนางสาวสุภัตตรา มิถุนดี (พี่จี้) นางสาวศิริภัทร์ สารานพคุณ (พี่บี) และรวมไปถึงผู้เชียวชาญจากสภากาชาดไทยทุกท่าน ที่กรุณาช่วยดำเนินการทดลอง ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษา คณะครูอาจารย์ และภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือ ให้ความรู้ ข้อมูล ทุนการศึกษา และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อนุเคราะห์ทุนอุดหนุนการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือประสานงานให้สำเร็จด้วยดี

ขอบพระคุณคุณแม่ คุณย่า พี่ชาย และเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ห่วงใย และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาแด่พระคุณบิดามารดา ครูอาจารย์ และสถานศึกษาที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

คุณานนต์ อินทปาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (5)

ABSTRACT (7)

กิตติกรรมประกาศ (9)

สารบัญ (10)

รายการรูปภาพ (13)

รายการตาราง (15)

บทที่ 1 *1*

บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสาร 7

2.1 ความรู้พื้นฐานเรื่องโลหิต 7

2.1.1 ประเภทของโลหิต 7

2.1.2 ส่วนประกอบของโลหิต 7

2.1.3 การบริจาคโลหิต 8

2.1.4 ผลิตภัณฑ์จากโลหิต 8

2.2 ห่วงโซ่อุปทานโลหิต (Blood Supply Chain) 9

2.3 การบริหารห่วงโซ่อุปทานโลหิตของประเทศไทย 11

2.3.1 บทบาทและหน้าที่ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติ 12

2.3.2 การจัดสรรโลหิต (Blood Allocation) 12

2.4 ปัญหาการจัดส่งโลหิต (Blood Routing Problem) 13

2.5 ต้นทุนการขนส่ง (Cost of Transportation) 15

2.6 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) 16

2.7 ภาษาคอมพิวเตอร์ 18

2.7.1 ภาษาซี 18

2.7.2 ภาษา Java 19

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 *ขั้นตอนการทำวิจัย* *27*

4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 35

4.1.1 บทบาทแหละหน้าที่หลักของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 37

4.1.2 โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) 38

4.1.3 โลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics) 38

4.1.4 การเดินทางของรถเพื่อการขนส่งในกิจกรรมต่าง ๆ 40

4.2 ผลการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตเพื่อนำมารวบรวม และใช้เป็นเอกสารประกอบการวิเคราะห์ 43

4.2.1 การศึกษางานวิจัยและผลงานที่มีการตีพิมพ์ 43

4.2.2 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 50

4.3 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 57

4.3.1ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโลหิตลักษณะการรักษาคุณภาพและปริมาณการเบิกจ่ายของแต่ละผลิตภัณฑ์ 57

4.3.2 ข้อมูลด้านการเบิกจ่ายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 61

4.3.3 ข้อมูลด้านสถิติการจัดส่งผลิตภัณฑ์จากโลหิตให้โรงพยาบาลในการดูแล 63

4.4. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณหาต้นทุนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน และระยะทางรวมในการขนส่งโลหิต 74

4.4.1 ต้นทุนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นผู้รับผิดชอบ 74

4.4.2 ต้นทุนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่โรงพยาบาลต่าง ๆ เป็นผู้รับผิดชอบ 80

4.5 ผลการออกแบบฐานข้อมูล ค่าพารามิเตอร์ และอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณทาง 84

4.5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์หลักและการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในการออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิต 84

4.5.2 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต 93

5.5.3 แนวคิดการพัฒนาอัลกอริทึมต้นแบบสำหรับจัดส่งโลหิต 100

4.6 การพัฒนาอัลกอริทึมใหม่สำหรับการหาเส้นทางจัดส่งโลหิต 111

4.6.1 วิธีการเมตาฮิวริสติกผสมผสานแบบใหม่ที่นำเสนอ 114

4.6.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 120

4.6.3 การทดลองการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตในระบบจริง 145
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 151
บรรณนานุกรม 153
ภาคผนวก 157
ประวัติผู้วิจัย 166

รายการรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กระบวนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน 2
รูปที่ 2 การออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต 4
รูปที่ 3 ลำดับการออกแบบเส้นทาง 5
รูปที่ 4 รูปแบบการขนส่งโลหิตก่อนและหลังการปรับปรุงการจัดสรรเส้นทาง 14
รูปที่ 5 แผนที่ตัวอย่าง 17
รูปที่ 6 ขั้นตอนการพัฒนาภาษาซี 19
รูปที่ 7 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย 28
รูปที่ 8 แผนผังข้อมูลการทำงานของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 36
รูปที่ 9 แสดงการจำแนกกลุ่มโรงพยาบาลตามรูปแบบการกระจายโลหิต 41
รูปที่ 10 อธิบายการหลักการทำงานของ SA Algorithm 44
รูปที่ 11 ลำดับและตัวอย่างของขั้นตอนพัฒนาคำตอบของขั้นตอนวิธี Simulated Annealing 46
รูปที่ 12 ลำดับการดำเนินการของขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search 47
รูปที่ 13 ขั้นตอนการเลียนแบบไข่ 49
รูปที่ 14 ขั้นตอนการทำงานของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 51
รูปที่ 15 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิธีหิ่งห้อย 54
รูปที่ 16 ตัวอย่างการคำนวณเลขสุ่มประจำหลักใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย 56
รูปที่ 17 ภาพรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปั่นแยกโลหิต 58
รูปที่ 18 ลำดับกระบวนการเบิกจ่ายโลหิต สำหรับโรงพยาบาลภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 62
รูปที่ 19 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่ม B 70
รูปที่ 20 อธิบายภาพรวมของต้นทุนการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ 71
รูปที่ 21 ตัวอย่างเอกสารการเก็บข้อมูลค่าจ้างขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม B 73
รูปที่ 22 ช่วงที่มีการเก็บรวบรวมค่าจ้างรถเหมาสำหรับใช้เพื่อการวิจัย 76
รู รูปที่ 23 อัตราส่วนค่าจ้างรถของโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีการร้องขอโลหิต 79
รูปที่ 24 ต้นทุนการขนส่งและกระจายโลหิตโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลาง 83
รูปที่ 25 ตัวอย่างปัญหาในการออกแบบเส้นทาง 87
รูปที่ 26 ระยะทางระหว่างสถานที่ ที่นำไปออกแบบเส้นทาง 88

รูปที่ 27 เวลาระหว่างสถานที่ ที่นำไปออกแบบเส้นทาง 89
รูปที่ 28 แนวคิดขั้นตอนการทำงานในการหาเส้นทางขนส่งโลหิต 93
รูปที่ 29 แนวทางการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต 95
รูปที่ 30 ขั้นตอนการพิจารณาการขนส่งของรูปแบบที่ 4 98
รูปที่ 31 ผังการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตแบบรายวัน 99
รูปที่ 32 ลำดับขั้นการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับโปรแกรมออกแบบเส้นทาง 101
รูปที่ 33 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นของอัลกอริทึม 102
รูปที่ 34 ลำดับขั้นตอนออกแบบเส้นทางภายใต้เงื่อนไขความจุในการบรรทุก 104
รูปที่ 35 แสดงเส้นทางการจัดส่งโลหิตภายใต้เงื่อนไขด้านความจุ 105
รูปที่ 36 คำตอบที่ออกจากโปรแกรมคำนวณเส้นทางแบบ BDRP-TC สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A และเพิ่มเงื่อนไข บขส. สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม B 108
รูปที่ 37 ขั้นตอนวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ 112
รูปที่ 38 รหัสเทียมการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ 114
รูปที่ 39 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DENLS 116
รูปที่ 40 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี HFA+NLS 118
รูปที่ 41 ผลการทดลองที่ 3 (Behavior Plot) กรณีที่ 1 125
รูปที่ 42 ผลการทดลองที่ 3 (Behavior Plot) กรณีที่ 1 141
รูปที่ 43 ผลการทดลอง Behavior Plot กรณีเพิ่มจำนวนรอบในการหาคำตอบ 144

รายการตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทานทั่วไปกับห่วงโซ่อุปทานโลหิต 10
ตารางที่ 2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความน่าจะเป็นการเลือกคำตอบ 45
ตารางที่ 3 แสดงคำอธิบายพารามิเตอร์ และค่าที่ใช้ สำหรับขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search 47
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัตถุประสงค์และความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบสำหรับขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search 48
ตารางที่ 5 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ 1 53
ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบ 55
ตารางที่ 7 แสดงสภาวะอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการจัดเก็บ Whole Blood และ Red Cells 59
ตารางที่ 8 สภาวะอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการจัดเก็บ Fresh Frozen Plasma (FFP) 60
ตารางที่ 9 รายละเอียดผลิตภัณฑ์โลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สามารถแจกจ่ายให้กับโรงพยาบาลต่าง ๆ 64
ตารางที่ 10 แสดงจำนวนเที่ยวของโรงพยาบาลกลุ่ม A ที่มารับโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในปี พ.ศ.2562 68
ตารางที่ 11 ค่าบริการฝากส่งกล่องสำหรับขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลลุ่ม B 72
ตารางที่ 12 ปลายทางการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตโดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 75
ตารางที่ 13 ค่าจ้างเหมารถสำหรับขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สำหรับการจัดส่งให้โรงพยาบาลกลุ่ม B 77
ตารางที่ 14 การคำนวณต้นทุนต่อระยะทางสำหรับการขนส่งโลหิตด้วยรถยนต์ 81
ตารางที่ 15 การคำนวณต้นทุนต่อเวลาสำหรับการขนส่งโลหิตด้วยรถยนต์ 81
ตารางที่ 16 การประมาณค่าใช้จ่ายในการขนส่งโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A 82
ตารางที่ 17 รายละเอียดของสถานพยาบาลที่นำมาออกแบบเส้นทาง 85
ตารางที่ 18 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ 90
ตารางที่ 19 รายละเอียดและ ข้อได้เปรียบ– ข้อจำกัดของรูปแบบการขนส่ง 96
ตารางที่ 20 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ของแบบปัญหา BDRP-TC 106
ตารางที่ 21 ค่าพารามิเตอร์ 120
ตารางที่ 22 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1 122

ตารางที่ 23 เวลาในการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึมของการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1 122
ตารางที่ 24 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 2 กรณีที่ 1 124
ตารางที่ 25 P-values เปรียบเทียบต้นทุนการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1 126
ตารางที่ 26 ข้อมูลความต้องการโลหิตจริงของเดือนกันยายน พ.ศ.2564 128
ตารางที่ 27 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 131
ตารางที่ 28 แสดงผลการทดสอบอัลกอริทึม DENLS การทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 136
ตารางที่ 29 เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 140
ตารางที่ 30 วันและรายละเอียดของการทดลอง 146
ตารางที่ 31 ผลการทดลองการขนส่งโลหิตจริง ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2565 147
ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบระยะทางรวมระหว่างการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ 149

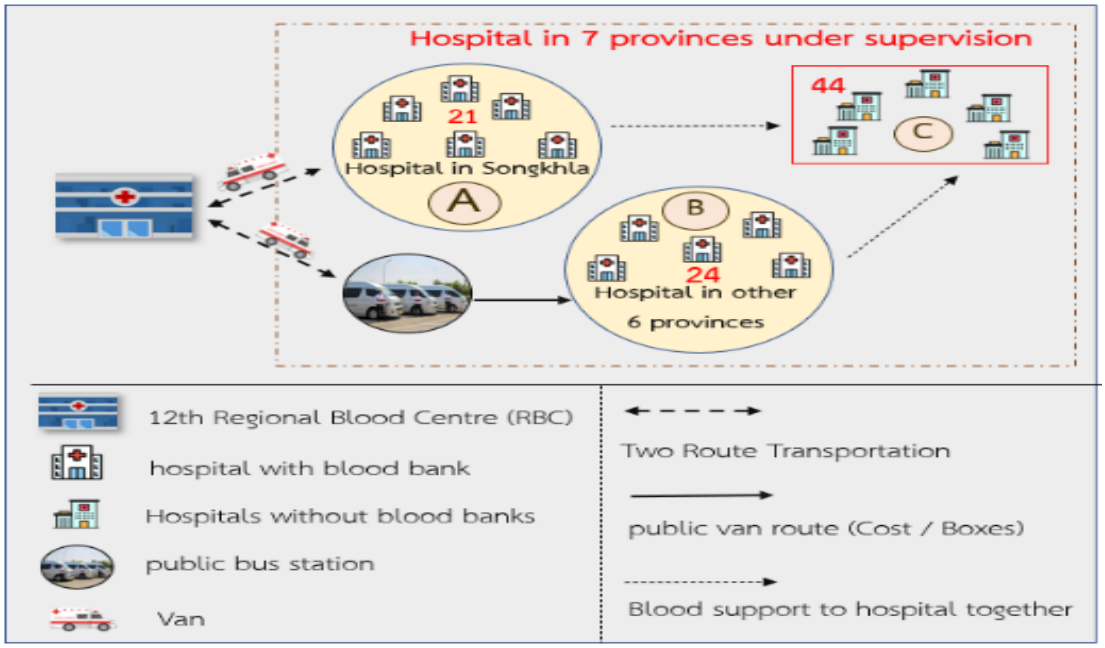
บทที่ 1

บทนำ

โลหิตที่กล่าวในงานวิจัยนี้คือ โลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิต ที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกายของมนุษย์ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างยิ่ง โลหิตนั้นมีหน้าที่และความสำคัญมากมาย มีหน้าที่พื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ (1) การขนส่ง อาหาร แก๊ส ของเสีย และฮอร์โมน (2) การควบคุม ความเป็น กรด – เบส น้ำและอุณหภูมิในร่างกาย และ (3) การป้องกันการสูญเสียโลหิต (ปิดแผลเมื่อมีการไหลออกของโลหิตทั้งในและนอกของร่างกาย) รวมไปถึงกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาสู่ร่างกาย ทั่วโลกให้ความสำคัญการจัดการโลหิตอย่างมากในนานาอารยประเทศ มีองค์การที่ดูแลระบบห่วงโซ่อุปทานโลหิตคือ “สภากาชาด” ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน ซึ่งโลหิตที่ใช้งานเกี่ยวกับสาธารณสุขในประเทศไทย มีองค์กรที่คอยเชื่อมโยงกิจกรรมต่าง ๆ ไว้ด้วยกันคือ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ซึ่งเป็นแม่ข่ายใหญ่ในการจัดการโลหิตระดับชาติ และภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ที่จัดการระดับภูมิภาค ซึ่งมีหน้าที่เหมือนกันคือ การจัดหาโลหิต การตรวจสอบโลหิต การผลิตและปั่นแยกส่วนประกอบโลหิต การจัดการคลังโลหิต การจัดสรรโลหิต และการถ่ายโลหิต ปัจจุบันในประเทศไทยมีภาคบริการโลหิตแห่งชาติจำนวน ทั้งสิ้น 12 ภาค ซึ่งแบ่งตามภูมิภาคการบริหารประเทศ ของกระทรวงมหาดไทย ประเทศไทยมีความต้องการโลหิตแบ่งตามหมู่เลือดรายวันโดยประมาณนั้นคือ หมู่ A 400 ยูนิต หมู่ B 400 ยูนิต หมู่ O 600 ยูนิต และหมู่ AB 100 ยูนิต (คณน, 2561) (1 ยูนิต มีโลหิตประมาณ 400 ซีซี) สถิติการตรวจ Nucleic Acid Amplification Technology (NAT) ซึ่งเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพและความปลอดภัยของโลหิตของประเทศไทยปัจจุบันมีการตรวจมากถึง 900,000 ยูนิตต่อปี (ทวีศักดิ์, 2550) จากข้อมูลข้างต้นทำให้เห็นถึงปริมาณความต้องการโลหิตในประเทศไทยที่มีปริมาณสูงซึ่งส่งผลต่ออัตราการกระจายโลหิตและต้นทุนด้านการขนส่งมากตามไปด้วย ทางผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการจัดการกระจายโลหิตในห่วงโซ่อุปทานโลหิตในประเทศไทย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการกระจายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มีที่ตั้งอยู่ที่ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตำแหน่งที่ตั้งนี้มีความได้เปรียบทางภูมิศาสตร์และการขนส่งมาก สามารถเป็นศูนย์กลางในการจัดการห่วงโซ่อุปทานทานโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศเทศไทย (ภูมิภาคที่ 12) ประกอบด้วยจังหวัด สงขลา พัทลุง ตรัง สตูล ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส มีประชากรรวมกันประมาณ 5 ล้านคน โดยมีโรงพยาบาลในเครือข่ายภายใต้การดูแล

ทั้งหมด 89 โรงพยาบาล และมีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางห่วงโซ่อุปทานโลหิต ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งกลุ่มโรงพยาบาลเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่ม A เป็นโรงพยาบาลที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสงขลามีจำนวน 21 โรงพยาบาล (2) กลุ่ม B เป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีธนาคารเลือดเป็นของตัวเองที่อยู่ในจังหวัดอื่น ๆ อีก 6 จังหวัด จำนวน 24 โรงพยาบาล และ (3) กลุ่ม C คือโรงพยาบาลขนาดเล็กที่ไม่มีธนาคารเลือดเป็นของตัวเอง จำนวน 44 โรงพยาบาล ปัจจุบันรูปแบบการขนส่งโลหิตของทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกัน สามารถแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน

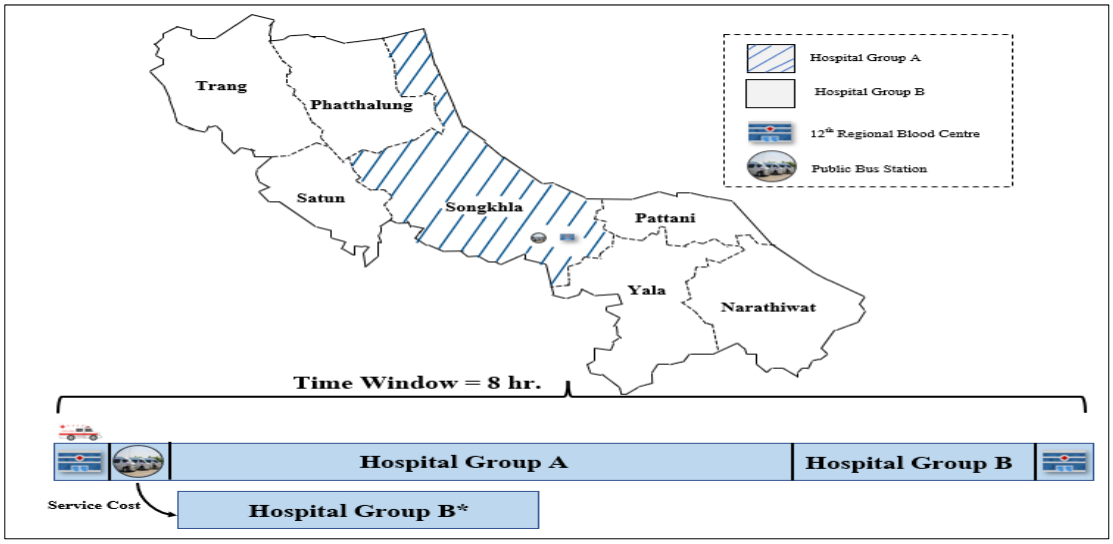
จากรูปที่ 1 สามารถอธิบายรายละเอียดของการขนส่งโลหิตในโรงพยาบาลทั้ง 3 กลุ่ม ที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางได้ดังนี้ โรงพยาบาลกลุ่ม A เมื่อมีความต้องการโลหิตจะส่งรถ (Empty Truck) จากโรงพยาบาลมารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และเวียนรถกลับไปโรงพยาบาลต้นทาง ซึ่งแต่ละโรงพยาบาลไม่ได้มีเครือข่ายติดกัน จึงเป็นการบรรทุกแบบไม่มีจุดแวะ ทำให้ปี พ.ศ.2562 มีเส้นทางเกิดขึ้นถึง 1,491 เที่ยว ระยะทางรวม 127,209 กิโลเมตร เมื่อโรงพยาบาลกลุ่มB มีความต้องการโลหิตจะร้องขอโลหิตมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เมื่อได้รับการอนุมัติ ทางภาคบริการโลหิต จะบรรจุโลหิต รวบรวม และทำการจัดส่งไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ (บขส.) โดยเป็นการจ้างรถตู้ประจำทางไปส่งโลหิตยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ในแต่ละจังหวัด

ค่าใช้จ่ายในส่วนการจ้างรถเป็นภาระหน้าที่ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทำให้ค่าจ้างบริการขนส่งส่วนนี้สูงถึง 238,891 บาท ในปี พ.ศ.2562 และโรงพยาบาลกลุ่ม C เป็นโรงพยาบาลที่ไม่ได้ร้องขอโลหิตโดยตรงจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เมื่อมีความต้องการโลหิต ต้องร้องขอโลหิตไปยังโรงพยาบาลกลุ่ม A หรือ B ดังรูปแบบการขนส่งที่กล่าวมาข้างต้น

ผู้วิจัยมองเห็นถึงปัญหาโดยรวมของกระบวนการกระจายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติ 12 เป็น 3 มิติ คือ มิติที่ 1 ระยะทางการขนส่งที่มากเกินไป จากรูปแบบการขนส่งในปัจจุบันทำให้มีเที่ยวรถ สำหรับขนส่งโลหิตจำนวนมาก ส่งผลให้ระยะทางรวมในการขนส่งโลหิตสูงขึ้นตามจำนวนของเที่ยวรถ จึงทำการศึกษาและออกแบบ เส้นทางขนส่งโลหิตสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลา แต่ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนโดยรวมภายห่วงโซ่อุปทานโลหิต ซึ่งก็เห็นว่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้น ผลจากการคำนวณต้นทุนของการขนส่งสำหรับรถตู้ 4 ล้อสามารถคำนวณต้นทุนที่ที่เกิดจากระยะทาง และเวลาที่ใช้ในการขนส่งได้ ในปี พ.ศ.2562 มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ประมาณ 463,000 บาท มิติที่ 2 คือต้นทุนด้านการจ้างรถขนส่งโลหิต ทางผู้วิจัยมีความเชื่อว่าเมื่อเกิดการออกแบบเส้นทางผสมผสานระหว่างโรงพยาบาลกลุ่ม A และ B จะทำให้ระยะทางและต้นทุนลดลง มิติที่ 3 คือด้านความไม่แน่นอนด้านการขนส่ง ปัจจุบันภาคบริการโลหิตพึ่งพาการขนส่งสาธารณะสำหรับโรงพยาบาลกลุ่มB ทั้งหมด ทำให้เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการหยุดให้บริการของรถเช่น สถานการณ์โควิด 19 ซึ่งมีคำสั่งรัฐบาลห้ามเดินทางข้ามจังหวัด เหตุการณ์การประทวงของผู้ให้บริการรถรับจ้าง เป็นต้น

จากมุมมองทั้ง 3 มิติที่ได้กล่าวไปข้างต้นงานวิจัยนี้จึงเห็นถึงประโยชน์ของการออกแบบเส้นทางสำหรับการกระจายโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลาง ขนาดและเงื่อนไขของปัญหาค่อนข้างมีความซับซ้อน การแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรงใช้เวลาในการหาคำตอบที่มากสำหรับการแก้ปัญหา 1 ครั้งอาจใช้เวลาได้หลายชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขอบเขตความเป็นไปได้ของคำตอบและความซับซ้อนของเงื่อนไข งานวิจัยจึงประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน และง่ายต่อการต่อยอดในอนาคต (Braekers, 2016) ทางผู้วิจัยจึงนำขั้นตอนวิธีดังกล่าว มาเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิต จากปัญหาข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการแจกจ่ายโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตเป็นรายวัน และมีการออกแบบเส้นทางเป็นวันต่อวันขึ้นอยู่กับความต้องการโลหิตที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รับเนื่องจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ได้รับจัดสรรรถตู้สำหรับการขนส่งมาจำนวน 1 คัน จึงใช้เงื่อนไขการกระจายโลหิตที่มีรถ 1 คัน ที่เริ่มต้นขนส่งจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีความต้องการโลหิต โดยในโรงพยาบาลกลุ่ม A ทุกโรงพยาบาลจะอยู่ในเส้นทางการเวียนรถส่งทั้งหมด ส่วนโรงพยาบาลกลุ่ม B จะมีเงื่อนไขด้านเวลาทำงานของพนักงานขับ และตำแหน่งของแต่ละโรงพยาบาลจะอยู่ค่อนข้างห่างไกลกัน จึงเป็นการขนส่งแบบผสมผสานที่ยังคง

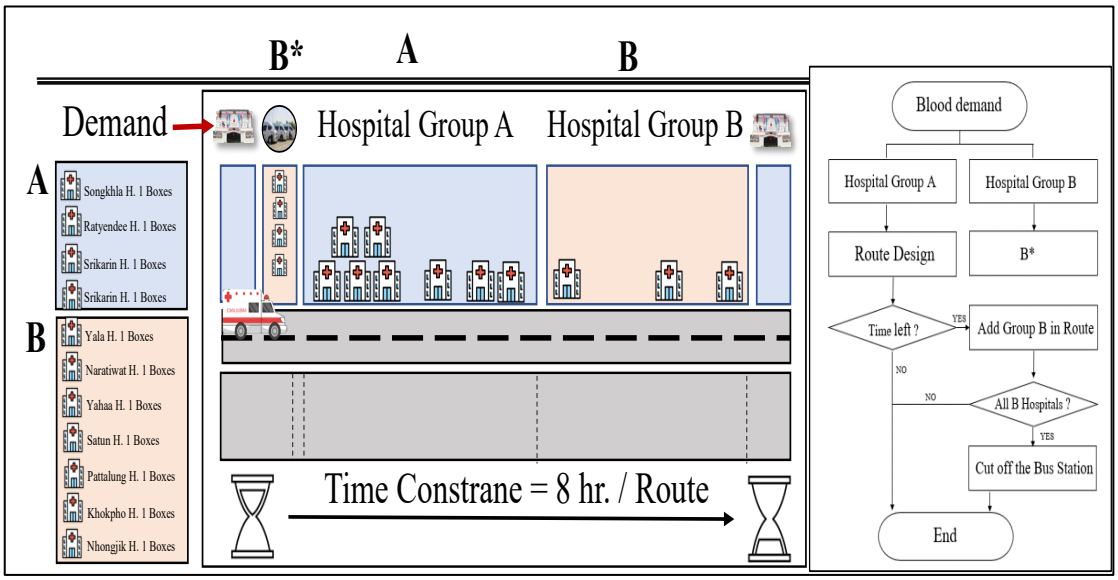
พึ่งพิงระบบขนส่งสาธารณะอยู่ หากมีเวลาไม่เพียงพอต่อการขนส่งให้กับทุกโรงพยาบาล การออกแบบเส้นทางการขนส่งเบื้องต้นสามารถแสดงดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต

จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายรายละเอียดการออกแบบเส้นทางการขนส่งได้ดังนี้ แผนที่จะชี้ให้เห็นว่าจังหวัดสงขลาเป็นศูนย์กลางของภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งเหมาะสมแก่การตั้งศูนย์กลางการกระจายโลหิตอย่างยิ่ง รวมถึงจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดที่มีประชากรมากที่สุด (ประมาณ 1,430,00 คน) และมีโรงพยาบาลจำนวนมากที่สุดเช่นกัน (21 แห่ง แบ่งเป็น โรงพยาบาลขนาดใหญ่ 13 แห่ง และขนาดเล็ก 8 แห่ง) ในส่วนล่างของรูปคือการอธิบายการออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิตภายใต้เงื่อนไขเวลา โดยเริ่มต้นที่ภาคบริการโลหิต และกระจายโลหิตให้กับโรงพยาบาลกลุ่ม B โดยการใช้บริการรถตู้ขนส่งสาธารณะ ในส่วนนี้ค่าใช้จ่ายเป็นบาทต่อกล่อง และมีระยะทางจากภาคบริการโลหิตภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยัง สถานีขนส่งประมาณ 8.4 กิโลเมตร (เป็นปลายทางที่ใกล้ที่สุด ในการออกแบบเส้นทางการขนส่ง สำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12) หลังจากนั้นจะทำการกระจายโลหิตให้กับโรงพยาบาลกลุ่ม A ในจังหวัดสงขลาทั้งหมดจนครบ เพราะมีความเป็นไปได้ที่สามารถส่งโลหิตให้ครบทุกโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลาภายในเวลาที่กำหนดไว้ได้ ทั้งนี้หากมีเวลาว่างเหลือจะเลือกส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม B ต่อไปเพื่อใช้เวลาในการขนส่งคุ้มค่าที่สุด โดยเลือกจากโรงพยาบาลที่เป็นไปได้ที่ทำให้ค่าต้นทุนรวมน้อยที่สุด ส่วนโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ไม่ถูกเลือกจะเป็นกลุ่ม B* ซึ่งโรงพยาบาลกลุ่มนี้จะใช้บริการขนส่งสาธารณะเช่นเดิม อย่างไรก็ดีเมื่อทุกโรงพยาบาลถูกเลือกอยู่ในเส้นทางเดินรถ จะทำการยกเลิก “ปลายทางสถานีขนส่งสาธารณะ” ออก

จากเส้นทางการกระจายโลหิต จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงลำดับการออกแบบเส้นทางได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลำดับการออกแบบเส้นทาง

จากรูปที่ 3 ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการพัฒนาโปรแกรมอย่างง่ายสำหรับการจัดเส้นทางโลหิตรายวันที่ง่ายต่อการใช้งาน พัฒนาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานมาเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีเป็นที่นิยม และเป็นขั้นตอนวิธีที่มีผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหาการขนส่งโลหิตทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในงานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบการทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธี สามารถเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบใหม่ที่นำเสนอ ซึ่งมีการทดสอบกับสภาวะและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน จนได้ขั้นตอนวิธีใหม่ที่เหมาะสมกับรูปแบบปัญหาในงานวิจัยนี้ รวมไปถึงการทดลองใช้วิธีการที่นำเสนอไปใช้สำหรับการขนส่งโลหิตจริง เพื่อจะได้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาหรือเปลี่ยนแปลงรูปแบบการจัดส่งโลหิตในอนาคตได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบระบบการขนส่งและบริการโลหิต ให้มีต้นทุนในการขนส่งลดลง

ขอบเขตการวิจัย

1.สร้างแผนการจัดเส้นทางการขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต ของรถขนส่งโลหิต ที่ขนส่งจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลในเครือข่าย ที่มีความต้องการโลหิต

2. สร้างระบบการขนส่งโลหิต ที่มีการสูญเสียทรัพยากรต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการขนส่ง ที่น้อยลงกว่าระบบการขนส่งในปัจจุบัน

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาข้อมูลทฤษฎีในหัวข้อ ความรู้พื้นฐานเรื่องโลหิต ห่วงโซ่อุปทานโลหิต การบริหารห่วงโซ่อุปทานโลหิตของประเทศไทย ปัญหาการจัดส่งโลหิต ต้นทุนการขนส่ง วิธีการเมตาฮิวริสติก รวมไปถึงภาษาคอมพิวเตอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมได้ดังนี้

2.1 ความรู้พื้นฐานเรื่องโลหิต (สุรเชษฐ์, 2563)

โลหิตเป็นของเหลวสีแดงที่ไหลเวียนอยู่ในร่างกายมนุษย์ มีหัวใจเป็นทำหน้าที่สูบฉีดโลหิตไปทั่วร่างกาย อวัยวะสำคัญต่อการสร้างเม็ดโลหิต ได้แก่ ไขกระดูก กระดูกหน้าอก กระดูกสันหลัง กระดูกแขน เป็นต้น โดยทั่วไปร่างกายมนุษย์ปกติโตเต็มวัย จะมีโลหิตประมาณ 80 ซีซี ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

2.1.1 ประเภทของโลหิต (สุทธินี, 2563), (วิจัย, 2559)

โลหิตของมนุษย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ คือ หมู่เลือดระบบ ABO และหมู่เลือดระบบ Rh ในปี พ.ศ.2443 คาร์ล แลนสเตนเนอร์ (Karl Landstener) ได้ค้นพบว่าสามารถแบ่งแยกโลหิตของมนุษย์ตามประเภทของโปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของโลหิต และได้ทำการแยกหมู่โลหิตเป็น หมู่ A, B, O ในขณะนั้นโลกยังไม่ค้นพบหมู่เลือด AB โดยค้นพบหมู่โลหิตครบทั้ง 4 หมู่ในปี พ.ศ.2445 โดย วอน เดอ คาสทิลโล (Von De castello) ทำให้หมู่เลือดระบบ ABO สมบูรณ์และเป็นที่นิยมจนถึงปัจจุบัน ในปัจจุบันสถิติของคนไทย มีหมู่เลือดระบบ ABO ดังนี้ หมู่ A 21.1%, หมู่ B 34.0% หมู่ o 37.6% และ หมู่ AB 7.3% ต่อมาในปี พ.ศ.2482 Levine ได้ทำการวิจัยความเข้ากันได้ของเลือดเนื่องจากการล้มเหลวของการถ่ายโลหิต และได้ทำการค้นพบหมู่เลือดระบบ Rh ที่ประกอบด้วย Rh+ และ Rh- โดยสถิติของคนไทย มีหมู่เลือด Rh+ 99.7% และ Rh- 0.3%

2.1.2 ส่วนประกอบของโลหิต (คณะแพทย์ศาสตร์จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย, 2560)

โลหิตแบ่งได้ 2 ส่วนคือ เม็ดโลหิต และพลาสมา

1) เม็ดโลหิต มีประมาณ 45% ของโลหิตทั้งหมด สามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบ เม็ดโลหิตแดง มีหน้าที่ในการลำเลียงออกซิเจนไปยังอวัยวะทั่วร่างกาย ใช้สันดาปอาหารให้แปรสภาพเป็น

พลังงานให้แก่ร่างกาย เม็ดโลหิตขาว มีหน้าที่ในการทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาสู่ร่างกาย และเกล็ดโลหิต มีหน้าที่ช่วยทำให้โลหิตแข็งตัว ในจุดที่มีการฉีกขาดของหลอดโลหิต

2) พลาสมา มีประมาณ 55% ของโลหิตทั้งหมด เป็นส่วนของเหลวที่ทำให้เม็ดโลหิตลอยตัว มีลักษณะเป็นน้ำเหลือง มีหน้าที่ ควบคุมความดัน และปริมาณของโลหิต ป้องกันเลือดออก และเป็นภูมิคุ้มกันโรคติดต่อที่จะเข้ามาสู่ร่างกาย

2.1.3 การบริจาคโลหิต (ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย, 2559)

โลหิตนั้นไม่สามารถทำการซื้อขายโดยตรงได้ การนำโลหิตไปใช้ให้เกิดประโยชน์จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการบริจาคเท่านั้น โดยมนุษย์โตเต็มวัยมีโลหิตประมาณ 4,000 – 5,000 ซีซี ในการบริจาคแต่ละครั้งอยู่ที่ประมาณ 400 ซีซี ร่างกายสามารถทดแทนโลหิตในส่วนที่เสียไปได้จากการบริจาค ได้ภายใน 14 วัน ในประเทศไทยกิจกรรมการบริจาคโลหิตจะดูแลโดย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

2.1.4 ผลิตภัณฑ์จากโลหิต (จอมจิน, 2561), (เจนจิรา, 2564)

โลหิตจากการรับบริจาคนั้นไม่สามารถใช้ได้ทันที จำเป็นต้องผ่านกระบวนการแปรสภาพโลหิต โดยกระบวนการปั่นแยกด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้ส่วนประกอบของโลหิตถูกแยกออกจากกัน เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เรียกกระบวนการนี้ว่า “กระบวนการปั่นแยกโลหิต”ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ดังนี้

1) เม็ดเลือดแดงอัดแน่น Red Blood Cell Concentrate (RBC) เป็นส่วนที่ตกตะกอน และบีบพลาสมาส่วนบนออก มีปริมาณฮีโมโกลบินประมาณ 45 กรัมต่อหนึ่งยูนิต ใช้ในการทดแทนเม็ดโลหิตแดงของผู้ป่วยโลหิตจาง

2) พลาสมาสดแช่แข็ง Fresh Frozen Plasma (FFP) เป็นส่วนประกอบโลหิตที่มีเฉพาะพลาสมาจากการปั่นแยกโลหิตจากการรับบริจาค เป็นส่วนที่สามารถเก็บรักษาได้ระยะเวลาประมาณ 1 ปี ต้องเก็บในอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยหลายกลุ่ม เช่น ผู้ป่วยภาวะเสี่ยงโลหิตออกเนื่องจาก ตับทำงานล้มเหลว เป็นต้น

3) เม็ดเลือดแดงเข้มข้นลดจำนวนเม็ดเลือดขาวด้วยการปั่น Leukocyte-Poor Red Cell (LPRC) ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการหนาวสั่น

4) เม็ดโลหิตแดงที่ลดจำนวนเม็ดเลือดขาวด้วยการกรอง Leukocyte-Depleted Red Cell (LD-RBC)

5) Leukocyte Poor Pooled Platelets Concentrate (LPPC) เป็นเกล็ดเลือดที่ได้จากการรวม buffy coat ของผู้บริจาคหมู่เดียวกันจำนวน 4-6 ยูนิต โดยผสมพลาสมาหรือสารละลายที่ใช้เก็บรักษาเกล็ดเลือด 1 ในยูนิต

6) เกล็ดเลือดที่เตรียมด้วยวิธี Plateletpheresis (Single Donor Platelet, SDP) เป็นเกล็ดเลือดจากผู้บริจาคคนเดียวที่ได้จากการเจาะเก็บด้วยวิธี plateletpheresis ด้วยเครื่อง blood cell separator ซึ่งสามารถแยกเก็บเฉพาะเกล็ดเลือดอย่างเดียว

7) ไครโอปรีซิปิเตท Cryoprecipitate (Cryo) เป็นตะกอนโปรตีนที่เกิดจากการนำ FFP มาละลายที่ 4 องศาเซลเซียส แล้วบีบแยกส่วนพลาสมาเหนือตะกอนออกไปเป็น CRP ใน Cryo 1 ถุงจะมี Fibrinogen ประมาณ 150-300 มิลกรัม/ยูนิต อยู่ในพลาสมาประมาณ 10-20 มิลลิลิตร

8) พลาสมาที่แยกไครโอปรีซิปิเตทออกแล้ว Cryo-Removed plasma (CRP) เป็นพลาสมาที่เหลือจากการแยกตะกอนโปรตีน Cryoprecipitate ออกไปแล้วจึงเหลือ Factor VIII และ Fibrinogen เพียงบางส่วนของเริ่มต้น แต่ยังคงมีปัจจัยในการแข็งตัวของเลือดและส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่

2.2 ห่วงโซ่อุปทานโลหิต (Blood Supply Chain) (วิจัย, 2559), (คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี, 2561)

ห่วงโซ่อุปทานทั่วไป เป็นการใช้ระบบของหน่วยงาน คน เทคโนโลยี กิจกรรม ข้อมูลข่าวสาร และทรัพยากร มาประยุกต์ใช้ให้อยู่ในระบบเดียวกัน เพื่อการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการ จากผู้จัดหาไปยังลูกค้า กิจกรรมของห่วงโซ่อุปทานจะแปรสภาพทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุดิบ และวัสดุอื่น ๆ ให้กลายเป็นสินค้าสำเร็จ แล้วส่งไปจนถึงลูกค้าคนสุดท้าย (ผู้บริโภค หรือ End Customer) ในเชิงปรัชญาของโซ่อุปทานนั้น วัสดุที่ถูกใช้แล้ว อาจจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ที่จุดไหนของห่วงโซ่อุปทานก็ได้

ห่วงโซ่อุปทานโลหิต เป็นกิจกรรมการได้มาของโลหิตนั้นได้มาจากมนุษย์ที่มีความประสงค์จะบริจาคโลหิต และจบลงที่ผู้ต้องการโลหิตซึ่งเป็นมนุษย์เช่นกัน โดยกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในโซ่อุปทานโลหิต ในประเทศไทยมีศูนย์บริการโลหิตแห่งประเทศไทย ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ และโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีความสามารถในการรับบริจาคและจัดการโลหิตได้ ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการจัดการโลหิต

ห่วงโซ่อุปทานโลหิตประกอบด้วย

1) ผู้บริจาคโลหิต (มนุษย์)

2) ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ/ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ

3) โรงพยาบาล/ธนาคารเลือด

4) ผู้ป่วย (มนุษย์)

ห่วงโซ่อุปทานโลหิตจะมีการไหลเวียนของการเงินที่แตกต่างจากโซ่อุปทานทั่วไป เนื่องจากโลหิตนั้นได้มาจากมนุษย์เท่านั้นซึ่งไม่สามารถประเมินมูลค่าได้ แต่สามารถคิดต้นทุนทางอ้อม ได้ เช่น ต้นทุนการผลิต การควบคุมคุณภาพโลหิต การขนส่งโลหิต ค่าแรง และค่าจ้างพนักงานเพื่อดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ โรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตจะต้องส่งรถมารับโลหิตที่ ศูนย์/ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ซึ่งต้องรับผิดชอบค่าน้ำมันในการเดินทาง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกิจกรรมภายในห่วงโซ่อุปทานทั่วไปกับห่วงโซ่อุปทานโลหิต

ห่วงโซ่อุปทานทั่วไป	ห่วงโซ่อุปทานโลหิต
การจัดซื้อ / จัดหาวัตถุดิบ	การจัดหาโลหิต / การบริจาคโลหิต
การจัดการวัตถุดิบคงคลัง	การจัดเก็บโลหิตในภาคบริการโลหิต
การกระจายวัตถุดิบ	การกระจายโลหิต
การขนส่งวัตถุดิบ การจัดการวัตถุดิบขาเข้า	การนำส่ง / การขนส่งโลหิต
การผลิตสินค้า	การตรวจสอบทางห้องปฏิบัติการ
การจัดการและการประมวลผลสารสนเทศ	การร้องขอ / การเบิกจ่ายโลหิต
การจัดการและการประมวลสารสนเทศ การประมวลผลใบสั่งซื้อ	การตรวจสอบคลังโลหิต
การจัดการคลังสินค้า	การค้นหาโลหิต
การจัดการและการประมวลสารสนเทศ การประมวลผลใบสั่งซื้อ	การอนุมัติการร้องขอโลหิต
การจัดการคลังสินค้า	การจัดเก็บโลหิตในธนาคารเลือด
การจัดการและการประมวลสารสนเทศ การจัดการคลังสินค้า	การจองโลหิต การคืนโลหิต
การผลิตสินค้าขั้นสุดท้าย การตรวจสอบคุณภาพสินค้า	การคล้องโลหิต (การแบ่งจ่ายโลหิต)
การขนถ่ายวัสดุ	การถ่ายโลหิต

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงกิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นสามารถเปรียบเทียบกับห่วงโซ่อุปทานแบบทั่วไปได้ จึงนำหลักการการจัดการในห่วงโซ่อุปทานทั่วไปเพื่อนำมาใช้ในการจัดการ กิจกรรมต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทานโลหิต

ถึงแม้ว่าในห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้น ไม่มีการไหลของกระแสเงินสดเหมือนห่วงโซ่อุปทานทั่วไป เนื่องจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่อยู่นั้นโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นเป็นองค์กรไม่แสวงผลกำไร แต่ยังต้องรับภาระที่มาจากค่าใช้จ่ายของกิจกรรมต่าง ๆ วัตถุประสงค์ของการจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการ เช่น ลดเวลาในการได้รับโลหิตของโรงพยาบาลปลายทาง ลดโลหิตเน่าเสียอันเนื่องมากจากการจัดการคลัง การลดระยะทางรวมในการขนส่ง เป็นต้น กิจกรรมต่าง ๆ ล้วนมีต้นทุนจากการจัดการ ดังนั้น การบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตมีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดต้นทุนอันเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่อยู่ในการดูแลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.3 การบริหารห่วงโซ่อุปทานโลหิตของประเทศไทย

ในการจัดการโครงสร้างในห่วงโซ่อุปทานโลหิต (Blood Supply Chain Network) ของประเทศไทยในปัจจุบันนั้น จำเป็นต้องมีหน่วยงานที่รับผิดชอบ โดยหน่วยงานหลักที่มีความสำคัญ ในการจัดการกิจกรรมต่าง ๆ ภายในห่วงโซ่อุปทานโลหิต มี 2 หน่วยงาน (ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย, 2559) คือ

1) ศูนย์/ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย เป็นหน่วยงานที่มีภารกิจหลักในการจัดหาโลหิตให้เพียงพอ และปลอดภัยจากผู้บริจาค โดยที่ไม่หวังสิ่งตอบแทน เพื่อกระจายให้สู่ผู้ป่วยทั่วประเทศ มีโครงสร้างในการบริการเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มจัดหาโลหิต กลุ่มบริการผลิตภัณฑ์โลหิต กลุ่มภารกิจภาคบริการโลหิตแห่งชาติ และกลุ่มอำนวยการ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ อยู่ภายใต้การดูแลของกลุ่มภารกิจภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ในปัจจุบันภาคบริการโลหิตแห่งชาติในประเทศไทย มีทั้งหมด 12 ภาค (หมายเหตุ: ไม่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 1 เนื่องจากภูมิภาคที่ 1 อยู่ภายใต้การดูแลของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ) โดยแบ่งตามภูมิภาคตามกระทรวงมหาดไทย ดังนี้

1) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 2 จังหวัดลพบุรี
2) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 3 จังหวัดชลบุรี
3) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 4 จังหวัดราชบุรี
4) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 5 จังหวัดนครราชสีมา
5) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 6 จังหวัดขอนแก่น
6) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 7 จังหวัดอุบลราชธานี
7) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 8 จังหวัดนครสวรรค์
8) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 9 จังหวัดพิษณุโลก
9) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 10 จังหวัดเชียงใหม่
10) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 11 จังหวัดนครศรีธรรมราช
11) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา

12) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดภูเก็ต (จัดตั้งขึ้นมาพิเศษ เนื่องจากเหตุการณ์คลื่นยักษ์สึนามิถล่มพื้นที่ภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน)

13) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติพิเศษ ณ อำเภอหัวหิน

2.3.1 บทบาทและหน้าที่ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติ

1. ทำการตรวจ ABO Grouping, Rh Typing, Antibody Screening และตรวจคัดกรอง Anti-HIV, HIV-Antigen HIV NAT, HBsAg, Anti-HCV, TPHA ให้กับโรงพยาบาลในจังหวัดเครือข่ายพร้อมกับรายงานผลการตรวจ รวมถึงให้บริการส่วนประกอบของโลหิตผลิตภัณฑ์น้ำยาตรวจหมู่โลหิตโลหิตหมู่พิเศษถุงบรรจุโลหิตและอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับบริจาคโลหิตแก่จังหวัดในเครือข่าย

2. ให้การสนับสนุนกิจกรรมการบริจาคโลหิตตามแผนงานของจังหวัดเครือข่ายรวมทั้งกิจกรรมพิเศษที่เกี่ยวข้องกับการบริจาคโลหิตและผู้บริจาคโลหิตหรือจัดกิจกรรมรับบริจาคโลหิตเอง (เฉพาะบางภาคบริการโลหิต ที่พร้อม) พร้อมทั้งเจาะเก็บโลหิตจากผู้บริจาคโลหิต

3. บริการกระจายโลหิตส่วนประกอบโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิตตามโรงพยาบาลหรือภาคบริการโลหิตอื่น ๆ มีการร้องขอ

4. ทำการปั่นแยกโลหิต และส่วนประกอบของโลหิต และรับจัดเก็บโลหิตที่จังหวัดเครือข่ายจัดหามาได้เกินความต้องการใช้เพื่อให้บริการจังหวัดเครือข่าย ที่ขาดแคลนโลหิต

จากการทบทวนความรู้เกี่ยวกับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ในส่วนของบทบาทและหน้าที่ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติ วิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ บทบาทที่ 3 ในส่วนบริการกระจายโลหิตส่วนประกอบโลหิต

2) ธนาคารเลือด มีหน้าที่ในการจัดการคลังโลหิตของโรงพยาบาลและการดำเนินการด้านบริการโลหิตให้แก่ผู้ป่วยที่มีความต้องการ โดยแพทย์และบุคลากรทางการแพทย์จะเป็นผู้ร้องขอโลหิตเพื่อใช้ในการรักษาโดยระบุประเภท หมู่โลหิต และจำนวนที่ต้องการหรือจำเป็นต้องใช้ หลังจากนั้นโลหิตดังกล่าวจะถูกจองเพื่อใช้ทำการรักษาผู้ป่วยที่ระบุตัวตนไว้ และจะถูกนำไปทดสอบความเข้ากันได้ระหว่างโลหิต โดยโลหิตที่ผ่านการตรวจสอบความเข้ากันได้นั้นจะถูกจองและโลหิตยังไม่หมดอายุ โลหิตดังกล่าวจะถูกปลดออกจากธนาคารเลือด

2.3.2 การจัดสรรโลหิต (Blood Allocation)

การจัดสรรโลหิตเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดของห่วงโซ่อุปทานโลหิตเนื่องจากเป็นกิจกรรมที่เชื่อมโยงระหว่างภาคบริการโลหิตและธนาคารเลือดของโรงพยาบาล โดยโรงพยาบาลจะทำการร้องขอโลหิตมายังภาคบริการโลหิตผ่านทางช่องทางต่าง ๆ เช่น อีเมล์ โทรศัพท์ เดินทางมายื่นเอกสารเอง

หรือการสื่อสารผ่านสังคมออนไลน์ เป็นต้น ภาคบริการโลหิตจะรับข้อมูลของผลิตภัณฑ์โลหิต หมู่โลหิต จำนวน และระดับความเร่งด่วนของความต้องการ จากนั้นจะทำการประมวลผลและตรวจสอบคลังโลหิตของภาคบริการโลหิตและทำการหยิบโลหิตที่ใกล้หมดอายุหรือเข้าสู่ระบบก่อน (First In First Out: FIFO) เพื่อเป็นการลดอัตราการหมดอายุของโลหิตในภาคบริการโลหิต โลหิตที่ถูกจัดสรรจะถูกส่งไปยังโรงพยาบาลที่ทำการร้องขอ ในปัจจุบันรูปแบบการกระจายโลหิตของ ศูนย์/ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ มีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ โรงพยาบาลที่ร้องขอโลหิตส่งรถตู้มารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิต และภาคบริการโลหิตทำการส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาลที่ร้องขอผ่านทางการขนส่งสาธารณะ เช่น รถตู้ของบริษัทขนส่งทางบก เป็นต้น

2.4 ปัญหาการจัดส่งโลหิต (Blood Routing Problem)

ปัญหาการจัดส่งโลหิตนั้น ไม่มีรูปแบบที่ตายตัวเนื่องจาก ผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น มีความจำเพาะสูงมาก รวมไปถึงเงื่อนไขการขนส่งและการรักษาคุณภาพระหว่างขนส่ง ดังนั้นก่อนที่จะลงรายละเอียดนิยามคำว่า “ปัญหาการจัดส่งโลหิต” จึงควรที่เข้าใจรูปแบบต่าง ๆ ของปัญหาการจัดเส้นทางจัดส่งหาเส้นทางส่งก่อน

รูปแบบของการขนส่ง และวัตถุประสงค์ของการขนส่งนั้น ๆ ซึ่งเรียกรวม ๆ ว่า “ปัญหาการจัดส่ง” หรือ “Routing Problem” หนึ่งในวิธีที่สามารถแก้ปัญหาการจัดส่งได้ โดยการใช้ทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เงื่อนไขที่เกี่ยวกับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งจะมีเงื่อนไขมากมายหลายประเภทและชื่อเรียกแตกต่างกันซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้ (กวีรวรรธณ์, 2558)

1) Capacitated VRP (CVRP) คือการจัดการเส้นทางที่มีเงื่อนไขคือข้อจำกัดด้านปริมาณสินค้าที่บรรทุกโดยรถขนส่งแต่ละคัน

2) VRP with Time Windows (VRPTW) คือการจัดสรรเส้นทางที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดของระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการส่งสินค้าแต่ละรอบ หรือช่วงเวลาที่สามารถส่งสินค้าไปให้แก่ลูกค้า

3) VRP with Backhauls (VRPB) คือการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขคือมีการขนส่งเที่ยวกลับด้วย

4) VRP with Pick-Up and Delivering (VRPPD) คือการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขโดยมีจุดรับสินค้าและจุดส่งสินค้าหลายแห่งในเส้นทางเดียวกัน

5) Split Delivery VRP (VRPPD) คือการจัดเส้นทางโดยมีเงื่อนไขคือปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้ามีมากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งดังกล่าว ทำให้ต้องแบ่งสินค้าไปรถมากกว่า 1 คัน

6) Open VRP (OVRP) คือการเส้นทางโดยที่จุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายไม่จำเป็นต้องเป็นสถานที่เดียวกัน

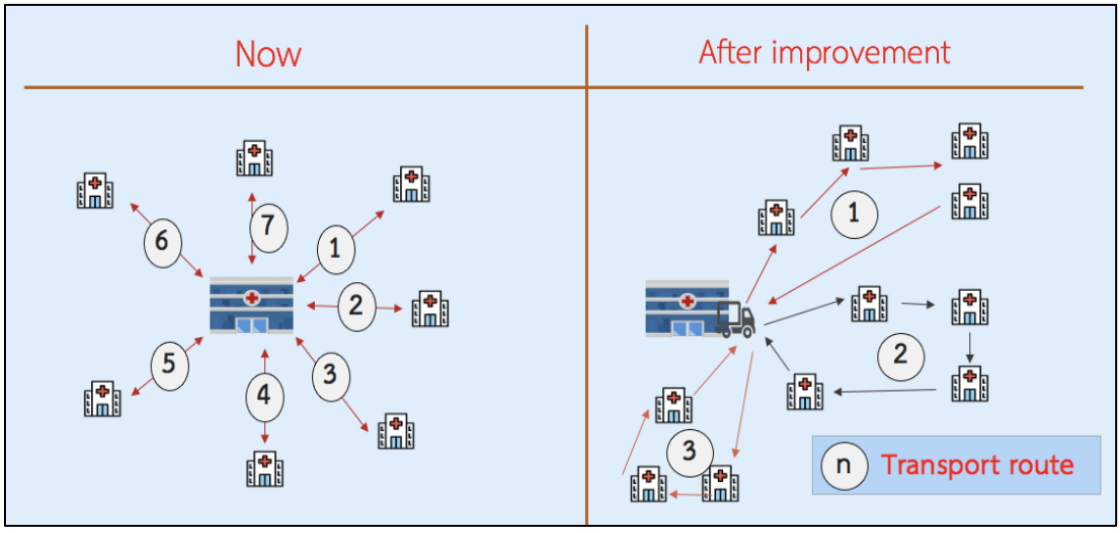
7) Stochastic VRP (SVRP) คือการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนไขคือระยะเวลาที่ใช้ส่งสินค้านั้นไม่แน่นอน

8) Multi-Depot VRP (MDVRP) คือการจัดเส้นทางที่มีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่ง

9) Site-Dependent VRP คือการจัดเส้นทางที่มีข้อจำกัดด้านสถานที่ ซึ่งรถบางขนาดไม่สามารถเข้าถึงจุดหมายได้

10) Mix-Fleet VRP คือการแก้เส้นทางโดยมีเงื่อนไขคือรถขนส่งสินค้าที่มีหลายประเภท มีความแตกต่างด้านปริมาณความจุของรถ

โดยปัญหาการจัดส่งโลหิตจัดเป็นรูปแบบของปัญหาการขนส่งชนิดที่ 1 ซึ่งเรียกว่าปัญหาการส่งแบบมีเงื่อนไขด้านความจุของรถขนส่ง (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) (สมชาย, 2559) ซึ่งมีรูปแบบปัญหาคือ รู้ปริมาณที่ลูกค้าต้องการและสถานที่จัดส่งแน่นอน (โรงพยาบาลแต่ละโรงพยาบาลแจ้งความต้องการโลหิตไปยังภาคบริการโลหิต และจัดส่งไปยังโรงพยาบาลนั้น) เมื่อมีการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโลหิต สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งได้โดยการลดระยะทางรวมอันเนื่องมาจากการขนส่งในปัจจุบัน และสามารถลดต้นทุนในการขนส่งเนื่องมาจากการขนส่งได้ การจัดเส้นทางการขนส่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบการขนส่งโลหิตก่อนและหลังการปรับปรุงการจัดสรรเส้นทาง

จากรูปที่ 4 ในกล่องภาพด้านซ้ายจะเห็นว่าเส้นทางการจัดส่งโลหิตนั้นไม่มีความเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย แต่เพียงแค่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติเป็นศูนย์กลางของการกระจายโลหิต ซึ่งในแต่ละโรงพยาบาลไม่มีความเชื่อมโยงด้านการขนส่งกันเลย ส่วนในกล่องภาพด้านขวา จะเห็นว่าเส้นทางการ

ขนส่งโลหิตมีความเชื่อมโยงของแต่ละโรงพยาบาล การขนส่งไม่ได้เป็นรูปแบบไปและกลับแบบเส้นทางเดียว แต่มีการเวียนส่งโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาลควบรวมเป็นเส้นทางกระจายโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติเป็นศูนย์กลางการกระจายโลหิตเช่นเดิม

2.5 ต้นทุนการขนส่ง (Cost of Transportation) (โลจิสติกคาเฟ่, 2561)

ในการกระจายโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ส่วนใหญ่เน้นไปที่การขนส่งทางบก โดยมีรถตู้เป็นยานพาหนะหลักในการขนส่ง ซึ่งต้นทุนการขนส่งส่วนใหญ่ทางภาคบริการโลหิตจะเป็นผู้รับภาระนี้ไว้ เพราะฉะนั้นต้นทุนการขนส่งโลหิต จึงมีผลต่อต้นทุนรวมของโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิต ในปัจจุบันต้นทุนการขนส่งแบ่งเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการขนส่ง ไม่ว่าจะได้มีการผลิตสินค้าเองหรือไม่ โดยต้นทุนนี้จะเกิดขึ้นและมีค่าใช้จ่ายในอัตราเท่าเดิม ไม่ได้มีการผันแปรตามปัจจัยอื่น ๆ เช่น ค่าเช่าที่ดิน สถานที่ ค่าประกันภัย ค่าเสื่อมราคา รวมทั้งเงินเดือนของทุกคนในองค์กร ค่าใบอนุญาตต่าง ๆ เป็นต้น

2) ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) ต้นทุนที่มีความเปลี่ยนแปลงตามปริมาณในการขนส่งแต่ละครั้ง ซึ่งส่วนมากแล้วเมื่อปริมาณในการขนส่งมาก ต้นทุนชนิดนี้ก็จะมากด้วยเช่นกัน หรือถ้าปริมาณการขนส่งน้อย ต้นทุนก็น้อย และถ้าไม่ได้ขนส่งเลยก็ไม่มีต้นทุนในส่วนนี้ เช่น ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมแซมยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายจากการบรรจุสินค้า เป็นต้น

3) ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นการนำต้นทุนคงที่ มารวมกับต้นทุนผันแปร

4) ต้นทุนเที่ยวกลับ (Back Haul Cost) เป็นต้นทุนประเภทที่ได้มีการรวมเอาค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) เข้าไปด้วย เช่น การไปส่งสินค้าที่สถานที่เป้าหมายแล้ว และเวียนรถกลับมาด้วยรถเปล่า (ไม่ได้บรรทุกอะไร) ส่วนนี้เองที่ถือเป็นการสูญเปล่าที่เกิดขึ้น เพราะฉะนั้นแล้วในการขนส่งแต่ละครั้งก็จำเป็นต้องคำนึงต้นทุนเที่ยวกลับด้วย ซึ่งบางทีนั้นมูลค่าก็ไม่ต่างจากเที่ยวขาไปในส่งสินค้าเช่นกัน

2.6 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

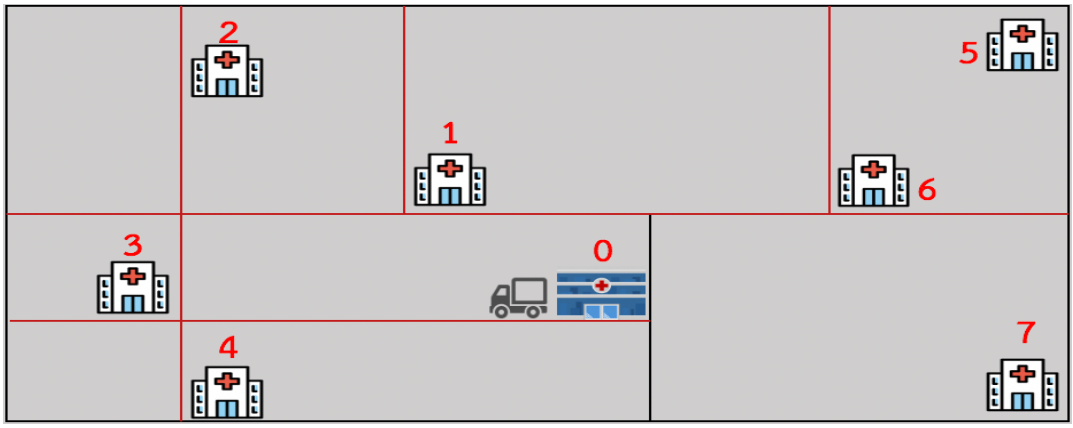
รูปแบบของปัญหา และวิธีการหาคำตอบของปัญหานั้นมีมากมาย ขึ้นอยู่กับการใช้ที่เหมาะสม หนึ่งในวิธีที่เป็นที่นิยมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่ง คือ ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก คือวิธีที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีพื้นที่ปัญหาขนาดใหญ่ ที่ไม่สามารถหาคำตอบด้วยวิธีแม่นตรงได้ โดยรูปแบบการทำงานของเมตาฮิวริสติก มีด้วยกัน 3 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลนำเข้า ส่วนระบบประมวลผล และส่วนข้อมูลส่งออก (รพีพันธ์, 2554), (วนัฐณพงษ์, 2565)

1) ส่วนข้อมูลนำเข้า คือ การใส่ข้อมูลต่าง ๆ รูปแบบของปัญหา เช่น การแก้ปัญหาการขนส่ง การแก้ปัญหาการจัดการสินค้าคงคลัง เงื่อนไขต่าง ๆ เช่น ราคาสินค้า ระยะเวลาเน่าเสีย ลำดับความสำคัญ รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหา เช่น ระยะทางต่ำสุด ต้นทุนต่ำสุด กำไรสูงสุด เป็นต้น

2) ส่วนระบบประมวลผล หรือ ลำดับวิธีการในการหาคำตอบ ที่มีจุดประสงค์คือ การหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งมีหลากหลายวิธี ซึ่งมีคุณภาพของการหาคำตอบที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบคุณภาพคือ การใช้ชุดข้อมูลเดียวกันในการแก้ปัญหา และวิเคราะห์ผลที่ออกมา จะทราบได้ว่าวิธีใดมีประสิทธิภาพดีกว่ากันในการหาคำตอบที่เวลาเท่ากัน ในปัจจุบันวิธีเมตาฮิวริสติกมีอยู่มากมาย โดยหลักของการหาคำตอบคือ “การสุ่มเลขอย่างมีหลักการ” ที่มีแรงบันดาลใจที่แตกต่างกันอย่างเช่น การจำลองการสุ่มเลขตามลักษณะของสายพันธุกรรม การสุ่มเลขตามหลักการออกไปหาอาหารของมด เป็นต้น รวมไปถึงการผสมหลักการตั้งแต่สองหลักการขึ้นไป มาพัฒนาให้ได้หลักการใหม่ เพื่อลดจุดด้อยของหลักการนั้น ๆ และเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบ เรียกว่าวิธีแบบ ไฮบริด (Hybrid) วิธีลูกผสม หรือวิธีผสมผสาน

3) ส่วนข้อมูลส่งออก หรือคำตอบจากการแก้ปัญหา คือ ชุดคำตอบต่าง ๆ ที่ออกมาจากส่วนของการหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ออกมานั้นมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหาเช่น การแก้ไขปัญหาการจัดสรรเส้นทางการขนส่ง ชุดคำตอบที่ออกมาคือ ลำดับก่อนหลัง ของการขนส่งไปยังปลายทางต่าง ๆ ตามลำดับ โดยชุดคำตอบจำเป็นต้องตอบวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่ผู้เขียนใส่เข้าไป เช่น ระยะทางการเดินรถของผู้ส่งสินค้า ที่มีระยะทางรวมต่ำที่สุด เป็นต้น

โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการขนส่งโลหิต คือการจัดลำดับการขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิต ไปยังโรงพยาบาลปลายทาง สามารถอธิบายได้ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนที่ตัวอย่าง

จากรูปที่ 5 เป็นการยกตัวอย่างภาพรวมของการแก้ไขปัญหาเส้นทางเดินรถ โดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก นั้นคือ ภาคบริการโลหิต (หมายเลข 0) จำเป็นต้องขนส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต 7 แห่ง (หมายเลข 1-7 แทนชื่อของโรงพยาบาล) โดยการใช้เมตาฮิวริสติกในการหาคำตอบ ที่มีวัตถุประสงค์คือ เส้นทางขนส่งที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยมีเงื่อนไขคือ จำเป็นต้องเริ่มที่ภาคบริการโลหิต และเมื่อขนส่งเสร็จต้องกลับมาที่ภาคบริการโลหิต (เริ่มที่ 0 และ จบที่ 0) ซึ่งเป็นหนึ่งในเงื่อนไขของปัญหาการจัดส่งโลหิต เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าไปในขั้นตอนการหาคำตอบ คำตอบที่ออกมาคือ เส้นทางการขนส่งก่อนหลัง และระยะทางรวมของเส้นทางนั้น ๆ เช่น 0, 1, 7, 4, 3, 5, 6, 2, 0 ระยะทางรวม 100 กิโลเมตร ทั้งนี้ในการแก้ปัญหาการขนส่ง มีวัตถุประสงค์อื่น ๆ อีกมากมายไม่จำเป็นแค่การหาระยะทางสั้นที่สุด เช่น ต้นทุนการขนส่งต่ำสุด เวลาในการขนส่งต่ำสุด ขึ้นอยู่กับรูปแบบของสินค้า ลักษณะองค์กร และ ยานพาหนะที่ใช้ขนส่งที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันมีขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกมากมาย ที่ใช้ในการแก้ปัญหาเช่น

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นเทคนิคที่จำลองจากโคโมโซมของสิ่งมีชีวิต ที่มีลักษณะของโคโมโซมที่แตกต่างกันสามารถส่งผลให้รูปลักษณ์ของสิ่งมีชีวิตแตกต่างกันออกไป ชุดของคำตอบที่ดีจะถูกเก็บไว้เป็นรุ่นพ่อ-แม่ และจะคัดมาเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ต่อ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีนี้มีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ การออกแบบโคโมโซมแทนคำตอบ ประชากรเริ่มต้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ วิธีถ่ายทอดพันธุกรรม

วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) เป็นหลักการที่ได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมจริงของมดที่ออกไปหาอาหาร โดยที่เงื่อนไขในการเดินของมดคือ จะปล่อยสารที่ชื่อฟีโรโมน (Pheromone) ไว้เพื่อให้ตัวอื่นตามมาได้ถูกทาง แต่เมื่อเวลาผ่านไป สารนี้จะสลายไปตามธรรมชาติ ทำให้เส้นทางการเดินของมดขาดลง มดจึงต้องทำการปล่อยสารฟีโรโมนในจำนวนที่

เหมาะสมสำหรับการออกไปหาอาหาร ถ้าปล่อยมากเกินไป มีโอกาสที่จะถูกแย่งอาหารโดยมดรังอื่นได้ ปล่อยน้อยไปก็จะทำให้ทางเดินหาอาหารของมดขาดลง โดยวิธีนี้มีขั้นตอนทั่วไป 4 ขั้นตอนคือ เริ่มต้นสร้างพารามิเตอร์ต่าง ๆ สร้างคำตอบเริ่มต้นจากพารามิเตอร์ ปรับค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นต่าง ๆ และการทำซ้ำ 2 – 3 รอบจนหยุดการทำงาน

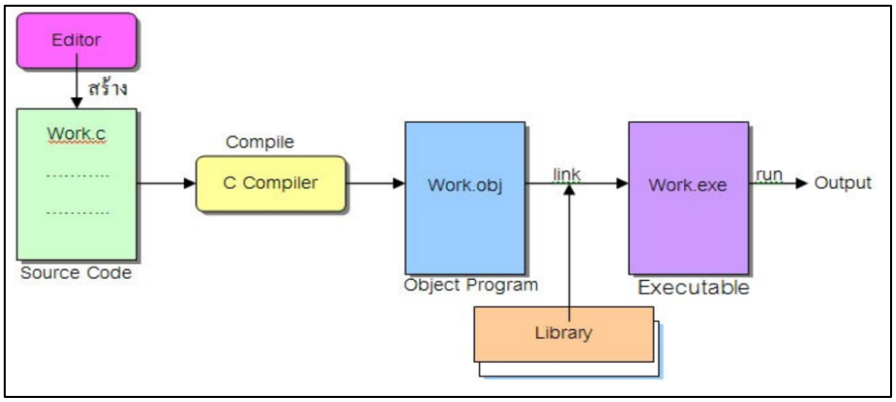
วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm: DE) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของเลขจำนวนจริง และนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีวิวัฒนาการ ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2000 โดยเริ่มแรกใช้ในการแก้ปัญหาจัดสรรเส้นทางการบิน กระบวนการของวิธีนี้มีความคล้ายกับวิธีวิวัฒนาการตามปกติ คือ การสร้างประชากรเริ่มต้น ประเมินค่าฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย และผลิตประชากรรุ่นใหม่ด้วยวิธีการ 3 วิธี (1) สร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) (2) สร้างไทรอัลเวกเตอร์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) (3) เลือกเวกเตอร์เป้าหมายในรอบถัด ๆ ไป (Selection)

2.7 ภาษาคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกนั้น สามารถคำนวณ หรือแก้สมการได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่การแก้ปัญหาด้วยมือ การเขียนโค้ดคอมพิวเตอร์ และการใช้โปรแกรมต่าง ๆ ในการเขียนโค้ดสำหรับสั่งงานโปรแกรมใช คอมพิวเตอร์จำเป็นต้องสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาเดียวกันคอมพิวเตอร์จึงสามารถทำตามคำสั่งนั้น ๆ ได้ ในปัจจุบันมนุษย์ได้พัฒนาภาษาคอมพิวเตอร์หลายภาษา โดยมีภาษาที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ภาษาซี ภาษาเอชทีเอ็มเอล ภาษาไฟทอน ภาษาจาวา เป็นต้น

2.7.1 ภาษาซี

เป็นหนึ่งในภาษาคอมพิวเตอร์ที่เป็นที่นิยมที่สุดในโลก โดยเกิดขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1972 ผู้คิดค้นคือ Dennis Rittchie โดยพัฒนามาจากภาษา B และ ภาษา BCPL แต่ยังไม่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางนัก ในปี ค.ศ. 1978 Brain Kernighan ได้ร่วมกับ Dennis Ritchie มาพัฒนามาตรฐานของภาษาซี เรียกว่า K&R ทำให้มีผู้สนใจเกี่ยวกับภาษาซีมากขึ้น จึงเกิดภาษาซีอีกหลายรูปแบบเพราะยังไม่มีการกำหนดรูปแบบภาษาซีที่เป็นมาตรฐาน และในปี 1988 Ritchie จึงได้กำหนดมาตรฐานของภาษาซีเรียกว่า ANSI C เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดมาตรฐานในการสร้างภาษาซีรุ่นต่อไปภาษาซี เป็นภาษาซีระดับกลางเหมาะสมสำหรับการเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้าง เป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นมาก คือใช้งานได้กับเครื่องต่าง ๆ ได้ และปัจจุบันภาษาซีเป็นภาษาพื้นฐานของภาษาโปรแกรมรุ่นใหม่ ๆ เช่น C++ ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมจากภาษาซีนั้นมีหลัก ๆ 4 ขั้นตอน คือ การเขียนโปรแกรม (Source Code) คอมไพล์โปรแกรม (Compile) การเชื่อโยงโปรแกรม (Link) และการประมวลผล (Run) โดยการเชื่อมของทั้ง 4 (กัลป์ญารัตน์, 2559) ขั้นตอนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการพัฒนาภาษาซี

ที่มา : กัลป์ญารัตน์ สถิรสุขสมบูรณ์. 2559. “ภาษาซีเบื้องต้น.” [ระบบออนไลน์]. https://sites.google.com/a/banraiwitthaya.ac.th (30 พฤศจิกายน 2563)

2.7.2 ภาษา Java

หรือชื่ออย่างเป็นทางกการคือ Java programming language เป็นภาษาคอมพิวเตอร์เชิงวัตถุ ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย เจมส์ กอสลิง ร่วมกับทีมงานวิศวกร แนวคิดการสร้างภาษานี้คือ การเอาชนะการทำของของภาษา C++

ข้อได้เปรียบของภาษา Java คือ ผู้เขียนโปรแกรมสามารถใช้หลักการของ Object-Oriented Programming มาพัฒนาโปรแกรมของตนด้วย Java ได้ ซึ่งเป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ ขั้นตอนที่เขียนขึ้นถูกสร้างภายในคลาส ดังนั้นคลาส คือที่เก็บกระบวนการ (Method) หรือพฤติกรรม (Behavior) ซึ่งมีสถานะ (State) และรูปพรรณ (Identity) ประจำพฤติกรรม (Behavior)

การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบระหว่างภาษา C++ และภาษาจาวานั้นมีหลากหลายความคิดเห็นขึ้นอยู่กับความคิดและรูปแบบการใช้งานของผู้ศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอข้อเปรียบเทียบของ (ลาภลอย, 2564.) ภาษา Java คือเรื่อง การหาต้นต่อหรือต้นแบบการเขียน จากการสืบคลาสหลักได้คลาสเดียวกับภาษา C++ สามารถสืบจากคลาสหลักได้มากกว่าหนึ่ง

Java ภาษาจาวามีความซับซ้อนน้อยกว่าภาษา C++ เมื่อเปรียบเทียบ Code ของโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยภาษา Java กับ C++ พบว่า โปรแกรมที่เขียนโดยภาษา Java จะมีจำนวน Code น้อยกว่าโปรแกรมที่เขียนโดยภาษา C++ ทำให้ใช้งานได้ง่ายกว่าและลดความผิดพลาดได้มากขึ้น แต่ทำงานได้ช้ากว่า Native Code (โปรแกรมที่เปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของภาษาเครื่อง) หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาอื่น อย่างเช่น C หรือ C++ ทั้งนี้ก็เพราะว่าโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาจาวาจะ

ถูกแปลงเป็นภาษากลาง ก่อน แล้วเมื่อโปรแกรมทำงานคำสั่งของภาษากลางนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นภาษาเครื่องอีก ทีหนึ่ง ทีละคำสั่ง (หรือกลุ่มของคำสั่ง) ที่ตำแหน่ง Runtime ส่งผลให้ทำงานได้ช้ากว่า Native Code ซึ่งอยู่ในรูปของภาษาเครื่องแล้วตั้งแต่การเปรียบเทียบโปรแกรมที่ต้องการความเร็วในการทำงานจึงไม่นิยมเขียนด้วยจาวา (ที่มา : สารานุกรม IT 2560. “Java คืออะไร จาวา คือภาษาคอมพิวเตอร์ สำหรับเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ.” [ระบบออนไลน์]. https://www.mindphp.com/ (3 มีนาคม 2564))

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง โดยใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติก ปัญหาการขนส่ง การพัฒนาและออกแบบระบบการขนส่งโลหิต และการพัฒนาการขนส่งโดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก ดังนี้

ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก คือหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้แก้สมการของปัญหาต่าง ๆ ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดย (Braekers, 2016) แสดงให้เห็นว่าในปัจจุบันงานวิจัยจำนวนมากได้นำวิธีแก้ปัญหาแบบจำลองปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบใหม่ ที่เรียกว่า เมตาฮิวริสติกเป็นที่นิยมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2009 ถึงปี ค.ศ. 2015 พบว่าวิธีการแก้ปัญหาแบบเมตาฮิวริสติกถูกนำมาใช้แก้ปัญหาจัดเส้นทางการขนส่งมากที่สุดถึง 233 ปัญหา เมื่อเทียบกับ วิธีการแม่นตรงและวิธีฮิวริสติกส์ ที่มีปัญหา เท่ากับ 56 และ 32 ปัญหาตามลำดับ วิธีเมตาฮิวริสติกสามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกห่วงโซ่อุปทาน สำหรับปัญหาขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา และประยุกต์ใช้วิธีที่เหมาะสมกับรูปแบบของปัญหา (Moncayo-Martínez, 2011) ได้เสนอบทความที่เป็นการแสดงแนวทางแก้ไขและออกแบบระบบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลำดับและขั้นตอนซับซ้อน ที่มีซัพพลายเออร์หลายราย โดยวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีเมตาฮิวริสติกที่จำลองจากการหาอาหารของมด โดยการจัดระบบที่เป็นไปได้ ซึ่งปัญหาตัวอย่างมีขนาดปัญหาที่ใหญ่ในระบบโซ่อุปทานนอกจากจะมีลูกค้าหลายราย ยังมีผู้ส่งมอบ (Supplier) หลายราย ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนสูงรวมถึงผลลัพธ์ของการหาคำตอบหลากหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งมีความซับซ้อนสูง ผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคที่สามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ คือ การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคอาณานิคมมดที่สามารถตัดคำตอบที่ไม่สนใจออกได้ ทำให้รูปแบบการค้นหาคำตอบลดลง เวลาในการหาคำตอบจากคอมพิวเตอร์ลดลงและมีประสิทธิภาพเท่าเทียมกับวิธีอื่น ๆ ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน การพิจารณาการใช้มาตาฮิวริสติกยังต้องคำนึงถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ในการจัดสรรเส้นทางการขนส่ง (Bianco, 2009) ได้ทำการเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาการขนส่งที่มีเงื่อนไขเฉพาะคือ การขนส่งวัตถุอันตราย ซึ่งในประเทศอิตาลี ศาลได้ออกคำสั่งให้การขนส่งวัตถุอันตรายในพื้นที่ที่กำหนดเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มเงื่อนไขการขนส่งในเรื่องถนนบางเส้นไม่สามารถผ่านไปได้ โดยการใช้เทคนิคการจำลองจากระดับของน้ำดี ยิ่งไปกว่านั้นเนื่องจากแบบจำลองระดับน้ำดีนั้นอยากที่จะแก้ไขให้เหมาะสมและวิธีที่ดีสุดอาจจะไม่เสถียร ผู้วิจัยจึงได้ใช้วิธีการทางเมตาฮิวริสติกมาแก้ไขปัญหาการขนส่งที่เหมาะสมแก่ระบบขนส่งวัตถุอันตรายในประเทศอิตาลี

ในปัจจุบันมีการใช้วิธีเมตาฮิวริสติกมีการใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งการแก้ปัญหาระบบการผลิต ระบบการขนส่งโลจิสติกส์ ระบบคลังสินค้า โดยเฉพาะการแก้ปัญหาการขนส่งต่าง ๆ (พลอยพรรณ, 2556) ได้ทำการจัดเส้นทางกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ไปยังร้านค้าปลีกจำนวน 20

ร้านค้า ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อให้มีเส้นทางการเดินรถที่มีระยะทางต่ำที่สุด โดยการประยุกต์การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขับรถที่มีระยะทางไปกลับเท่ากัน (Symmetric Traveling Salesman Problem) โดยใช้วิธีการจำลองการอบเหนียวเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ และได้เปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบันคือ วิธีการหาคำตอบที่ใกล้ที่สุด สรุปในการทำการทดลองโดยการใช้วิธีอบเหนียวมาจัดเส้นทางการเดินรถเป็นเวลา 1 เดือนระยะทางรวมลดลงเหลือ 695.6 กิโลเมตร จากเดิม 754.6 กิโลเมตร หรือลดลงจากเดิม 59 กิโลเมตร คิดเป็น 7.81% รวมไปถึง (ณัตพร, 2561) ทำวิจัยเรื่องการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกโดยใช้ข้อมูลกรณีศึกษาจากบริษัทผู้ให้บริการขนส่ง เพื่อนำเทคนิคในการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก ในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษาและนำมาช่วยในการลดระยะทางในการขนส่งให้สั้นที่สุด ผู้วิจัยได้ออกแบบจำลองและปรับปรุงให้ใกล้เคียงสอดคล้องกับปัญหาจริงโดยใช้เทคนิควิธีการเมตาฮิวริสติกสลับจุดทีละ 3 จุด (3-OPT) มาประยุกต์กับโปรแกรมจัดเส้นทางเขียนชุดคำสั่ง ลงบนโปรแกรม Visual Basic for Application (VBA) และทำงานลงบนโปรแกรม Microsoft Excel และดึงข้อมูลระยะทางด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยเก็บข้อมูล 7 ชุดข้อมูลในช่วง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ทดลองจัดเส้นทางด้วยวิธี 3-OPT สามารถลดระยะทางขนส่งรวมจากเดิม 5,005.93 กิโลเมตร เหลือเพียง 4,512.11 กิโลเมตร โดยระยะทางลดลงจากเดิม 493.82 กิโลเมตร และยังสามารถลดต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้เป็นเงิน 12,389.94 บาท นอกจากนี้วิธีเมตาฮิวริสติกยังสามารถแก้ปัญหาอื่น ๆ ได้ ศิริรัตน์, 2563) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเมตาฮิวริสติก 2 วิธี ได้แก่ วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) และวิธีค้างคาว (Bat Algorithm: BA) ที่ใช้แก้ปัญหาการจัดการคลังสินค้า **3** ระดับขั้น ด้วยการสร้างตัวแบบและจำลองสถานการณ์ ข้อมูลคลังสินค้า 3 ระดับ และทำซ้ำ 1,000 ครั้งต่อสถานการณ์ ผลสรุปว่าวิธี PSO และวิธี BA ที่ใช้หาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม วิธี PSO มีประสิทธิภาพสูงกว่า 0.46 % และใช้เวลาลาในการประมวลผลสูงกว่า 49.64 %

การใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต (สมชาย, 2559) ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากมุมมองด้านโลจิสติกส์และทำการออกแบบปรับปรุงระบบขนส่งโลหิตให้มีระยะทางสั้นลง จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (กรุงเทพมหานคร) ไปยังโรงพยาบาลปลายทาง (กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล) ให้ความรวดเร็ว และประหยัด เพิ่มประสิทธิภาพงานให้สูงขึ้น โดยไม่ทำให้คุณภาพ และมาตรฐานลดลง โดยการจำลองปัญหาการขนส่งที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาการจัดเส้นทาง และวิเคราะห์ด้วย ฮิวริสติกส์ ขั้นตอนวิธีแบบประหยัด (Saving Algorithm: SA) ซึ่งสามารถลดจำนวนเที่ยวรถวิ่งขนส่งได้เป็นจำนวนมากถึง 67 เที่ยว ระยะทางขนส่งลดลง 1,727 กิโลเมตร ที่คล้ายคลึงกันคือ การแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Hybrid Cuckoo Search: HCS) โดย (คณน, 2561) ซึ้งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดย

กำหนดขนาดของปัญหาเป็น 3 ขนาด และนำเสนอวิธีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับผลเฉลย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการจัดส่งเลือดของศูนย์บริจาคเลือดจังหวัดเชียงใหม่ ไปยังโรงพยาบาลในพื้นที่รับผิดชอบเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดสำหรับการจัดส่งโลหิต โดยเปรียบเทียบกับวิธีทางเมตาฮิวริสติกทั้งหมด 4 วิธี คือ GA, CS, ACROA และ HCS พบว่า HCS ให้ค่าระระยะทาง สำหรับโรงพยาบาล ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ที่ 392 699 และ1,818 กิโลเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ยังมีบริษัทเอกชนที่รับจ้างขนส่งโลหิตได้มีการออกแบบออกแบบเส้นทางสำหรับการขนส่งโลหิตในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครโดย (Nannapat, 2017) ได้นำเสนอการออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เวลาในการจัดส่งน้อยที่สุด กรณีศึกษาจากบริษัท 3PL ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนที่รับส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิต จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ฯ ไปยังโรงพยาบาลปลายทาง ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง Integer Programming และ โปรแกรม IBM ILOG CPLEX เพื่อหาคำตอบเส้นทางนำส่ง ผลการศึกษาแนะนำค่าระยะเวลาในการให้บริการ และการวิจัยครั้งนี้ยังทำให้ทราบว่าเมื่อมีวัตถุประสงค์คือเวลาน้อยที่สุดในการจัดส่งนั้นไม่มีผลกระทบต่อเส้นทางการจัดส่ง นอกจากเรื่องเส้นทางที่มีผลต่อการจัดส่งยานพาหนะก็สามารถเป็นตัวแปรในการวัดคุณภาพของการจัดส่งโลหิตได้ (Andrea, 2018) ได้ทำการวิจัยในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการตัดสินใจในระบบรวบรวมผลิตภัณฑ์โลหิตจากยานพาหนะ สองประเภทคือ รถบรรทุกโลหิต (รถยนต์) และรถรับส่งโลหิต (รถจักรยานยนต์) เพื่อให้มีระยะทางการเดินรถต่ำสุดและการขาดแคลนทั้งหมดต่ำสุด กล่าวคือเวลาในการขนส่งโลหิต น้อยลงจะส่งผลโดยตรงต่ออายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของโลหิต ทำให้สามารถเก็บโลหิตไว้ได้ในระยะเวลาที่นานกว่า โดยใช้วิธีแบบจำลองเฟ้นสุ่ม (Stochastic Model) แบบสองขั้นซึ่งเป็นการลดชุดคำตอบที่เป็นไปได้ ทำให้เวลาในการประมวลผลสั้นลง ซึ่งระบบการตัดสินนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคอื่น ๆ ในอนาคต เช่น วิธีฮิวริสติก เป็นต้น ต่อมา (Elifcan, 2018) ได้ทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สองขั้นตอนเพื่อกำหนดทั้งสถานที่และเส้นทางโดยการจัดสรรยานพาหนะ ปัญหานี้ถูกกำหนดเป็น Location and Routing Problem สำหรับการดำเนินงานของธนาคารเลือด การศึกษานี้ยังศึกษาผลของการกระจายผลิตภัณฑ์เลือดในหลายช่องทางพร้อมกับการตัดสินใจกำหนดเส้นทาง โมเดลที่นำเสนอได้รับการทดสอบบนข้อมูลในอดีตจากโลกแห่งความเป็นจริงเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตคำตอบที่ดีที่สุด ผลลัพธ์แนวทางนี้สามารถลดทั้งเวลาในการจัดส่งและต้นทุนทั้งหมดให้เหลือน้อยที่สุด

ทั้งนี้การแก้ปัญหาการจัดสรรเส้นทางการขนส่งนั้นสามารถใช้ได้ในสถานการณ์ปกติเท่านั้น แต่ในบางสถานการณ์มีสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความไม่แน่นอนทุกสิ่งล้วนมีโอกาสเกิดขึ้นได้ และบางเหตุการณ์ก็ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้ เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วมฉับพลัน โรคระบาดต่าง ๆ เหตุการณ์ไม่สงบภายในประเทศ ในเหตุการณ์ภัยพิบัตินั้นทำให้ผู้ต้องการโลหิตมีจำนวนเพิ่มขึ้น แต่

ปัญหาด้านการจัดส่งที่ไม่สามารถขนส่งได้ เช่น ถนนขาด ดินถล่มปิดพื้นผิวการจารจร การมีแผนรับมือเหตุการณ์ภัยพิบัติจึงเป็นแนวทางที่ดีสำหรับการเตรียมแผนรับมือการขนส่ง ในสถานการณ์ฉุกเฉิน เหตุการณ์สืบเนื่องมากจากแผ่นดินไหวรุนแรง ณ ประเทศอิหร่าน ในปี 2017 ได้มีผู้ออกแบบระบบการกระจายโลหิตในสถานการณ์ฉุกเฉิน (Seyyed, 2019) ได้ใช้หลักการแบบจำลองคงทน (Robust Optimization) โดยนำข้อมูลจำนวนมากในอดีตมาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของ ศูนย์กระจายโลหิตในสถานการณ์ฉุกเฉิน และ (Soheyl, 2020) ได้เสนอแนวทางพัฒนาห่วงโซ่อุปทานโลหิต 6 ระดับ แบ่งเป็น ศูนย์บริการโลหิตถาวร ศูนย์บริการโลหิตชั่วคราว ธนาคารเลือดระดับภูมิภาค ธนาคารเลือดระบบท้องถิ่น โรงพยาบาลระดับภูมิภาค และโรงพยาบาลระดับท้องถิ่น โดยใช้หลักการ Neural Learning ผลที่ได้คือได้ระบบการกระจายโลหิตในสถานการณ์ฉุกเฉิน โดยได้พิจารณาเพิ่มทรัพยากรการขนส่ง เช่น เฮลิคอปเตอร์ รถเร็วสำหรับขนส่งโลหิต มีประโยชน์เพื่อการกระจายโลหิตไปยังปลายทางได้อย่างรวดเร็ว และปลอดภัย

วัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาการขนส่งนั้นไม่จำเป็นต้องมีแค่การหาระยะทางที่สั้นที่สุดหรือเวลาที่น้อยที่สุดเพียงวัตถุประสงค์เดียว (Sophea, 2020) ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิค Two-phase LP-based Heuristic Methods ที่มี 2 วัตถุประสงค์ในการหาคำตอบ 1 ครั้ง โดยการจับคู่วัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน 3 ข้อ คือ (1) ต้นทุนต่ำที่สุดสำหรับการจัดส่ง ทั้งต้นทุนจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าพนักงานขับ รวมถึงค่าทำงานล่วงเวลา (2) ความสัมพันธ์สูงสุด ระหว่างลูกค้าและพนักงานขับ (3) สมดุลสูงสุด และได้หาคำตอบที่มีวัตถุประสงค์ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด สามารถให้ค่าระยะทางรวมที่ 768.60 กิโลเมตร แต่เมื่อมีการเพิ่มวัตถุประสงค์เป็น 2 วัตถุประสงค์นั้นทำให้ค่าระยะรวมเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าในการหาคำตอบถ้ามีวัตถุประสงค์มากกว่า 1 อย่าง ค่าที่ได้จะไม่ใช่ค่าดีที่สุดที่เป็นไปได้

การจัดการเส้นทางการบริหารห่วงโซ่อุปทานนั้น จากการสืบค้นการจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นเริ่มต้นจากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการออกแบบระบบการจัดการโลหิตให้กับกาชาดแห่งอเมริกาของ (Delen, 2009) ได้พัฒนาวิจัยที่เป็นงานวิจัยยุคเริ่มแรกในการพัฒนาระบบการจัดการโลหิต ของสภากาชาดอเมริกา โดยการนำ GIS หรือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ นำมาวิเคราะห์ตำแหน่ง เพื่อให้เห็นภาพรวมของแผนที่ ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์บริการโลหิตต่าง ๆ เพื่อให้มองภาพรวมจากมุมสูงได้ ในการจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตในการจัดการตำแหน่งเลือดและแผนสำหรับการตอบสนองฉุกเฉิน ในระดับการบริการส่วนบุคคล (กองทัพบก กองทัพอากาศ กองทัพเรือ และ DOD services) ซึ่งได้ระบุว่าการจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้น สำคัญและน่าสนใจในการพัฒนาต่อยอดในอนคต ด้วยวิธีอื่น ๆ อีกต่อไป

การประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติก วิธี Simulated Annealing (SA) สำหรับแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต (Iswari, & Asih,. 2016) มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางให้มีระยะทางรวมสั้นที่สุด

จากการวิจัยสามารถสร้าง "Blood Pickup Routing Problem Network" ซึ่งเป็นเครือข่ายการเดินรถจากธนาคารเลือดไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มาจากการใช้อัลกอริทึม โดยหลักการดำเนินการของ SA 4 ขั้นตอน คือ การหาสถานที่ที่ใกล้ที่สุดก่อน การแลกเปลี่ยน การแทรก และการย้อนกลับ ของลำดับเส้นทางเดินรถ โดยแต่ละการทำซ้ำจะสร้างเส้นทางเดินรถใหม่ตามความน่าจะเป็นแบบสุ่ม ซึ่งทำให้ระยะทางการเดินรถทั้งหมดลดลง 3.44 % และต่อมา (Iswari, & Asih,. 2018) ได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของอัลกอริทึมทั้งสองและดูประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมทั้งสองทำงานได้ดีในการแก้ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) แต่ยังต้องได้รับการปรับปรุง จากการทดสอบอัลกอริทึมและตัวอย่างตัวเลข Genetic Algorithm (GA) ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า Particle Swarm Optimization (PSO) ระยะทางรวมเฉลี่ยจากการทำการทดลองกับปัญหา 4 ขนาดของ วิธี GA ให้ระยะทางเฉลี่ยที่ 831.7 กิโลเมตร ดีกว่าวิธี PSO ที่ 877.55 กิโลเมตร

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการจัดสรรเส้นทางขนส่ง นอกจากการลดระยะทางรวมในการขนส่ง การประหยัดเวลาและทรัพยากร รวมไปถึงการลดต้นทุนรวมจากการขนส่ง (วรลักษณ์, 2555) ทำการวิเคราะห์ต้นทุนด้านการขนส่งสินค้า กรณีศึกษาการขนส่งน้ำดื่ม สามารถสรุปผลได้ว่าต้นทุนผันแปรตามชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยทั้งหมดอยู่ที่ 32.02 บาทต่อชั่วโมง โดยแบ่งเป็นค่าจ้างพนักงานขับรถมากที่สุด 28.13 บาทต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการใช้รถตามระยะทาง 3.05 บาทต่อกิโลเมตร ถัดมา (ฐิติมา, 2561) ได้ทำการลดต้นทุนการขนส่งของผู้ขนส่งชิ้นส่วนยานยนต์ ที่ใช้วิธีการขนส่งแบบ Milk-Run โดยการทำการเปรียบเทียบเทคนิคในการจัดเส้นทาง 2 วิธี คือ วิธีแบบประหยัด (Saving Algorithm) และตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย (โปรแกรมเชิงเส้น) จากการคำนวณระยะทางทั้ง 2 วิธี พบว่าเทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีหาค่าแบบประหยัด 16.5 % ต่อการขนส่ง 1 เที่ยว หรือสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 261 บาทต่อเที่ยว คิดเป็น 5,742 บาทต่อเดือน และมีการคำนวณต้นทุนอย่างละเอียด (กุลบัณฑิต, 2563) ได้ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในกิจกรรมการขนส่งสินค้าอาหารสัตว์ของบริษัทกรณีศึกษา และเสนอแนวทางการลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าอาหารสัตว์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยคณะผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการใช้แบบสัมภาษณ์ ได้บทสรุปคือสามารถแบ่งแยกต้นทุนการขนส่งได้เป็น **2** หัวข้อใหญ่คือ ต้นทุนอันเนื่องมาจากเวลาและระยะทาง ที่ใช้ในการขนส่งแต่ละรอบ ดังนี้ (1) ต้นทุนอันเนื่องมาจากเวลา แบ่งออกเป็น ค่าเสื่อมราคา ค่าจ้างพนักงานขับ ค่าประกันวินาศภัย ค่าภาษี โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้มีหน่วยเป็น (บาทต่อชั่วโมง) (2) ต้นทุนอันเนื่องมาจากระยะทาง แบ่งออกเป็น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมบำรุง และค่าเปลี่ยนยาง โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้มีหน่วยเป็น (บาทต่อกิโลเมตร) การคำนวณต้นทุนด้วยรูปแบบนี้มีความละเอียดและสามารถแยกกันศึกษาค่าใช้จ่ายในส่วนต่าง ๆ ได้

ตัวเลขค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ไม่คงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะเวลา และนโยบายต่าง ๆ ของภาครัฐได้ตลอดเวลา

จากการรวบรวมวรรณกรรมทำให้ผู้วิจัยตระหนักได้ถึงความสำคัญของการจัดการระบบต่าง ๆ ในห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่ ระบบขนส่งโลจิสติกส์ ระบบคลังสินค้า ซึ่งมีการนำเครื่องมือต่างและหลักคิดในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ห่วงโซ่อุปทานโลหิต ที่ได้รับความสนใจทั้งในระดับประเทศ และนานาชาติ ตั้งแต่การออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตโดยใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก การสร้างแบบแผนจำลองในการบริการโลหิตในสถานการณ์ฉุกเฉิน จากการรวบรวมวรรณกรรมไม่มีวิจัยตีพิมพ์ที่มุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนการขนส่งโลหิต เนื่องจากต้นทุนการจัดส่งตามกิจการรม (Activity-Based Costing in Transportation) โลหิตมีองค์ประกอบของต้นทุนหลายอย่างไม่ใช่เพียงแค่ระยะทาง ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การลดต้นทุนการขนส่งโลหิตของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลาง รวมไปถึงการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานที่นำเสนอใหม่ เพื่อหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับการขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

บทที่ 3

ขั้นตอนการทำวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แยกการศึกษาโครงการวิจัยเป็น 2 ระยะ ดังนี้ ระยะที่ 1 (ข้อที่ 1-3) คือ ศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบัน และเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และระยะที่ 2 (ข้อที่ 4-8) คือ การวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบัน และออกแบบพัฒนาแนวทางการขนส่งโลหิต

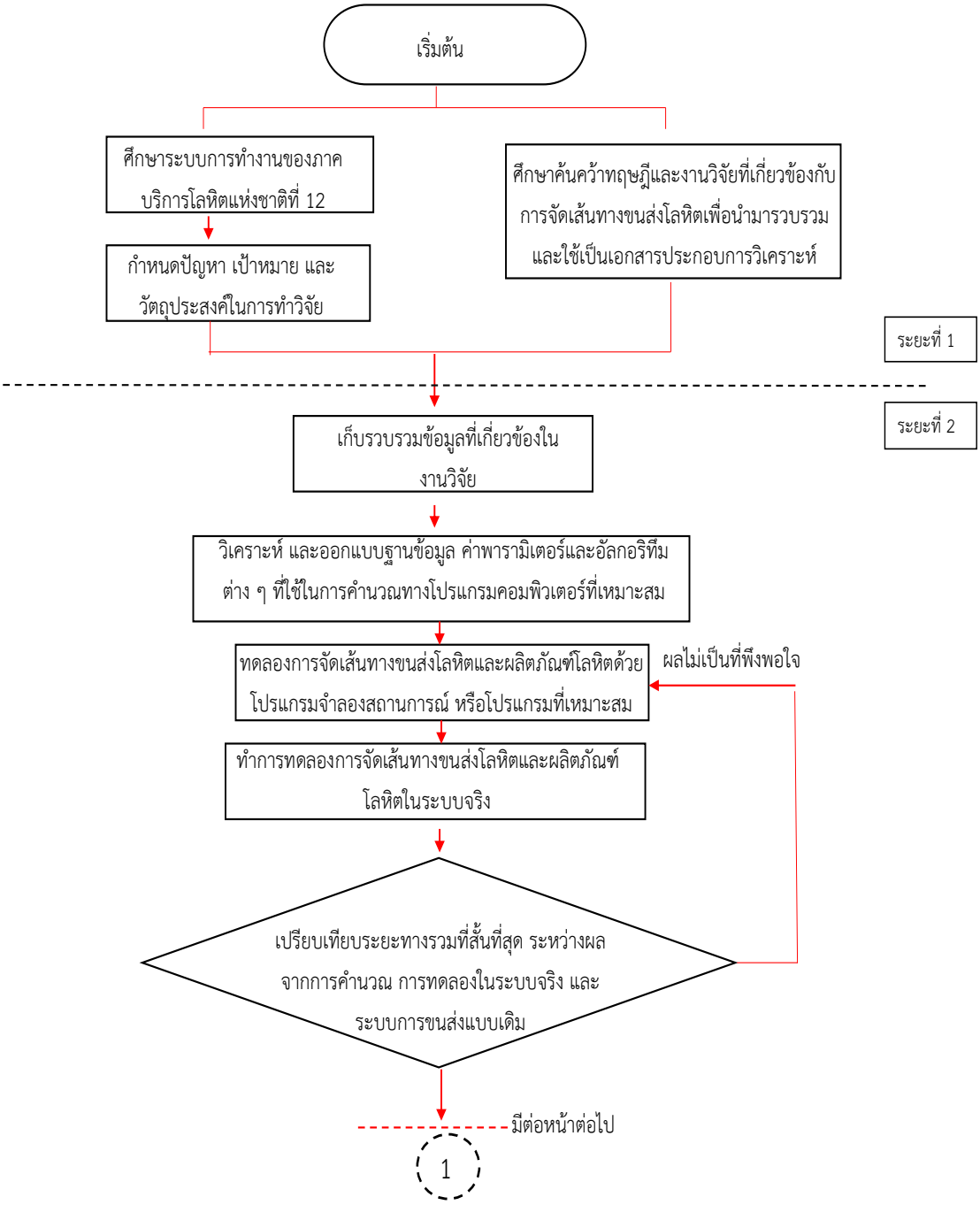
1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยเน้นศึกษาในส่วนระบบการจัดสรรโลหิต และการขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต พร้อมทั้งศึกษาความต้องการในการทำวิจัยครั้งนี้ของ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12
2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตเพื่อนำมารวบรวม และใช้เป็นเอกสารประกอบการวิเคราะห์
3. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้ในการพัฒนาสามารถแบ่งออกเป็นแต่ละประเภท ดังนี้

    3.1 ข้อมูลของระบบการขนส่งในปัจจุบัน

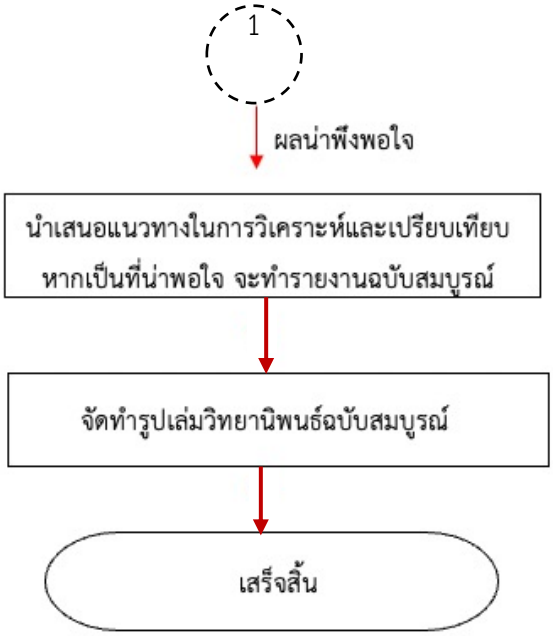
    3.2 ข้อมูลรายละเอียดของโรงพยาบาลในเครือข่าย รายละเอียดโรงพยาบาล ระยะทางจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ปริมาณความต้องการโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตย้อนหลัง และข้อจำกัดด้านการจัดส่งของแต่ละโรงพยาบาล

    3.3 ข้อมูลด้านการขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตของแต่ละโรงพยาบาล รายละเอียดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการขนส่งโลหิต

    3.4ข้อมูลของโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต ชนิด ลักษณะ ขนาด รูปร่าง การเก็บรักษา วิธีการบรรจุระหว่างการขนส่ง และรายละเอียดจำเพาะอื่น ๆ
4. คำนวณหาต้นทุนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน และระยะทางรวมในการขนส่งโลหิต
5. ออกแบบฐานข้อมูล ค่าพารามิเตอร์และอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม
6. ทำการทดลองการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตด้วยวิธีการที่เหมาะสม



รูปที่ 7 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย



รูปที่ 7 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนที่ 1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยเน้นในส่วนระบบการจัดสรรโลหิต และการขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต พร้อมทั้งศึกษาความต้องการในการทำวิจัยครั้งนี้ของ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในขั้นตอนนี้แบ่งลำดับการทำงานเป็น 3 ลำดับคือ เริ่มต้น ประมวลและสรุปผล และวิจารณ์ผลการศึกษา

เริ่มต้น เป็นการมองการทำงานโดยภาพรวมของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 (เนื่องจากการทำงานในแต่ละภาคบริการโลหิตมีความแตกต่างกัน ไม่สามารถอ้างอิงการทำงานของส่วนกลางหรือที่ใดที่หนึ่งได้) เน้นไปที่การสอบถามกับผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยการสอบถามโดยภาพรวมและลงลึกในรายละเอียดโดยให้ความสำคัญกับส่วนของการเบิกจ่าย และการกระจายโลหิตเป็นพิเศษ

ประมาลผลและสรุปผล นำข้อมูลที่ทำการรวบรวม มาสรุปเป็นองค์ความรู้อย่างละเอียด อธิบายผลให้เข้าใจอย่างง่าย และทำภาพแสดงผลข้อมูลอย่างง่าย (Infographic) เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำงานจำนวน 1 ภาพ

วิจารณ์ผลการศึกษา โดยนำข้อมูลที่ทำการศึกษาและสรุปผลทั้งหมดอย่างละเอียด เพื่ออธิบายผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องและมีความรู้เกี่ยวกับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 นำเสนอโดยการประชุมพร้อมกัน 1 ครั้ง เพื่อตรวจสอบและแก้ไข เพื่อให้ข้อมูลที่จะทำการเผยแพร่ถูกต้อง และปลอดภัยที่สุด

ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตเพื่อนำมารวบรวม และใช้เป็นเอกสารประกอบการวิเคราะห์ ในกระบวนการนี้เน้นไปที่การหาความรู้และข้อมูลในการสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ข้อมูลทฤษฎีและองค์ความรู้ที่ได้มีการเผยแพร่ในแหล่งต่าง ๆ และงานวิจัยที่ได้มีการตีพิมพ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ โดยกำหนดขั้นต่ำของการหาข้อมูลงานวิจัยไว้ที่ 30 ฉบับเป็นอย่างน้อย แบ่งเป็นภาษาไทย 10 และนานาชาติ 20 ฉบับ

ขั้นตอนที่ 3. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

เมื่อได้ทำการรวมรวมข้อมูลและองค์ความรู้ที่จำเป็นต่อการทำวิทยานิพนธ์แล้วนั้น ต่อมาคือกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการทำวิทยานิพนธ์นี้ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ว่าควรใช้ข้อมูลอะไรบ้าง อย่างไร ที่จำเป็นโดยอ้างอิงจากในขั้นตอนที่ 2 และ การวิเคราะห์รวมถึงการสอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง และเงื่อนไขต่าง ๆ ความจำเพาะของการทำวิจัยกับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ก่อนที่จะเริ่มเก็บข้อมูลในส่วนต่าง ๆ

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นแก่การวิจัยเรียบร้อยแล้ว จำเป็นต้องผ่านการอนุมัติจากบุคลากรของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 รวมไปถึงการขออนุมัติจริยธรรมงานวิจัยสภากาชาดไทย (EC) เนื่องจากเงื่อนไขด้านการป้องกันข้อมูลขององค์กรที่มีเฉพาะในหลาย ๆ ด้าน และเมื่อผ่านการอนุมัติแล้วถึงสรุปผลถึงข้อมูลที่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการเก็บรวบรวมและเสอนข้อมูลให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 4. วิเคราะห์ข้อมูลคำนวณหาต้นทุนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน และระยะทางรวมในการขนส่งโลหิต

ขั้นตอนนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับปัญหาที่จะได้รับการพัฒนาในอนาคตเพื่อสร้างข้อเปรียบเทียบ ก่อน – หลัง การปรับปรุง โดยการนำข้อมูลการเบิกจ่ายโลหิตย้อนหลัง 6 เดือน เพื่อมาคำนวณหาต้นทุน และระยะทาง ที่เกิดขึ้นในกระบวนการกระจายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ข้อมูลที่นำมาไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนทั้งหมด (เนื่องจากข้อมูลบางส่วนเกี่ยวกับต้นทุนมีความละเอียดอ่อนสูง ไม่สามารถเปิดเผยได้ทั้งหมด) แต่เน้นไปที่การนำสถิติการเบิกจ่ายมาวิเคราะห์ผลต่อโดยการอ้างอิงกับ ทฤษฎี หรือ ข้อมูลจากการตีพิมพ์ที่เป็นที่ยอมรับ ที่สามารถอ้างอิงกับการคำนวณต้นทุนในการกระจายโลหิตได้

ขั้นตอนที่ 5. ออกแบบฐานข้อมูล ค่าพารามิเตอร์ และอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับการทำวิทยานิพนธ์เนื่องจากเป็นเนื้อหาส่วนใหญ่ และเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จหรือผลจากการทำวิทยานิพนธ์ แบ่งเป็นสามส่วนใหญ่คือ ฐานข้อมูลสำหรับการคำนวณระยะทาง ต้นทุน ระยะเวลา และเงื่อนไขต่าง ๆในการออกแบบเส้นทาง ค่าพารามิเตอร์ คือตัวกำหนดการทำงานของโปรแกรมหรืออัลกอริทึมต่าง ๆ สำหรับการออกแบบเส้นทาง ในการหาคำตอบเส้นทางที่ทำให้เข้าใกล้ค่าวัตถุประสงค์ และเหมาะสมที่สุดในการกระจายโลหิต สำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้

ออกแบบฐานข้อมูล ขั้นตอนในการออกแบบฐานข้อมูลนั้น มีดังนี้

เริ่มต้น โดยการกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบอัลกอริทึม โดยมีพื้นฐานจากการ อ้างอิงในหัวข้อการสืบค้นเอกสาร เพื่อให้ทราบว่าในงานวิจัย “การแก้ปัญหาการจัดส่ง” นั้นใช้ข้อมูลนำเข้า อะไร อย่างไรบ้าง เพื่อนำเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติม และปรับให้เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดส่งสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยในเบื้องต้น จะเก็บค่าคงที่ คือ ระยะทาง และเวลา โดยการอ้างอิงตำแหน่งจาก กูเกิ้ลแม้พ (Google Map) เพื่อหาระยะทางและเวลาระหว่างสถานที่ต่าง ๆ (ภาคบริการโลหิต, สถานีขนส่ง, โรงพยาบาลต่าง ๆ) ในรูปแบบของตารางสองมิติระหว่างสถานที่

การวิเคราะห์ผล นำข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้ามาตรวจสอบความถูกต้อง เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบแล้ว จัดเก็บข้อมูลให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ และการนำไปใช้ต่อ และหาเงื่อนไขการคิดต้นทุนที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง และเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปได้ และเก็บค่าต้นทุนเพื่อต้นทุนที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สำหรับการออกแบบเส้นทางกระจายโลหิต

เสนอผล ขั้นตอนนี้มีความสำคัญอย่างมาก คือนำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบมานำเสนอให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบ และตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสม เมื่อผ่านสามารถนำข้อมูลนี้นำไปใช้ เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับการออกแบบเส้นทาง

การหาค่าพารามิเตอร์ เป็นขั้นตอนที่หาค่าคงที่สำหรับการแก้ปัญหาการขนส่งโลหิตในอัลกอริทึมแต่ละตัวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับต้นแบบการขนส่งโลหิต โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือการอ้างอิงจากองค์ความรู้ที่มี คือการอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากงานตีพิมพ์หรือการเผยแพร่อื่น ๆ ทำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ ส่วนที่ 2 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองด้วยเชิงเฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับรูปแบบปัญหา ส่วนที่ 3 คือวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาทำการทดลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ โดยการทำการทดลองกับกลุ่มชุดข้อมูลตัวอย่างเดียว กับการทดลองในส่วนที่ 1 และ 2 เมื่อเสร็จสิ้นทำการสรุปผล

การออกแบบอัลกอริทึม ทุกข้อที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการปูพื้นสำหรับขั้นตอนนี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 3 ส่วนดังนี้

1.การศึกษาอัลกอริทึมที่มีการเผยแพร่หรือตีพิมพ์ ที่เป็นที่ยอมรับ ในหัวข้อประมาณ การออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต การแก้ปัญหาการจัดส่งแบบเวียนเที่ยวส่ง การพัฒนาห่วงโซ่อุปทานโลหิต ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับบการแก้ปัญหาการขนส่ง และ อัลกอริทึมต่าง ๆ ที่มีความน่าสนใจหรือเหมาะสมกับรูปแบบปัญหาการจัดส่งโลหิต ในส่วนท้ายของขั้นตอนนี้คือ การคัดเลือกขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ที่เหมาะสม หรือมีรูปแบบการแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงกัน เพื่อมาศึกษาการดำเนินการของอัลกอริทึม ในขั้นตอนนี้เพื่อเป็นการทบทวนและตรวจสอบความเข้าใจในเนื้อหาของแต่ละอัลกอริทึม จำเป็นต้องเขียนแผนผังของการทำงานของแต่ละโปรแกรม เพื่อจะได้ง่ายต่อการพัฒนาต้นแบบอัลกอริทึมแบบผสมผสานในขั้นตอนถัดไป

2. การพัฒนาต้นแบบอัลกอริทึม โดยนำต้นแบบโปรแกรมจากขั้นตอนก่อนหน้า และนำลำดับการดำเนินการ และหาคำตอบ เพื่อมาเขียนโปรแกรมโค้ด สำหรับรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้ ในโปรแกรมและ ภาษาคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา

3.การสร้างอัลกอริทึมที่เหมาะสม เป็นขั้นตอนที่นำองค์ความรู้ในสองขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยการนำข้อดีข้อเสีย และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรูปแบบการกระจายโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มาที่สร้างโปรแกรมที่สามารถใช้ได้จริง

ขั้นตอนที่ 6. ทำการทดลองการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตด้วยโปรแกรม ที่เหมาะสม ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่ทวนสอบว่าผลจากวิธีการที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้น สามารถนำไปใช้ได้จริง และสามารถให้คำตอบซึ่งเป็นเส้นทางกระจายโลหิตที่มีระยะทาง ต้นทุน หรือเวลา ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบช่วงนั้น ๆ หรือไม่ โดยมีขั้นตอนทำการทดลอง 4 ขั้นตอนดังนี้

1.การเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการโลหิตย้อนหลัง ซึ่งเป็นความต้องการจริงที่แต่ละโรงพยาบาล โดยการเก็บข้อมูลจากเอกสารที่มีการบันทึกการเบิกจ่ายและจัดส่งโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาล มาเป็นฐานข้อมูลสำหรับการทดลองครั้งนี้ ควรเป็นข้อมูลความต้องการโลหิตรายวัน โดยมีรายละเอียดคือ โรงพยาบาล จำนวนโลหิต จำนวนเที่ยวการขนส่ง และต้องมีข้อมูลขั้นต่ำ 1 เดือน

2.การนำข้อมูลความต้องการโลหิตที่ก่อนการออกแบบเส้นทางจากข้อก่อนหน้า มาออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต โดยการนำความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาล เข้าสู่กระบวนการหาคำตอบจากโปรแกรมต้นแบบที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

3.ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้งานอัลกอริทึม โดยการเปรียบเทียบข้อมูล จากการออกแบบเส้นทางกระจายโลหิตนั้น มีต้นทุน ระยะทาง หรือเวลา ในการขนส่งที่ดีขึ้นหรือไม่ และเวลาในการหาคำตอบของอัลกอริทึมนั้น เป็นไปได้สำหรับการใช้งานจริงหรือไม่

4.เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดยการทดสอบจากฐานข้อมูลความต้องการโลหิตย้อนหลัง โดยมีการทดสอบเบื้องต้นดังนี้ คือ การทดสอบการให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้จำนวน

รอบการพัฒนาคำตอบที่เท่ากัน ทดสอบการลู่เข้าของค่าคำตอบที่ได้จากแต่ละอัลกอริทึม และทดสอบเวลาในการรันโปรแกรมหรือหาคำตอบสำหรับปัญหาเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 7. ทำการทดลองการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตในระบบจริง

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบว่าผลจาก วิธีการที่นำเสนอสำหรับการออกแบบเส้นทางโลหิตรายวันนั้นสามารถใช้ได้จริงกับรูปแบบปัญหาการกระจายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 หรือไม่ โดยมี ขั้นตอนดังนี้

1.ติดต่อกับโรงพยาบาลภายใต้การดูแล เนื่องจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบ อย่างทันทีทันใดนั้นอาจจะทำให้โรงพยาบาลภายใต้การดูแลนั้นไม่สามารถปรับตัวได้ทัน จึงควรเริ่มต้นจากการติดต่อกับโรงพยาบาลปลายทางที่จะได้รับโลหิตในวันนั้น ๆ ว่าจะได้รับการจัดส่งโลหิตด้วยรูปแบบใด ในแต่ละวันที่แตกต่างกัน

2.นำข้อมูลการเบิกโลหิตรายวัน เข้ามาสู่วิธีการออกแบบเส้นทางที่นำเสนอ และทำการพิมพ์หรือแสดงเส้นทางให้แก่ พนักงานขับรถ ให้ทราบถึงเส้นทางการจัดส่งโลหิตที่แตกต่างกันในแต่ละวัน

3.ทำการส่งจริง ระหว่างการจัดส่งโลหิตผู้ทำการทดลอง บันทึกข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในระบบจริงและผลจากวิธีการที่นำเสนอว่ามีความใกล้เคียงกันมากน้อยแค่ไหน เช่น เวลา ระยะทาง ในการจัดส่งระหว่างโรงพยาบาล และ ระยะทางรวม เวลารวม ในการจัดส่งแต่ละรอบ รวมไปถึงจดบันทึกปัญหาต่าง ๆ ที่เจอระหว่างการขนส่งจริง หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ เช่น การจลาจรที่ติดขัด อุบัติเหตุบนท้องถนน โรงพยาบาลมีเหตุร้าย หรือเหตุการณ์เฉพาะต่าง ๆ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 8. เปรียบเทียบระยะทางรวมที่สั้นที่สุด ระหว่างผลจากการคำนวณ การทดลองในระบบจริง และ ระบบการขนส่งแบบเดิม

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสำหรับการเปรียบเทียบ ก่อน และหลัง พัฒนาเส้นทางขนส่งโลหิตด้วยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก และการสร้างโปแกรมต้นแบบสำหรับออกแบบเส้นทางที่มีลำดับหรือวิธีในการหาคำตอบที่แตกต่างกัน การกระทำขั้นตอนนี้เพื่อให้แน่ใจว่า การพัฒนานั้นสามารถทำให้ ระยะทาง ต้นทุน หรือเวลา ในการขนส่งรวมลดลงได้ ในกรณีที่การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก หรือไม่ต่างจากวิธีการปัจจุบันมากนัก ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องประยุกต์หลักสถิติทาง ๆ เพื่อสร้างสมมติฐานว่า ก่อนและหลังปรับปรุงนั้น แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

ขั้นตอนที่ 9. อภิปรายผลจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ หากเป็นที่น่าพอใจ จะทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ทำการอภิปรายและสรุปผลจากการวิจัย และการเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งโลหิตในแต่ละรูปแบบให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น หัวหน้าภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นต้น เพื่อให้ช่วยเลือกแนวทางที่ดีที่สุด และแนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมสำหรับรูปแบบปัญหาปัจจุบันมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 10. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เพื่อเผยแพร่งานวิจัยนี้สำหรับผู้ที่สนใจ และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบการขนส่งของภาคบริการโลหิตแห่งชาติภาคอื่น ๆ ให้เป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงในอนาคต

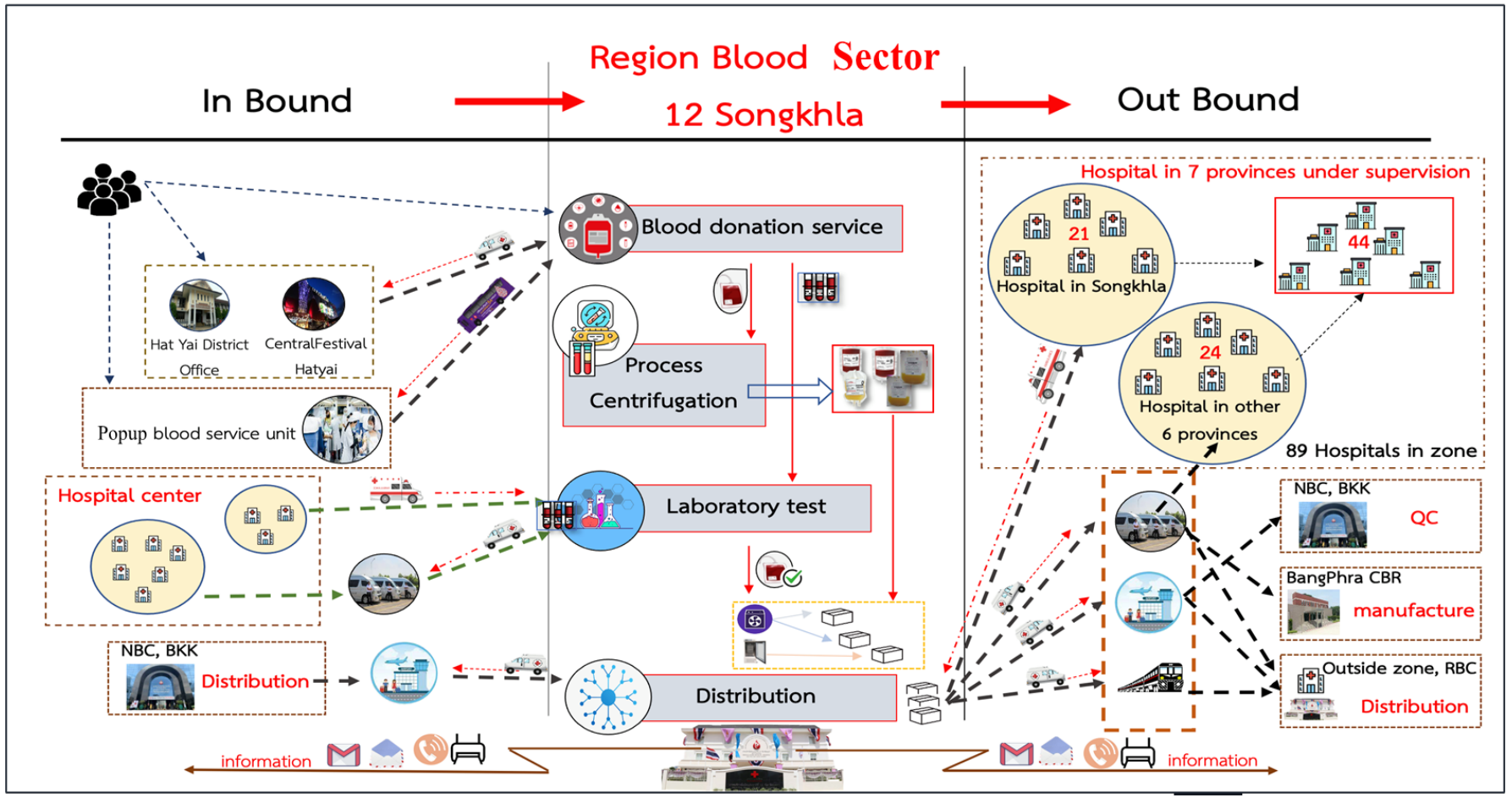
บทที่ 4

ผลการทำวิจัย

ผลการดำเนินงาน ที่มีลำดับการดำเนินงานวิจัยสอดคล้องกับบทที่ 4 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

จากการศึกษาที่เน้นในส่วนระบบการจัดสรรโลหิต และการขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต พร้อมทั้งศึกษาความต้องการในการทำวิจัยนี้ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จากการศึกษาสามารถสรุปผลและแสดงผลการดำเนินงานทั้งสามขั้นตอนดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังข้อมูลการทำงานของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 1

จากรูปที่ 8 ได้สรุปการดำเนินงานของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 งานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การศึกษากิจกรรมต่าง ๆ มีมีการเคลื่อนย้าย ขนส่งโลหิต และผลิตภัณฑ์จากโลหิต หรือกิจกรรมโลจิสติกส์ โดยแยกการศึกษาเป็น บทบาทและหน้าที่ในทางปฏิบัติ กิจกรรมการเคลื่อนย้ายโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตภายในภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistic) โลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistic) การเดินทางของรถเพื่อการขนส่งในกิจกรรมต่าง ๆ และการไหลของข้อมูล ข่าวสาร ความต้องการโลหิต

โดยเริ่มจากการศึกษาจากเอกสารที่มีการเผยแพร่และ การสัมภาษณ์บุคลากรและผู้ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของบทบาทและหน้าที่ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในทางปฏิบัติ ทำให้ทราบว่า ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของห่วงโซ่อุปทานโลหิต มีหน้าที่รับบริจาคโลหิต ตรวจสอบคุณภาพ คัดแยกและจัดเก็บโลหิต ก่อนที่จะกระจายโลหิตให้โรงพยาบาลในพื้นที่ทั้ง 7 จังหวัด ในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ได้แก่ สงขลา พัทลุง ตรัง สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยมีโรงพยาบาลในเครือข่ายที่ใช้บริการเบิกโลหิตและส่วนประกอบโลหิต จำนวน 89 แห่ง แบ่งเป็น โรงพยาบาลมหาวิทยาลัย 1 แห่ง โรงพยาบาลศูนย์ 2 แห่ง โรงพยาบาลทั่วไป 7 แห่ง โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช 2 แห่ง โรงพยาบาลชุมชน 66 แห่ง และโรงพยาบาลเอกชน 11 แห่ง ซึ่งมีผู้ได้รับบริการไม่น้อยกว่า 1,410,577 คนต่อปี โดยมีเป้าหมายการจัดหาโลหิต 38,400 หน่วยต่อปี

4.1.1 บทบาทแหละหน้าที่หลักของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

ส่วนบทบาทแหละหน้าที่หลักแบ่งออกเป็น 4 บทบาทหลักดังนี้

1. ทำการตรวจ ABO Grouping, Rh Typing, Antibody Screening และตรวจคัดกรอง Anti-HIV, HIV-Antigen HIV NAT, HBsAg, Anti-HCV, TPHA ให้กับโรงพยาบาลในจังหวัดเครือข่ายพร้อมกับรายงานผลการตรวจ รวมถึงให้บริการส่วนประกอบของโลหิต ผลิตภัณฑ์น้ำยาตรวจหมู่โลหิต โลหิตหมู่พิเศษ ถุงบรรจุโลหิต และอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับบริจาคโลหิตแก่จังหวัดในเครือข่าย
2. ให้การสนับสนุนกิจกรรมการบริจาคโลหิตตามแผนงานของจังหวัดเครือข่ายรวมทั้งกิจกรรมพิเศษที่เกี่ยวข้องกับการบริจาคโลหิตและผู้บริจาคโลหิตหรือจัดกิจกรรมรับบริจาคโลหิตเอง (เฉพาะบางภาคบริการโลหิต ที่พร้อม) พร้อมทั้งเจาะเก็บโลหิตจากผู้บริจาคโลหิต
3. ทำการปั่นแยกโลหิต และส่วนประกอบของโลหิต และรับจัดเก็บโลหิตที่จังหวัดเครือข่ายจัดหามาได้เกินความต้องการใช้เพื่อให้บริการจังหวัดเครือข่าย ที่ขาดแคลนโลหิต
4. บริการกระจายโลหิตส่วนประกอบโลหิตและผลิตภัณฑ์ของโลหิตตามโรงพยาบาลหรือภาคบริการโลหิตอื่น ๆ ที่มีการร้องขอ

4.1.2 โลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics)

จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในส่วนกิจกรรมโลจิสติกส์ขาเข้า สามารถแบ่งกลุ่มเป็นกลุ่มหลัก ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ

1. การได้มาของโลหิต ซึ่งการได้มาของโลหิตนั้นต้องเกิดจากการบริจาคโลหิตของมนุษย์เท่านั้น โดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นตัวกลางในการบริจาคโลหิตของผู้ที่มีความสมัครใจที่จะบริจาคโลหิต โดยการแบ่งหน่วยการรับบริจาค เพื่อความสะดวกของผู้บริจาค คือ (1) ศูนย์รับบริจาคหลักที่ห้องบริจาคโลหิตภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (2) ศูนย์รับบริจาครอง คือ หน่วยรับบริจาคโลหิตที่มีจุดยุทธศาสตร์ภายในตัวเมืองหาดใหญ่ เพื่อความสะดวกของผู้บริจาค ในปัจจุบันมีด้วยกันสองที่ คือ หน่วยบริจาคโลหิต ณ ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่ และ ศูนย์การค้าเซ็นทรัลเฟสติเวล หาดใหญ่ และ(3) คือการออกหน่วยของภาคบริการโลหิต โดยแบ่งบุคลากรไปตามจุดต่าง ๆ โดยการใช้รถรับบริจาคโลหิตเคลื่อนที่พระราชทาน

2. การตรวจสอบโลหิต และผลิตภัณฑ์จากโลหิตทางห้องปฏิบัติการ เนื่องจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มีความพร้อมด้านวัสดุอุปกรณ์ในการตรวจเชื้อต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ โดยกลุ่มโรงพยาบาลศูนย์ประกอบด้วย โรงพยาบาลสงขลา โรงพยาบาลหาดใหญ่ โรงพยาบาลยะลา โรงพยาบาลนราธิวาสราชนครินทร์ โรงพยาบาลสุไหง - โกลก โรงพยาบาลสตูล โรงพยาบาลละงู โรงพยาบาลเบตง และโรงพยาบาลปัตตานี รวมทั้งสิ้น 9 โรงพยาบาล ซึ่งเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีความพร้อมด้านการรับบริจาคโลหิต จะทำการส่งตัวอย่างโลหิตของผู้บริจาคด้วยการควบคุมอุณหภูมิเพื่อการขนส่ง มายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

3. การได้รับการสนับสนุนโลหิต และผลิตภัณฑ์จากโลหิต จากทางศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย (กรุงเทพมหานคร) การประเมินความต้องการโลหิตอาจจะสามารถประเมินความต้องการโลหิต และกำลังการผลิตล่วงหน้าได้ในเฉพาะสถานการณ์ปกติ แต่เมื่อมีสถานการณ์ฉุกเฉินต่าง ๆ หรือโลหิตไม่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับโรงพยาบาลต่าง ๆ ทางภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จะทำการร้องขอโลหิตไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ทางศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติจะทำการจัดสรรโลหิตให้แก่ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในปัจจุบันขนส่งโลหิตผ่านทางผู้ให้บริการขนส่งทางอากาศ และเมื่อได้รับการจัดสรรโลหิตแล้วนั้น ทางภาคบริการโลหิตจะไปรับโลหิต โดยการส่งรถไปรับโลหิตที่สนามบินหาดใหญ่

4.1.3 โลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics)

การไหลออกของโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ การกระจายโลหิตและผลิตภัณฑ์จากกระบวนการปั่นแยกโลหิตไปยังโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต การส่งโลหิตไปผลิตต่อ ณ ศูนย์ผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสมาสภากาชาดไทย จังหวัดชลบุรี และ

การส่งโลหิตเพื่อการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพโลหิต ณ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การกระจายโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิตไปยังโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต การจัดสรรโลหิตให้แก่โรงพยาบาลนั้นจะจัดสรรตามการเบิกจ่ายของโรงพยาบาลปลายทาง โดยการเบิกผ่านทางใบเบิกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งการเบิกได้เป็น 2 ประเภทคือ รูปแบบแรกคือ เบิกในสถานการณ์ปกติ เป็นการเบิกตามความต้องการของโรงพยาบาลที่เป็นการสำรองโลหิตหรือทราบวันเวลาที่ใช้โลหิตแน่นอน ทางโรงพยาบาลปลายทางจะทำการเบิกโลหิตภายใน 22.00 นาฬิกา และจะได้รับการจัดสรรโลหิตในเช้าวันถัดไป และรูปแบบที่สองคือการเบิกจ่ายเร่งด่วน เป็นการที่โรงพยาบาลปลายทางมีความต้องการโลหิตหรือผลิตภัณฑ์ของโลหิตในเวลาเร่งด่วนไม่สามารถรอการจัดสรรในวันถัดไปได้ ทางภาคบริการโลหิตจะทำการจัดสรรให้ตามเวลาที่เหมาะสม เช่นรอบส่งโลหิตพิเศษในช่วงบ่าย เป็นต้น

2. การส่งโลหิตไปเพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปโลหิต ที่ศูนย์ผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสมาสภากาชาดไทยจังหวัดชลบุรี เนื่องจากสภากาชาดไทย ได้จัดตั้งศูนย์ผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสมา เพื่อเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วย โดยดำเนินการก่อสร้างในที่ดินของสภากาชาดไทย ณ ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งสภากาชาดไทย ร่วมกับ 3 หน่วยงานหลักด้านสาธารณสุขของประเทศ ได้แก่ สำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และองค์การเภสัชกรรม ร่วมกันพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีการผลิตของบริษัท Green Cross Corporation (GCC) สาธารณรัฐเกาหลี ซึ่งใช้เทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและได้มาตรฐานสากลตาม WHO – GMP โดยสามารถผลิตผลิตภัณฑ์จากพลาสมา จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ (1) ALBUMIN ใช้รักษาโรคไต โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน เป็นต้น (2) Intravenous Immunoglobulin หรือ IVIG ใช้รักษาโรคภูมิคุ้มกันต่อต้านตัวเอง และโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง และ(3) Factor VIII ใช้รักษาโรคฮีโมฟีเลีย เอ และโรคเลือดออกง่ายหยุดยากทางพันธุกรรม

3. การส่งโลหิตเพื่อการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพโลหิต ณ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ เป็นหน่วยงานหลักที่ได้รับมอบหมายจากรัฐบาลให้มีหน้าที่ในการจัดหาโลหิตให้มีปริมาณเพียงพอ ปลอดภัย และมีคุณภาพสูงสุด จากผู้บริจาคโลหิตด้วยความสมัครใจไม่หวังสิ่งตอบแทน เพื่อนำไปใช้รักษาผู้ป่วยทั่วประเทศ ทั้งในรูปโลหิต ส่วนประกอบโลหิต และผลิตภัณฑ์โลหิต ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการดำเนินการโดยยึดมั่นในนโยบายด้านคุณภาพคือ โลหิต และผลิตภัณฑ์ของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ มีคุณภาพ ปลอดภัยทั้งผู้ให้และผู้รับ

4.1.4 การเดินทางของรถเพื่อการขนส่งในกิจกรรมต่าง ๆ

ในส่วนการเดินรถจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนขาเข้า และส่วนขาออก ดังนี้

4.1.4.1 การเดินทางของรถส่วนโลจิสติกส์ขาเข้า

สามารถแบ่งเป็นกิจกรรมหลัก ๆ ได้ทั้งหมด 3 กิจกรรม ดังนี้

1. กิจกรรมการรับบริจาคโลหิตจากผู้บริจาค โดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มีสถานที่เพื่อให้บริการทั้งหมด 2 แห่ง คือ ที่แรกคือภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เลขที่ 1 หมู่ 6 ถนนทุ่งควน จีน ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และอีกหนึ่งแห่งคือ ที่ว่าการอำเภอหาดใหญ่ ซึ่งเป็นที่ตั้งเก่าของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 (ภาคบริการโลหิต ส่งรถตู้ไปรับโลหิตจากผู้บริจาคโลหิตที่ ณ ว่าการอำเภอ ฯ ระยะทางรวมไป - กลับ ประมาณ 14 กิโลเมตร) และอีกรูปแบบของการรับบริจาคโลหิตคือ การส่งรถรับบริจาคโลหิตเคลื่อนที่ ในลักษณะของการออกหน่วยเคลื่อนที่

2. การรับตรวจเชื้อและความปนเปื้อนในโลหิตที่ได้จากการรับบริจาค สำหรับโรงพยาบาลที่มีการรับบริจาคโลหิต เนื่องจากความพร้อมด้านการตรวจเชื้อต่าง ๆ ในโลหิตที่ได้รับบริจาคมานั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือและความชำนาญเฉพาะในการตรวจ โลหิตที่ไม่ผ่านการตรวจสอบในขั้นตอนนี้ไม่สามารถนำไปใช้ให้แก่ผู้รับโลหิตได้ ซึ่งภาคบริการโลหิต มีความพร้อมในขั้นตอนนี้ หากโรงพยาบาลที่ใดมีความประสงค์จะรับบริการตรวจเชื้อ ต้องทำการส่งหลอดตัวอย่างโลหิตที่รับบริจาคมายังภาคบริการโลหิต วิธีการส่งหลอดเชื้อตัวย่างมา ณ ภาคบริการโลหิต ขึ้นอยู่กับความพร้อมของโรงพยาบาล ณ เวลานั้น ๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้สองกรณีหลัก ๆ คือ ส่งหลอดตรวจเชื้อด้วยตนเอง คือโรงพยาบาลที่มีความต้องการที่จะตรวจเชื้อในโลหิต จะทำการส่งมาที่ภาคบริการโลหิตด้วยรถของโรงพยาบาลเอง และ ใช้บริการขนส่งสาธารณะ โรงพยาบาลจะทำการบรรจุและส่งหลอดตรวจเชื้อ โดยการจ้างรถตู้สาธารณะประจำเส้นทางมาส่ง ณ สถานีขนส่ง (บขส.) หาดใหญ่ ในวิธีนี้ภาคบริการโลหิต จะต้องส่งรถไปรับหลอดตรวจเชื้อ โดยเริ่มต้นจากภาคบริการโลหิตไปยังสถานีขนส่ง เมื่อรับเสร็จสิ้นจะทำการเวียนรถกลับมายังภาคบริการโลหิต

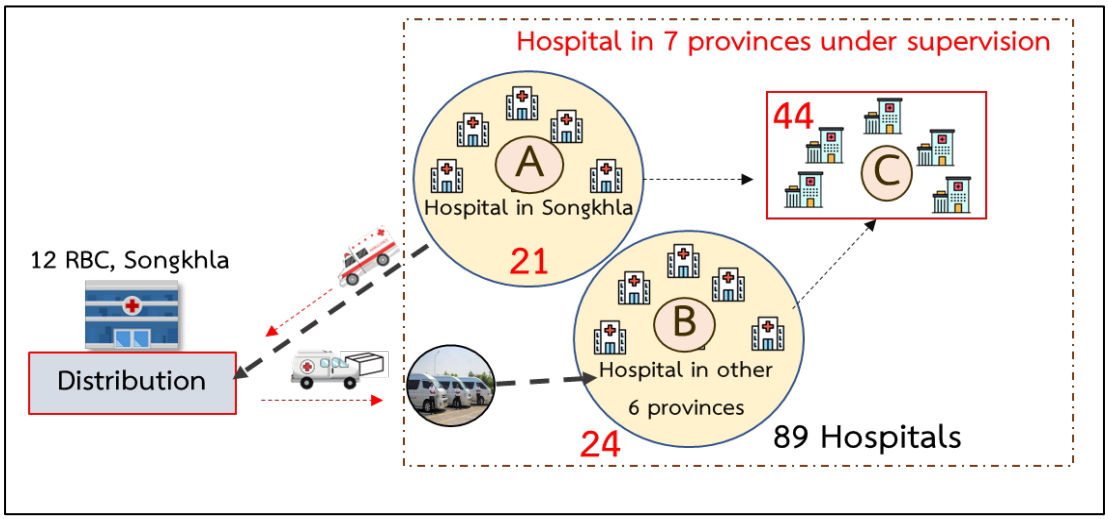
3. การรับการสนับสนุนโลหิตจาก ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย กรุงเทพมหานคร เนื่องจากกำลังการผลิตโลหิตของภาคบริการโลหิต อาจจะไม่เพียงต่อความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลภายใต้การดูแลทั้ง 89 โรงพยาบาล ทางศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ที่มีความพร้อมด้านการจัดหาโลหิตที่มากกว่า ได้มีการสนับสนุนโลหิตตามความจำเป็น เมื่อภาคบริการโลหิตทำการร้องขอโลหิตไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ เมื่อได้รับการพิจรณาและอนุมัติทางศูนย์ฯ จะทำการขนส่งโลหิตผ่านทางการขนส่งทางอากาศ มายัง สนามบินหาดใหญ่ ภาคบริการโลหิต ทำการส่งรถไปรับและ เวียนรถกลับมา ณ ภาคบริการโลหิต

4.1.4.2 การเดินทางของรถส่วนโลจิสติกส์ขาออก

หรือส่วนกระจายโลหิตและผลิตภัณฑ์จากโลหิต ไปยังปลายทางต่าง ๆ ที่มีเป้าหมาย และการขนส่งที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักดังนี้

ส่วนที่ 1. การขนส่งเพื่อสนับสนุนโลหิตให้แก่โรงพยาบาลภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

ในส่วนนี้ทางผู้วิจัยศึกษาสถิติการเบิกจ่ายย้อนหลัง และหลักการเบิกจ่ายโลหิตเฉพาะของแต่ละโรงพยาบาล โดยแบ่งตามรูปแบบการกระจายโลหิต ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการขนส่งโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาล ทำให้สามารถแบ่งโรงพยาบาลจากทั้งสิ้น 89 โรงพยาบาลแยกกลุ่มออกเป็นทั้ง 3 กลุ่ม สามารถแสดงได้ในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการจำแนกกลุ่มโรงพยาบาลตามรูปแบบการกระจายโลหิต

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นคือบทบาทของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ที่ทำการกระจายโลหิตที่ผ่านกระบวนการปั่นแยกส่วนประกอบโลหิตแล้ว ส่งไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่ได้ทำการร้องขอโลหิต ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่ม A เป็นกลุ่มของโรงพยาบาลที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตจังหวัดสงขลา ทั้งหมด 21 พยาบาล รูปแบบการกระจายโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่มนี้อธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีความต้องการโลหิต จะทำการร้องขอโลหิตมายังภาคบริการโลหิต และเมื่อได้รับการจัดสรร ทางภาคบริการโลหิต บรรจุโลหิตตามที่

ได้รับจัดสรรของแต่ละโรงพยาบาลในกล่องโฟมควบคุมอุณหภูมิและเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพ โรงพยาบาลต้องทำการส่งรถตู้ของทางโรงพยาบาลมารับโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และเวียนรถกลับไป ณ โรงพยาบาลต้นทาง

กลุ่ม B เป็นกลุ่มของโรงพยาบาลที่มีตำแหน่งที่ตั้งในเขตจังหวัดอื่น ๆ อีก 6 จังหวัดที่เหลือ ซึ่งโรงพยาบาลกลุ่ม B จะเป็นโรงพยาบาลที่มีศักยภาพในการจัดการโลหิตด้วยตนเอง (การจัดเก็บ) การร้องขอโลหิตเหมือนกับโรงพยาบาล กลุ่ม A แต่ รูปแบบการขนส่งแตกต่างกันคือ ภาคบริการโลหิต จะนำโลหิตขนส่งไป ณ สถานีขนส่ง (บขส.) เพื่อจ้างรถตู้สาธารณะประจำทาง ที่ผ่านโรงพยาบาลปลายทางนั้น ๆ ไปส่งโลหิตให้แก่โรงพยาบาลปลายทาง โดยค่าใช้จ่ายส่วนการจ้างรถ ขึ้นอยู่กับระยะทางและที่ตั้งของแต่ละโรงพยาบาล โดยค่าใช้จ่ายคิดเป็น บาทต่อกล่อง ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ทางภาคบริการโลหิต เป็นผู้รับผิดชอบ

ในกรณีที่รถของภาคบริการโลหิตไม่ว่างเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากรไม่สามารถทำการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่งได้ ทำให้จำเป็นต้องจ้างรถขนส่งไม่ประจำทางเพื่อทำการขนส่งโลหิตไปยัง สถานีขนส่งเพื่อทำการกระจายโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ต่อไป โดยค่าใช้จ่ายเฉลี่ยอยู่ที่ 100 บาทต่อกล่อง

กลุ่ม C เป็นกลุ่มของโรงพยาบาลขนาดเล็ก ไม่มีศักยภาพในการจัดเก็บโลหิตด้วยตัวเอง และทรัพยากรด้านการขนส่ง จึงไม่สามารถเบิกโลหิตจากภาคบริการโลหิตล่วงหน้าเป็นเวลานานเพื่อจัดเก็บธนาคารโลหิตประจำโรงพยาบาลได้ ทำให้เมื่อมีความต้องการโลหิต โรงพยาบาลกลุ่มนี้จะทำการร้องขอโลหิตไปยังโรงพยาบาลขนาดใหญ่อื่น ๆ โดยไม่ผ่านภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

ส่วนที่ 2 การส่งตัวอย่างโลหิตเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพ เนื่องด้วยโรงพยาบาลส่วนการควบคุมคุณภาพโลหิตนั้นเป็นอีกหนึ่งนโยบายที่สำคัญกับองค์กรสภากาชาดไทย จึงมีการส่งโลหิตตัวอย่างจากภาคบริการโลหิตต่าง ๆ ทั่วประเทศไปยังศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร ในส่วนของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ใช้การขนส่งทางอากาศ โดยต้องนำตัวอย่างโลหิตจากภาคบริการโลหิต ไปยังสนามบินหาดใหญ่ และในกรณีที่รถตู้ไม่พร้อมใช้งานจะมีรูปแบบการขนส่ง และค่าใช้จ่ายเหมือนกับขั้นตอนการกระจายโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม B

ส่วนที่ 3 การส่งโลหิต เพื่อไปผลิตต่อ ณ ศูนย์ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสมา ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (กาชาดบางพระ) การขนส่งจะมีทั้งรูปแบบการขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางบกผ่านรถโดยสารประจำทาง

ส่วนที่ 4 การสนับสนุนโลหิตให้แก่ ภาคบริการโลหิตอื่น ๆ และโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่ไม่ได้อยู่ภายใต้การดูแล เมื่อมีความจำเป็นภาคบริการโลหิตอื่น ๆ อาจจะมีโลหิตสำหรับการจัดสรรให้โรงพยาบาลอื่น ๆ ไม่เพียงพอ ทางภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เมื่อพิจารณาถึงความเพียงพอ จะทำการขนส่งโลหิตไปให้ตามการร้องขอ และเนื่องจากโรงพยาบาลและภาคบริการต่าง ๆ มีความห่างไกลกัน จึงสามารถขนส่งได้ผ่านหลายรูปแบบ คือ ทางอากาศ ทางรถตู้หรือรถทัวร์ประจำทาง และรถไฟ

การดำเนินงานดังกล่าวทราบถึงกระบวนการทำงานของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ในภาพรวม และสามารถลงรายละเอียดในส่วนของการกระจายโลหิตซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยนี้ สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูล และปัญหาที่เกิดจากการขนส่งในรูปแบบปัจจุบันได้ รวมถึงการต่อยอดข้อมูลเพื่อไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบเส้นทางกระจายโลหิตได้ในอนาคต

4.2 ผลการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตเพื่อนำมารวบรวม และใช้เป็นเอกสารประกอบการวิเคราะห์

การศึกษาค้นคว้าที่ การออกแบบเส้นทางการจัดส่งต่าง ๆ ปัญหาการจัดส่ง ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกต่าง ๆ และการคำนวณต้นทุนในการขนส่ง โดยสามารถอธิบายลำดับการทำงานได้ดังนี้

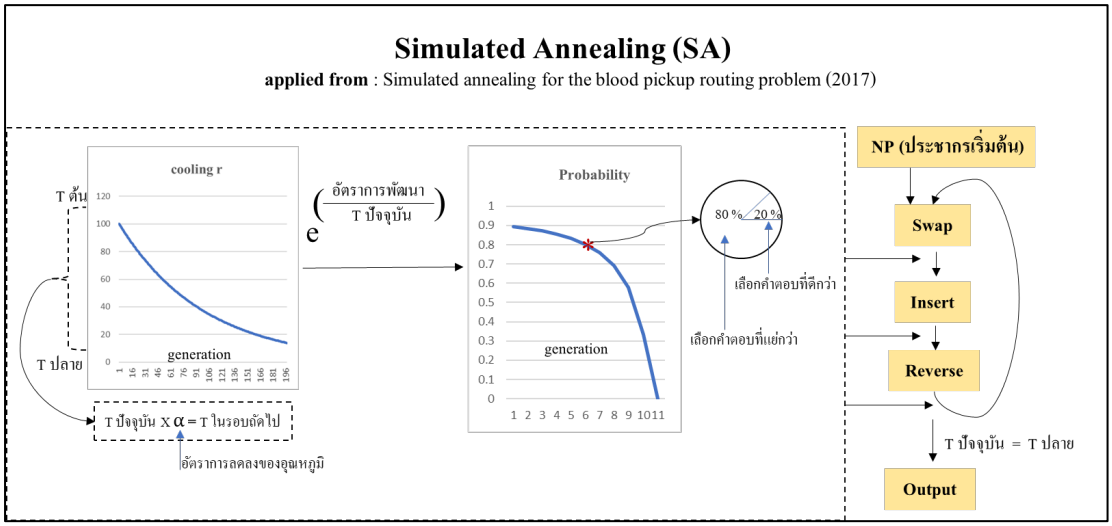
4.2.1 การศึกษางานวิจัยและผลงานที่มีการตีพิมพ์

งานวิจัยที่มีความคล้ายกันกับงานวิจัยนี้ ซึ่งรายละเอียดโดยรวมสามารถสรุปได้ในบทที่ 2 ของงานวิจัยนี้ ทั้งหมด 3 ฉบับที่เป็นการแก้ไขรูปแบบการขนส่งสำหรับโลหิตที่มีการใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1.1 ผลงานฉบับที่ 1 Simulated Annealing for the Blood Pickup Routing Problem

Titi Iswari และคณะ ได้ทำการตีพิมพ์ในปี ค.ศ.2016 ผลงานวิจัยฉบับนี้มีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก สำหรับออกแบบเส้นทางการรับโลหิตจากหน่วยย่อยของธนาคารเลือดต่าง ๆ ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหา Vehicle Routing Problem (VRP) โดยได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอน Simulated Annealing (SA) จากการศึกษางานวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถสรุปขั้นตอนวิธีของการดำเนินการใน

SA Algorithm ได้อย่างดี เพื่อนำลำดับขั้นตอนไปประยุกต์เขียนโปรแกรม และสมการทางคณิตศาสตร์มาเป็นต้นแบบ สำหรับแก้ปัญหาการขนส่งของภาคบริการโลหิตที่ 12 ได้อย่างดี และสามารถนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ อัลกอริทึม ต่าง ๆ ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์และออกแบบให้เหมาะสมกับรูปแบบปัญหารูปแบบเฉพาะของงานวิจัย “การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง” สรุปหลักการและขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธี Simulated Annealing (SA) ได้พอสังเขปดังนี้ SA Algorithm เป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization Problem) เป็นการหาคำตอบวนซ้ำ โดยนำหลักการลดลงของอุณหภูมิ มาประยุกต์ใช้ สามารถสรุปการทำงานของของ SA Algorithm ที่เป็นกระบวนการ SA เฉพาะที่ผู้เขียนประยุกต์มาแล้ว แต่ยังคงหลักการหาคำตอบแกนหลักเหมือนเดิม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 อธิบายการหลักการทำงานของ SA Algorithm

จากรูปที่ 10 สามารถสรุปกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงหลักการทำของอัลกอริทึม และลำดับการพัฒนาคำตอบเพื่อหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยเป็นการจำลองการลดลงของอุณหภูมิในการหลอมโลหะเมื่อเริ่มต้นจะมีอุณหภูมิที่สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิจะลด และจะไปหยุดที่จุดเย็นตัวหรือ อุณหภูมิสุดท้าย แสดงได้ในกราฟรูปซ้าย

จากรูปที่ 10 ขั้นตอนวิธี SA ได้จำลองการลดอุณหภูมิโดยที่อัตราการเย็นตัวเป็นค่าคงที่ α โดยที่อุณหภูมิในรอบถัดไป จะหาได้จาก สมการที่ 1

$$T_{\text{ในรอบถัดไป}} = T_{\text{ปัจจุบัน}} \times \alpha \quad (1)$$

โดยที่อุณหภูมิจะส่งผลต่อความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบที่จะส่งไปยังขั้นตอน หรือ รอบถัด ๆ ไป รวมไปถึงอัตราการพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้น นำสองอย่างนี้มาสร้างความสัมพันธ์จะได้ สามการที่ 2

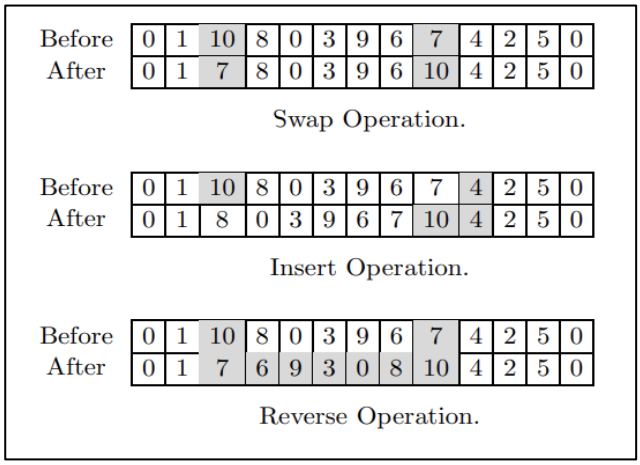
$$e^{(\text{อัตราการพัฒนา} / \text{อุณหภูมิปัจจุบัน})} \quad (2)$$

สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบ (P) ของขั้นตอนวิธี SA ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความน่าจะเป็นการเลือกคำตอบ

อุณหภูมิปัจจุบัน	อัตราการพัฒนา A	ความน่าจะเป็นA	อัตราการพัฒนา B	ความน่าจะเป็นB
1,000	-10	0.99005	-100	0.90484
100	-10	0.90484	-100	0.36788
10	-10	0.36788	-100	0.00005
1	-10	0.00005	-100	0.00000

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิสูงความน่าจะเป็นที่จะเลือกคำตอบเดิมนั้นสูงมาก แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ความน่าจะเป็นลดลงจนถึง 0 คือไม่มีโอกาสเลยที่จะเลือกคำตอบเดิม สามารถแสดงให้ความสัมพันธ์ได้ในกราฟที่ 2 รูปที่ 10 ทั้งนี้หลักการที่กล่าวมานั้นยังไม่สามารถพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นได้ จึงต้องมีการนำหลักการ พัฒนาคำตอบให้แตกต่างไปจากเดิม แล้ววัดค่าวัตถุประสงค์อีกครั้ง โดยงานตีพิมพ์ “Simulated Annealing for the Blood Pickup Routing Problem” ได้ประยุกต์หลักการหาคำตอบใหม่ทั้งหมดสามขั้นตอน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11

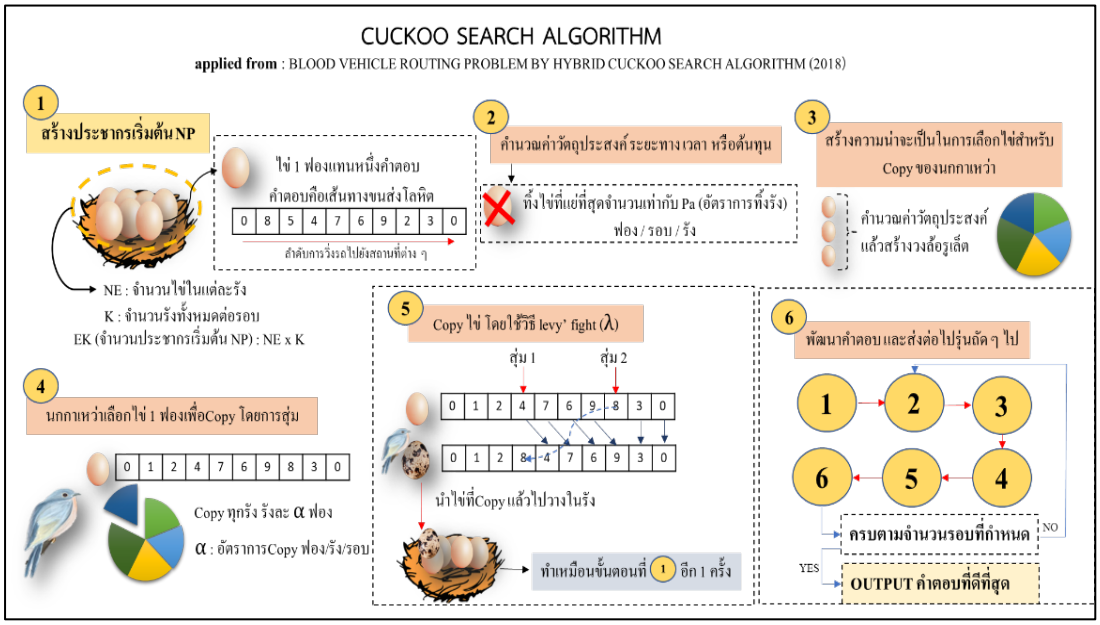


รูปที่ 11 ลำดับและตัวอย่างของขั้นตอนพัฒนาคำตอบของขั้นตอนวิธี Simulated Annealing

4.2.1.2 ผลงานฉบับที่ 2 Blood Vehicle Routing problem by Hybrid Cuckoo Search Algorithm

คณน สุจารี และสิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ ในปี พ.ศ.2562 ผลงานนี้ได้ทำการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต ในรูปแบบซึ่งเรียกว่า ปัญหาการขนส่งแบบมีเงื่อนไขด้านความจุของรถขนส่ง (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) โดยนำวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าประยุกต์กับวิธีค้นหาแบบทาบูและ วิธีค้นหาแบบเพื่อนบ้านซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า “วิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า” เพื่อออกแบบเส้นทางจัดส่งเลือดไปยังโรงพยาบาลเขตจังหวัดภาคเหนือตอนบน 8 จังหวัด คือ เชียงใหม่ เชียงราย แพร่ น่าน ลำปาง พะเยา และ แม่ฮ่องสอน โดยที่มีจำนวนโรงพยาบาลที่ต้องจัดส่งเลือด คือ 112 โรงพยาบาล โดยขั้นตอนวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า สามารถแสดงได้ในรูปที่ 12

จากรูปที่ 12 สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนของขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search Algorithm เริ่มต้นโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณต่าง ๆ ภายในอัลกอริทึม สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังในตารางที่ 3



รูปที่ 12 ลำดับการดำเนินการของขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search

ตารางที่ 3 แสดงคำอธิบายพารามิเตอร์ และค่าที่ใช้ สำหรับขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search

พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ค่าที่ใช้
NE	จำนวนไข่ในแต่ละรัง	5 ฟอง / รัง
K	จำนวนรังทั้งหมด	20 รัง
Pa	อัตราการทิ้งรัง	1 ฟอง / รัง / รอบ
α	levy' fight การเลียนแบบไข่	1 ฟอง / รัง / รอบ
Run Number	จำนวนรอบในหาคำตอบ	100 รอบ
ER	จำนวนไข่ทั้งหมดต่อการหาคำตอบ 1 รอบ	NE x K
A	อัตราส่วนส่วนวัตถุประสงค์	ต้นทุนรวมทั้งรัง / ต้นทุนของไข่ฟองนั้น ๆ
P	ความน่าจะเป็นในการเลือกไข่เพื่อ Copy	Aของไข่ฟองนั้น ๆ / A รวมทั้งรัง

ลำดับที่ 1 เป็นขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น ซึ่งมีความเหมือนกับการสร้างประชากรเริ่มต้น NP ของขั้นตอนวิธีอื่น ๆ แต่ในวิธีนี้มีการแยกคำตอบออกเป็นกลุ่ม ๆ ในที่นี้คือรังนก และแต่ละคำตอบแทนด้วยไข่ 1 ฟอง ตัวอย่างเช่นการสร้าง NP = 100 ในขั้นตอนวิธีอื่น ๆ คำตอบทั้ง 100 ค่าเป็นกลุ่มเดียวกัน แต่ในวิธีนี้มีการแยกเป็น NE คือจำนวนไข่ในแต่ละรัง K คือจำนวนรังทั้งหมด การสร้าง NP = 100 คือการนำ NE x K ซึ่งจะทำให้ทราบถึงจำนวนไข่ทั้งหมด อย่างเช่น สร้างรังนกทั้งหมด 20 รัง รังละ 5 ฟอง จะได้ไข่ทั้งหมด 100 ฟอง

ลำดับที่ 2 การตรวจสอบค่าวัตถุประสงค์ ในที่นี้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ทดสอบต้องการจะให้ค่าใดเป็นวัตถุประสงค์หลักในการหาคำตอบ เช่น ต้นทุนต่ำสุด เวลาขนส่งต่ำที่สุด หรือระยะทางรวมในการขนส่งต่ำที่สุด โดยในผลงานที่ 2 นี้ได้กำหนดระยะทางรวมต่ำที่สุดเป็นวัตถุประสงค์หลักในการหาคำตอบ เมื่อคำนวณค่าระยะทางแล้ว นกเจ้าของรังจะทำการทิ้งไข่ใบที่แย่ที่สุดออกจากรังไป หรือการทิ้งคำตอบที่ให้ค่าระยะทางมากที่สุดจากการสร้างประชากรเริ่มต้นออกไปรังละ 1 เส้นทาง กำหนดโดยอัตราการทิ้งไข่ (Pa) ที่กำหนดไว้ก่อนแล้ว

ลำดับที่ 3 การสร้างความน่าจะเป็นในการ Copy ไข่ เนื่องจากนกกาเหว่าจะทำการเลียนแบบไข่ที่มีความคล้ายกันกับไข่เดิมที่อยู่บนรัง และนกกาเหว่าจะเลือก Copy ไข่แค่ α ฟอง / รัง / รอบ จึงต้องสร้างความน่าจะเป็นโดยประยุกต์หลักการวงล้อรูเล็ตมาใช้คือ ความน่าจะเป็นแบ่งเป็นไข่ฟองต่าง ๆในรังรวมทั้งหมดคือ 100 % สามารถอธิบายตัวอย่างการคำนวณได้ดังตารางที่ 4

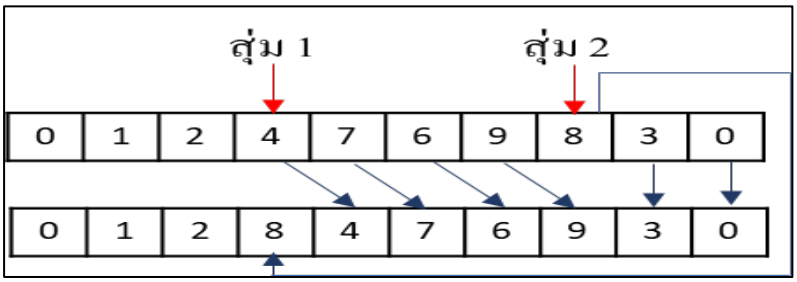
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัตถุประสงค์และความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบสำหรับขั้นตอนวิธี Hybrid Cuckoo Search

ไข่ฟองที่	ต้นทุนที่ได้	A	P	ช่วง
1	120	4.891666667	0.19365294	0 - 0.19365
2	130	4.515384615	0.17875656	0.372409501
3	112	5.241071429	0.207485293	0.579894794
4	98	5.989795918	0.23712605	0.817020844
5	127	4.622047244	0.182979156	1

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าไข่ฟองที่ 4 ซึ่งมีต้นทุนต่ำที่สุดจะมีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมากที่สุด เมื่อสร้างวงล้อรูเล็ตสำเร็จ จะดำเนินการในลำดับถัดไป

ลำดับที่ 4 นกกาเหว่าจะทำการเลือกไข่ 1 ฟองโดยการสร้างเลขสุ่มในช่วง [0,1] เพื่อเป็นการเลือกไข่ 1 ฟองที่จะทำการ Copy อย่างเช่นสร้างเลขสุ่มได้ค่า (0.182) แสดงว่าตกอยู่ในช่วงของไข่ฟองที่ 1 ก็จะเลือกไข่ฟองที่ 1 มา ทำเช่นนี้ทุกรัง รังละ α ฟอง

ลำดับที่ 5 ทำการเลียนแบบไข่ (Copy) โดยการประยุกต์ขั้นตอนวิธี Levy' Fight ในการการเลียนแบบไข่ สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ขั้นตอนการเลียนแบบไข่

จากรูปที่ 13 สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้ เริ่มจากการสุ่มเลือกตำแหน่งบนเส้นทางขึ้นมาสองตำแหน่ง จากนั้นการแทนตำแหน่งสุ่ม 1 ด้วยตำแหน่งสุ่ม 2 จากนั้นทำการย้ายตำแหน่งสุ่มที่ 1 และตำแหน่งที่อยู่หลังจากตำแหน่งสุ่ม 1 ให้ถัดไปตำแหน่งหลังไปเรื่อย ๆ จนถึงตำแหน่งสุ่มที่ 2 เดิม เมื่อทำการเลียนแบบไข่เรียบร้อยแล้ว นกเจ้าของรังจะทำการทิ้งไข่ 1 ฟองออกจากรังโดยการทิ้งไข่ฟองที่แย่ที่สุด เหมือนกับขั้นตอนลำดับที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการประยุกต์ขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ในการสลับตำแหน่งเพื่อหาเส้นทางใหม่ สามารถประยุกต์หลักการต่าง ๆ ได้มากมายอย่างเช่น เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด การหาคำตอบเฉพาะที่ หรือการนำขั้นตอนวิธีเฉพาะอื่น ๆ มาต่อจากขั้นตอนปัจจุบัน เป็นต้น

ในสุดท้ายจะทำการส่งคำตอบทั้งหมดจากขั้นตอนการปรับปรุงไปในรอบถัด ๆ ไป เมื่อครบจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว จะทำการส่งข้อมูลที่ดีที่สุด (ไข่ฟองที่ต้นทุนต่ำสุด) เพื่อไปแสดงผล และนำคำตอบที่ได้ ไปอ่านค่าเส้นทางการเดินรถที่สามารถใช้ได้จริง และมีต้นทุนต่ำที่สุดจากการหาคำตอบทั้งหมด 100 รอบ

4.2.1.3 ผลงานฉบับที่ 3 Analysis and Design of Blood Transportation in Bangkok Metropolitan Region A Case Study for the National Blood Center, Thai Red Cross Society

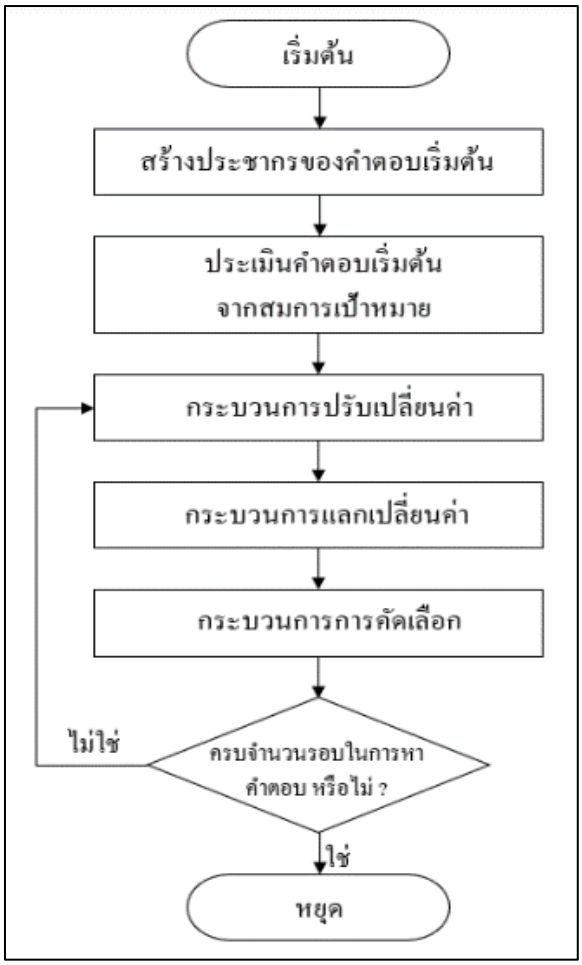
สมชาย ปฐมศิริ ได้เผยแพร่แนวทางการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตสำหรับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ในปี พ.ศ.2554 งานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในต้นแบบแรก ๆ ของการนำหลักการออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิตให้กับหน่วยงานของสภากาชาดไทย โดยงานวิจัยนี้ออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิตให้กับศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย ปัจจุบันศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติมีโรงพยาบาลภายใต้การดูแลคือ โรงพยาบาลที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล โดยการออกแบบเส้นทางมุ้งเน้นไปที่การลดจำนวนเที่ยวรถ เพื่อทำให้ระยะทางรวมของการกระจายโลหิตแต่ละรอบลดลง ทางผู้จัดทำผลงานได้ประยุกต์ขั้นตอนวิธี Saving Algorithm ที่เป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีฮิวริสติก การออกแบบเส้นทางโดยการนำโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตมาออกแบบเส้นทางเพื่อกระจายโลหิตเป็นเส้นทางต่าง ๆ หนึ่งในการทดลองคือ การทดลองโรงพยาบาลจำนวน 84 โรงพยาบาล สามารถควบรวมเส้นทางได้เหลือ 17 เที่ยวการเดินรถ การออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิตของงานตีพิมพ์ฉบับนี้มีความคลายกับ งานวิจัยนี้ แต่เนื่องด้วยเวลาผ่านมาค่อนข้างนานทำให้มีวิธีต่าง ๆ ในการออกแบบเส้นทางสามารถทำได้ดีขึ้น เร็วขึ้น และให้ค่าคำตอบที่ดีขึ้น โดยเฉพาะขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 5.2.1 ทำให้ทราบว่าหนึ่งในวิธีการออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิตที่เป็นที่นิยมนั้นคือ ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก โดยทางผู้วิจัยได้ศึกษาขั้นตอนวิธีอื่น ๆ เพื่อจะได้นำมาพัฒนาเป็นรูปแบบอัลกอริทึมใหม่ที่เหมาะสมกับรูปแบบปัญหาการขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยแบ่งการศึกษาเป็นการศึกษารูปแบบการทำงานของอัลกอริทึม และทำการทดลองเขียนโปรแกรมอย่างง่ายสำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีวิธีการดำเนินการที่แตกต่างกันเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และทำการพัฒนาแก้ไขต่อไป จากผลการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.2.2 วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm, DE)

เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของเลขจำนวนจริงและนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีวิวัฒนาการ ซึ่งได้มีการนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2000 เริ่มแรกใช้ในการแก้ปัญหาจัดสรรเส้นทางการบิน ต่อมาได้มี

การพัฒนาการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย หนึ่งในการแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมที่สุดคือการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการของวิธีนี้มีความคล้ายกับวิธีวิวัฒนาการตามปกติ คือ การสร้างประชากรเริ่มต้น ประเมินค่าฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย และผลิตประชากรรุ่นใหม่ด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) การสร้างไทรอัลเวกเตอร์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) และการเลือกเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไป (Selection) การทำงานของวิธีDE จะพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นไปเรื่อย ๆ ในแต่ละรอบของการหาคำตอบ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของวิธีDE สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ขั้นตอนการทำงานของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

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 จากกูเกิ้ลแม็พ (Google Map) และการตรวจสอบค่าระยะทางของแต่ละเส้นทางจะบอกถึงคุณภาพของการหาคำตอบที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้ ตามจำนวนรอบของการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) จากความเชื่อที่ว่าการพัฒนาจะให้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าชุดคำตอบเดิม ซึ่งในการสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์จะเป็นลักษณะของการปรับค่าสุ่มประจำหลักของเส้นทาง โดยทำไปทีละเส้นทางจากขั้นตอนที่ 2 เริ่มจากการสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์ r_1, r_2 และ r_3 และอ้างอิงค่าจากเวกเตอร์เป้าหมาย X จากเลขลำดับของเวกเตอร์ ข้างต้น แล้วทำการปรับค่าด้วยสมการ DE/rand/1/bin ซึ่งค่าพิกัดใหม่จะแตกต่างไปจากค่าพิกัดในประชากรเริ่มต้นด้วยปัจจัยขยายผลต่าง (Weighting Factor) การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดมีขั้นตอนย่อยดังนี้

1. เลือกเวกเตอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า X และสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์
2. พัฒนาคำตอบด้วยสมการคณิตศาสตร์อย่างง่าย ดังนี้

สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณของขั้นตอนที่ 4 ได้ดังตารางที่

$$V_{i,\,g} = X_{r1,\,g} + F(X_{r2,\,g} - X_{r3,\,g}) \tag{3}$$

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

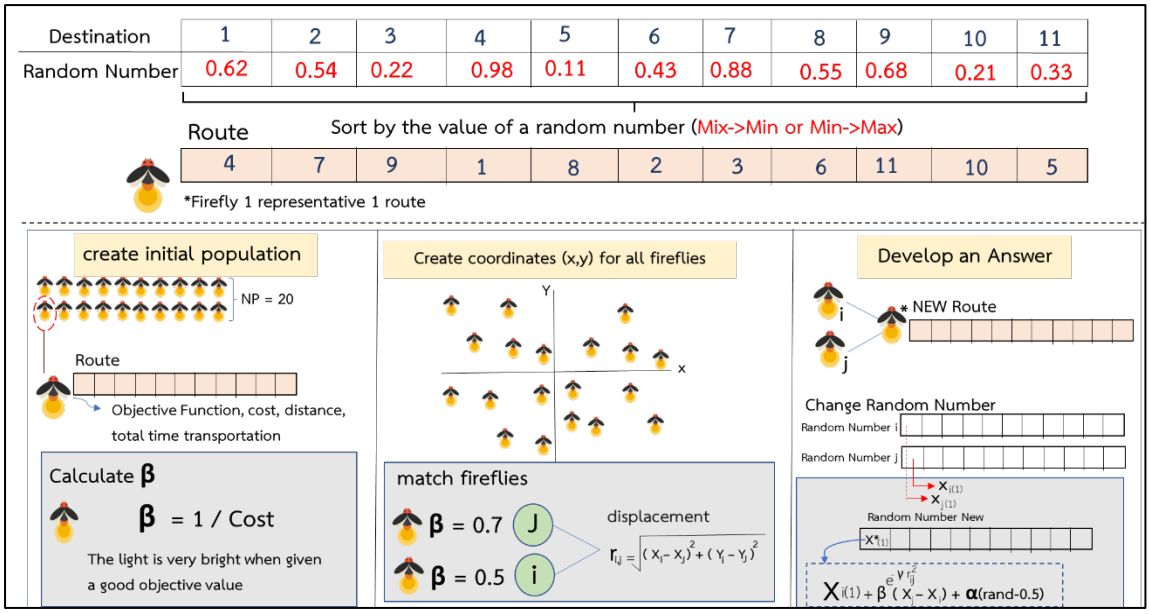
ขั้นตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Recombination) เป็นการสร้างไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector) โดยการสุ่มค่า CR ที่อยู่ในช่วง (0, 1) สำหรับการสลับค่า $X_{i, g}$ และ $V_{i, g}$ สำหรับเส้นทางที่จะสร้างขึ้นมาใหม่ โดยค่าสุ่มในช่องใดที่มีค่าต่ำกว่าค่า CR ให้ใช้ค่า $X_{i, g}$ และช่องใดมีค่ามากกว่า CR ให้ใช้ค่า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

ขั้นตอนที่ 6 การส่งคืนคำตอบที่ดีที่สุด เป็นการส่งค่าจากขั้นตอนที่ 1 - 5 เพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบในรอบถัด ๆ ไป เมื่อตรวจสอบว่าการรันครบตามจำนวนรอบการค้นหา (รอบการรัน) ที่กำหนดไว้ ให้แสดงเส้นทางที่ดีที่สุดและจบการดำเนินการ

จากการศึกษาขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างทำให้ทราบถึงข้อดี เช่น เป็นขั้นตอนวิธีที่มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้ผลงานตีพิมพ์หรืออ้างอิงที่สามารถใช้เป็นตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้สามารถหาได้มากพอสมควร และเป็นขั้นตอนวิธีที่ง่ายต่อการผสมผสานเข้ากันกับขั้นตอนวิธีอื่น ๆ เนื่องจากมีการพัฒนาคำตอบโดยการใช้เลขสุ่ม ซึ่งสามารถปรับปรุงโครโมโซมได้ง่าย เหมาะกับการผสมผสานกับขั้นตอนวิธีที่มีการพัฒนาคำตอบโดยใช้เลขสุ่มเหมือนกัน ซึ่งมีอยู่จำนวนมากอย่างเช่นขั้นตอนการเติมการค้นหาเฉพาะที่รูปแบบต่าง ๆ และขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย เป็นต้น

4.2.3 ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย (Firefly Algorithm)

ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยเป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนามาจากการผสมพันธุ์ของหิ่งห้อย โดยหิ่งห้อยที่มีแสงสว่างมากย่อมที่จะให้ค่าคำตอบที่ ผู้ทำการทดลองสนใจที่ดีกว่าหิ่งห้อยตัวที่แสงน้อยกว่า เช่น การออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ นั้น เมื่อเป้าหมายในการหาคำตอบของผู้ทำการทดลองคือ ต้นทุนรวมในกากรขนส่งต่ำที่สุด หิ่งห้อยที่มีค่าความสว่างมากก็ต้องให้ต้นทุนที่น้อย โดยขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย สามารถสรุปเป็นแผนภาพตัวอย่างอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิธีหิ่งห้อย

ก่อนเริ่มต้นค้นหา จะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ และสร้างประชากรเริ่มต้น สำหรับการหาคำตอบของอัลกอริทึม โดยกำหนดคำตอบที่ต้องการหาเป็นเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ซึ่งแต่ละโรงพยาบาลถูกกำหนดเป็นปลายทาง (Destination) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาคำตอบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบ

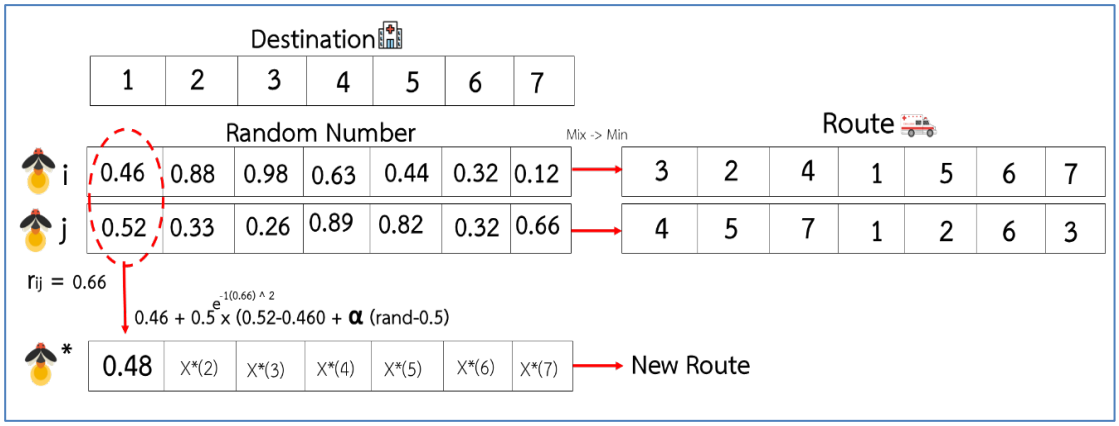
พารามิเตอร์	ความหมาย	พารามิเตอร์	ความหมาย
Number of Run	จำนวนรอบในการหาคำตอบ	Re	ช่วงความเป็นได้ของพิกัด (X,Y)
α	อัตราการดูดซับแสง	β	ค่าเป้าหมายผลันกลับหรือแรงดึงดูด
R_{ij}	การกระจัด ระหว่างหิ่งห้อยตัวที่ i และ j	X_i	ค่าเลขสุ่มของหิ่งห้อยตัวที่ i
X_j	ค่าเลขสุ่มของหิ่งห้อยตัวที่ j	X*i	ค่าเลขสุ่มหลังปรับปรุง

เมื่อกำหนดค่า พารามิเตอร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อมาคือการสร้างเส้นทางเริ่มต้น โดยการสร้างเลขสุ่มให้กับทุกตำแหน่งที่มีความต้องการโลหิต จากนั้นเรียงค่าเลขสุ่มจากมากไปน้อย หรือ น้อยไปมาก จะได้เส้นทางการขนส่งมาหนึ่งเส้นทาง ที่มีค่าเลขสุ่มประจำตำแหน่ง โดยที่จำลองว่า ทุกเส้นทางคือหิ่งห้อย 1 หนึ่งตัว เพราะฉะนั้นจำนวนของหิ่งห้อยที่สร้างขึ้นจะมีจำนวนเท่ากับ NP หรือค่าประชากรเริ่มต้นที่ถูกกำหนดไว้แล้ว เมื่อสร้างหิ่งห้อยแล้วจะทำการคำนวณ β นั้น เพื่อเป็นตัววัดความน่าดึงดูดของหิ่งห้อยแต่ละตัว กล่าวคือ หิ่งห้อยที่ β มากก็ย่อมน่าสนใจกว่าตัวอื่น ๆ ที่มี β น้อยกว่า ในกรณีที่สนใจค่าคำตอบเป้าหมาย น้อยที่สุด เช่น ต้นทุน ระยะทาง หรือ เวลา เป็นต้น การคำนวณก็จะผกผันกลับ เพื่อให้ค่า β จะมากเมื่อค่าคำตอบดีกว่า แต่ในกรณีที่ค่าคำตอบเป้าหมายเป็นมากที่สุด เช่น กำไร จำนวนความจุ ก็จะไม่ต้องผกผันกลับ ซึ่งจะคำนวณค่า β ให้กับหิ่งห้อยทุกตัว โดยเริ่มต้นหิ่งห้อยจะไม่มีเพศ และไม่มีพิกัดที่อยู่

จากนั้น คือการสร้างพิกัดที่อยู่ให้กับหิ่งห้อยทุก ๆ ตัว บนพิกัด (X,Y) ที่ถูกกำหนดขอบเขตในขั้นตอนเริ่มต้นไว้แล้ว และทำการจับคู่การให้หิ่งห้อย ในที่นี้เพื่อความรวดเร็วของการหาคำตอบ และประหยัดเวลาในการสร้างความเป็นไปได้ของการกระจัด (Displacement) ได้ตัดการหาค่าการกระจัดสำหรับทุก ๆ คู่ที่เป็นไปได้ แต่จะทำการสุ่มคู่ให้กับทุก ๆ ตัว โดยไม่ตัดซ้ำ ยกตัวอย่างเช่น หิ่งห้อยตัวที่หนึ่ง สุ่มได้เจอกับหิ่งห้อย ตัวที่ 12 หิ่งห้อยตัวที่ 12 เมื่อถึงรอบสุ่มก็จะยังได้สุ่มเพื่อหาคู่ใหม่ ทำให้จำนวนคู่เท่ากับ จำนวน NP เมื่อจับคู่ให้กับหิ่งห้อยแล้วจะทำการคำนวณค่าการกระจัด ระหว่างหิ่งห้อยสองตัว โดยใช้สมการที่ 4

การกระจัดระหว่างหิ่งห้อย = $\sqrt{(Xi - Xj)^2 + (Yi - Yj)^2}$ (4)

และสุดท้าย เมื่อได้ค่าพิกัด และค่าการกระจัดของหิ่งห้อยแต่ละคู่แล้ว จะทำการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบโดยใช้หลักการปรับค่าเลขสุ่มประจำหลักของหิ้งห้อยแต่ละตัว สามารถแสดงหลักการปรับปรุงค่าเลขสุ่มได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ตัวอย่างการคำนวณเลขสุ่มประจำหลักใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย

หลังจากทำการปรับปรุงเลขสุ่มให้ครบทุกหลักแล้ว สามารถสร้างเส้นทางโดยการเรียงเลขสุ่มประจำหลักจากน้อยไปหามาก หรือมากไปหาน้อย จะได้เส้นทางสำหรับการกระจายโลหิตใหม่ 1 เส้น สำหรับทุก ๆ การผสมพันธุ์ของหิ่งห้อย 1 ครั้ง เมื่อได้เส้นทางเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะคำนวณ β ใหม่ให้กับทุก ๆ เส้นทางที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ แต่ยังไม่ทิ้งคำตอบของ พ่อ และแม่ของหิ่งห้อยไปก่อน ทำให้มีเส้นทางจากกระบวนการนี้ เท่ากับ 2*NP จากนั้นทำการเรียงค่าหิ่งห้อยที่มี β มากไปหาน้อย และตัวตัวที่แย่ที่สุดทิ้งไปจำนวนครึ่งหนึ่งออกไป และส่งหิ่งห้อยที่มีค่า β ที่ดีที่สุดอีกครึ่งหนึ่งไปสู่กระบวนการจับคู่และผสมพันธุ์ใหม่ ทำขั้นเหล่านี้ซ้ำ ๆ เท่ากับจำนวน Number of Run ที่ถูกกำหนดไว้แล้ว และเมื่อปรับปรุงครบตามจำนวนที่กำหนดแล้ว ให้แสดงผลของคำตอบโดยเลือกตัวที่มีค่า β ที่ดีที่สุดเพียง 1 ตัวสำหรับการแสดงผลของการหาคำตอบ หรือ แสดงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบรอบละ 1 คำตอบ เพื่อสามารถทำการทดลองการลู่เข้าของคำตอบได้ในอนาคต

จากการศึกษาขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย ทำให้ทราบว่าอีกหนึ่งวิธีในการสร้างคำตอบและพัฒนาคำตอบที่เป็นที่นิยมคือ การสร้างเลขสุ่มประจำหลัก เนื่องจากง่ายต่อการแปลงข้อมูลจากเลขสุ่มเป็นเส้นทาง และง่ายต่อการพัฒนาคำตอบผ่านเลขสุ่มด้วยสมการต่าง ๆ อย่างเช่นการพัฒนาคำตอบโดยวิธีปรับค่าแสงของขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย หรือ การปรับค่าโครโมโซนของขั้นตอนวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง โดยการใช้เลขสุ่มในการสร้างคำตอบสามารถควบรวม หรือผสมผสานกับขั้นตอนวิธีอื่น ๆ เพื่อให้ได้ขั้นตอนวิธีใหม่ที่มีความสามารถในการหาคำตอบในรูปแบบปัญหาที่แตกต่างกันได้ดีขึ้น อย่างเช่นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การใช้จำนวนรอบในการหาคำตอบที่มากขึ้นก็ย่อมจะได้คำตอบที่ดีขึ้นแต่ต้องแลกกับเวลาในการหาคำตอบที่มากขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อมีการแทรกหรือรวมผสมผสานขั้นตอนวิธีอื่น ๆ ในการหาคำตอบในแต่ละรอบอาจจะให้ค่าคำตอบที่ดีขึ้นในจำนวนรอบที่น้อยกว่าเดิม เวลาในการหาคำตอบอาจจะไม่เพิ่มขึ้นจากเดิมมาก

เมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการวิจัยในขั้นตอนนี้ ในส่วนการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตเพื่อนำมารวบรวม และใช้เป็นเอกสารประกอบการวิเคราะห์สามารถทำให้ทราบแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ได้ สามารถจัดการตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการทำวิจัย และแนวทางการพัฒนาอัลกอริทึม หรือโปรแกรมเบื้องต้นสำหรับออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิตที่เป็นรูปแบบเฉพาะสำหรับภาคบริการโลหิต ได้ในอนาคต

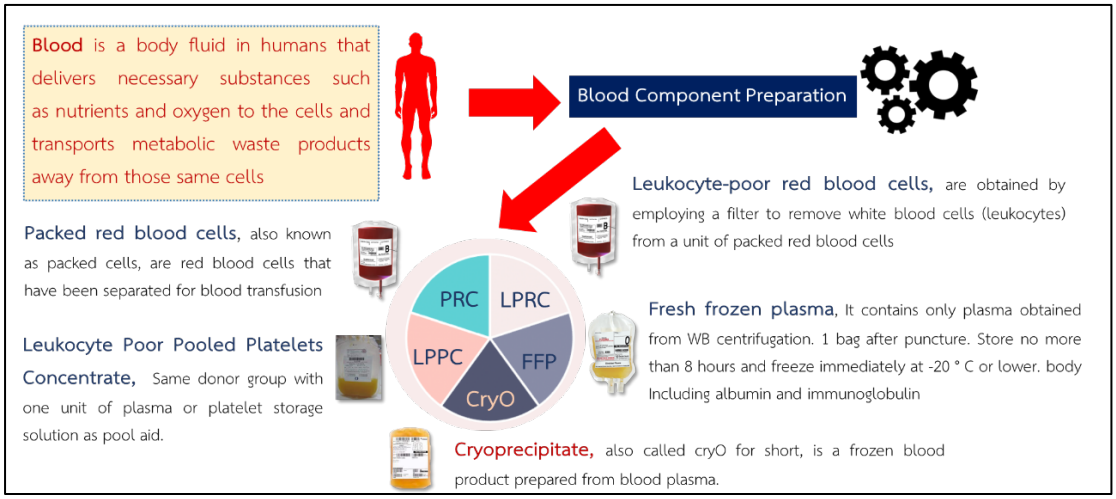
4.3 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

ในส่วนการเก็บรวบรวมข้อมูลและสถิติ ผู้วิจัยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโลหิต ลักษณะการรักษาคุณภาพ และปริมาณการเบิกจ่ายของแต่ละผลิตภัณฑ์ และข้อมูลด้านสถิติการจัดส่งผลิตภัณฑ์จากโลหิตไปยังโรงพยาบาลภายใต้การดูแล สามารถสรุปผลการรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

4.3.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโลหิตลักษณะการรักษาคุณภาพและปริมาณการเบิกจ่ายของแต่ละผลิตภัณฑ์

เนื่องจากโลหิตสามารถแปรสภาพผ่านการปั่นแยกออกได้เป็นหลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์นั้นมีการรักษาคุณภาพทั้งการเก็บรักษา ณ ห้องเก็บความเย็นเฉพาะ และการรักษาคุณภาพ

ระหว่างการจัดส่งโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาล ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปั่นแยกโลหิต สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ภาพรวมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการปั่นแยกโลหิต

จากรูปที่ 17 คือผลิตภัณฑ์เบื้องต้นที่ได้จากการปั่นแยกส่วนประกอบโลหิต (จอมจิน, 2551 World Health Organization, 2005 พิมล เชี่ยวศิลป์, 2551 และ Alter and Klein, 2008.) เนื่องจากโลหิตและส่วนประกอบโลหิตนั้นมีคุณสมบัติและประโยชน์ต่อการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงทำให้การเก็บรักษาส่วนประกอบโลหิตนั้นมีความแตกต่างกันทั้ง การจัดเก็บรักษา ณ ห้องควบคุมอุณหภูมิ และการจัดเก็บเพื่อรักษาคุณภาพระหว่างการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ซึ่งกระบวนการรักษาโลหิตและส่วนประกอบโลหิตมีความสำคัญอย่างมากต่อการควบคุมคุณภาพโลหิต ทั้งนี้จะต้องถูกจัดเก็บในอุณหภูมิที่ถูกต้อง และการปฏิบัติที่ถูกต้อง สามารถอธิบายรายละเอียดได้นี้

1. Whole Blood และ Red Cells ส่วนประกอบโลหิตทั้งสองมีการจัดเก็บรักษาในอุณหภูมิที่มีความคล้ายกันจึงสามารถเก็บรักษาในสภาวะเดียวกันได้ Whole Blood หรือโลหิตที่ได้จากการบริจาคโดยตรงจากผู้บริจาค เป็นโลหิตที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปั่นแยกส่วนประกอบโลหิตซึ่ง

Whole Blood 1 ยูนิต มีปริมาณโลหิตประมาณ 450 มิลลิลิตร และน้ำยากันเลือดแข็งตัว 63 มิลลิลิตร ข้อบ่งชี้การใช้งานคือ เมื่อต้องการเพิ่มความสามารถในการนำพาออกซิเจน (Oxygen Carrying Capacity) ให้กับผู้ป่วยที่สูญเสียเลือดฉับพลัน ส่วน Red Blood Cells เป็นเม็ดเลือดแดงที่ได้จากกระบวนการปั่นแยกนำพลาสมาออก ใช้ได้ในหลายกรณี เมื่อร่างกายขาดออกซิเจน ก็สามารถจ่ายให้กับผู้ป่วยได้เช่นเดียวกับ Whole Blood เนื่องจากมีปริมาณของเม็ดเลือดแดงที่เท่าเทียมกัน

องค์การอนามัยโลกได้กำหนดมาตฐานการจัดเก็บรักษาของทั้งสองผลิตภัณฑ์ไว้ที่ +2˚C ถึง +6˚C ซึ่งเป็นอุณภูมิที่ดีที่สุดต่อการรักษาคุณสมบัติในการขนส่งออกซิเจนหมุนเวียนในร่างกาย หรือที่เรียกว่าความสามารถในการนำพาออกซิเจน (Oxygen Carrying Capacity) รวมไปถึงการลดการเติบโตของจุลินทรีย์และการปนเปื้อนในโลหิต ถ้าหากไม่รักษาในช่วงอุณหภูมิในช่วงที่กำหนดนี้ จะทำให้เม็ดเลือดแดงตาย มีโอกาสที่มีสิ่งแปลกปลอมในโลหิตสูง ทำให้ผู้รับโลหิตอาจเกิดอันตรายถึงชีวิตได้ โดยลักษณะสภาวะการจัดเก็บรักษาคุณภาพตามอุณหภูมิ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงสภาวะอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการจัดเก็บ Whole Blood และ Red Cells

สถาวะการเก็บรักษา	ช่วงอุณหภูมิ	เวลาการเก็บรักษา
กระบวนการเตรียมการ	+20˚C ถึง+ 24˚C	น้อยกว่า 6 ชั่วโมง
การเก็บรักษาก่อนแปรรูป	+2˚C ถึง+ 6˚C	ประมาณ 35 วัน
การเก็บรักษาระหว่างขนส่ง	+2˚C ถึง+ 10˚C	ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

จากตารางที่ 7 สามารถสรุปได้ว่า Whole Blood และ Packed Red Cell จำเป็นต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิ +2˚C ถึง +6˚C เสมอ และเมื่อทำการขนส่งไปยังโรงพยาบาลปลายทาง ทั้งสองผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาในกล่องโฟมรักษาอุณหภูมิและควบคุมคุณภาพในกล่องเดียวกันได้ ณ สภาวะอุณหภูมิที่ +2˚C ถึง +10˚C

2. Fresh Frozen Plasma (FFP) และ Cryoprecipitate ส่วนประกอบโลหิตทั้งสองมีการจัดเก็บรักษาในอุณหภูมิที่มีความคล้ายกันจึงสามารถเก็บรักษาในสภาวะเดียวกันได้ Fresh Frozen Plasma (FFP) เป็นพลาสมาที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ร่วมกับ Protein 7 % Carbohydrates 2 % FFP เป็นส่วนประกอบที่ได้จากการปั่นแยกโลหิตจาก Whole Blood โดยจำเป็นต้องปั่นแยกภายใน 6 ชั่วโมง หลังการรับบริจาคโลหิต ข้อบ่งชี้ในการใช้คือ ใช้ห้ามเลือดใน Multiple Coagulation Factor

Deficiencies ที่เกิดจากการให้เลือดจำนวนมากเกินไป ซึ่ง FFP ไม่ใช้สารทดแทนโปรตีนให้ผู้ขาดสารอาหาร

3. Cryoprecipitate เป็นส่วนประกอบที่ได้จากการละลาย FFP ที่อุณหภูมิ +4˚C ซึ่งจะได้ตะกอนสีขาว พลาสมาถูกแยกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงภายใน 6 – 8 ชั่วโมง จะถูกเก็บรักษาในอุณหภูมิอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ถูกควบคุมพิเศษ เพื่อคงรักษาคุณภาพและอายุการใช้งานให้ยาวนานที่สุด ซึ่งถ้าถูกเก็บรักษาอย่างถูกต้องสามารถยืดอายุการจัดเก็บได้นานถึง 2 ปี

ตารางที่ 8 สภาวะอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการจัดเก็บ Fresh Frozen Plasma (FFP)

ช่วงอุณหภูมิ	เวลาการเก็บรักษาสูงสุด
-40˚C ถึง -64˚C	2 ปี
-30˚C ถึง -39˚C	1 ปี
-25˚C ถึง -29˚C	6 เดือน
-20˚C ถึง -24˚C	3 เดือน

โดยองค์การอนามัยโลกให้คำแนะนำในการจัดเก็บว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการจัดเก็บและรักษาคุณภาพสำหรับFresh Frozen Plasma (FFP) และ Cryoprecipitate คือ -30˚C และจะต้องเป็น Frozen Solid เสมอ สามารถเก็บรักษา ณ อุณหภูมิที่แตกต่างกันได้ แต่จะต้องไม่เกิน -20˚C

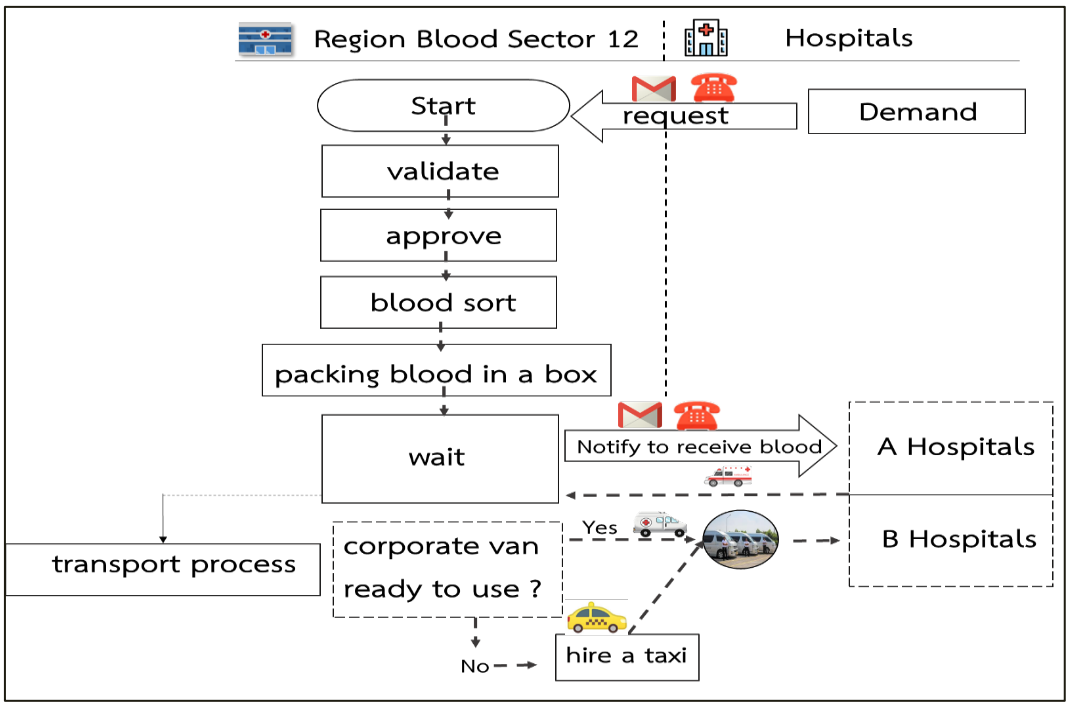
4. Platelet Concentrates สามารถแยกได้สองประเภทคือ Random Donor Platelets เป็นการรวมพลาสมาจากผู้บริจาคโลหิต เมื่อได้ Whole Blood แล้วนำเข้าสู่กระบวนการปั่นแยกโลหิต และ Single Donor Platelets คือเกล็ดเลือดจากผู้บริจาครายเดียว ที่บริจาคเกล็ดเลือดโดยตรง ซึ่งเกล็ดเลือดทั้งสองประเภทนี้ สามารถเก็บรักษาในอุณหภูมิเดียวกัน คือช่วงอุณหภูมิ +20 ˚C ถึง +24 ˚C และต้องมีการเขย่าอย่างสม่ำเสมอ และต้องใช้การขนส่งที่มีการควบคุมอุณหภูมิตามพิกัดเท่านั้น

เมื่อศึกษารายละเอียดลงไปทำให้ทราบว่าการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีการร้องขอโลหิตนั้น ไม่สามารถจัดเก็บและรักษาอุณหภูมิและสภาวะที่เหมาะสมที่แตกต่างกันเมื่อทำการขนส่งมี องค์การอนามัยโลกได้แนะนำ “มาตรฐานการบรรจุและการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิต” (Packing and Transportation of Blood Components) โดยมีรายละเอียดดังนี้

เป็นการควบคุมคุณภาพระหว่างการขนส่งเพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพและการปนเปื้อนของโลหิตและส่วนประกอบโลหิตได้ เนื่องจากสภาวะอุณหภูมิที่ไม่ถูกต้องอาจทำให้เกิดการแพร่เชื้อหรือการเติบโตของสิ่งมีชีวิตแปลกปลอมในระหว่างการขนส่งได้ การขนส่งในกล่องควบคุณอุณหภูมิจึงเป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่มีความสำคัญอย่างสูง โดยการเก็บรักษาอุณหภูมิให้เหมาะสมเพื่อสร้างสภาวะที่ถูกต้องต่อการจัดเก็บโลหิตระหว่างขนส่ง จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับห้องหรือตู้รักษาอุณหภูมิถาวรมากที่สุดโดยได้มีการทดลองจัดส่งโลหิตที่หลากหลายที่พยายามจะยืดเวลาการขนส่งให้เพิ่มขึ้นจำนวนมาก โดยขอบเขตที่พยายามให้เป็นไปได้ในงานวิจัยนี้ คือ ไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง และต้องไม่เกิน 9 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นการออกแบบเส้นทางเส้นทางขนส่งโลหิตที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรต่าง ๆ และเงื่อนไขอีกอย่างที่สำคัญคือ เวลาการปฏิบัติการของพนักงานขับรถไม่ควรเกิน 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน จึงกำหนดเป็นการออกแบบเส้นทางเดินรถสำหรับกระจายโลหิตให้ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สภากาชาดไทย ที่มีเงื่อนไขด้านข้อจำกัดเวลาการขนส่ง อีกอย่างจากการงานวิจัยในหัวข้อนี้ จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า ปริมาณกล่องที่แตกต่างกันของแต่ละโรงพยาบาลไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนถุงโลหิตที่โรงพยาบาลต่าง ๆ ร้องขอมา แต่อีกตัวชี้วัดคือประเภทของโลหิตและส่วนประกอบของโลหิต ที่แตกต่างกันตามสภาวะอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษาให้ได้มาตรฐานระหว่างขนส่ง เพราะฉะนั้นจำนวนกล่องที่เป็นตัวชี้วัดความจุของการขนส่ง ไม่สามารถตอบได้โดยตรงว่าจำนวนถุงเท่าไหร่ แต่ความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง จะขึ้นอยู่กับความจุที่คิดเป็นจำนวนกล่องที่บรรทุกได้

4.3.2 ข้อมูลด้านการเบิกจ่ายโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

การสนับสนุนโลหิตและส่วนประกอบโลหิตนั้น เป็นรูปแบบการร้องขอ คือจะส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้กับโรงพยาบาลภายใต้การดูแลที่มีความต้องการโลหิต ในการที่จะใช้หรือสำรองโลหิต ณ โรงพยาบาล ลำดับขั้นตอนการเบิกจ่ายสามารถอธิบายภาพรวมได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ลำดับกระบวนการเบิกจ่ายโลหิต สำหรับโรงพยาบาลภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

จากรูปที่ 18 สามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการเบิกจ่ายโลหิตได้ดังนี้ เริ่มต้นจาก โรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ต้องทำการร้องขอโลหิตมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลมาถึงภาคบริการโลหิต เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) หรือการโทรศัพท์ โดยปกติแล้วการร้องโลหิตและส่วนประกอบโลหิตจำเป็นต้องร้องขอก่อนเวลา 06:00 น. ของวันที่ต้องการโลหิต แต่เมื่อมีสถานการณ์ไม่ปกติ หรือความฉุกเฉินในการร้องขอโลหิต จะเป็นการจัดการเบิกจ่ายโลหิตในสถานการณ์ไม่ปกติ เมื่อภาคบริการโลหิตได้รับความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลแล้ว พนักงานที่เข้าเวรจ่าย (เวรแจกจ่ายโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12) จะรับข้อมูลเข้าระบบการเบิกจ่าย ตรวจความถูกต้องของการเบิกจ่าย และตรวจสอบปริมาณโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่โรงพยาบาลร้องขอมา รวมไปถึงตรวจสอบธนาคารโลหิตประจำภาคบริการโลหิต ว่าเพียงพอต่อการอนุมัติโลหิตหรือไม่ เมื่อทำการอนุมัติโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาลเรียบร้อยแล้ว พนักงานเวรจ่าย จะทำการจัดเตรียมโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาล และบรรจุในกล่องรักษาอุณหภูมิสำหรับการขนส่ง แต่ละกล่องมีการแนบรายละเอียดชัดเจนคือ จำนวนของ

ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ โรงพยาบาลปลายทางที่รับ เมื่อทำการบรรจุสำหรับแต่ละโรงพยาบาลเรียบร้อยแล้ว สถานะกล่องบรรจุโลหิตจะเข้าสู่สถานะรอ นั้นคือรอเพื่อดำเนินการต่อไปในส่วนของโรงพยาบาลกลุ่ม A ทางภาคบริการโลหิต จะทำการแจ้งการอนุมัติให้โรงพยาบาลในกลุ่มนี้ส่งรถจากโรงพยาบาลมารับโลหิต ณ ภาคบริการโลหิต และโรงพยาบาลกลุ่ม B ทางภาคจะทำการจัดส่งโลหิตผ่านรถตู้ประจำทางสาธารณะ โดยการบรรทุกกล่องโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ จะใช้รถตู้ของภาคบริการโลหิต เพื่อทำการจัดส่ง แต่ในกรณีที่รถตู้ไม่เพียงพอ ทางภาคบริการโลหิต จำเป็นต้องจ้างรถรับจ้างไม่ประจำทาง เพื่อมารับโลหิต ไปกระจายต่อ ณ สถานีขนส่งสาธารณะ

4.3.3 ข้อมูลด้านสถิติการจัดส่งผลิตภัณฑ์จากโลหิตให้โรงพยาบาลในการดูแล

ปัจจุบันภาคบริการโลหิต ได้มีโลหิตและส่วนประกอบของโลหิตที่สามารถกระจายให้โรงพยาบาลภายใต้การดูแลทั้งหมด 9 ผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ตารางที่ 9 รายละเอียดผลิตภัณฑ์โลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สามารถแจกจ่ายให้กับโรงพยาบาลต่าง ๆ

ตัวย่อและรหัส	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ตัวอย่างข้อบ่งชี้	ปริมาณการเบิกจ่าย* (ยูนิต)
PRC (100,103)	Packed Red Cells	เม็ดเลือดแดงอัดแน่น	ผู้ป่วยที่มีภาวะโลหิตจาง, ซีด, เม็ดเลือดแดงต่ำ	3,828
LPRC (120)	Leucocyte Poor Red Blood Cells	PRC ที่มีเม็ดเลือดขาวน้อย	ผู้ป่วยที่มีภาวะเสียเลือดจำนวนมาก	2,920
LD-BRC (106)	Leukocyte-Depleted Red Cell	เม็ดเลือดแดงที่ลดจำนวนเม็ดเลือดขาวด้วยการกรอง	ผู้ป่วยที่มีอาการหนาวสั่นจากการรับโลหิต	10
PC (200)	Random Donor Platelet Concentrates	เกล็ดเลือดที่ได้จากการปั่นแยก	ผู้ป่วยภาวะเกล็ดเลือดต่ำ	0
LPPC (260)	Leukocyte Poor Pooled Platelets Concentrate	เกล็ดเลือดที่ได้จากการรวม Buffy Coat	ผู้ป่วยภาวะเกล็ดเลือดต่ำ	357

ตารางที่ 9 รายละเอียดผลิตภัณฑ์โลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สามารถแจกจ่ายให้กับโรงพยาบาลต่าง ๆ (ต่อ)

ตัวย่อและรหัส	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ตัวอย่างข้อบ่งชี้	ปริมาณการเบิกจ่าย* (ยูนิต)
SDP (220)	ผู้ป่วยภาวะเกล็ดเลือดต่ำ	ผู้ป่วยภาวะเกล็ดเลือดต่ำ	ผู้ป่วยภาวะเกล็ดเลือดต่ำ ที่มีสภาวะเสี่ยงต่อการติดเชื้อ	16
FFP (300)	Fresh Frozen Plasma	พลาสมาสดแช่แข็ง	ใช้ในผู้ป่วยที่ขาด multiple coagulation factors ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะโลหิตออก เช่น โรคตับ	2,189
CRYO (400)	Cryoprecipitate	ไครโอปรีซิปิเตท	ทดแทน fibrinogen เช่น ในภาวะ DIC	2,389
CRP (320)	Cryo-removed Plasma	พลาสมาที่แยกไครโอปรีซิปิเตทออกแล้ว	ทดแทน multiple coagulation factors ในรายที่ไม่ต้องการ factor 5, 8 และ fibrinogen	10

*ปริมาณรวมในไตรมาสที่สี่ปี พ.ศ.2562

ข้อมูลในตารางที่ 9 คือข้อมูลด้านการเบิกจ่าย โลหิตและส่วนประกอบโลหิตซึ่งสามารถแสดงถึงความสำคัญของภาคบริการโลหิตที่ 12 สภากาชาดไทยได้ แต่ปริมาณการเบิกจ่าย ก็ไม่ได้เป็นตัวชี้วัดของจำนวนเที่ยวการขนส่ง ที่ส่งผลโดยตรงต่อ ระยะทาง เวลา และต้นทุนรวม ที่เกิดจากกระบวนการขนส่งโลหิต

4.3.3.1 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่ม A

ค่าใช้จ่ายที่โรงพยาบาลต่าง ๆ ภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 นั้น แต่ละโรงพยาบาลนั้นมีอัตราส่วนของค่าใช่จ่ายส่วนนี้ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายด้านทรัพยากรระยะทางจากโรงพยาบาลต้นทางมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ซึ่งการรวบรวมและเก็บบันทึกข้อมูลการเบิกจ่ายค่าใช้จ่ายส่วนนี้ทั้งหมด เป็นการรับผิดชอบของโรงพยาบาลที่มีที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสงขลาทั้งหมด กล่าวคือค่าใช้จ่ายส่วนนี้เป็นของโรงพยาบาลกลุ่ม A โดยการคำนวณหรือการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายนั้น งานวิจัยไม่ได้เข้าไปสอบถามค่าใช้จ่ายส่วนนี้โดยตรงกับโรงพยาบาลเนื่องด้วยเหตุผลดังนี้

1. รถที่ใช้ในการมารับโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ของแต่ละโรงพยาบาลนั้นไม่ได้เป็นรถที่มีหน้าที่เพียงอย่างเดียว คือเป็นรถตู้อเนกประสงค์ที่ใช้ในหลากหลายหน้าที่ไม่สามารถคัดแยกหรือทราบต้นทุนที่แท้จริงของการมารับโลหิตในแต่ละรอบได้

2. ความจำเพาะของข้อมูล เนื่องจากโรงพยาบาลนั้นอยู่ภายใต้การดำเนินงานของกระทรวงสาธารณสุข ไม่ได้เป็นองค์กรภายใต้สภากาชาดไทย ข้อมูลเรื่องต้นทุนจึงไม่สามารถที่จะเผยแพร่ให้บุคคลหรือองค์กรภายนอกได้

จากเหตุผลข้างต้น งานจึงไม่สามารถนำข้อมูลค่าใช้จ่ายที่แท้จริงของโรงพยาบาลเพื่อมาคำนวณค่าใช้จ่ายรวมในส่วนของการขนส่งของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางได้ การแก้ปัญหาการวิเคราะห์ต้นทุนส่วนนี้แบ่งเป็นการแก้ปัญหาสองขั้นตอนคือ

1. ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ได้มีการเก็บสถิติการเบิกจ่ายโลหิตของทุกโรงพยาบาล จึงทำให้ทราบถึงความถี่และรายละเอียดในการร้องขอและมารับโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A ได้

2. การใช้เทคโนโลยี เนื่องจากระยะทางระหว่างโรงพยาบาลปลายทางกับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 นั้นคงที่ ทำให้สามารถใช้ฐานข้อมูลระยะทางที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก คือการใช้ข้อมูลเวลาและระยะทางในการเดินทางจากโรงพยาบาลปลายทางมารับโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยอ้างอิงข้อมูลจากกูเกิ้ลแม็พ (Google Maps) ซึ่งเป็นเว็บไซต์ค้นหาส่วนหนึ่งของกูเกิ้ลที่ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2022)

เมื่อสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าวแล้ว สามารถสรุปรายละเอียดสถิติการเบิกจ่ายโลหิตและส่วนประกอบโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A เป็นที่เรียบร้อย ได้ดังแสดงในตารางที่ 10 และสามารถนำข้อมูลส่วนนี้นำไปเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตได้ ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปได้

ตารางที่ 10 แสดงจำนวนเที่ยวของโรงพยาบาลกลุ่ม A ที่มารับโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในปี พ.ศ.2562

รหัสสถานที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ระยะทาง ต่อเที่ยว (กิโลเมตร)	0	47.1	54.6	44.5	14	119	15.4	18	35	65	21.2	16.9	85
เวลา ต่อเที่ยว (นาที)	0	44	60	52	23	103	20	23	40	79	30	22	90
การมารับโลหิตในปี (ครั้ง)	0	70	219	90	82	112	104	153	41	124	113	278	105
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0	6,594	23,915	8,010	2,296	26,656	3,203	5,508	2,870	16,120	4,791	9,397	17,850
เวลารวม (นาที)	0	6,160	26,280	9,360	3,772	2,3072	4,160	7,038	3,280	19,592	6,780	12,232	18,900

สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนเที่ยวการเบิกจ่ายของโรงพยาบาลกลุ่ม A ซึ่งส่งผลต่อระยะทางรวมในกระบวนการกระจายโลหิต และโรงพยาบาลกลุ่ม B ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนที่เกิดจาก ค่าจ้างเหมารถ ค่าบริการต่าง ๆ โดยการนำมาคิดต้นทุนรวมในกระบวนการกระจายโลหิตรวมทั้งหมดของห่วงโซ่อุปทานโลหิต ที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางนั้น ต้องแบ่งคิดเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนที่เกิดจากจำนวนรอบในการเดินรถ และต้นทุนค่าบริการต่าง ๆ

4.3.3.2 ต้นทุนจากจำนวนเที่ยวรถ

ต้นทุนในหัวข้อนี้สามารถวัดได้จาก ระยะทาง และเวลารวมทั้งหมดในการขนส่ง โดยต้นทุนส่วนนี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากโรงพยาบาลกลุ่ม A หรือกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลา ดังที่แสดงในตารางที่ 10 เป็นการเก็บรวมรวมข้อมูลจำนวนครั้งการเบิกจ่ายโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ส่วนหัวตาราง เป็นรหัสสถานที่ในการออกแบบเส้นทาง ตั้งแต่ 0 ถึง 12 ดังนี้

0 : ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เลขที่ 1 ม.6 ถนนทุ่งควนจีน ตำบลควนลัง อ .หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

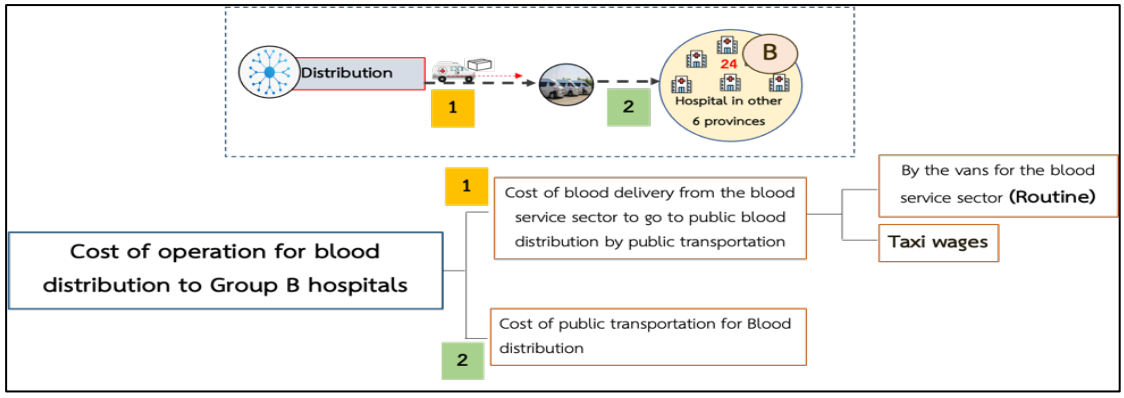
1. โรงพยาบาลจะนะ 35 ม.2 ถนนราษฎร์บำรุง ตำบลบ้านนา อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา
2. โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชินีนาถ อำเภอนาทวี จังหวัดสงขลา
3. โรงพยาบาลปาดังเบซาร์ หมู่ 9 ถนนสะเดา-ปาดังเบซาร์ ตำบลปาดังเบซาร์ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา
4. โรงพยาบาลมิตรภาพสามัคคี ซอย 8 ถนนแสงศรี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
5. โรงพยาบาลระโนด หมู่ 5 ถนนราษฎร์บำรุง ตำบลระโนด อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา
6. โรงพยาบาลราษฎร์ยินดี ถนนราษฎร์ยินดี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
7. โรงพยาบาลศิครินทร์ ถนนนิพัทธ์สงเคราะห์ 1 อำเภอหาดใหญ่, จังหวัดสงขลา
8. โรงพยาบาลสงขลาหมู่ที่ 2 ถนนสงขลา – ระโนด ตำบลพะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา
9. โรงพยาบาลสะเดา ถนนปาดังเบซาร์ ตำบลสะเดา อำเภอสะเดา สงขลา
10. โรงพยาบาลหาดใหญ่ ถนนรัถการ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
11. โรงพยาบาลกรุงเทพ หาดใหญ่ซอย 15 ถนนเพชรเกษม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

12. โรงพยาบาลเทพา หมู่ 5 ถนนลำไพล-เทพา ตำบลเทพา อำเภอเทพา จังหวัด สงขลา

ส่วนคอลัมน์ซ้ายสุด ไล่ลงมาจากบนลงล่าง อธิบายได้ดังนี้ เริ่มจาก 2 คอลัมน์บนคือ ระยะทางและเวลาที่โรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในวันนั้น ต้องส่งรถจากโรงพยาบาลมารับโลหิต ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 หรืออาจอธิบายได้ว่า ระยะทางจากรหัสสถานที่ 1 – 12 และ 0 และคอลัมที่ 3 คือ จำนวนเที่ยวของแต่ละโรงพยาบาลที่มีการเบิกจ่ายโลหิตในปี พ.ศ. 2562 ข้อมูลส่วนนี้ได้มาจากการรวบรวมใบการเบิกจ่ายโลหิตประจำวัน จำนวน 1 ปี และในสองคอลัมน์สุดท้ายคือ ระยะทางและเวลารวมในการขนส่งรวมที่เกิดจากการขนส่ง รายละเอียดข้างต้นสามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณต้นทุนต่อไปได้

4.3.3.3 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่ม B

ต้นทุนนั้นสามารถคิดได้โดยตรง เนื่องจากมีการจัดเก็บค่าใช้จ่ายสำหรับจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตไปยังโรงพยาบาลปลายทางที่ซึ่งถูกจัดเก็บไว้เป็นเอกสารเบิกค่าใช้จ่ายรายวัน สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ ต้นทุนการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่ง และค่าบริการขนส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาลปลางทางซึ่งทั้งสองส่วนเป็นภาระค่าใช้จ่ายของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 19

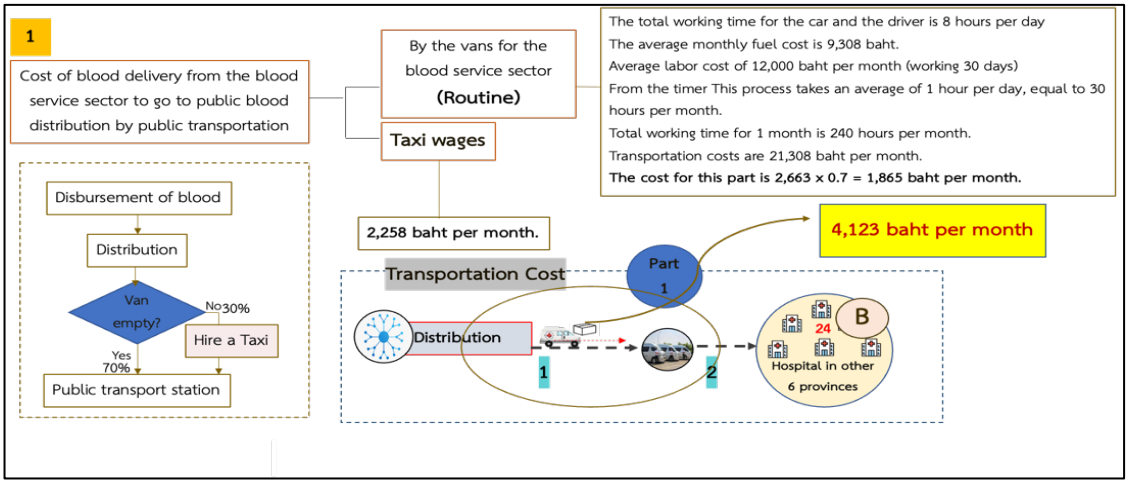


รูปที่ 19 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่ม B

จากรูปที่ 19 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ต้นทุนสำหรับการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้แกโรงพยาบาลกลุ่ม B ทางผู้วิจัยสนใจเฉพาะต้นทุนส่วนของการเดินรถ หรือต้นทุนที่ใช้สำหรับการขนส่งเท่านั้น ไม่ได้นำค่าใช้จ่ายการจัดเก็บ การรักษาคุณภาพโลหิต และค่าดำเนินการของพนักงานทั่วไปมาคำนวณต้นทุนส่วนนี้ จากการศึกษาต้นทุนการเดินรถของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ที่

ขนส่งโลหิตให้แก่โรงพยาบาลกลุ่ม B ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ที่ 6 จังหวัดใกล้เคียงคือ ยะลา ปัตตานี นราธิวาส ตรัง พัทลุง และสตูล เนื่องจากการเดินทางมารับโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่มนี้ทำได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากมีระยะทางที่ค่อนข้างไกล และทรัพยากรด้านการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่มนี้ค่อนข้างจำกัด ส่งผลให้ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทำหน้าที่ในส่วนการกระจายโลหิต และรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการขนส่งส่วนนี้ ต้นทุนการขนส่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ และค่าบริการขนส่งโดยรถตู้ประจำทาง

1. ต้นทุนการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ



รูปที่ 20 อธิบายภาพรวมของต้นทุนการขนส่งโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ

จากรูปที่ 20 สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ โดยปกติแล้วหน้าที่ส่วนนี้เป็นของรถตู้ประจำภาคบริการโลหิต เนื่องจากภาคบริการโลหิตนั้นไม่มีวันหยุดดำเนินการ มีการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้กับโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในทุก ๆ วัน ทำให้รถตู้ที่ทำหน้าที่นี้อยู่อามีโอกาสที่จะไม่ว่างหรือไม่พร้อมใช้งาน จากการเก็บสถิติทำให้พบว่า มีโอกาสประมาณ 30 % ที่รถตู้ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไม่ว่าง จึงต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลส่วน 30 % นั้นว่าเป็นต้นทุนการขนส่งประมาณเท่าใด ในกรณีที่ไม่ว่างทางภาคบริการโลหิต จำเป็นต้องจ้างรถตู้รับจ้างไม่ประจำทาง ซึ่งอาจจะเป็นรถรับจ้างทั่วไปหรือรถแท็กซี่ มีค่าใช้จ่ายกล่องละ 100 บาท โดยในต้นทุนของส่วนที่ 1 แยกการคำนวณเป็น 2 ส่วนคือ ต้นทุนจากระยะทางและเวลารวมการเดินรถจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ไปยังสถานีขนส่งแห่งใหม่อำเภอหาดใหญ่ด้วยรถตู้ของภาคบริการ

โลหิต และส่วนค่าใช้จ่ายจากการจ้างเหมารถ ทำให้ทราบว่าต้นทุนทั้งสองส่วนรวมกันอยู่ที่ประมาณ 4,123 บาทต่อเดือน

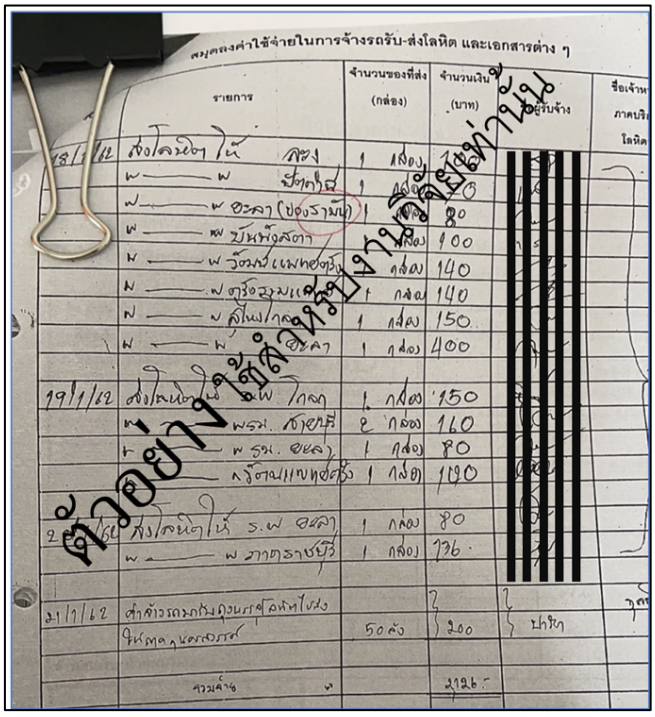
2. ค่าใช้จ่ายส่วนค่าบริการจ้างรถตู้ประจำทาง เพื่อไปส่งยังโรงพยาบาลปลายทางที่มีความต้องการโลหิต ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการขนส่งส่วนนี้ขึ้นอยู่กับปลายทาง และจำนวนกล่อง โดยที่รถตู้สาธารณะสามารถนำโลหิตไปส่งได้ถึงโรงพยาบาลทุกแห่งที่มีความต้องการโลหิต จากการเก็บสถิติความต้องการโลหิตย้อนหลัง 3 ปี เว้นเพียงแต่โรงพยาบาลรามัน ที่ต้องนำฝากโลหิตที่โรงพยาบาลยะลา ในปัจจุบันสามารถแยกปลายทางออกได้เป็นทั้งสิ้น 18 แห่ง ซึ่งเป็นโรงพยาบาลที่ตั้งอยู่เขตพื้นที่ 6 จังหวัด ที่อยู่ในเส้นทางการเดินรถสาธารณะปลายทางคือแต่ละโรงพยาบาล และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าบริการฝากส่งกล่องสำหรับขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลลุ่ม B

โรงพยาบาล*	จังหวัด	ค่าบริการ (บาทต่อกล่อง)	โรงพยาบาล*	จังหวัด	ค่าบริการ (บาทต่อกล่อง)
ยะลา	ยะลา	100	สายบุรี	ปัตตานี	80
นราธิวาส	นราธิวาส	75	ปัตตานี	ปัตตานี	60
สุไหง- โกลก	นราธิวาส	80	โคกโพธิ์	ยะลา	80
เบตง	ยะลา	100	รามัน	นราธิวาส	100
สตูล	สตูล	60	บันนังสตา	ยะลา	100
ตรังรวม ฯ	ตรัง	140	ตรัง	ตรัง	140
มายอ	ยะลา	100	พัทลุง	พัทลุง	80
ละงู	สตูล	80	ยะหริ่ง	ปัตตานี	80
หนองจิก	ปัตตานี	60	วัฒนแพทย์	ตรัง	140

*โรงพยาบาลกลุ่ม B อื่น ๆ นอกเหนือโรงพยาบาลในตารางนี้ ที่มีความต้องการโลหิต จำเป็นต้องเลือกทางปลายทางดังในตารางนี้ เพื่อมารับโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ณ โรงพยาบาลปลายทางที่อยู่ในเส้นทางของรถขนส่งสาธารณะ

การเก็บสถิติการขนส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีความต้องการโลหิต ปัจจุบันภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ได้จัดเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายแบบใบเบิกเงินรายวันสำหรับค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ ประจำวัน แต่ไม่ได้มีการแยกจัดเก็บเป็นเฉพาะส่วนโลหิต ผู้วิจัยจึงต้องเพิ่มขั้นตอนการเก็บรวบรวมและคัดแยกข้อมูล



รูปที่ 21 ตัวอย่างเอกสารการเก็บข้อมูลค่าจ้างขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม B

การเก็บข้อมูลและสถิติค่าใช้จ่ายส่วนนี้ในปัจจุบันนั้นถูกเก็บอยู่ในรูปแบบกระดาษ ชื่อเอกสารว่า “สมุดลงค่าใช้จ่ายในการจ้างรถรับ - ส่ง โลหิต และเอกสารอื่น ๆ” ดังรูปที่ 21 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลส่วนนี้นำมาเก็บในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต่อไป โดยสถิติสามารถแจกแจงออกเป็นค่าใช้จ่ายเฉพาะส่วนค่าบริการรถขนส่งสาธารณะ โดยค่าใช้จ่ายรวมตลอดทั้งปี พ.ศ. 2562 เป็นค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 291,157.50 บาท การอธิบายรายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.4

4.4. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณหาต้นทุนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน และระยะทางรวมในการขนส่งโลหิต

ต้นทุนรวมในการขนส่งโลหิตโดยมีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางห่วงโซ่อุปทานโลหิตนี้ การคำนวณต้นทุนจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 รับผิดชอบ และค่าใช้จ่ายที่โรงพยาบาลต่าง ๆ เป็นผู้รับผิดชอบ

4.4.1 ต้นทุนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นผู้รับผิดชอบ

จากรายละเอียดการขนส่งในหัวข้อ 5.3 สามารถแบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ตามลำดับการเคลื่อนที่ของโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่ถูกกระจายออกจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 คือ (1) ส่วนการนำโลหิตและส่วนประกอบโลหิตไปยังสถานีขนส่งสาธารณะ (2) ส่วนค่าจ้างบริการรถตู้ขนส่งสาธารณะเพื่อการกระจายโลหิต การเผยแพร่ต้นทุนส่วนนี้ทั้งหมดแก่สาธารณะนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากนโยบายองค์กร โดยคุณอัครพล ได้วิเคราะห์สถานะทางกฎหมายของสภากาชาดไทยเมื่อปี พ.ศ.2562 ไว้ว่า “สถานะของสภากาชาดไทยในระบบกฎหมายเริ่มต้นอย่างเป็นทางการ เมื่อมีการประกาศใช้พระราชบัญญัติ ว่าด้วยสภากาชาดสยาม พระพุทธศักราช 2461 มีลักษณะเป็นสมาคมตามกฎหมายดังกล่าว ซึ่งเป็นกฎหมายเฉพาะ สภากาชาดไทยมีลักษณะเป็นสมาคมที่มีลักษณะพิเศษต่างจากสมาคมทั่วไป” เพราะฉะนั้นจึงทำให้การเปิดเผยงบประมาณหรือค่าใช้จ่ายในบางส่วนอาจจะเป็นเรื่องละเอียดอ่อนซึ่งทำได้ยากต่างจากองค์กรอิสระหรือบริษัทนิติบุคคลทั่วไป ทำให้ต้องมีการขออนุญาตเพื่อเปิดเผยอย่างเป็นทางการกับผู้บริหารระดับสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงข้อมูลที่ต้องใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้ข้อมูลทดแทนได้ไม่จำเป็นข้อมูลจริงทั้งหมดแต่เน้นไปที่การรวบรวมสถิติและสืบค้นหางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เริ่มต้นจากข้อมูลการเบิกจ่ายย้อนหลังของโรงพยาบาลกลุ่ม B โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้ถูกคำนวณเป็น “บาทต่อกล่อง” ซึ่งทางภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ได้มีการจัดเก็บข้อมูลส่วนนี้ไว้แล้ว สามารถนำข้อมูลแบบสำเนาเอกสารประเภทกระดาษ สามารถนำมาป้อนข้อมูลในโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ได้ ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลส่วนนี้เป็นจำนวน 2 ปีงบประมาณ (จำนวน 24 เดือน) ตั้งแต่เริ่มต้นปีงบประมาณปี 2562 จนถึง สิ้นสุดปีงบประมาณ 2563 เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมากไม่สามารถแสดงได้ทั้งหมด รายละเอียดหลังการคำนวณและการวิเคราะห์สามารถได้ดังนี้

1. จากการรวบรวมสถิติมีทั้งหมด 32 ปลายทางเท่านั้น ซึ่งประกอบด้วยโรงพยาบาลกลุ่ม B ภาคบริการโลหิตอื่น ๆ โรงพยาบาลนอกการดูแล และสถานที่ศูนย์กลางการกระจายโลหิต ดังแสดงในตารางที่ 12

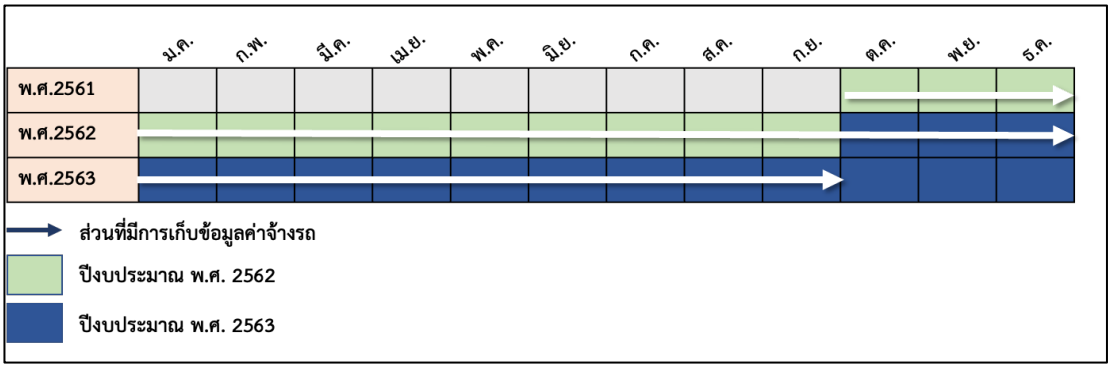
ตารางที่ 12 ปลายทางการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตโดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12

โรงพยาบาล / สถานที่ปลายทาง	จังหวัด	โรงพยาบาล / สถานที่ปลายทาง	จังหวัด
โรงพยาบาลยะลา	ยะลา	โรงพยาบาลนราธิวาส	นราธิวาส
โรงพยาบาลเบตง		โรงพยาบาลสุไหง - โกลก	
โรงพยาบาลมายอ		โรงพยาบาลรามัน	
โรงพยาบาลบันนังสตา		โรงพยาบาลบาเจาะ	
โรงพยาบาลยะหา		โรงพยาบาลหนองจิก	ปัตตานี
ศูนย์อนามัยที่ 12		โรงพยาบาลสายบุรี	
โรงพยาบาลโคกโพธิ์		โรงพยาบาลปัตตานี	
โรงพยาบาลพัทลุง	พัทลุง	โรงพยาบาลยะหริ่ง	
โรงพยาบาลสตูล	สตูล	สถานีขนส่งหาดใหญ่	สงขลา
โรงพยาบาลละงู	สตูล	สนามบินหาดใหญ่	สงขลา
โรงพยาบาลตรัง	ตรัง	ชุมทางรถไฟหาใหญ่	สงขลา
โรงพยาบาลตรังรวมแพทย์	ตรัง	ภาคบริการโลหิตที่ 11	นครศรีธรรมราช
โรงพยาบาลวัฒนแพทย์	ตรัง	โรงพยาบาลสุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี
ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ หัวหิน	ประจวบคีรีขัน	ภาคบริการโลหิตที่ 11	ราชบุรี

ตารางที่ 12 ปลายทางการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตโดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 (ต่อ)

โรงพยาบาล / สถานที่ปลายทาง	จังหวัด	โรงพยาบาล / สถานที่ปลายทาง	จังหวัด
ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 5	นครราชศรีมา	ภาคบริการโลหิตที่ 6	ขอนแก่น
ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ภูเก็ต	ภูเก็ต	โรงพยาบาลกระบี่	กระบี่

2. การเก็บข้อมูลค่าจ้างเหมารถสำหรับขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตนั้น ถูกเก็บรวมกันในหลายบริบท กล่าวคือ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไม่เพียงแต่กระจายโลหิตให้โรงพยาบาลภายใต้การดูแลเท่านั้น แต่ยังมีการสนับสนุนโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้แก่ ภาคบริการโลหิตและโรงพยาบาลอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในภูมิภาคที่ 12 จึงไม่สามารถใช้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเป็นค่าใช้จ่ายชุดเดียวกันได้ จำเป็นต้องทำการแยกค่าใช้จ่ายส่วนนี้ออก และเก็บเฉพาะค่าใช้จ่ายสำหรับค่าจ้างรถสำหรับขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้แก่โรงพยาบาลกลุ่ม B เท่านั้น โดยสามารถแสดงรายละเอียดในส่วนเฉพาะค่าจ้างเหมารถของโรงพยาบาบกลุ่ม B และค่าจ้างแท็กซี่เพื่อนำโลหิตไปยังสถานีขนส่งที่ถูกจัดเก็บไว้ที่ระบุข้อมูลค่าใช้จ่ายในแต่ละปีงบประมาณ ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2561 จนถึง เดือนกันยายน พ.ศ.2563 สมารถแสดงขอบเขตการเก็บข้อมูลได้ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ช่วงที่มีการเก็บรวบรวมค่าจ้างรถเหมาสำหรับใช้เพื่อการวิจัย

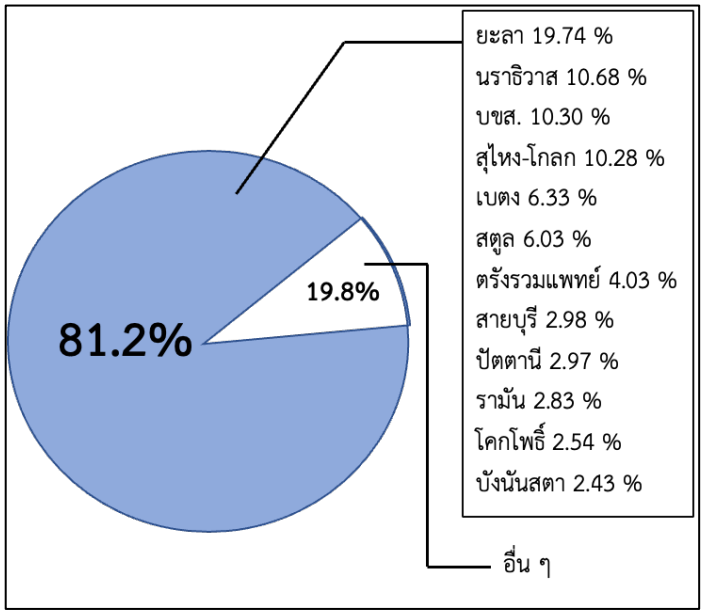
ตารางที่ 13 ค่าจ้างเหมารถสำหรับขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สำหรับการจัดส่งให้โรงพยาบาลกลุ่ม B

พ.ศ. 2561		พ.ศ. 2562		พ.ศ. 2563	
โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม	โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม	โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม
ยะลา	25,250.00	ยะลา	43,070.00	ยะลา	16,000.00
บขส.	18,350.00	นราธิวาส	27,280.00	สุไหง - โกลก	10,000.00
นราธิวาส	15,345.00	สุไหง - โกลก	27,140.00	เบตง	8,350.00
สุไหง - โกลก	8,520.00	บขส.	27,100.00	นราธิวาส	8,280.00
เบตง	6,830.00	เบตง	20,200.00	สตูล	6,400.00
สตูล	5,000.00	สตูล	18,190.00	ตรังรวมแพทย์	4,070.00
ปัตตานี	4,550.00	ตรังรวมแพทย์	9,920.00	โคกโพธิ์	2,780.00
สายบุรี	4,270.00	สายบุรี	8,490.00	สายบุรี	2,750.00
ตรังรวมแพทย์	3,330.00	ปัตตานี	8,040.00	รามัน	2,320.00
รามัน	2,740.00	บังนันสตาสตา	6,660.00	ตรัง	1,980.00
บังนันสตาสตา	2,680.00	โคกโพธิ์	6,460.00	บังนันสตาสตา	1,730.00
โคกโพธิ์	2,590.00	รามัน	6,130.00	ยะหา	1,620.00
ละงู	2,350.00	ตรัง	5,520.00	วัฒนแพทย์	1,500.00
มายอ	1,320.00	ละงู	4,940.00	มายอ	1,370.00
พัทลุง	1,100.00	มายอ	3,430.00	บขส.	1,330.00
ตรัง	890.00	หนองจิก	2,110.00	บาเจาะ	1,280.00

ตารางที่ 13 ค่าจ้างเหมารถสำหรับขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สำหรับการจัดส่งให้โรงพยาบาลกลุ่ม B (ต่อ)

พ.ศ. 2561		พ.ศ. 2562		พ.ศ. 2563	
โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม	โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม	โรงพยาบาล	ค่าใช้จ่ายรวม
หนองจิก	760.00	พัทลุง	620.00	ปัตตานี	1,180.00
				พัทลุง	1,100.00
				ละงู	970.00
				หนองจิก	940.00
				อนามัยที่ 12	320.00
รวม	105,885.00	รวม	225,300	รวม	75,950

เมื่อทำการเก็บรวมรวมข้อมูลการค่าใช้จ่ายสำหรับการจ้างเหมารถเพื่อการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต ทำให้ทราบว่าตลอดเวลาหนึ่งปีมีเพียงโรงพยาบาลกลุ่มหนึ่งที่ทำการร้องขอโลหิตเป็นประจำ (มากกว่าหนึ่งครั้งต่อเดือน) และมีโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิตบ่อยครั้ง (มากกว่าเดือนละ 4 ครั้ง) อยู่เพียงหนึ่งกลุ่ม จากการวิเคราะห์ทั้งสองปีงบประมาณสามารถทำให้ทราบว่าจากโรงพยาบาลกลุ่ม B ทั้งหมดมีเพียง 11 โรงพยาบาล และสถานีขนส่ง (บขส.) รวมเป็น 12 ปลายทาง และค่าใช้จ่ายรวมมากกว่า 80 % ดังรูปที่ 23



รู

รูปที่ 23 อัตราส่วนค่าจ้างรถของโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีการร้องขอโลหิต

จากรูปที่ 23 ชี้ให้เห็นถึงกลุ่มโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิตเป็นประจำ ที่ทำให้ต้นทุนค่าจ้างเหมารถสำหรับขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ด้วยจำนวนโรงพยาบาล 11 แห่ง และขั้นตอนการนำโลหิตไปยังสถานีขนส่งในกรณีที่รถของภาคบริการโลหิตไม่พร้อมรวมกันมากถึง 81.2% สิ่งที่น่าสนใจจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คือ โรงพยาบาลยะลาเป็นโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีการร้องขอโลหิตบ่อยครั้งที่สุดทำให้ค่าใช้จ่ายส่วนการจ้างรถรวมสูงสุดถึง 19.74 % และการจ้างรถเพื่อนำโลหิตไปยังสถานีขนส่ง (บขส.) นั้นสูงถึง 10.30% เนื่องจากรถสำหรับกระบวนการจัดส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในปัจจุบันนั้นยังไม่มีการจัดทำนโยบายเพื่อการครอบคลุมการขนส่งโลหิตในส่วนนี้ ทำให้ไม่มีรถประจำ แม้กระทั่งจะควบคุมเวลาที่จำเป็นต้องใช้งานรถก็ตาม ทำให้ค่าใช้จ่ายส่วนนี้อาจมองเป็นค่าเสียโอกาสของการใช้รถนั้นค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับโรงพยาบาลอื่น ๆ

จากการรวบรวมสถิติและการวิเคราะห์ปัญหา การออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตโดยมีโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีการร้องขอประจำเป็นหนึ่งในตัวเลือกการออกแบบเส้นทาง และมีการเพิ่มปลายทางคือ สถานีขนส่งเป็นอันดับแรกเนื่องจากเป็นปลายทางที่อยู่ใกล้ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มากที่สุด และเป็นการลดความเสี่ยงเนื่องจากรถสำหรับนำโลหิตไปยังสถานีขนส่งไม่ว่าง โดยการออกแบบเส้นทางรถสำหรับรถ 1 คัน ที่มีหน้าที่ในการขนส่งโลหิตโดยฉพาะ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์

ความต้องการโลหิตของกลุ่มโรงพยาบาลที่มีการร้องขอประจำเพื่อหาความเหมาะสมในการออกแบบเส้นทางล่วงหน้า และขนส่งโลหิตตามเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงแล้ว ดังนี้

เริ่มต้นจาก นำข้อมูลการเบิกจ่ายโลหิตของโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตบ่อยครั้งที่สุด จำนวน 5 อันดับแรก มาวิเคราะห์ความถี่และการแจกแจง เพื่อนำมาใช้สำหรับ ออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตล่วงหน้าให้แก่โรงพยาบาลที่มีความถี่การเบิกจ่ายมากมาเป็นความสำคัญอันดับแรก ยกตัวอย่างเช่น โรงพยาบาลที่ 1 การแจกแจงของข้อมูลการเบิกจ่ายโลหิตของโรงพยาบาลที่ 1 เกิดขึ้นทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์ และโรงพยาบาลที่ 2 มีการเบิกจ่ายทุก 5 วัน เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงหาข้อมูลการแจกแจงส่วนนี้ เพื่อมาออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตล่วงหน้า ที่ทำให้ระยะทางเดินรถโดยรวมต่ำที่สุด แต่เมื่อแจกแจงความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลจากสถิติย้อนหลัง ทำให้ทราบว่าความต้องการโลหิตนั้นไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการวิจัยของ Nagurney Anna ได้กล่าวไว้ในปี ค.ศ. 2012 ว่าการจัดการห่วงโซ่อุปทานโลหิตในโลกแห่งความเป็นจริงในปัจจุบัน ยังไม่สามารถทำได้ดีมากพอ ความต้องการโลหิตมีความผันผวน ปริมาณความต้องการโลหิตไม่สามารถควบคุมได้ จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตล่วงหน้าได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างโปรแกรมต้นแบบการขนส่งโลหิตแบบใหม่ ที่เป็นการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตแบบวันต่อวัน หลังเสร็จสิ้นงานวิจัยนี้เพื่อให้ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 นำไปเป็นแนวทางต่อยอดในอนาคตได้

4.4.2 ต้นทุนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตที่โรงพยาบาลต่าง ๆ เป็นผู้รับผิดชอบ

เมื่อได้สถิติการเบิกจ่าย ระยะทาง และเวลาระหว่างโรงพยาบาลต่าง ๆ และภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ดังแสดงในตารางที่ 10 สามารถคำนวณหาต้นทุนการขนส่งโดยการอ้างอิงงานวิจัย กุลบันทิต แสงดี และเมธาวี จอมสันเทียะ (2564)

จากการศึกษาในงานวิจัยดังกล่าวสามารถแยกการคำนวณต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนคือ ต้นทุนที่เกิดจากระยะทาง และต้นทุนที่เกิดจากเวลา ในการเดินรถแต่ละเที่ยว ซึ่งทั้งสองอย่างเป็นต้นทุนแปรผันทั้งสิ้น กล่าวคือ เมื่อระยะทางหรือเวลาในการขนส่งเพิ่มขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่งที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน สามารถแจกแจงรายละเอียดต้นทุนได้ดังตารางที่ 14 – 15

ตารางที่ 14 การคำนวณต้นทุนต่อระยะทางสำหรับการขนส่งโลหิตด้วยรถยนต์

ต้นทุนต่อระยะทาง	
รายละเอียด	คิดเป็น (บาทต่อกิโลเมตร)
น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่น	2.45 [1]
ค่าซ่อมบำรุง	0.38
ค่าเปลี่ยนยาง	0.22
รวม	3.05

ตารางที่ 15 การคำนวณต้นทุนต่อเวลาสำหรับการขนส่งโลหิตด้วยรถยนต์

ต้นทุนต่อเวลา	
รายละเอียด	คิดเป็น (บาทต่อชั่วโมง)
ค่าเสื่อมราคา	2.46
ค่าจ้างพนักงานขับรถ	40.625 [3]
ค่าประกันวินาศภัย	1.05
ค่าภาษี	0.39
รวม	32.03

[1] คำนวณจาก ค่าน้ำมัน ณ วันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2564

[2] คิดคำนวณจากอัตราค่าแรงขั้นต่ำจังหวัดสงขลา ปี พ.ศ.2564 ที่ 325 บาทต่อวัน (ข้อมูลจากสำนักงานแรงงาน จังหวัดสงขลา) ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

เมื่อได้ข้อมูลจากการสำหรับการคำนวณต้นทุนในการขนส่งโลหิตสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A ซึ่งเป็นต้นทุนคงที่ จากนั้นผู้วิจัยสามารถประมาณค่าใช้จ่ายเฉพาะส่วนการเดินรถในการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A ได้ดังตารางที่ 16

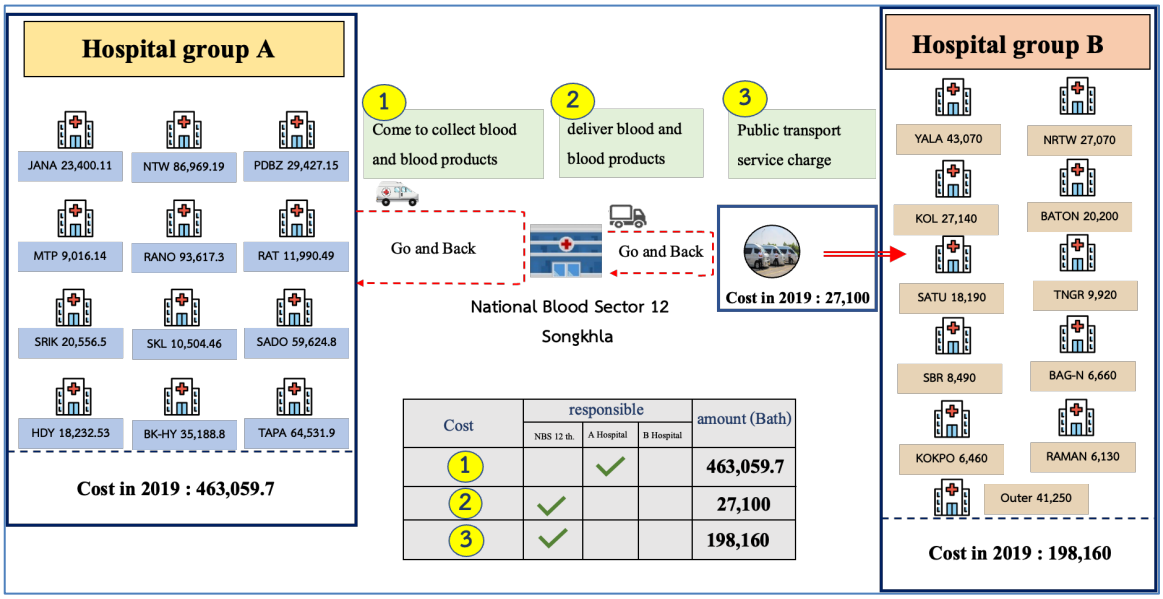
ตารางที่ 16 การประมาณค่าใช้จ่ายในการขนส่งโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A

โรงพยาบาล	จำนวนเที่ยวรถ (เที่ยว)	ต้นทุน (บาท)			
		คำนวณตามเวลา	คำนวณตามตามระยะทาง	รวม	ค่าเฉลี่ยต่อเดือน
จะนะ	70	20,111.7	3,288.4	23,400.1	1,950.01
นาทวี	219	72,940.1	14,029.1	86,969.3	7,247.44
ปาดังเบซาร์	90	24,430.5	4,996.7	29,427.2	2,452.27
มิตรภาพสามัคคี	82	7002.8	2,013.6	9,016.4	751.37
ระโนด	112	81,300.8	12,316.6	93,617.4	7,801.45
ราฎยินดี	104	9,769.8	2,220.7	11,990.5	999.21
ศิครินทร์	153	16,799.4	3,757.1	20,556.5	1,713.04
สงขลา	41	8,753.5	1,751.0	10,504.5	875.37
สะเดา	124	49,166.0	10,458.9	59,624.9	4,968.74
หาดใหญ่	113	14,613.2	3,619.4	18,232.6	1,519.38
กรุงเทพหาดใหญ่	278	28,699.0	6,529.8	35,188.9	2,932.41
เทพา	105	54,442.5	10,089.5	64,532.0	5,377.66
รวม	1,491	387,989.3	75,070.8	463,060.1	38,588.3

จากตารางที่ 16 สามารถทำให้ทราบต้นทุนค่าใช้จ่ายที่โรงพยาบาลกลุ่ม A แต่ละโรงพยาบาลรับผิดชอบ โดยอาจจะไม่มีการเก็บข้อมูลส่วนนี้แยกส่วนกับต้นทุนการขนส่งอื่น ๆ ทำให้การเล็งเห็นถึงปัญหาค่าใช้จ่ายที่โรงพยาบาลปลายทางต้องรับผิดชอบ ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะไม่ได้อยู่ภายใต้การดูแลของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 แต่ก็ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยรวมของห่วงโซ่อุปทาน

โลหิตมีค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถประมาณค่าใช้จ่ายจริงของโรงพยาบาลที่ต้องใช้จ่ายกับกระบวนการนี้ ซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนเที่ยวหรือความถี่ที่ร้องขอโลหิตเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับระยะทางและเวลาที่ใช้ในการขนส่งแต่ละเที่ยวอีกด้วย

จากการวิเคราะห์ต้นทุนเฉพาะส่วนกระบวนการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในภาพรวมสามารถสรุปต้นทุนการขนส่งได้ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ต้นทุนการขนส่งและกระจายโลหิตโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลาง

จากรูปที่ 24 จะเห็นได้ว่าต้นทุนรวมในกระบวนการการขนส่งโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทำให้ผู้วิจัยทราบว่าต้นทุนเฉพาะส่วนค่าเดินทางของรถ ในปี พ.ศ. 2562 (หรือ ค.ศ. 2019) มีต้นทุนส่วนนี้รวมกันคือ 688,319.7 บาท ซึ่งผู้รับผิดชอบ ต้นทุนส่วนนี้แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ โรงพยาบาลกลุ่ม A และ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 โดยที่ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการเดินทางมารับโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม A นั้นไม่มีเครือข่ายและความเชื่อมโยงกัน ในขณะที่โรงพยาบาลกลุ่มนี้ล้วนตั้งอยู่ในเขตจังหวัดสงขลาเหมือนกัน จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านการขนส่งที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลาง ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่าการออกแบบเส้นทางสำหรับการจัดส่งโลหิต สามารถทำให้การลดต้นทุนโดยรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตนี้ได้

4.5 ผลการออกแบบฐานข้อมูล ค่าพารามิเตอร์ และอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณทาง

4.5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์หลักและการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ในการออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิต

4.5.1.1 ค่าพารามิเตอร์หลัก

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขั้นตอนวิธีการออกแบบเส้นทางการจัดส่งโลหิตในรูปแบบ และเงื่อนไขการขนส่งต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป จากการศึกษาและทำการวิเคราะห์จากความต้องการโลหิตย้อนหลังจากขั้นตอนก่อนหน้า แม้ว่าจะมีความต้องการที่แตกต่างกันทั้งปริมาณและความถี่ แต่ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลและภาคบริการโลหิตยังคงที่เช่นเดิม เพราะฉะนั้นระยะทางและเวลาระหว่างสถานที่ต้นทางและปลายทางจะยังคงที่และสามารถนำมาใช้ในการออกแบบเส้นทางโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อการสร้างเงื่อนไขสำหรับขนส่งโลหิต

การเก็บข้อมูลระยะทางและเวลาระหว่างสถานที่นั้น จำเป็นต้องทราบว่ามีโรงพยาบาลใดบ้างที่จะเป็นหนึ่งในปลายทางการขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เริ่มจากการกำหนดรายชื่อโรงพยาบาล ที่อ้างอิงจากขั้นตอนที่ 4 โดยการนำโรงพยาบาลกลุ่ม A และ B ที่ร้องขอโลหิตและส่วนประกอบโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จำนวนทั้งหมด 30 โรงพยาบาล ในการออกแบบเส้นทางจะมีการสร้างชุดสถานที่ขึ้นมา 4 ชนิดคือ (1) ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 (2) โรงพยาบาลกลุ่ม A (3) โรงพยาบาลกลุ่ม B และ (4) สถานีขนส่งสาธารณะอำเภอหาดใหญ่ จำนวนรวมกันทั้งสิ้น 32 โรงพยาบาล โดยใช้โรงพยาบาลดังกล่าวเป็นต้นแบบและกรณีศึกษาจริงสำหรับการออกแบบเส้นทางในการกระจายโลหิต รายละเอียดต่าง ๆ ของสถานที่ต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 17

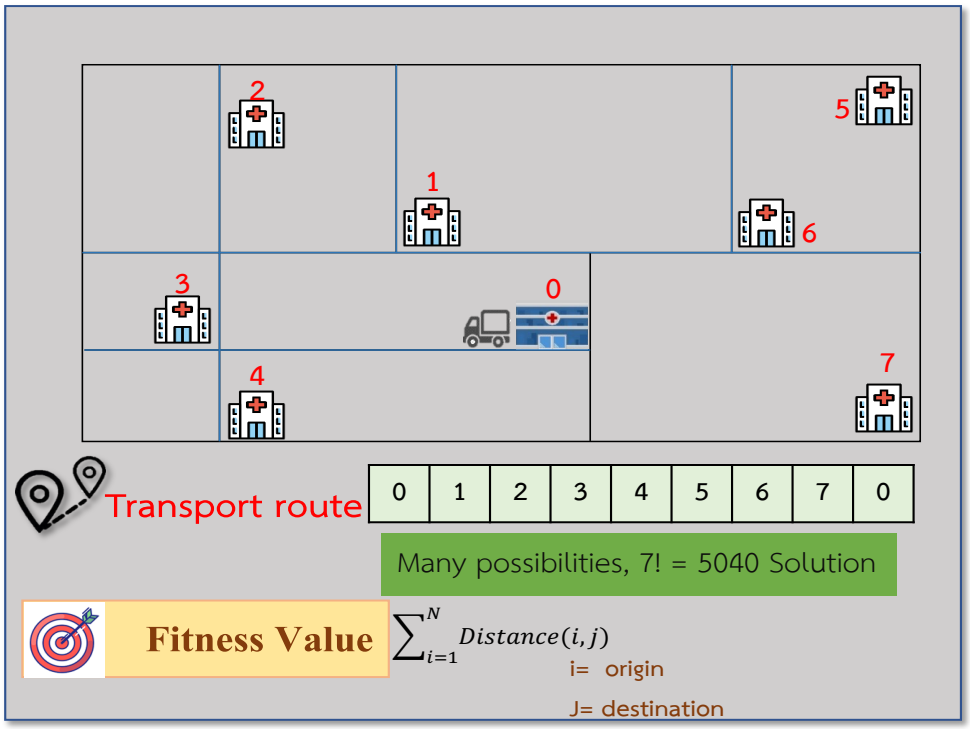
ตารางที่ 17 รายละเอียดของสถานพยาบาลที่นำมาออกแบบเส้นทาง

ชื่อสถานที่	อำเภอ	จังหวัด	รหัสสถานที่	ระยะทางจากภาคบริการโลหิต (กิโลเมตร)
ภาคบริการฯ ที่ 12	หาดใหญ่	สงขลา	0	0
โรงพยาบาลจะนะ	จะนะ	สงขลา	1	47.1
โรงพยาบาลนาทวี	นาทวี	สงขลา	2	54.6
โรงพยาบาลปาดังเบซาร์	สะเดา	สงขลา	3	44.5
โรงพยาบาลมิตรภาพสามัคคี	หาดใหญ่	สงขลา	4	14
โรงพยาบาลระโนด	ระโนด	สงขลา	5	119
โรงพยาบาลราษฎร์ยินดี	หาดใหญ่	สงขลา	6	15.4
โรงพยาบาลศิครินทร์	หาดใหญ่	สงขลา	7	18
โรงพยาบาลสงขลา	เมือง	สงขลา	8	35
โรงพยาบาลสะเดา	สะเดา	สงขลา	9	65
โรงพยาบาลหาดใหญ่	หาดใหญ่	สงขลา	10	21.2
โรงพยาบาลกรุงเทพหาดใหญ่	หาดใหญ่	สงขลา	11	16.9
โรงพยาบาลเทพา	เทพา	สงขลา	12	85
สถานีขนส่ง (บขส.)	หาดใหญ่	สงขลา	13	8.4
โรงพยาบาลยะลา	เมือง	ยะลา	14	145
โรงพยาบาลนราธิวาส	เมือง	นราธิวาส	15	220

ตารางที่ 17 รายละเอียดของสถานพยาบาลที่นำมาออกแบบเส้นทาง (ต่อ)

ชื่อสถานที่	อำเภอ	จังหวัด	รหัสสถานที่	ระยะทางจากภาคบริการโลหิต (กิโลเมตร)
โรงพยาบาลสุไหง - โกลก	สุไหงโก-ลก	นราธิวาส	16	280
โรงพยาบาลเบตง	เบตง	ยะละ	17	250
โรงพยาบาลสตูล	เมือง	สตูล	18	98
โรงพยาบาลตรังรวมแพทย์	เมือง	ตรัง	19	150
โรงพยาบาลสายบุรี	สายบุรี	ปัตตานี	20	165
โรงพยาบาลปัตตานี	เมือง	ปัตตานี	21	113
โรงพยาบาลโคกโพธิ์	โคกโพธิ์	ปัตตานี	22	108
โรงพยาบาลรามัน	รามัน	ยะลา	23	165
โรงพยาบาลบังนันสตา	บังนันสตา	ยะลา	23	178
โรงพยาบาลตรัง	เมือง	ตรัง	25	150
โรงพยาบาลละงู	ละงู	สตูล	26	115
โรงพยาบาลมายอ	มายอ	ปัตตานี	27	140
โรงพยาบาลหนองจิก	หนองจิก	ปัตตานี	28	104
โรงพยาบาลพัทลุง	เมือง	พัทลุง	29	100
โรงพยาบาลยะหริ่ง	ยะหริ่ง	ปัตตานี	30	128
โรงพยาบาลวัฒนแพทย์	เมือง	ตรัง	31	148

จากตารางที่ 18 แสดงสถานที่ที่นำไปใช้ในการออกแบบเส้นทางการจัดส่งโลหิต การออกแบบในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ปัญหา Vehicle Routing Problem (VRP) ซึ่งจำเป็นต้องทราบถึงระยะทางและเวลาของการเดินรถจากต้นทางและปลายทางที่แตกต่างกันสามารถแสดงตัวอย่างปัญหาการออกแบบเส้นทางได้ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ตัวอย่างปัญหาในการออกแบบเส้นทาง

จากรูปที่ 25 เลข 0 เป็นตัวแทนของภาคบริการโลหิตแห่งชาติ หรือศูนย์กลางการจายสินค้า ซึ่งเป็นต้นทางที่นำรถออกไปขนส่งโลหิต หรือสินค้าให้แก่โรงพยาบาลต่าง ๆ (หมายเลขที่ 1-7) โดยการเวียนรถไปส่งให้ครบทุกโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต ตัวอย่างในภาพคือ การเวียนส่งตามเส้นทางขนส่ง (Transport Route) โดยแต่ละเส้นทางมีระยะทางและเวลาในการขนส่งจนเสร็จสิ้นที่แตกต่างกัน ในปัญหานี้สามารถสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด เท่ากับ (8-1)! = 5,040 เส้นทาง สำหรับข้อมูลระยะทางและเวลาระหว่างสถานที่ที่นำไปออกแบบเส้นทางแสดงดังรูปที่ 26 และ 27 ตามลำดับ

ตารางระยะทาง (กิโลเมตร)	ภาคบริการโลหิต	จะนะ	นาทวี	ปาดัง	มิตรภาพสามคี	ระโนด	รฎายินดี	ศิครินทร์	สงขลา	สะเดา	หาดใหญ่	กรุงเทพ	เทพา	บขส	ยะลา	นราธิวาส	โกลก	เบตง	สตูล	ตรังรวมแพทย์	สายบุรี	ปัตตานี	โคกโพธิ์	รามัน	บังนันสตาสตา	ตรัง	ละงู	มายอ	หนองจิก	พัทลุง	ยะหริ่ง	วัฒนแพทย์
ภาคบริการโลหิต	0	47.1	54.6	44.5	14	119	15.4	18	35	65	21.2	16.9	85	8.4	145	220	280	250	98	150	165	113	108	165	178	150	115	140	104	100	128	148
จะนะ	47.1	0	24	79	41	115	39	43	40	70	42	42	38	41	92.7	162	230	221	140	190	120	70	65	120	145	190	160	88.2	60	133	82.6	182
นาทวี	54.6	24	0	60	62	135	60	63	60	51	63	62	40	66	115	180	249	201	156	205	140	89.1	53.8	107	113	203	172	110	80	154	105	202
ปาดัง	44.5	79	60	0	54.2	162	53	56	83	8	56	55	110	53	169	239	303	257	136	195	196	144	140	194	165	195	152	165	135	147	160	195
มิตรภาพสามคี	14	41	62	54.2	0	102	2	3	22.5	47	2.2	2.3	77.5	4	135	202	266	260	100	146	159	106	101	156	172	146	116	127	97.2	100	122	146
ระโนด	119	115	135	162	102	0	102	100	81	145	103	100	152	110	207	276	341	335	163	118	233	181	176	231	247	119	179	202	172	52.7	197	120
รฎายินดี	15.4	39	60	53	2	102	0	2.9	22.4	47	4.3	2.4	76	5	130	200	264	259	101	150	157	105	100	154	170	148	117	126	95.7	100	120	150
ศิครินทร์	18	43	63	56	3	100	2.9	0	23	45	4.5	2.5	78	6	130	200	270	260	102	147	160	105	100	154	171	151	120	126	96.2	102	121	150
สงขลา	35	40	60	83	22.5	81	22.4	23	0	65	22	21	72.2	27	127	196	261	255	116	163	153	101	97	151	167	163	133	122	92	115	117	165
สะเดา	65	70	51	8	47	145	47	45	65	0	47	46.2	107	47	162	231	296	246	136	187	188	136	101	186	157	188	153	157	127	139	151	187
หาดใหญ่	21.2	42	63	56	2.2	103	4.3	4.5	22	47	0	3.1	80.6	4.5	135	205	270	265	101	146	162	109	105	160	175	146	116	131	100	100	125	146
กรุงเทพ	16.9	42	62	55	2.3	100	2.4	2.5	21	46.2	3.1	0	78	6	132	202	226	262	101	148	160	150	102	156	172	148	120	128	98	102	122	149
เทพา	85	38	40	110	77.5	152	76	78	72.2	107	80.6	78	0	82	72	141	205	177	172	218	98	46	40	95.3	89	219	188	67	37	170	62	218
บขส	8.4	41	66	53	4	110	5	6	27	47	4.5	6	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ยะลา	145	92.7	115	169	135	207	130	130	127	162	135	132	72	0	0	79	143	129	226	272	56	42.1	37	25	41	275	242	34	45	225	57	274
นราธิวาส	220	162	180	239	202	276	200	200	196	231	205	202	141	0	79	0	66	192	296	342	49	96	122	53	103	342	312	73	105	294	81	342
โกลก	280	230	249	303	266	341	264	270	261	296	270	226	205	0	143	66	0	256	361	407	113	160	187	117	170	407	377	137	169	359	145	407
เบตง	250	221	201	257	260	335	259	260	255	246	265	262	177	0	129	192	256	0	352	398	178	168	160	139	89	399	368	160	170	350	182	398
สตูล	98	140	156	136	100	163	101	102	116	136	101	101	172	0	226	296	361	352	0	143	253	201	196	251	267	144	54	222	192	130	216	142
ตรังรวมแพทย์	150	190	205	195	146	118	150	147	163	187	146	148	218	0	272	342	407	398	143	0	303	251	246	300	316	0.6	93	272	242	58	266	0.7
สายบุรี	165	120	140	196	159	233	157	160	153	188	162	160	98	0	56	49	113	178	253	303	0	52	81	40	93	302	272	32	64	254	40	302
ปัตตานี	113	70	89.1	144	106	181	105	105	101	136	109	150	46	0	42.1	96	160	168	201	251	52	0	24	66	82	248	217	31	10	199	16	247
โคกโพธิ์	108	65	53.8	140	101	176	100	100	97	101	105	102	40	0	37	122	187	160	196	246	81	24	0	56	74	240	210	46	16	192	41	240
รามัน	165	120	107	194	156	231	154	154	151	186	160	156	95.3	0	25	53	117	139	251	300	40	66	56	0	51	297	266	36	69	249	65	296
บังนันสตาสตา	178	145	113	165	172	247	170	171	167	157	175	172	89	0	41	103	170	89	267	316	93	82	74	51	0	310	279	75	82	261	94	309
ตรัง	150	190	203	195	146	119	148	151	163	188	146	148	219	0	275	342	407	399	144	0.6	302	248	240	297	310	0	94	272	242	58	267	1.2
ละงู	115	160	172	152	116	179	117	120	133	153	116	120	188	0	242	312	377	368	54	93	272	217	210	266	279	94	0	240	210	130	235	89
มายอ	140	88.2	110	165	127	202	126	126	122	157	131	128	67	0	34	73	137	160	222	272	32	31	46	36	75	272	240	0	38	220	21	268
หนองจิก	104	60	80	135	97.2	172	95.7	96.2	92	127	100	98	37	0	45	105	169	170	192	242	64	10	16	69	82	242	210	38	0	190	25	238
พัทลุง	100	133	154	147	100	52.7	100	102	115	139	100	102	170	0	225	294	359	350	130	58	254	199	192	249	261	58	130	220	190	0	214	57
ยะหริ่ง	128	82.6	105	160	122	197	120	121	117	151	125	122	62	0	57	81	145	182	216	266	40	16	41	65	94	267	235	21	25	214	0	266
วัฒนแพทย์	148	182	202	195	146	120	150	150	165	187	146	149	218	0	274	342	407	398	142	0.7	302	247	240	296	309	1.2	89	268	238	57	26	0

รูปที่ 26 ระยะทางระหว่างสถานที่ ที่นำไปออกแบบเส้นทาง

ตารางเวลาขนส่ง (นาที)	ภาคบริการโลหิต	จะนะ	นาทวี	ปาดัง	มิตรภาพสามคี	ระโนด	รฎฐินดี	ศิครินทร์	สงขลา	สะเดา	หาดใหญ่	กรุงเทพ	เทพา	บาส	ยะลา	นราธิวาส	โกลก	เบตง	สตูล	ตรังรวมแพทย์	สายบุรี	ปัตตานี	โคกโพธิ์	รามัน	บังนังสตาลตา	ตรัง	ละงู	มายอ	หนองจิก	พัทลุง	ยะหริ่ง	วัดฉนแพทย์
ภาคบริการโลหิต	0	44	60	52	23	103	20	23	40	79	30	22	90	15	150	200	240	240	95	135	138	96	90	145	160	133	100	130	83	90	118	135
จะนะ	44	0	22	80	45	105	40	50	40	70	50	45	40	45	75	140	200	222	130	170	100	60	60	110	125	175	150	80	50	120	70	175
นาทวี	60	22	0	60	63	120	60	70	55	55	70	65	42	60	96	182	212	230	144	180	125	80	64	125	122	180	191	103	67	133	95	180
ปาดัง	52	80	60	0	70	160	62	70	85	10	70	70	107	60	150	220	245	285	145	180	180	134	130	180	180	183	150	155	120	138	148	185
มิตรภาพสามคี	23	45	63	70	0	100	10	10	31	58	10	10	75	10	120	181	240	270	100	140	141	100	91	150	165	145	118	121	85	100	115	145
ระโนด	103	105	120	160	100	0	100	93	70	150	95	95	135	95	180	245	290	333	163	121	202	160	152	206	225	124	168	182	146	70	180	124
รฎฐินดี	20	40	60	62	10	100	0	34	30	53	12	10	68	11	116	180	230	280	110	140	140	95	87	142	160	142	117	120	82	98	108	143
ศิครินทร์	23	50	70	70	10	93	34	0	30	50	10	10	65	18	110	170	216	250	96	138	130	90	85	135	150	134	112	111	78	91	100	134
สงขลา	40	40	55	85	31	70	30	30	0	71	24	25	61	30	104	162	310	245	105	148	127	85	80	131	148	148	115	104	76	105	97	150
สะเดา	79	70	55	10	58	150	53	50	71	0	56	53	100	58	142	200	250	263	125	173	162	122	100	184	164	180	140	145	115	132	132	180
หาดใหญ่	30	50	70	70	10	95	12	10	24	56	0	10	75	12	118	180	270	297	90	138	141	100	95	145	162	149	104	123	90	94	115	145
กรุงเทพ	22	45	65	70	10	95	10	10	25	53	10	0	73	15	118	180	230	256	94	145	140	148	93	142	158	147	120	120	86	97	117	148
เทพา	90	40	42	107	75	135	68	65	61	100	75	73	0	70	62	123	175	200	155	183	85	45	35	88	93	186	180	67	34	145	58	185
บาส	15	45	60	60	10	95	11	18	30	58	12	15	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ยะลา	150	75	96	150	120	180	116	110	104	142	118	118	62	0	0	85	132	153	195	226	65	40	35	30	45	230	202	47	37	186	50	232
นราธิวาส	200	140	182	220	181	245	180	170	162	200	180	180	123	0	85	0	61	211	254	300	47	90	107	54	105	301	214	68	93	233	70	302
โกลก	240	200	212	245	240	290	230	216	310	250	270	230	175	0	132	61	0	258	312	346	95	140	158	103	152	345	321	120	142	302	120	345
เบตง	240	222	230	285	270	333	280	250	245	263	297	256	200	0	153	211	258	0	341	373	194	185	180	152	103	375	349	180	181	331	195	375
สตูล	95	130	144	145	100	163	110	96	105	125	90	94	155	0	195	254	312	341	0	145	223	181	176	226	242	147	57	202	168	124	194	146
ตรังรวมแพทย์	135	170	180	180	140	121	140	138	148	173	138	145	183	0	226	300	346	373	145	0	260	220	221	264	279	4	87	243	204	53	230	3
สายบุรี	138	100	125	180	141	202	140	130	127	162	141	140	85	0	65	47	95	194	223	260	0	52	70	50	97	257	237	32	56	212	34	256
ปัตตานี	96	60	80	134	100	160	95	90	85	122	100	148	45	0	40	90	140	185	181	220	52	0	27	66	82	210	187	44	14	186	21	227
โคกโพธิ์	90	60	64	130	91	152	87	85	80	100	95	93	35	0	35	107	158	180	176	221	70	27	0	63	79	224	181	51	18	180	41	222
รามัน	145	110	125	180	150	206	142	135	131	184	145	142	88	0	30	54	103	152	226	264	50	66	63	0	50	256	234	44	64	212	66	255
บังนังสตาลตา	160	125	122	180	165	225	160	150	148	164	162	158	93	0	45	105	152	103	242	279	97	82	79	50	0	268	245	80	76	225	90	266
ตรัง	133	175	180	183	145	124	142	134	148	180	149	147	186	0	230	301	345	375	147	4	257	210	224	256	268	0	88	280	204	54	230	4
ละงู	100	150	191	150	118	168	117	112	115	140	104	120	180	0	202	214	321	349	57	87	237	187	181	234	245	88	0	218	181	122	206	85
มายอ	130	80	103	155	121	182	120	111	104	145	123	120	67	0	47	68	120	180	202	243	32	44	51	44	80	280	218	0	45	191	23	235
หนองจิก	83	50	67	120	85	146	82	78	76	115	90	86	34	0	37	93	142	181	168	204	56	14	18	64	76	204	181	45	0	154	28	196
พัทลุง	90	120	133	138	100	70	98	91	105	132	94	97	145	0	186	233	302	331	124	53	212	186	180	212	225	54	122	191	154	0	185	55
ยะหริ่ง	118	70	95	148	115	180	108	100	97	132	115	117	58	0	50	70	120	195	194	230	34	21	41	66	90	230	206	23	28	185	0	225
วัดฉนแพทย์	135	175	180	185	145	124	143	134	150	180	145	148	185	0	232	302	345	375	146	3	256	227	222	255	266	4	85	235	196	55	225	0

รูปที่ 27 เวลาระหว่างสถานที่ ที่นำไปออกแบบเส้นทาง

4.5.1.2 การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการขนส่ง

เป็นการศึกษาข้อมูลด้านทรัพยากร และข้อจำกัดของการขนส่งของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เนื่องจากเป็นการปรับปรุงรูปแบบการขนส่งและออกแบบเส้นทางการกระจายโลหิต โดยอ้างอิงจากความเป็นได้จริงในปัจจุบันและ สร้างให้อยู่ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบของสมการปัญหาการจัดส่งโลหิตสำหรับรถ 1 คัน มีเป้าหมายเพื่อหาระยะทางการขนส่งโลหิตรวมน้อยที่สุด เริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลาที่มีความต้องการโลหิตให้ครบทุกโรงพยาบาล โดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติฯ จะบรรจุถุงโลหิตแต่ละหมู่ลงในกล่องโฟมขนาดเดียว และรถสามารถบรรทุกได้สูงสุด 40 กล่อง ซึ่งความหมายของตัวแปรต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 17

ตารางที่ 18 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์

สัญลักษณ์	ความหมาย
N	จำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด
K	จำนวนรถทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งโลหิต
i	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลต้นทาง i
j	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลปลายทาง j
k	ดัชนีแทนรถขนส่งโลหิตหรือรอบจัดส่ง k
Z	ระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาล
d_{ij}	ระยะทางที่ใช้สำหรับจัดส่งจากโรงพยาบาล i ไปโรงพยาบาล j
q_i	ความต้องการโลหิต (ทุกหมู่) ของโรงพยาบาล i
a_k	ความจุของรถขนส่งโลหิต k

ตารางที่ 18 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
X_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 ถ้ารถขนส่งโลหิต k มีการเดินทางจากโรงพยาบาล *i* ไป *j* และเป็น 0 เมื่อไม่มีการเดินทาง
U_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบหรือป้องกันเส้นทางจัดส่งโลหิตวนรอบไม่ครบ
Y_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 เมื่อโลหิตสำหรับโรงพยาบาลที่ *i* ถูกบรรทุกในรถขนส่ง *k* และเป็น 0 เมื่อไม่มีการบรรทุกโลหิตในรถขนส่ง *k*

สำหรับตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยมีการกำหนดสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดดังต่อไปนี้

$$Min \quad Z = \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} d_{ij} X_{ij}^k \tag{5}$$

โดยมีสมการข้อจำกัด (Constraints) ดังนี้

$$\sum_{j=1}^{N} X_{0j}^k \leq 1, \; k = 1,2,...,K \tag{6}$$

$$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^k = \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^k, \; p = 1,2,...,N; \; k = 1,2,...,K \tag{7}$$

$$\sum_{k=1}^{K} Y_i^k = , \; i = 1,...,N \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_i^k \leq a_k, \; k = 1,2,...,K \tag{9}$$

$$Y_i^k \leq \sum_{j=0}^{N} X_{ji}^k \quad , \; i = 1,...,N; \; k = 1,2,...,K \tag{10}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0}^{N} X_{ij}^k \geq 1, \; j = 1,2,...,N \tag{11}$$

$$U_i^k \geq U_j^k + q_i - a_k + \left(a_k \left(X_{ij}^k + X_{ij}^k \right) \right) - X_{ij}^k (q_i + q_j),$$
$$k = 1,2,...,K; \; i = 1,...,N; \; j = 1,2,...,N \text{ เมื่อ } i \neq j \tag{12}$$

$$U_i^k \leq a_k - X_{0i}^k(a_k + q_i),\ k = 1,2,...,K;\ i = 1,...,N \quad (13)$$

$$U_i^k \leq q_i + \sum_{j=1}^{N} q_j X_{ji}^k,\ k = 1,2,...,K;\ i = 1,...,N \quad (14)$$

$$X_{ij}^k = \{0,1\},\ i = 1,...,N;\ j = 1,2,...,N;\ k = 1,2,...,K \quad (15)$$

$$Y_i^k = \{0,1\},\ i = 1,...,N;\ k = 1,2,...,K \quad (16)$$

จากสมการที่ (5) – (16) สามารถอธิบายได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ (5) เป็นระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากโรงพยาบาล *i* ไปโรงพยาบาล *j* โดยรถขนส่งโลหิต *k*

หมายเลขสมการที่ (6) เป็นการประกันว่า รถขนส่งโลหิต *k* จะเดินทางออกจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติ (ตำแหน่งที่ 0) และจัดส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาล *j* อย่างน้อย 1 แห่ง

หมายเลขสมการที่ (7) เป็นการรับประกันว่าโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง ๆ จะได้รับการเดินทางเข้าและออกเท่ากันเป็นจำนวน 1 ครั้ง

หมายเลขสมการที่ (8) เป็นการรับประกันว่าโรงพยาบาลหนึ่ง ๆ จะได้รับการจัดส่งโลหิตจากรถขนส่งอย่างน้อย 1 คัน

หมายเลขสมการที่ (9) เป็นการประกันว่ารถขนส่งโลหิตใด ๆ จะขนโลหิตไปส่งให้กับโรงพยาบาลไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้

หมายเลขสมการที่ (10) รับประกันว่าการจัดส่งให้โรงพยาบาล *i* ได้ก็ต่อเมื่อรถขนส่งโลหิต *k* เดินทางผ่านโรงพยาบาล *i* จากเส้นทางของโรงพยาบาล *j* แห่งใดแห่งหนึ่งเท่านั้น

หมายเลขสมการที่ (11) รับประกันว่าโรงพยาบาล *j* ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยรถขนส่งโลหิตใด ๆ อย่างน้อย 1 ครั้ง โดยใช้เส้นทางที่ผ่านมากจากเมือง *i* ใด ๆ

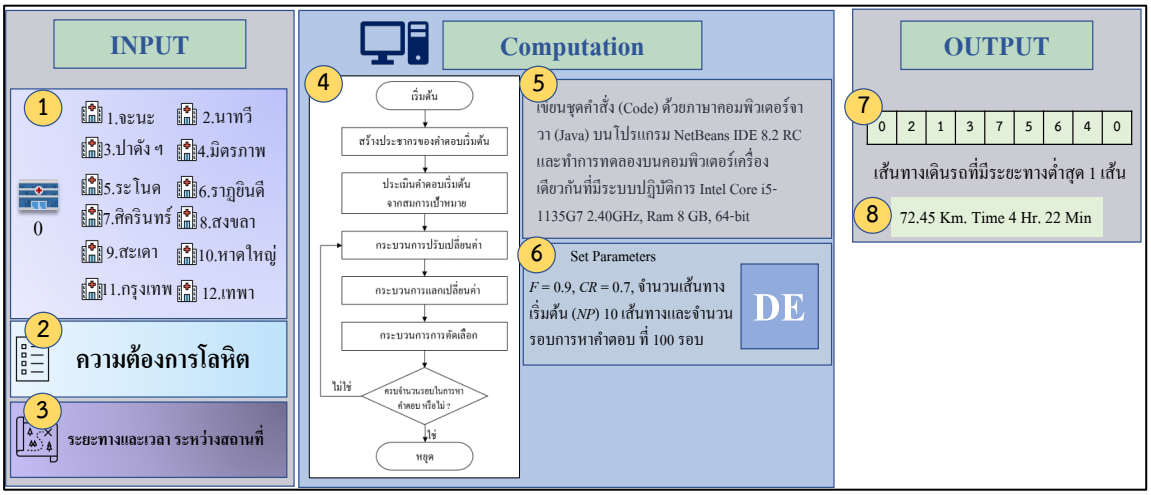
หมายเลขสมการที่ (12) – (14) เป็นสมการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเส้นทางย่อย (Subtour) และเงื่อนไขที่

(15) – (16) เป็นการจำกัดขอบเขตค่าของตัวแปรตัดสินใจ

4.5.2 การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต

4.5.2.1 แนวคิดในการพัฒนาอัลกอริทึม ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การเขียนโปรแกรมในงานวิจัยนี้ ใช้ภาษาJavaScript เพื่อใช้ในการหาคำตอบ ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง โดยผู้วิจัย แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนนำเข้า (Input) ส่วนประมวลผลและหาคำตอบ (Computation) และส่วนแสดงคำตอบ (Output) รูปแบบการทำงานของอัลกอริทึมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 แนวคิดขั้นตอนการทำงานในการหาเส้นทางขนส่งโลหิต

จากรูปที่ 28 ผู้วิจัยได้ใส่ตัวเลขกำกับไว้ในส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่เลข 1 ถึง 8 สามารถอธิบายรายละเอียดการทำงานของโปรแกรมต้นแบบการขนส่งโลหิตได้ดังนี้

เลข 1 คือ สถานที่ต่าง ๆ ซึ่งแทนได้ด้วยตัวเลขประจำสถานที่หรือโรงพยาบาล

เลข 2 คือ ความต้องการโลหิตในการออกแบบเส้นทางแต่ละรอบนั้น จะนำแค่โรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตเท่านั้นที่จะอยู่ในเงื่อนไขการเวียนส่งโลหิต โดยความต้องการนี้อยู่ในรูปแบบของกล่องรวมไปถึงการแสดงถึงข้อจำกัดการบรรทุกสูงสุดของรถตู้ที่ใช้ขนส่งจริงด้วย ภายใต้สมมติฐานของปัญหาCapacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ที่นำปริมาณความต้องการสินค้าและความสามารถที่จะบรรทุกได้มาใช้เป็นเงื่อนไขในการแก้ปัญหา กล่าวคือปริมาณรวมสูงสุดของสินค้าใน

การขนส่งแต่ละรอบจะต้องไม่เกินความจุสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้ ในกรณีที่เกินความสามารถการบรรทุกได้จำเป็นต้องเวียนรถกลับมาที่ศูนย์กลางกระจายสินค้า (ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12) เพื่อมาเติมสินค้าเป็นรอบการขนส่งสำหรับรอบถัดไป

เลข 3 คือ ข้อมูลระยะทางและเวลาระหว่างสถานที่ เพื่อสามารถทำให้ทราบถึงวัตถุประสงค์ในการจัดสรรเส้นทาง เช่น เวลาในการขนส่งต่ำที่สุด เวลาต่ำสุด หรือกำไรสูงสุด ซึ่งข้อมูลนี้จำเป็นมากต่อการออกแบบเส้นทาง

เลข 4 คือ กระบวนการทำงานของระบบการหาคำตอบ ทางผู้วิจัยเน้นไปที่การใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกในการช่วยแก้ปัญหารูปแบบการขนส่ง ซึ่งในปัจจุบันมีหลากหลายขั้นตอนวิธีมาก เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าในในส่วนนี้จึงถูกอธิบายขั้นตอนอยู่ในรูปของผังการทำงาน

เลข 5 คือ ตัวกลางในการทดลอง หรือคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการออกแบบเส้นทางโดยการสร้างอัลกอริทึมต้นแบบ โดยที่เมื่อมีการทดลองหรือเปรียบเทียบผล ควรเป็นคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกัน ที่ควรอยู่ในสภาวะเดียวกันระหว่างการทดลองเพื่อให้ได้ทราบผลในการหาคำตอบ ประสิทธิภาพของวิธีการหาคำตอบที่แตกต่างกัน

เลข 6 คือ ค่าพารามิเตอร์ในการหาคำตอบ ในแต่ละขั้นตอนวิธีจะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป

เลข 7 คือ การแสดงผล เมื่อโปรแกรมคำนวณเส้นทางเข้าที่ดีที่สุด (หรือเข้าใกล้ค่าคำตอบที่กำหนด ที่สามารถวัดได้เชิงตัวเลข) จะแสดงผลเส้นทาง หรือคำตอบที่ดีสุด ออกมาหลังการคำนวรเสร็จสิ้น

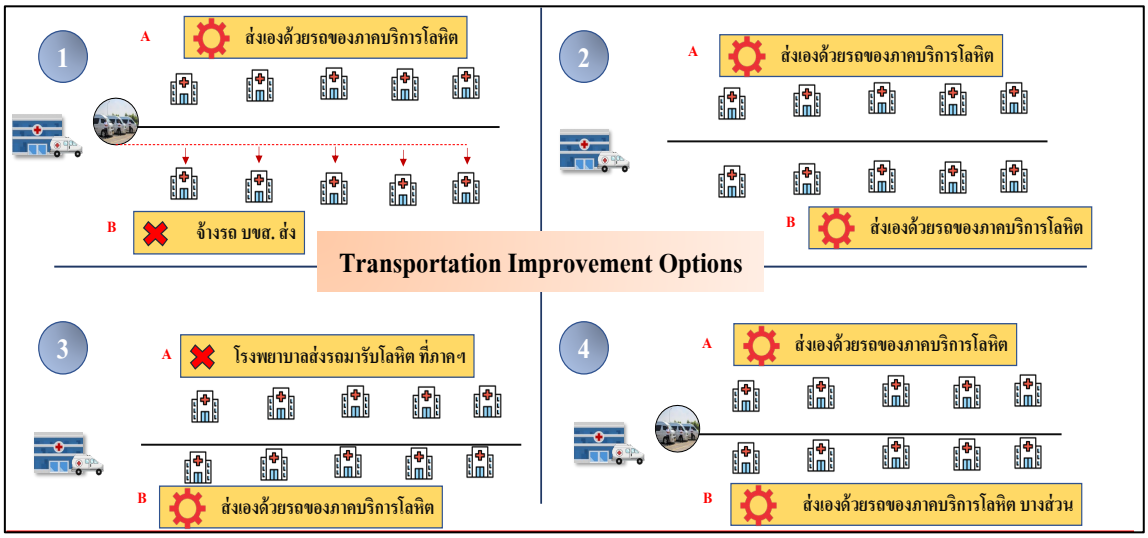
เลข 8 คือส่วนที่ออกมาพร้อมกับ ส่วนที่ 7 คือระยะทาง หรือเลขอ้างอิงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามที่ผู้วิจัยหรือผู้ออกแบบสนใจ เช่นระยะทาง เวลา ต้นทุน หรือ กำไร ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามที่ผู้เขียนโปรแกรมต้องการจะให้หาคำตอบได้

4.5.2.2 การหารูปแบบการขนส่งที่เหมาะต่อการออกแบบเส้นทาง

เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยกรการขนส่งที่ในปัจจุบันไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยปัจจุบัน มีรถที่สามารถใช้การขนส่งโลหิตในการวิจัยได้เพียง 1 คันเท่านั้น และพนักงานขับ จำนวน 3 ราย ที่สามารถหมุนเวียนหน้าที่กันได้เนื่องจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทำงานทุกวันไม่มีวันหยุด และ

ความต้องการโลหิตก็ไม่สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าแบบแม่นยำได้ ทำให้การร้องขอโลหิตจึงมีทุกวัน การออกเส้นทางคือการคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิตวันละ 1 ครั้ง คือ ช่วงเช้า ตั้งแต่ 07:00 น. ถึง 08:00 น. โดยการนำความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่ได้มีการร้องขอโลหิตมาแล้วนั้น ซึ่งโดยปกติจะมีการร้องขอตั้งแต่ช่วงดึกของวันก่อนหน้า และทำการตัดรอบที่ 07:00 น. เมื่อนำความต้องการโลหิตเข้าสู่กระบวนการอนุมัติและบรรจุเพื่อรักษาคุณภาพ การออกแบบเส้นทางการขนส่งนี้เป็นเพียงการนำความต้องการโลหิตในสถานการณ์ปกติเท่านั้น เมื่อผู้ป่วยภาวะฉุกเฉินหรือความต้องการโลหิตเร่งด่วนมาก จะไม่นำมาสู่กระบวนออกแบบเส้นทางแบบเวียนรอบส่ง แต่จะใช้รูปแบบการขนส่งแบบเดิมแทน

เมื่อทราบถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดของการขนส่งแล้ว จึงนำมาหาแนวทางการจัดส่งโลหิตที่เป็นประโยชน์สูงสุดต่อภาพรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิต โดยผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตแบบใหม่ให้แก่ผู้เชียวชาญ คือ หัวหน้าภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และหัวหน้าส่วน รวมไปถึงผู้รับหน้าที่ ณ จ่ายโลหิต เพื่อช่วยในการเลือกรูปแบบการขนส่งที่เป็นรูปแบบเฉพาะของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และ สามารถเป็นแนวทางการศึกษาและพัฒนาได้ในอนาคต โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบรูปแบบการขนส่งโลหิตออกมาทั้งหมด 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 แนวทางการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต

จากรูปที่ 29 แสดงแนวทางการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต 4 รูปแบบ ซึ่งทั้ง 4 รูปแบบยังคงแบ่งโรงพยาบาลเป็น 2 กลุ่มเช่นเดิม ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดแต่ละรูปแบบได้ดังตารางที่ 19

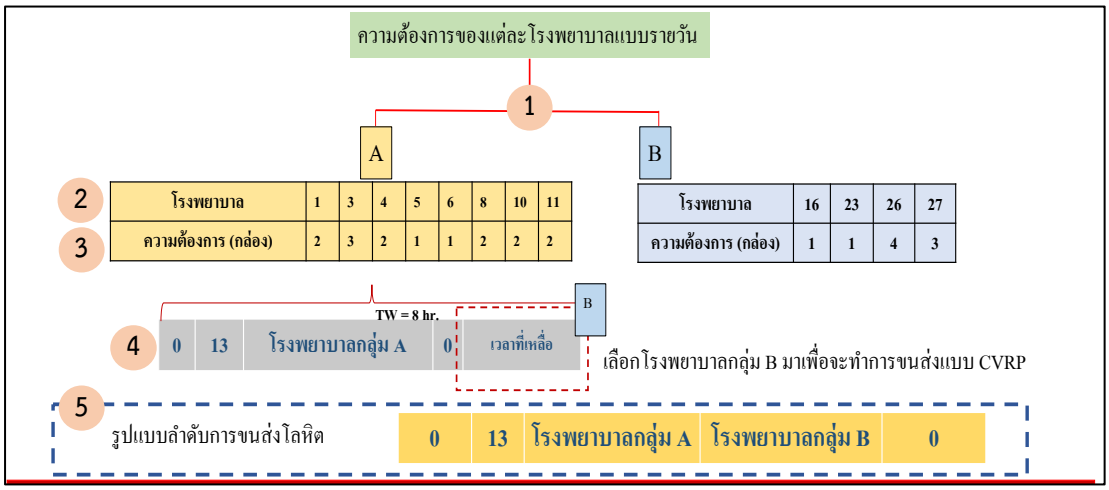
ตารางที่ 19 รายละเอียดและ ข้อได้เปรียบ– ข้อจำกัดของรูปแบบการขนส่ง

รูปแบบที่	รูปแบบการขนส่ง	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
1	ภาคบริการโลหิต จะทำการส่งโลหิตด้วยตนเองให้เฉพาะโรงพยาบาลกลุ่ม A เท่านั้น กลุ่ม B ยังเหมือนเดิม คือ ใช้บริการขนส่งสาธารณะแบบเดิม	- กำจัดต้นทุนที่โรงพยาบาลกลุ่ม A ทั้งหมด - สร้างความเป็นระบบของการขนส่งของโรงพยาบาลกลุ่ม A	-ไม่คุ้มค่าด้านเวลา เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการขนส่งเหลืออยู่มาก (เวลาขนส่งปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน)
2	ภาคบริการโลหิต ทำการเวียนส่งโลหิตให้กลับทุกโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิต	- กำจัดการพึ่งพาองค์กรภายนอกออก (บขส.) - สร้างความเป็นระบบให้กับโรงพยาบาลทั้งหมด	- จากเงื่อนไขด้านเวลาการขนส่ง เนื่องจากโรงพยาบาลกลุ่ม B มีระยะทางที่ห่างไกลกันมาก จึงไม่สามารถส่งให้ทุกโรงพยาบาลภายใต้เงื่อนไข รถ 1 คัน

ตารางที่ 19 รายละเอียดและ ข้อได้เปรียบ– ข้อจำกัดของรูปแบบการขนส่ง (ต่อ)

รูปแบบที่	รูปแบบการขนส่ง	ข้อได้เปรียบ	ข้อจำกัด
3	ภาคบริการโลหิต เวียนส่งโลหิตให้เฉพาะโรงพยาบาลกลุ่ม B เท่านั้น ส่วนกลุ่ม A ให้ส่งรถมารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแบบเดิม	- กำจัดการพึ่งพาองค์กรภายนอกออก (บขส.) - สร้างความเป็นระบบให้โรงพยาบาลกลุ่ม B	- จากเงื่อนไขด้านเวลาการขนส่ง เนื่องจากโรงพยาบาลกลุ่ม B มีระยะทางที่ห่างไกลกันมาก จึงไม่สามารถส่งให้ทุกโรงพยาบาลภายใต้เงื่อนไข รถ 1 คัน - ความสูญเปล่าจากการเวียนเที่ยวรถ เนื่องจากรอบ ๆ ภาคบริการโลหิตมีโรงพยาบาลกลุ่ม A ถึง 6 โรงพยาบาลที่ตั้งในอำเภอหาดใหญ่ แต่ไม่ได้อยู่ในแผนการเวียนส่ง
4	ภาคบริการโลหิต ทำการเวียนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม A จนครบทุกโรงพยาบาล และนำเวลาที่เหลืออยู่จากเวลาทำงานของพนักงานขับเวียนส่งโรงพยาบาลกลุ่ม B บางส่วน	- สร้างความเป็นระบบให้แก่การขนส่งของทุกโรงพยาบาล - มีความยืดหยุ่นสูง - กำจัดต้นทุนที่โรงพยาบาลกลุ่ม A ทั้งหมด - ลดการพึ่งพาองค์กรภายนอก - ใช้เวลาในการขนส่งคุ้มค่า	- มีความไม่แน่นอนของโรงพยาบาลกลุ่ม B เนื่องจากมีทั้งโรงพยาบาลที่ถูกเลือก และไม่ถูกเลือก - ทุกโรงพยาบาลต้องพร้อมรับกับขนส่งโลหิตในรูปแบบที่แตกต่างกันในแต่ละวัน

จากตารางที่ 19 ผู้วิจัยได้นำเสนอรูปแบบการขนส่งที่จะทำการออกแบบให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบและช่วยในการตัดสินใจ จากข้อดีและข้อเสียของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ทางผู้วิจัยได้เลือกวิธีที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดในการขนส่งคือ รูปแบบที่ 4 และได้นำรูปแบบนี้ไปวิเคราะห์ต่อถึงการพัฒนาอัลกอริทึมต้นแบบ เนื่องจากเป็นรูปแบบการขนส่งแบบใหม่ที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางของห่วงโซ่อุปทานโลหิตนี้ และมีการขนส่งแบบผสมผสาน ภายใต้เงื่อนไขความจุรถและเงื่อนไขข้อจำกัดด้านเวลา ทำให้สามารถสรุปรูปแบบการทำงานโปรแกรมในส่วนของเงื่อนไขการออกแบบเส้นทางได้ดังนี้



รูปที่ 30 ขั้นตอนการพิจารณาการขนส่งของรูปแบบที่ 4

จากรูปที่ 30 สามารถอธิบายลำดับการออกแบบเส้นทางการจัดส่งโลหิต ตามลำดับตัวเลขที่กำกับไว้ในภาพ (ตั้งแต่ 1 – 5) ดังนี้

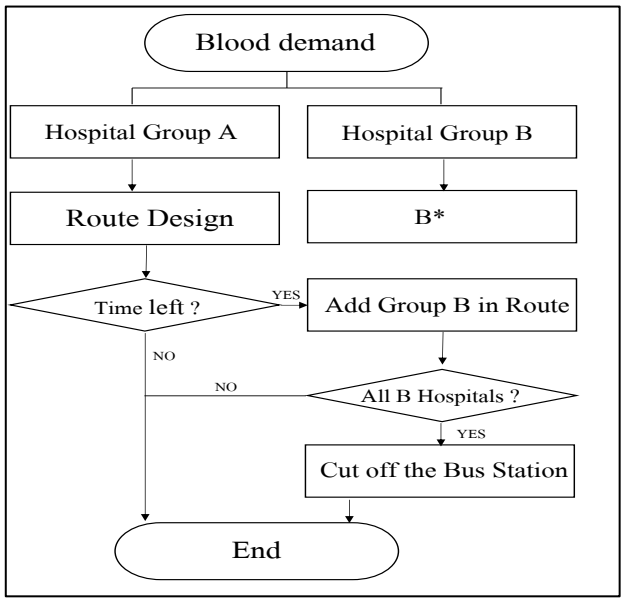
หมายเลข 1 คือการรับข้อมูลความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลรอบการขนส่งนั้น ๆ และทำการใส่ข้อมูลความต้องการไปในโปรแกรมต้นแบบ โปรแกรมจะทำการแยกความต้องการโลหิตออกตามกลุ่มโรงพยาบาล A และ B

หมายเลข 2 รหัสของแต่ละโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในรอบนั้น ๆ แยกออกเป็น กลุ่ม A และ B

หมายเลข 3 ความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาล ที่ถูกอนุมัติและจำแนกประเภทการรักษาคุณภาพระหว่างจัดส่งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยการใส่ข้อมูลความต้องการโลหิต (มีหน่วยเป็นกล่อง)

หมายเลข 4 คือส่วนการออกแบบเส้นทาง โดยการเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ซึ่งเป็นศูนย์กลาง และต้นทางของห่วงโซ่อุปทานโลหิตนี้ และทำการเพิ่มสถานีขนส่งสาธารณะเป็นปลายทางที่ 1 สำหรับการขนส่ง เพื่อนำโลหิตของโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ไม่ถูกเลือกในเส้นทางการจัดส่ง ไปทำการจ้างส่งแบบเดิม ต่อมาทำการออกแบบเส้นทางที่ดีที่สุดแบบเวียนเที่ยวรถส่งเพื่อให้ได้ระยะทางต่ำสุดสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A ให้เสร็จสิ้น และทำการตรวจสอบเวลาที่เหลือ อยู่ในรอบการจัดส่งนั้น ๆ และโปรแกรมจะทำการคำนวณความคุ้มค่าของการไปจัดส่งโรงพยาบาลกลุ่ม B ว่าควรเพิ่มโรงพยาบาลไหนบ้างที่ทำให้ต้นทุนการเดินทางต่ำที่สุด ซึ่งต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขเวลาการขนส่งเท่านั้น

หมายเลข 5 การแสดงลำดับการขนส่งเมื่อทำการออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยเริ่มจาก ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังสถานีขนส่งสาธารณะหาดใหญ่เพื่อทำการฝากส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิต ต่อมาเวียนส่งโรงพยาบาลกลุ่ม A ในเขตอำเภอหาดใหญ่ และจังหวัดสงขลาให้เสร็จสิ้นครบทุกโรงพยาบาล และเวียนส่งโรงพยาบาลกลุ่ม B ในเขตจังหวัดอื่น ๆ ที่ถูกเลือกอยู่ในเส้นทางการขนส่งรอบนี้ เมื่อส่งโลหิตครบทุกโรงพยาบาลในเส้นทางเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการเวียนรถกลับมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการเวียนส่งโลหิตในรอบนั้น ๆ



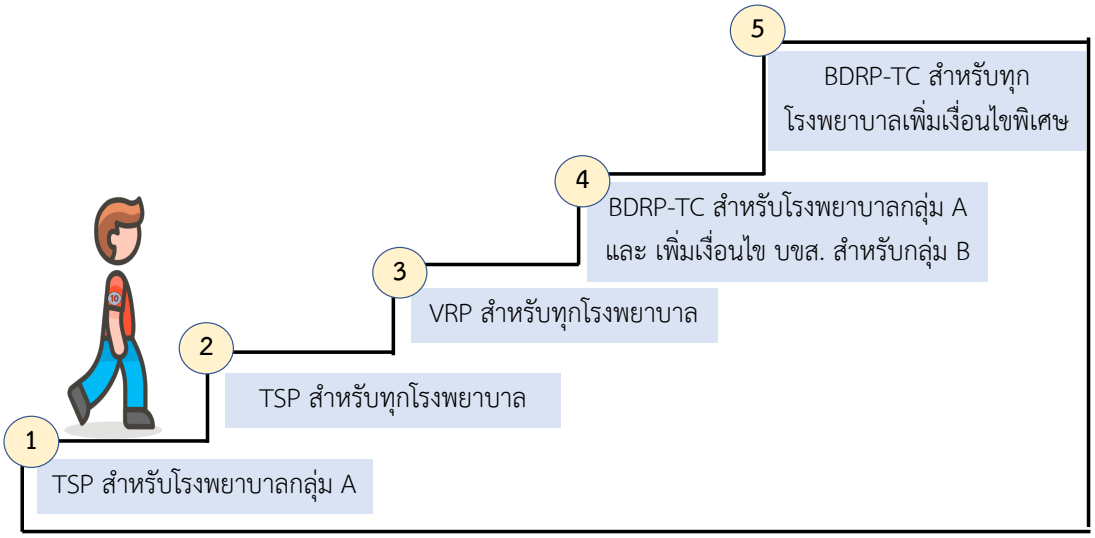
รูปที่ 31 ผังการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตแบบรายวัน

จากรูปที่ 31 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้คือ โรงพยาบาลกลุ่ม B จะถูกแยกออกเป็นสองส่วนคือ B^* และ B โดยที่โรงพยาบาลกลุ่ม B^* แทนด้วยโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ภาคบริการโลหิตทำการฝากกล่องบรรจุโลหิตและส่วนประกอบโลหิตให้บริการขนส่งสาธารณะ รับผิดชอ และโรงพยาบาลกลุ่ม B คือโรงพยาบาลที่ภาคบริการโลหิตทำการเวียนรถส่ง หรือเป็นโรงพยาบาลที่อยู่ในเส้นทางขนส่งรอบนั้น ๆ ในกรณีที่ทุกโรงพยาบาลถูกเลือกให้อยู่ในเส้นทางสำหรับขนส่งโลหิตทั้งหมด อัลกอริทึมจะตัดปลายทางสถานีขนส่งสาธารณะ (บขส.) ออกจากเส้นทาง เนื่องจากไม่มีความจำเป็นต้องใช้บริการฝากส่งกล่องโลหิต

5.5.3 แนวคิดการพัฒนาอัลกอริทึมต้นแบบสำหรับจัดส่งโลหิต

เมื่อทราบถึงรูปแบบ และเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการออกแบบการขนส่งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว งานวิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมเบื้องต้นดังหัวข้อที่ 5.2.2.2 โดยในหัวข้อนี้จะนำขั้นตอนดังกล่าวมาพัฒนาอัลกอริทึมต้นแบบสำหรับออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิต สำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 แบบรายเที่ยวนั้นคือ สามารถเปลี่ยนแปลงความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลได้ทุกครั้งที่ทำการคำนวณหาเส้นทางแต่ละรอบโดยใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกในการหาคำตอบ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติก เพื่อแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตโดยใช้ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน และนำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่นำเสนอใหม่ รวมถึงการทดลองประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นแบบทั้งในการทดลองกับข้อมูลตัวอย่างบนคอมพิวเตอร์ และทดลองระบบการขนส่งในสถานการณ์จริง

ในการศึกษาและพัฒนาต้นแบบโปรแกรมนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบจากจุดเริ่มต้นซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และไปยังปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีความเฉพาะตัวสูง การศึกษาลำดับตามนี้เพื่อให้ได้ทราบถึงข้อดี และข้อจำกัดของวิธีการแก้ปัญหาแบบต่าง ๆ ลำดับการศึกษาที่ผู้วิจัยได้วางแผนการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมโดยใช้แบบปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP), Vehicle Routing Problem (VRP) และ Vehicle Routing Problem with Time constraints (VRP-TC) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 32



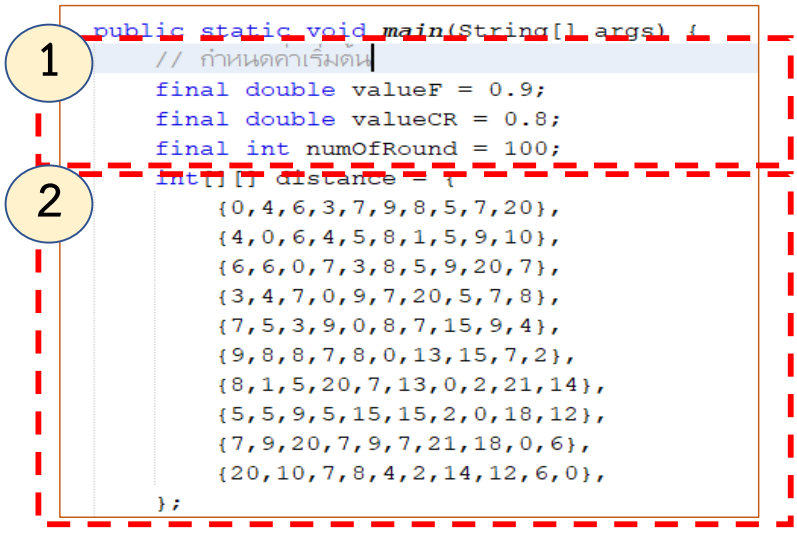
รูปที่ 32 ลำดับขั้นการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับโปรแกรมออกแบบเส้นทาง

จากรูปที่ 32 แสดงลำดับการศึกษาและพัฒนา เพื่อจะให้ได้ โปรแกรมขนส่งโลหิตที่เหมาะสมที่สุด และมีความเป็นไปได้ตามเงื่อนไขและข้อจำกัด ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 5 ลำดับ โดยทุก ๆ ลำดับทางผู้วิจัยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution : DE Algorithm) เป็นต้นแบบในการหาคำตอบทั้งสิ้น สามารถแสดงการศึกษาและพัฒนาได้ดังนี้

ลำดับที่ 1 TSP สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A

เริ่มจากการศึกษารูปแบบการขนส่งที่มีเงื่อนไขไม่ซับซ้อน และสถานที่ขนาดน้อย แต่สามารถนำไปใช้ได้จริง หนึ่งในรูปแบบการขนส่งที่เป็นที่นิยมกันสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่ไม่ซับซ้อนมาก คือ Travelling salesman problem (TSP) หรือ แบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นการขนส่งที่พิจารณา แค่เวลาหรือระยะทางเท่านั้น สามารถแสดงลำดับการทำงานได้ดังนี้

ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น โดยแบ่งเป็นสามส่วนคือ พารามิเตอร์หลัก พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณ และโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในรอบนั้น ๆ ทั้งสามส่วนได้นำมาเขียนลำดับขั้นตอนเป็นภาษาคอมพิวเตอร์จาวา แสดงได้ดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 แสดงการกำหนดค่าเริ่มต้นของอัลกอริทึม

จากรูปที่ 33 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ ส่วนของหมายเลขที่ 1 คือการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณในอัลกอริทึมนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าตามขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั่งเดิม คือกำหนดทั้งหมด สามค่าดังนี้ คือ ค่า F = 0.9, CR = 0.8, จำนวนรอบการหาคำตอบ = 100 ส่วนหมายเลขที่ 2 คือ ส่วนพารามิเตอร์หลัก คือพารามิเตอร์ที่จะไม่เปลี่ยนแปลงในการทดลองที่แตกต่างกัน ทางผู้วิจัยใช้ค่าระยะทางระหว่างสถานที่ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร โดยเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ เมื่อกำหนดค่าพรารามิเตอร์ทั้งสองค่าแล้ว ต่อมากำหนดโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตมาเข้าสู่กระบวนการหาเส้นทาง

คำตอบของอัลกอริทึมคือ เส้นทางการขนส่งโลหิต พร้อมระยะทางจากระยะทางในการขนส่งโดยที่กำหนดจุดเริ่มต้นที่ถูกกำหนดคือ 0 หรือภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังปลายทางต่าง ๆ ตามลำดับ และกลับมาที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เมื่อขนส่งครบทุกโรงพยาบาลแล้ว คำตอบที่ได้คือ เส้นทางการกระจายโลหิตที่ให้ค่าระยะทางรวมในการขนส่งที่ต่ำที่สุด จากการหาคำตอบทั้งหมด 100 รอบ การที่ส่งค่าจากรอบที่ 1 ไปยังรอบถัด ๆ ไป คือการแสดงถึงหลักการวิวัฒนาการที่

คำตอบจากรุ่นพ่อแม่ที่สุด จะถูกส่งไปยังรุ่นลูก และจะถูกส่งต่อไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนรอบที่ผู้วิจัยกำหนด หรือกล่าวได้คือ จำนวนรอบที่กำหนดคือการกำหนดรุ่นในการวิวัฒนาการ (Number of Generation)

ถึงแม้เป้าหมายในการหาเส้นทางที่ดีสุดเหมือนกับอัลกอริทึมที่จะผู้วิจัยกล่าวใน หัวข้อที่ 4.5.2 แต่เนื่องจากการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีนี้นั้น ไม่สามารถเป็นไปได้ตามเงื่อนไขการขนส่งจริง เนื่องจากไม่ได้นำความต้องการของแต่ละโรงพยาบาลมาคำนวณ ทำให้ในกรณีที่ความต้องการโลหิตเกินความจุสูงสุดของรถที่ใช้ในการขนส่ง เมื่อนำเส้นทางที่ได้จากการออกแบบในขั้นตอนวิธีนี้ อาจจะทำให้ไม่สามารถจัดส่งได้จริงในกรณีความต้องการ มากกว่า ความจุสูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ในหนึ่งรอบ

ลำดับที่ 2 TSP สำหรับทุกโรงพยาบาล

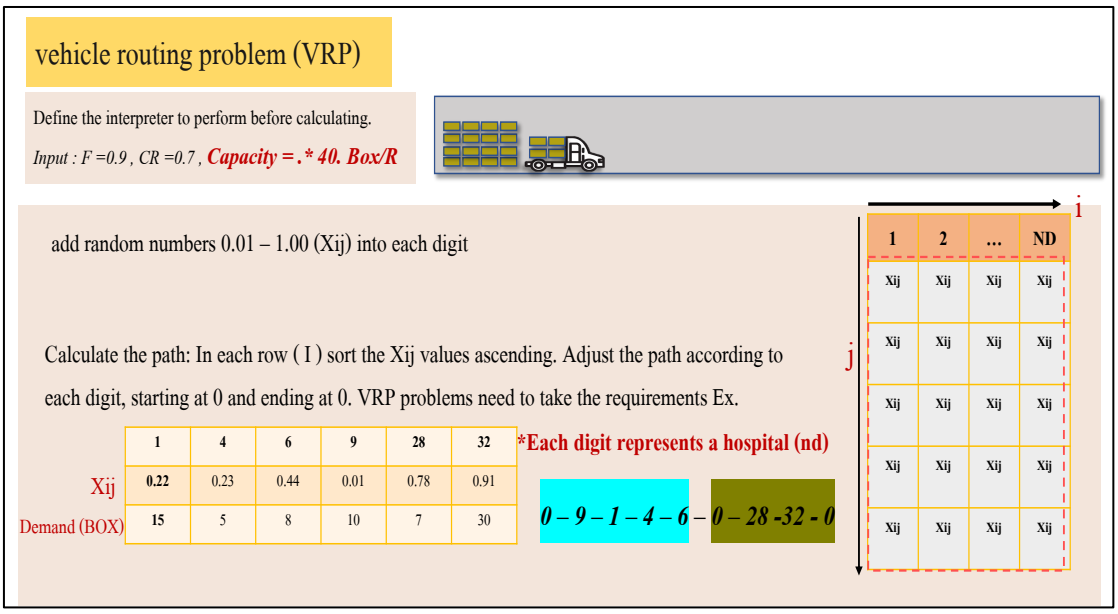
เมื่อทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดส่งสำหรับโรงพยาบาลกลุ่มเล็ก โดยใช้วิธี TSP เป็นหลักการในการออกแบบเส้นทาง ในลำดับ มีลักษณะการดำเนินงานของโปรแกรมคำนวณเส้นทางเหมือนกับ ขั้นตอนการศึกษาในลำดับที่ 1 ทุกประการ ต่างกันเพียงจำนวนโรงพยาบาลที่แตกต่างกันออกไป โดยมีการเพิ่มอาเรย์สองมิติสำหรับจัดเก็บระยะทางระหว่างสถานที่เพิ่มขึ้นเป็น 31 โรงพยาบาลครอบคลุมโรงพยาบาลที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ครบทั้ง 7 จังหวัดในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง จากการทดลองส่งครบทุกโรงพยาบาล โปรแกรมยังคงสามารถคำนวณเส้นทางโดยแสดงเป็นลำดับการเดินรถ โดยที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานขึ้น และยังสามารถหาเส้นทางตามวัตถุประสงค์การจัดสรรเส้นทาง คือ การหาระยะทางต่ำสุดในการจัดส่งโลหิตแต่ละรอบ

หลังจากทำการออกแบบและทำการทดสอบเบื้องต้น ทำให้ทราบว่าสามารถใช้งานในการคำนวณเส้นทางได้จริง แต่เมื่อทำการขนส่งในสถานการณ์จริง อาจจะไม่สามารถทำได้เนื่องจาก รถที่ใช้ในการขนส่งนั้นมีความสามารถในการบรรทุกที่ไม่สามารถบรรทุกความต้องการโลหิต ในกรณีที่โรงพยาบาลหลายโรงพยาบาลร้องขอโลหิตพร้อมกัน ในสถานการณ์จริงอาจทำให้ไม่สามารถบรรทุกโลหิตเพื่อการขนส่งได้จริง

ลำดับที่ 3 VRP สำหรับทุกโรงพยาบาล

เนื่องจากการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมออกแบบเส้นทาง ในลำดับที่ 1 และ 2 นั้นสามารถคำนวณเส้นทางสำหรับขนส่งโลหิตได้ดี แต่ไม่สามารถนำมาขนส่งได้จึงภายใต้เงื่อนไขด้านความจุ

สำหรับการขนส่งในแต่ละรอบ ทางผู้วิจัยจึงเพิ่มเงื่อนไขสำหรับการขนส่งเพิ่ม 1 เงื่อนไขคือ เงื่อนไขด้านความจุสูงสุดของรถที่สามารถบรรทุกได้ในแต่ละรอบการขนส่ง

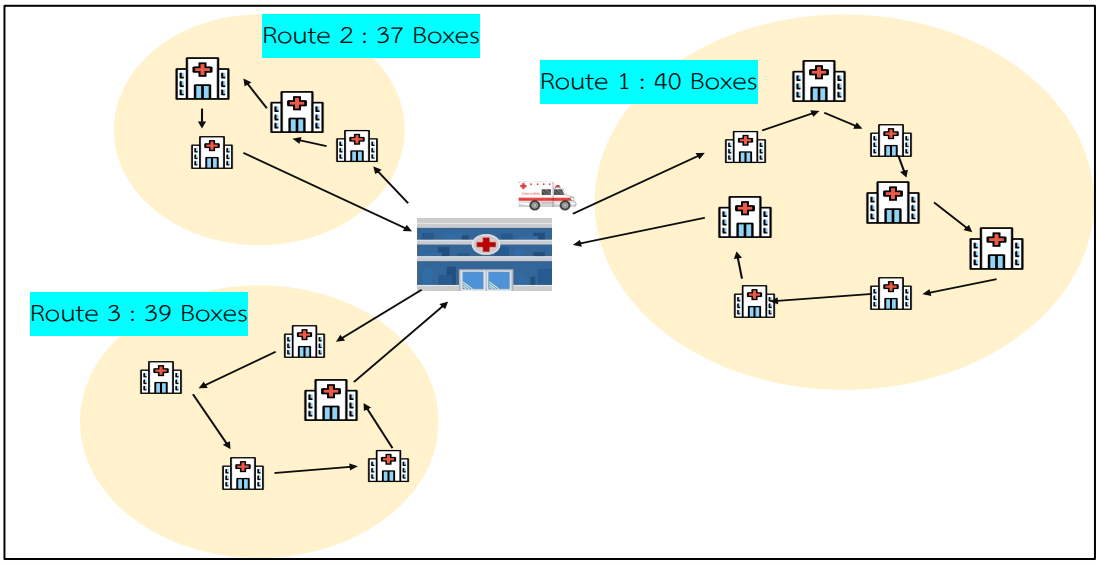


รูปที่ 34 ลำดับขั้นตอนออกแบบเส้นทางภายใต้เงื่อนไขความจุในการบรรทุก

จากรูปที่ 34 แสดงตัวอย่างการออกแบบเส้นทางกระจายโลหิตภายใต้เงื่อนไขความจุในการบรรทุก โดยการจัดเก็บค่า ความจุสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้ในแต่ละรอบ หน่วยเป็นกล่อง (Capacity = 40 Boxes / Route) และมีการเก็บความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาล โดยมีหน่วยเป็นกล่อง เพราะฉะนั้นการจะทราบถึงจำนวนกล่องบรรจุโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลนั้นจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการอนุมัติโลหิตจากผู้ที่เกี่ยวข้องก่อน จำนวนของกล่องบรรจุโลหิตซึ่งเป็นตัวแทนของความต้องการโลหิต ที่แต่ละโรงพยาบาลร้องขอ จึงนำค่าความต้องการโลหิตเข้าสู่กระบวนการคำนวณเส้นทาง ในการคำนวณเส้นทางนั้น ส่วนการสร้างเส้นทางเริ่มต้นใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกับการศึกษาและพัฒนาในลำดับก่อนหน้า และการเพิ่มการตรวจสอบความจุของแต่ละโรงพยาบาล โดยที่มีการตรวจสอบความจุในแต่ละลำดับการขนส่งโลหิต และมีเงื่อนไขคือ ความจุในแต่ละรอบนั้นห้ามเกินความจุสูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ เมื่อมีความจุเกิน โปรแกรมจะแทรกเลข 0 (ลักษณะจริงคือ กลับมาที่ต้นทางเพื่อเติมสินค้าอีกรอบ) โดยที่นับความจุใหม่ และตรวจสอบว่า

โรงพยาบาลทุกโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิต ได้รับโลหิตครบทุกโรงพยาบาลแล้วหรือไม่ หากจัดส่งครบแล้ว 0 หรือภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นอันเสร็จการขนส่งโลหิตในแต่ละรอบ

หลังจากการศึกษาและพัฒนา โปรแกรมในลำดับที่ 3 นั้นสามารถแก้ปัญหาที่ไม่สามารถขนส่งได้ในสถานการณ์จริงภายใต้เงื่อนไขความจุของรถที่ใช้บรรทุก ทำให้คำตอบที่ออกมามีระยะทางที่มากวิธีแบบ TSP เนื่องจากมีความจำเป็นต้องเวียนรถกลับมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เพื่อการเติมโลหิตเพื่อการขนส่งอีกรอบ ทำให้เส้นทางมีมากกว่า 1 เที่ยว สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูป 3



รูปที่ 35 แสดงเส้นทางการจัดส่งโลหิตภายใต้เงื่อนไขด้านความจุ

จากรูปที่ 35 แสดงให้เห็นถึงเส้นทางที่ได้จากการออกแบบภายใต้เงื่อนไขด้านความจุในการบรรทุกแต่ละรอบ เนื่องจากความต้องการโลหิตรวมของแต่ละโรงพยาบาลรวมกันนั้น เกินความจุสูงสุดที่รถสามารถรับได้ในหนึ่งรอบ จึงต้องแยกรอบการขนส่งออกไป โดยที่ยังคงคำนึงถึงระยะทางที่ต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขด้านความจุของรถที่ใช้บรรทุก ทำให้วิธีนี้เป็นวิธีที่เข้าใกล้ความเป็นจริงของการขนส่งโลหิตในปัจจุบันเพิ่มขึ้น

ลำดับที่ *4* BDRP-TC สำหรับโรงพยากลุ่ม A และเพิ่มเงื่อนไข บขส. สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม B

จากลำดับก่อนหน้าทั้งหมด ไม่ได้มีการพิจารณาเงื่อนไขสำคัญอีกหนึ่งอย่างคือ เงื่อนไขด้านเวลาการทำงานของพนักงานขับรถ ถึงแม้จะสามารถขนส่งโลหิตได้ทุก ๆ แต่เวลาที่ถูกจำกัดนั้น ไม่เกิน 8 – 9 ชั่วโมงสำหรับการขนส่งในหนึ่งวัน แต่เนื่องด้วยโรงพยาบาลกลุ่ม B นั้นอยู่ห่างไกลกันมาก ทำให้

ไม่สามารถส่งโลหิตให้ทันภายใต้เวลาที่กำหนด แต่โรงพยาบาลกลุ่ม A นั้น อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสงขลาทั้งสิ้น จำนวน 12 โรงพยาบาล ก็มากพอที่จะทำการเวียนเที่ยวรถขนส่งในกรณีที่ทุกโรงพยาบาลทีความต้องการโลหิตพร้อมกันในหนึ่งวัน แต่ไม่สามารถทำเช่นได้ในกรณีที่มีโรงพยาบาลกลุ่ม B ในเส้นทางด้วย

ผู้วิจัยจึงออกแบบเส้นทางจัดส่งโลหิตให้เฉพาะโรงพยาบาลกลุ่ม A เท่านั้น และเพิ่มสถานีก่อนเริ่มขนส่งโลหิตให้แต่ละโรงพยาบาลคือ สถานีขนส่งสาธารณะ (บขส.) เพื่อกระจายโลหิตสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีความต้องการโลหิตในวันนั้น ๆ โดยการใช้บริการขนส่งรถตู้เอกชน ที่สามารถนำโลหิตไปส่งให้แก่โรงพยาบาลนั้น ๆ เรียกขั้นตอนนี้ว่า “การฝากกล่องส่งโลหิต” เมื่อทำการฝากส่งกล่องโลหิตเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม A ตามเส้นทางต่อไป โดยในการคำนวณค่าใช้จ่ายถูกแยกออกเป็นสองส่วนหลักคือ 1.ค่าใช้จ่ายจากการเวียนเที่ยวรถส่งโลหิต แบ่งเป็นต้นทุนต่อเวลา และระยะทางที่ใช้ไปในการขนส่งแต่ละรอบ 2.ค่าบริการฝากกล่องส่งโลหิต โดยเรียกรูปแบบปัญหานี้ใหม่ว่า ปัญหาการจัดส่งโลหิต ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา โดยที่ความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ของแบบปัญหา BDRP-TC

สัญลักษณ์	ความหมาย
i	โรงพยาบาลที่ *I, i = 1, 2, ..., I*
j	โรงพยาบาลที่ *J, j = 1, 2, ..., J*
k	เส้นทางขนส่งโลหิตที่ K, k = *1, 2, ...,K*
I, J	จำนวนของโรงพยาบาล
K	จำนวนเส้นทางสำหรับขนส่งโลหิต
T	เวลาปฏิบัติงานในหนึ่งวัน
d_{ij}	ระยะทางจาก i ไป j (กิโลเมตร)
t_{ij}	เวลาจาก i ไป j (นาที)

ตารางที่ 20 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ของแบบปัญหา BDRP-TC (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
c_d	ต้นทุนต่อระยะทาง (บาทต่อกิโลเมตร)
C_t	ต้นทุนต่อเวลา (บาทต่อนาที)
q_i	ความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลที่ i (กล่อง)
a_k	จำนวนบรรทุกของเส้นทางที่ k
sp	ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (คำนวณจากข้อมูลในอดีต)
U_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบหรือป้องกันเส้นทางจัดส่งโลหิตวนรอบไม่ครบ
X_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 ถ้ารถขนส่งโลหิต k มีการเดินทางจากโรงพยาบาล *i* ไป *j* และเป็น 0 เมื่อไม่มีการเดินทาง
Y_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 เมื่อโลหิตสำหรับโรงพยาบาลที่ *i* ถูกบรรทุกในรถขนส่ง *k* และเป็น 0 เมื่อไม่มีการบรรทุกโลหิตในรถขนส่ง *k*

สำหรับตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยมีการกำหนดสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดดังต่อไปนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N}(c_d d_{ij} + c_t t_{ij})X_{ij}^k \quad (17)$$

โดยมีสมการข้อจำกัด (Constrains) ดังนี้

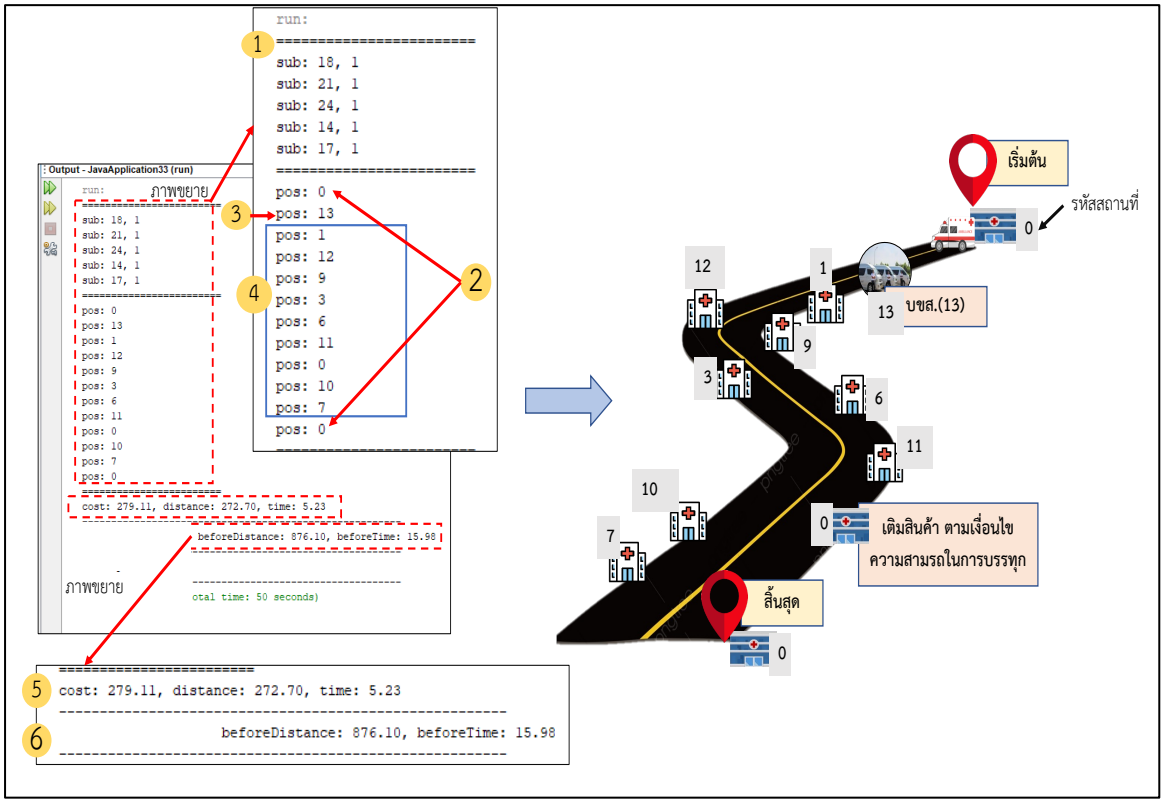
$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N} t_{ij}^k \leq T, k = 1,2,\dots,K \quad (18)$$

ข้อจำกัดของแบบปัญหา BDRP-TC มีข้อจำกัดการขนส่งที่เหมือนกับสมการที่ (6) – (16) ในหัวข้อที่ 4.5.1.2 โดยมีการเพิ่มเติมสมการที่ (17) และ (18) สามารถอธิบายได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ (17) เป็นผลรวมของต้นทุนต่อเวลาและต้นทุนต่อระยะทาง สำหรับการขนส่งโลหิตทุกเส้นทางรวมกันต่ำที่สุด

ข้อจำกัดที่ (18) เป็นเงื่อนไขด้านเวลาที่เวลารวมในการขนส่งของแต่ละเส้นทางไม่เกินเวลาการปฏิบัติงานในหนึ่งวัน

จากการพิจารณาและทำการทดลองเขียนโปรแกรมสำหรับขนส่งโลหิต โดยใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกับลำดับที่ 1 – 3 ต่างกันเพียงเงื่อนไขการพิจารณาโรงพยาบาลที่จะเลือกให้อยู่ในเส้นทาง โดยคำตอบที่ได้มาจากโปรแกรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 คำตอบที่ออกจากโปรแกรมคำนวณเส้นทางแบบ BDRP-TC สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A และเพิ่มเงื่อนไข บขส. สำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม B

จากรูปที่ 36 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

ฝั่งซ้ายของรูปคือ หน้าจอแสดงผลคำตอบของการคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิตในรอบนั้น ๆ ความหมายจำเพาะที่สามารถอธิบายเพิ่มเติมเลขที่ 1 – 6 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เลข 1 คือ รหัสโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ต้องทำการใช้บริการสถานีขนส่งสาธารณะ เพื่อทำการฝากส่งโลหิต เลขหลักแรกคือ รหัสของโรงพยาบาล หลักที่ 2 คือ จำนวนกล่องที่ต้องส่งในรอบนั้น ๆ ของแต่ละโรงพยาบาล เลขที่ 2 คือ จุดเริ่มต้น คือ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ใช้เป็นสถานีเติมโลหิตและส่วนประกอบโลหิตสำหรับการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ รวมถึงเป็น จุดสิ้นสุดของการขนส่งแต่ละรอบ เลข 3 คือ สถานีขนส่งสาธารณะซึ่งเป็นปลายทางแรกที่เริ่มขนส่ง โดยภาคบริการโลหิต ทำการฝากส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม B ตามหมายเลขที่ 1 และชำระค่าบริการเป็นเงินสดตามอัตราค่าขนส่งจริง (ไม่มีส่วนลดและการเหมาจ่าย) เลข 4 คือ ลำดับการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม A ต่าง ๆ โดยขนส่งตามลำดับจากบนลงล่าง ในกรณีที่ ความจุในการบรรทุกเกินความสามารถของรถตู้ จำเป็นต้องกลับมาที่ 0 หรือ ภาคบริการโลหิต เพื่อทำการขนถ่ายโลหิตและส่วนประกอบโลหิตเพิ่มเติม ให้แก่โรงพยาบาลที่ยังไม่ได้รับโลหิตและส่วนประกอบโลหิตตามที่ร้องขอ เมื่อขนถ่ายเสร็จสิ้น จะทำการกระจายโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม A ที่เหลือ เมื่อตรวจสอบว่าทุกโรงพยาบาลได้รับโลหิตตามที่ร้องขอครบถ้วนแล้ว เส้นทางรถจะกลับมาที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นอันจบการขนส่งโลหิตในรอบนั้น ๆ เลข 5 คือ การแสดงผล ระยะทาง (กิโลเมตร) และเวลา (ชั่วโมง) ที่ใช้ในการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตของแต่ละรอบ ที่ได้จากการออกแบบเส้นทางโดยโปรแกรมคำนวณเส้นทางกระจายโลหิต และ เลขที่ 6 คือ การแสดงผล ระยะทาง (กิโลเมตร) และเวลา (ชั่วโมง) ของรูปแบบการขนส่งโลหิตรูปแบบเดิม โดยมีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางห่วงโซ่อุปทานโลหิต

ฝั่งขวาของรูป คือ แผนผังการนำเสนอเส้นทางการขนส่งโลหิต ที่ได้จากการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตโดยโปรแกรมฯ เป็นการแสดงลำดับการเดินรถ ที่เริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 (รหัสสถานที่ 0) ปลายทางแรกคือ สถานีขนส่งสาธารณะ (รหัสสถานที่ 13) เพื่อใช้บริการขนส่งรถตู้เอกชนประจำเส้นทาง ในการขนส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิต ที่มีที่ตั้งอยู่นอกเขตจังหวัดสงขลา หรือโรงพยาบาลกลุ่ม B เมื่อทำการฝากส่งโลหิตเสร็จสิ้นแล้ว ให้เวียนส่งโลหิตตามเส้นทางในเขตจังหวัดสงขลา ในกรณีที่ไม่สามารถบรรทุกโลหิตเพียงพอกับความต้องการโลหิตของทุกโรงพยาบาลได้ ให้เวียนรถกลับมาเพื่อรับการบรรทุกโลหิตเพิ่มเติมสำหรับโรงพยาบาลที่ยังไม่รับการ

จัดสรรโลหิตตามที่ร้องขอ เมื่อเสร็จสิ้นพนักงานขับเวียนรถกลับมาที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นอันเสร็จสิ้น

จากการจัดทำโปรแกรมต้นแบบสำหรับการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตด้วยวิธีนี้ ทำให้ทราบถึงขอดีของวิธีการขนส่งแบบ BDRP-TC และการผสมผสานกับเงื่อนไขพิเศษแบบมีการว่าจ้างรถเพิ่มเติมในการขนส่ง คือ สามารถเป็นไปได้จริงสำหรับการขนส่งในสถานปัจจุบัน โรงพยาบาลกลุ่ม A มีความเป็นระบบการขนส่ง สามารถลดต้นทุนสำหรับการขนส่งของห่วงโซ่อุปทานโลหิตได้จริง ข้อจำกัดคือ การว่าจ้างพนักงานขับรถในอนาคตที่มีการนำแผนการปรับปรุงเส้นทางกระจายโลหิตนั้น มีความจำเป็นต้องมีพนักงานขับรถประจำสำหรับกระบวนการนี้ ทำให้เกิดการว่าจ้างพนักงานขับรถสำหรับการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีการร้องขอโลหิตนั้นวันนั้น ๆ โดยที่การจ้างพนักงานขับนั้นอาจจะมีการจ้างเป็นรายวัน หรือ รายเดือน โดยเวลาการทำงานนั้นอยู่ที่ 8 – 9 ชั่วโมงต่อวัน แต่การคำนวณเวลาที่ใช้ในการขนส่งโลหิต จากโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบนั้น มีความไม่คุ้มค่าด้านเวลา เนื่องจากใช้เวลาในการขนส่งไม่ครบ 8 – 9 ชั่วโมง รวมถึงอาจจะเกิดความไม่คุ้มค่าในการใช้รถ เนื่องจากในกรณีที่ในอนาคตอาจมีการอนุมัติ รถตู้สำหรับการขนส่งโลหิตโดยเฉพาะ อาจจะมีช่วงเวลาที่รถจอดมากกว่าเวลาทำงาน

ลำดับที่ 5 BDRP-TC สำหรับทุกโรงพยาบาล และเพิ่มเงื่อนไขพิเศษ

จากกาการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมในลำดับที่ 4 ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดด้านความคุ้มค่าด้านเวลาในการขนและจ้างพนักงานขับรถสำหรับการขนส่งโลหิต เนื่องจากยังคงพึ่งพาระบบขนส่งภายนอกคือสถานีขนส่งสาธารณะ และติดเงื่อนไขด้านเวลาการขนส่งที่ไม่เพียงพอต่อหนึ่งรอบ แต่เมื่อทำการตัดโรงพยาบาลกลุ่ม B ออกทั้งหมด ทำให้เกิดการใช้เวลาในการขนส่งที่ไม่คุ้มค่า ทั้งที่ยังคงมีโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ภาคบริการโลหิต ยังคงใช้บริการฝากส่งกล่องโลหิต

ผู้วิจัยจึงพิจารณาเงื่อนไขพิเศษอีกเงื่อนไขคือ เงื่อนไขเพิ่มโรงพยาบาลกลุ่ม B จำนวนหนึ่งที่มีการร้องขอโลหิตในวันนั้น ๆ เพื่อเพิ่มในเส้นทางการจัดส่งโลหิตด้วยตนเอง เพื่อเพิ่มความคุ้มค่าด้านเวลาการทำงาน และลดรายจ่ายจากการจ้างรถขนส่งสาธารณะในการฝากกล่องส่งโลหิต โดยการพิจารณาตามเวลาทำงานที่เหลืออยู่ โดยที่ให้ความสำคัญกับโรงพยาบาลกลุ่ม A เป็นอันดับแรกคือเส้นทางการขนส่งโลหิตนั้นต้องมีโรงพยาบาลกลุ่ม A ทุกโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิตในวันนั้น ๆ จนครบก่อน และต้องมีเวลาเหลือมากเพียงพอต่อการเพิ่มโรงพยาบาลกลุ่ม B บางโรงพยาบาลเข้ามาในเส้นทาง และต้องไม่เกินเวลาการทำงานที่ได้กำหนดไว้เท่านั้น โดยเมื่อเข้าครบทุกเงื่อนไข จะทำการพิจารณาเลือกโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่มีการร้องขอโลหิตในวันนั้น ๆ โดยพิจารณาถึงระยะทางที่ใกล้ที่สุด

จากโรงพยาบาลกลุ่ม A โรงพยาบาลสุดท้ายที่เสร็จสิ้นจากการเวียนรถจัดส่งโลหิต และพิจารณาโรงพยาบาลกลุ่ม B โรงพยาบาลถัด ๆ ไปที่ใกล้ที่สุดต่อไป และต้องไม่ทำให้เวลาการทำงานเกินที่กำหนด การจัดส่งจะเสร็จสิ้นเมื่อรถกลับมาที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 การจัดเส้นทางตามเงื่อนไขและขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 36 เช่นเดียวกับการขนส่งในลำดับที่ 4

จากการออกแบบโปรแกรมต้นแบบสำหรับการจัดเส้นทาง ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาในลำดับที่ 5 นั้น ตรงกับตัวเลือกการจัดส่งรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นรูปแบบการขนส่งที่คุ้มค่าด้านเวลา และทำให้ต้นทุนการขนส่งรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตนั้นลดลงได้มากที่สุด โดยทุกลำดับการศึกษาและพัฒนาในขั้นตอนนี้นั้นใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกันคือ ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) ซึ่งใช้เป็นต้นแบบในการเขียนเงื่อนไขสำหรับการหาคำตอบ และเป็นการทวนสอบเบื้องต้นว่า เมื่อมีการจัดเส้นทางขนส่งโลหิต สามารถทำให้ระยะทาง และเวลารวมในการขนส่งโลหิตลดลงได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกที่นำเสนอใหม่ มาใช้ในการช่วยหาคำตอบ

4.6 การพัฒนาอัลกอริทึมใหม่สำหรับการหาเส้นทางจัดส่งโลหิต

จากหัวข้อ 4.5.2.3 ลำดับการศึกษาและพัฒนาต้นแบบอัลกอริทึมทุกลำดับ (ลำดับที่ 1 -5) นั้นใช้ขั้นตอนวิธีเดียวกันในการหาเส้นทางสำหรับขนส่งโลหิต งานวิจัยนี้จึงพัฒนาขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานรูปแบบใหม่ สำหรับการคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิตโดยภายใต้รูปแบบปัญหาเดียวกัน (BDRP-TC) โดยการต่อยอดขั้นตอนวิธีแบบดั่งเดิมที่ยังคงใช้ข้อดีไว้ แต่มีการเพิ่มเติมลำดับวิธีการคำนวณเพิ่มเติมจากเดิม โดยหนึ่งขั้นตอนวิธีที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือ การค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (New Local Search: NLS) ซึ่งผู้วิจัยประยุกต์ขั้นตอนวิธีต่าง ๆ มาผสมผสานกัน เพื่อได้ขั้นตอนวิธีใหม่ ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานจำนวน 2 วิธี เพื่อแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตคือ (1) ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Differential Evolution with New Local Search: DENLS) และ (2) ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสาน ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Hybrid Firefly with New Local Search: HFA+NLS) โดยแบ่งพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ (1) พิจารณาการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต เฉพาะโรงพยาบาลกลุ่ม A และ (2) พิจารณาการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต สำหรับโรงพยาบาลกลุ่มA และโรงพยาบาลกลุ่ม B ทั้ง 2 ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้รูปแบบผสมผสาน โดยเพิ่มเติมการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ใหม่ชุดเดียวกัน สำหรับวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (NLS) ผู้วิจัยได้นำหลัก

แนวคิดในการพัฒนามาจาก (วนัฐฌพงษ์, &ศิวศิษย์. 2564) และ (กนกกาญจน์, &ระพีพันธ์. 2556) จำนวน 5 รูปแบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 37

รูปที่ 37 ขั้นตอนวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่

จากรูปที่ 37 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้ วิธีการค้นหาแบบเฉพาะที่เป็นการ การปรับเปลี่ยนตำแหน่ง หรือลำดับการจัดส่งในเส้นทางเดินรถโดยไม่ต้องมีการปรับปรุงค่าสุ่มข้างใน แต่เป็นการแลกค่าสุ่มระหว่างกัน เพื่อเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อมีการเรียงเลขจากมากไปน้อย หรือน้อยไปมาก แล้วได้เส้นทางสำหรับขนส่งโลหิตใหม่ทั้งหมด 5 วิธีคือ การแลกเปลี่ยน (Swap), การแทรก (Insert), การพลิกกลับด้าน (Reverse), การค้นหาแบบเดินสุ่ม (Random Walk), และการนำค่าเฉลี่ยเลขสุ่มของเส้นทางที่มีค่าระยะทางดีที่สุดมาแทรกกลางเส้นทาง โดยดำเนินการไปพร้อมกันทุก ๆ วิธี สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

(i) การแลกเปลี่ยน (Swap) คือ การแลกเปลี่ยนค่าสุ่มระหว่าง ตำแหน่งสองตำแหน่งในเส้นทาง โดยการแลกเปลี่ยนนั้น เกิดขึ้นแบบสุ่ม กำหนดเงื่อนไขคือ สร้างเลขสุ่มพิเศษขึ้นมา 2 ตัวโดยที่ทั้งสองเลข ไม่ซ้ำกัน และเป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าเท่ากับสอง* แต่ไม่เกินจำนวนของโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิตในวันนั้น ๆ โดยเลขที่สุ่ม

มาแทนด้วย ตำแหน่งบนเส้นทางของการขนส่งโลหิตรอบนั้น ๆ เมื่อทำการตรวจสอบตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว การคำนวณจะทำการแลกเปลี่ยนเลขสุ่มของสองตำแหน่งนั้น และจัดเรียงเส้นทางใหม่ พร้อมกับ คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ให้กับทุกเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลง (* กรณีที่ต้องมากกว่าเท่ากับสอง เนื่องจากในเส้นทางนั้น ตำแหน่งที่ 1 จะยังคงเป็นภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เสมอ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้)

(ii) การแทรก (Insert) คือ การแทรกเลขสุ่มของเส้นทางสุ่มของเส้นทางอื่นไปที่ตำแหน่งใด ๆ ของเส้นทาง และทำการเรียงค่าเลขสุ่มใหม่

(iii) การพลิกกลับด้าน (Reverse) คือ การพลิกกลับเส้นทางจากการเรียงเลขสุ่มจากมากไปน้อย หรือจากน้อยไปมาก ให้เป็นรูปแบบการสร้างเส้นทางจากเลขสุ่มที่ตรงข้ามจากเดิม

(iv) การค้นหาแบบเดินสุ่ม (Random Walk) คือ ขั้นตอนการแทนแลกเปลี่ยนเลขสุ่ม 1 ตัวไปแทนในตำแหน่งการขนส่งใด ๆ เป็นขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก การเลขสุ่มของตำแหน่งใด ๆ ไปแทนที่ตำแหน่งที่ได้จากการสุ่มอีก ทำให้ได้เส้นทางใหม่

(v) การนำค่าเฉลี่ยเลขสุ่มของเส้นทางที่มีค่าระยะทางดีที่สุดมาแทรกกลางเส้นทาง ขั้นตอนนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยภายใต้เงื่อนไขพิเศษคือ ค่าเลขสุ่มที่ทำให้เส้นทางที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีที่สุด จะเป็นเส้นทางแม่แบบให้กับ เส้นทางอื่น ๆ เริ่มจากการเก็บค่าเส้นทางที่ดีสุด 1 เส้น ต่อมา นำผลรวมของเลขสุ่มทั้งหมดในเส้นทางนั้นมาหารด้วยจำนวนโรงพยาบาลที่มีการร้องขอโลหิตในวันนั้น ๆ หรือกล่าวคือขั้นตอนนี้เป็นการหาค่าเฉลี่ยเลขสุ่ม จากเส้นทางที่ดีที่สุด เมื่อได้ค่าเฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว นำค่านี้ ไปแทนที่ ตรงกลางของเส้นทางอื่น ๆ โดยการแทนที่ตรงกลางของเส้นทางนั้น ๆ

ขั้นตอนการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ทั้ง 5 รูปแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 38

Procedure New Local Search (NLS)
Begin x_i represents the space coordinates of the firefly i to be enhanced. Apply the LRV rule to decode the space coordinates of firefly member i (x_i) to represent as the group of routes. Evaluate the objective function $f(x_i)$. *for* $k = 1$ to $n \times (n - 1)$ $h = 1$; *while* $h \leq 5$ *If* $h = 1$ Randomly select two different positions of space coordinates u and v of the firefly i; Execute swap operation for the firefly member i (x_i), and obtain the new firefly member i (x_{i_new}); *Elseif* $h = 2$ Randomly select two different positions of space coordinates u and v of the firefly i; Execute insert operation for the firefly member i (x_i), and obtain the new firefly member i (x_{i_new}); *Elseif* $h = 3$ Execute reverse operation for the firefly member i (x_i), and obtain the new firefly member i (x_{i_new}); *Elseif* $h = 4$ Execute random walk operation for the firefly member i (x_i), and obtain the new firefly member i (x_{i_new}); *Elseif* $h = 5$ Insert the average of the value of best firefly operation for the firefly member i (x_i), and obtain the new firefly member i (x_{i_new}); *End if*. Apply the LRV rule to decode the space coordinates of new firefly member i (x_{i_new}) to represent as the group of routes. Evaluate the objective function $f(x_{i_new})$. *If* $(f(x_{i_new}) - f(x_i) \leq 0)$ $x_i = x_{i_new}$; $f(x_i) = f(x_{i_new})$ *Continue* *Else* $h = h + 1$; *End if*. *End while*. *End for*. *End*.

รูปที่ 38 รหัสเทียมการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่

4.6.1 วิธีการเมตาฮิวริสติกผสมผสานแบบใหม่ที่นำเสนอ

4.6.1.1 ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (*Differential Evolution with New Local Search: DENLS)*

ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธี DENLS สำหรับการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธี DENLS สำหรับการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างคือ ค่า F, CR, NP และจำนวนรอบสำหรับการหาคำตอบ โดยที่สามารถเปลี่ยนแปลงความต้องการโลหิตให้เป็นไปตามความเป็นจริงได้ทุกเมื่อที่เริ่มการรันรอบใหม่

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเส้นทางขนส่งเริ่มต้น เป็นการสร้างประชากรชุดแรกเพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาเส้นทางสำหรับรุ่นถัด ๆ ไป โดยการสร้างประชากรเริ่มต้นจะเป็นรูปแบบเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 5.2.2 โดยการสุ่มค่าเลขสุ่มจากการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution) ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าวัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้ค่าวัตถุประสงค์คือ ต้นทุนสำหรับการขนส่งรวมทุกเส้นทางต่ำที่สุด ดังสมการที่ (17) ในหัวข้อ 5.5.2.3 โดยที่ต้นทุนการขนส่งของแต่ละเส้นทางจะบอกถึงคุณภาพของการหาคำตอบที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้ ตามจำนวนรอบของการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) ขั้นตอนนี้แสดงใน หัวข้อที่ 5.5.2.2

ขั้นตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) เป็นการสร้างไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector) ขั้นตอนนี้แสดงใน หัวข้อที่ 5.5.2.2

ขั้นตอนที่ 6 ส่งคำตอบทุกคำตอบจากขั้นตอนก่อนหน้าเข้าสู่การค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ ทั้ง 5 รูปแบบ ที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 5.6

ขั้นตอนที่ 7 ส่งคืนคำตอบที่ดีที่สุด (จำนวน NP คำตอบ) เข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 – 6 ใหม่ จนครบตามจำนวนรอบการหาคำตอบ (รอบการรัน) ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อครบตามจำนวนรอบการหาคำตอบที่ได้กำหนดไว้ จะหยุดการหาคำตอบ และแสดงคำตอบที่ดีสุด 1 คำตอบ

จากขั้นตอนที่ 1 – 7 สามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 39

ALGORITHM: DENLS

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 $X_{1,g}, X_{2,g}, \ldots, X_{10,g}$ from the current population randomly.

MUTATION From the donor vector using Eq. (3)

RECOMBINATION The trial vector $U_{i,g}$ 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:

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

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

EVALUATE AND SELECTION if $f(U_{i,g}) \leq f(X_{i,g})$ 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 39 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DENLS

4.6.1.2 ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสาน ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Hybrid Firefly with New Local Search: HFA+NLS)

ขั้นตอนขั้นตอนวิธีเป็นการผสมผสานระหว่างขั้นตอนวิธี FA ในหัวข้อที่ 5.2.3 และขั้นตอนวิธี DE (เฉพาะขั้นตอน Mutation) ในหัวข้อที่ 5.2.2 การทำงานของขั้นตอนวิธี HFA+NLS สำหรับการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างคือ ค่า α, γ, CR, NP และจำนวนรอบสำหรับการหาคำตอบ โดยที่สามารถเปลี่ยนแปลงความต้องการโลหิตให้เป็นไปตามความเป็นจริงได้ทุกเมื่อที่เริ่มการรันรอบใหม่

ขั้นตอนที่ 2 สร้างประชากรหิ่งห้อยเริ่มต้น (หิ่งห้อย 1 ตัว เป็นตัวแทนของคำตอบ 1 คำตอบ) ขั้นตอนนี้แสดงในหัวข้อที่ 5.2.3

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณความเข้มแสง β ของหิ่งห้อยทุกตัว ในการแก้ปัญหารูปแบบ BDRP-TC นั้น หิ่งห้อยที่จะมีแสงสว่างสูงที่สุดคือ หิ่งห้อยที่มีต้นทุนรวมสำหรับการขนส่งโลหิตต่ำที่สุด และจะเป็นหิ่งห้อยที่มีค่าความน่าดึงดูดสูงที่สุดเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 4 จับคู่หิ่งห้อยสำหรับการพัฒนาคำตอบและพัฒนาคำตอบ ดังแสดงในรูปที่ 17 หัวข้อที่ 5.2.3 โดยใช้สมการที่ (19)

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}\left(x_j - x_i\right) + \alpha\left(rand - 0.5\right) \qquad (19)$$

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการพัฒนาคำตอบของขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยเรียบร้อยแล้ว นำคำตอบเข้าสู่กระบวนการ การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) ขั้นตอนนี้แสดงใน หัวข้อที่ 5.5.2.2

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าความเข้มแสงใหม่ (Updating the light intensity)

ขั้นตอนที่ 7 ส่งคำตอบทุกคำตอบจากขั้นตอนก่อนหน้าเข้าสู่การค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ ทั้ง 5 รูปแบบ ที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 5.6

ขั้นตอนที่ 8 เรียงลำดับความเข้มแสงของหิ่งห้อยแต่ละตัว โดยที่หิ่งห้อยที่มีความเข้มแสงสูงที่สุดจะอยู่ลำดับที่ 1 และคัดเลือกหิ่งห้อยที่มีคำตอบดีที่สุดจำนวน NP คำตอบไปขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 9 ส่งคืนคำตอบที่ดีที่สุด เข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 – 8 ใหม่ จนครบตามจำนวนรอบการหาคำตอบ (รอบการรัน) ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อครบตามจำนวนรอบการหาคำตอบที่ได้กำหนดไว้ จะหยุดการหาคำตอบ และแสดงคำตอบที่ดีสุด 1 คำตอบ (เส้นทางการขนส่งโลหิตที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด)

จากขั้นตอนที่ 1 – 9 สามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 40

ALGORITHM: HFA+NLS

Initialization:
Set the FA parameters: light absorption coefficient (γ), number of population (*NP*), maximum number of generations (*MaxGen*)
Randomly generate the initial population of fireflies x_i (i = 1, ..., *NP*).
Apply the LRV rule to decode the space coordinates of firefly member i (x_i) to represent as the group of routes.
Assume that $f(x_i)$ is the objective function.
Light intensity l_i at x_i is determined by $f(x_i)$.
Define light absorption coefficient γ.
while (t < *MaxGen*) do
for i = 1 to *NP* (all *NP* fireflies) do
for j = 1 to *NP* (all *NP* fireflies, inner loop) do
    If ($l_j > l_i$) then
        Move firefly i towards j in n-dimension using Eq. (16);
    End
Vary Attractiveness with distance r via $exp(-\gamma r^2)$
Apply the crossover operator of DE.
Evaluate new solutions and update light intensity.
End for *j*
End for *i*
Apply the new local search operation based on five neighbourhood structures.
Rank the fireflies and find the current best.
End while
Postprocess results and visualization

รูปที่ 40 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี HFA+NLS

4.6.1.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับทุกอัลกอริทึม ทั้งขั้นตอนขั้นตอนวิธีดังเดิมในหัวข้อที่ 5.2 และขั้นตอนวิธีที่งานวิจัยนี้นำเสนอในหัวข้อที่ 5.6.1.1 และ 5.6.1.2 โดยมีขั้นตอนวิธีสำหรับทดสอบประสิทธิภาพในหาคำตอบดังนี้

1. ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (DENLS)
2. ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสาน ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (HFA+NLS)
3. ขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) (กนกกาญจน์, 2556)
4. ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อย (FA) (วนัฐณพงษ์, &ศิวศิษย์. 2564)
5. Simulated Annealing (SA) (Titi, 2016)
6. Hybrid Cuckoo Search Algorithm (HCS) (คณน, 2562)

ค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 6 ลำดับผู้วิจัยใช้ค่าตามต้นแบบที่ได้อ้างอิงในหัวข้อที่ 5.2 และในส่วนของขั้นตอนวิธีแบบใหม่ที่นำเสอน (ลำดับที่ 1 และ 2) เป็นการประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์จากต้นแบบของอัลกอริทึมดั่งเดิมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ขั้นตอนวิธี					
	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
อัตราการดูดซับแสง (α)	-	1	-	1	-	-
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับแสง (γ)	-	0.5	-	0.5	-	-
อัตราการเปลี่ยนแปลงมิวแทนต์เวกเตอร์ (F)	0.9	-	0.9	-	-	-
อัตราการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (CR)	0.7	0.7	0.7	-	-	-
อุณหภูมิเริ่มต้น (T_0)	-	-	-	-	150	-
อุณหภูมิสุดท้าย (T_{final})	-	-	-	-	0.001	-
อัตราการเย็นตัว (β)	-	-	-	-	0.99	-
Lévy flight (λ)	-	-	-	-	-	3
อัตราการทิ้งรัง (P_a)	-	-	-	-	-	0.45
จำนวนประชากรเริ่มต้น (NP)	100	100	100	100	100	100
จำนวนรอบการหาคำตอบ (Number of Run)	100	100	100	100	-	100

4.6.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของแต่ละขั้นตอนวิธี ทั้งขั้นตอนวิธีแบบดั่งเดิมและขั้นตอนวิธีผสมผสานแบบใหม่ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยการทดสอบกับปัญหาเดียวกันจำนวน 2 กรณี คือ (1) พิจารณาการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต เฉพาะโรงพยาบาลกลุ่มA และ (2) พิจารณาการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต สำหรับโรงพยาบาลกลุ่มA และโรงพยาบาลกลุ่มB ซึ่งแต่ละกรณีเป็นชุดข้อมูลความต้องการโลหิต สมมติ และข้อมูลกรณีศึกษา ในการทดลองผู้วิจัยได้เขียนชุดคำสั่ง

(Code) ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์จาวา (Java) บนโปรแกรม NetBeans IDE 8.2 RC และทำการทดลองบนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันที่มีระบบปฏิบัติการ Intel Core i5-1135G7 2.40GHz, Ram 8 GB, 64-bit

5.6.2.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลกรณีที่ 1

การทดลองในหัวข้อนี้คือ การทดลองหาเส้นทางขนส่งโลหิตสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A (โรงพยาบาลในพื้นที่จังหวัดสงขลา) ภายใต้รูปแบบปัญหา BDRP-TC เพื่อเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากแต่ละอัลกอริทึม โดยการทดลองกับชุดปัญหาเดียวกันอย่างละ 5 ซ้ำสำหรับทุกอัลกอริทึม

วัตถุประสงค์ในการทดลองคือ การศึกษาผลที่ได้จากการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม ได้แก่ ระยะทาง, เวลา และต้นทุนรวมในการขนส่ง รวมไปถึงพิจารณาเวลาที่ใช้สำหรับการหาคำตอบ และพฤติกรรมการพัฒนาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้นการแสดงผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบต้นทุน เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบ คือการหาต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา ดังสมการที่ (17) และ (18) โดยการทดลองแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ดังนี้

การทดลองที่1 เป็นการทดลองกับชุดข้อมูลสมมติ ผู้วิจัยจำลองความต้องการโลหิตให้แก่โรงพยาบาลประจำอำเภอในจังหวัดสงขลา และเพิ่มเติมโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล รวมกัน 51 แห่ง โดยการแบ่งขนาดออกเป็น 2 ขนาดปัญหา คือ S และ M ขนาดปัญหาละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 6 ชุดข้อมูล

การทดลองที่2 ทดลองกับชุดข้อมูลกรณีศึกษา คือชุดข้อมูลความต้องการโลหิตจริงของโรงพยาบาล 12 แห่ง ในจังหวัดสงขลาที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในหัวข้อที่ 5.3.3 โดยใช้ข้อมูลของเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2564 จำนวน 10 ชุดข้อมูล

การทดลองที่3 การทดลองศึกษาพฤติกรรมการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม (Behavior Plot) โดยการใช้ข้อมูลสมมติ 1 ชุดข้อมูล ที่มีจำนวนโรงพยาบาล 21 แห่ง และกำหนดจำนวนรอบการหาคำตอบที่ 100 รอบ

ผลการทดลองทั้ง 3 การทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 22 – 26 และรูปที่ 41 โดยที่ตัวเลขหนาในตารางคือ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 22 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1

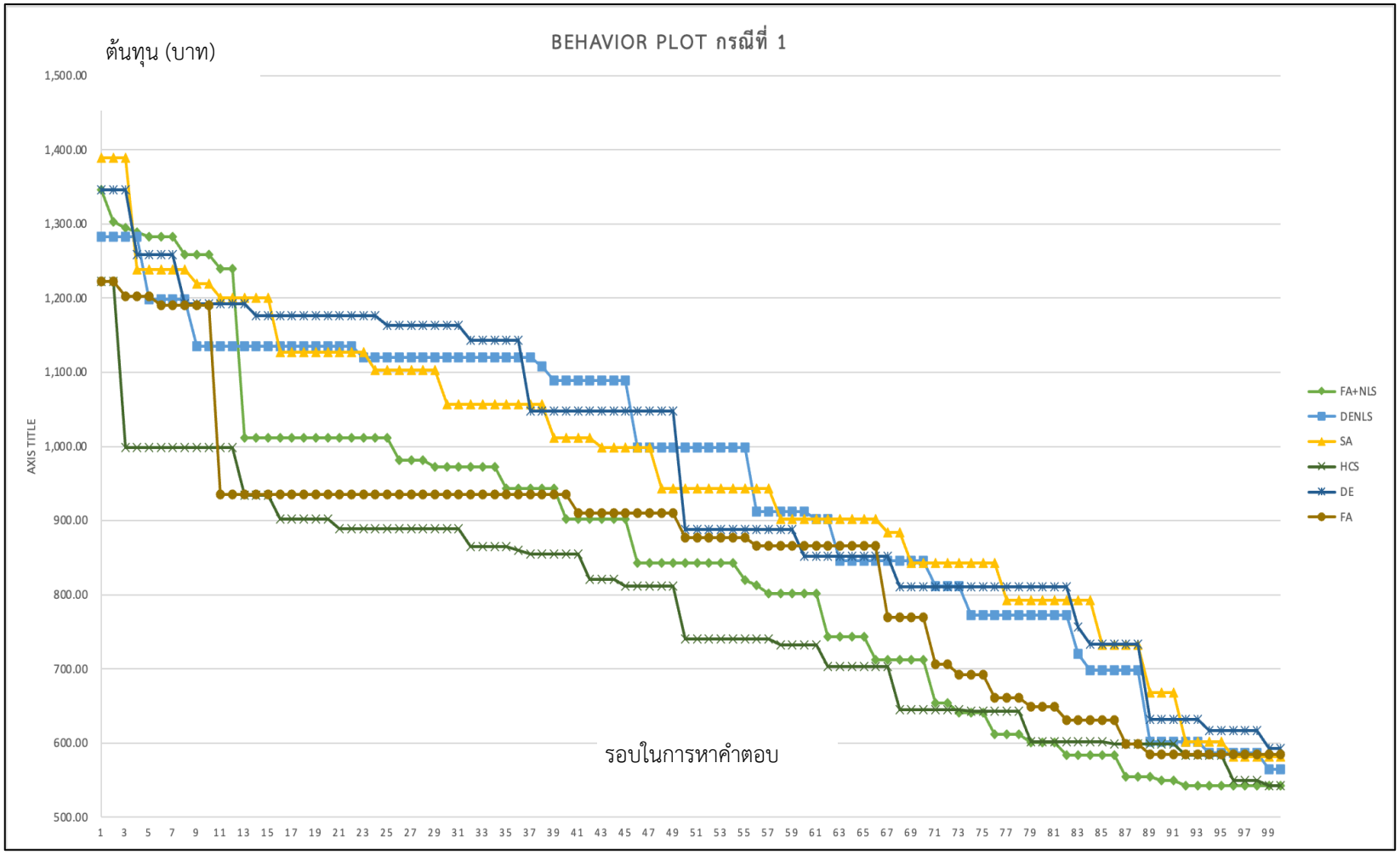
ชุดปัญหา	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
S1	5	1,636.22	**727.98**	**727.98**	874.8	828	953.15	953.15
S2	7	1,735.35	**953.15**	**953.15**	1,015.2	979.2	1,038.63	**953.15**
S3	10	3246.194	1,364.46	**1,329.23**	1,382.4	1,425.6	1,522.91	**1,329.23**
M1	40	11,891.48	2,688.04	**2,622.44**	2,887.2	2,923.2	3,019.35	2,652.26
M2	46	13,515.95	**3324.74**	3,334.57	3,402	3,333.6	3470.08	3,381.61
M3	52	15,238.32	4,314.94	**4,122.54**	4,640.4	4,312.8	4488.76	4208.17
รวม	160.00	47,263.51	13,373.31	**13,089.91**	14,202.00	13,802.40	14,492.88	13,477.57
เฉลี่ย	26.67	7,877.25	2,228.89	**2,181.65**	2,367.00	2,300.40	2,415.48	2,246.26

ตารางที่ 23 เวลาในการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึมของการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1

ชุดปัญหา	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
		เวลา (วินาที)	เวลา (วินาที)	เวลา (วินาที)	เวลา (วินาที)	เวลา (วินาที)	เวลา (วินาที)
S1	5	1.064	0.841	0.763	0.775	**0.565**	2.098
S2	7	1.517	1.221	1.210	1.012	**1.124**	2.578
S3	10	2.074	2.28	1.826	1.930	**1.3536**	2.91
M1	40	43.728	44.296	36.447	29.452	**24.868**	50.32
M2	46	65.93	61.53	57.463	58.402	**47.184**	70.614
M3	52	70.248	67.806	58.162	60.152	**47.072**	78.316

ตารางที่ 24 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 2 กรณีที่ 1

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน(บาท)	ต้นทุน(บาท)	ต้นทุน(บาท)	ต้นทุน(บาท)	ต้นทุน(บาท)	ต้นทุน(บาท)
1	4	750.24	418.00	418.00	418.00	418.00	418.00	418.00
2	4	620.18	360.00	360.00	360.00	360.00	360.00	360.00
3	6	906.79	570.00	570.00	612.33	598.42	596.00	570.00
4	3	488.87	602.00	602.00	602.00	602.00	602.00	602.00
5	3	337.15	270.40	270.40	270.40	270.40	270.40	270.40
6	4	410.38	317.00	317.00	317.00	317.00	317.00	317.00
7	3	338.16	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00	262.00
8	5	724.26	573.00	573.00	591.30	582.14	599.32	573.00
9	5	1416.71	714.00	714.00	728.41	744.70	754.94	742.16



รูปที่ 41 ผลการทดลองที่ 3 (Behavior Plot) กรณีที่ 1

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในกรณีที่ 1 เป็นการทดลองที่มุ่งเน้นไปที่ การทดสอบว่าอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการหาเส้นทางการขนส่งโลหิตที่เทียบเท่าหรือดีกว่า อัลกอริทึมดั่งเดิมและอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตในอดีต โดยผลการทดลองในการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตกรณีที่ 1 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ผลจากตารางที่ 22 โดยการแบ่งขนาดปัญหาสำหรับการทดลองตามความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลต่าง ๆ เป็น 6 ชุดปัญหา ผลคืออัลกอริทึมทั้ง 6 รูปแบบสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ทุกรูปแบบเมื่อเทียบกับต้นทุนการขนส่งในรูปแบบปัจจุบัน โดยที่ 2 อัลกอริทึมจากขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานที่งานวิจัยนี้นำเสนอ สามารถลดต้นทุนได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ อีก 3 วิธีที่เป็นขั้นตอนวิธีแบบดังเดิม (SA, DE และFA) อย่างเห็นได้ชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาขั้นตอนวิธี HCS ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนามาแล้ว จะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกับสองวิธีที่งานวิจัยนี้นำเสนอ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบสถิติด้วยวิธีทดสอบ *t* แบบจับคู่ (Paired-Sample *t*-Test) ซึ่งข้อมูลต้นทุนได้มาจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจากประชากรระยะทางของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างเท่าเทียมกันและเป็นอิสระต่อกัน การทดสอบนี้ใช้ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และจากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 P-values เปรียบเทียบต้นทุนการทดลองที่ 1 กรณีที่ 1

คู่ที่	วิธีการที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่า P-value	อ่านผล*
1	DENLS vs. HCS	0.5003	ไม่แตกต่าง
2	DENLS vs. HFA+NLS	0.1076	ไม่แตกต่าง
3	HFA+NLS vs. HCS	0.0891	ไม่แตกต่าง
4	DENLS vs. SA	0.0385	แตกต่าง
5	DENLS vs. DE	0.0458	แตกต่าง
6	DENLS vs. FA	0.0602	ไม่แตกต่าง
7	HFA+NLS vs. SA	0.0398	แตกต่าง
8	HFA+NLS vs. DE	0.0498	ตกต่าง
9	HFA+NLS vs. FA	0.0494	แตกต่าง

* ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

จากตารางที่ 25 สามารถอธิบายได้ว่า ระหว่างคู่การทดสอบที่ 1, 2, 3 และ 6 ไม่แตกต่างกัน และ ระหว่างคู่ที่ 4, 5, 7, 8 และ 9 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีแบบผสมผสานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถทำค่าคำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนแบบดั่งเดิม (SA, DE และFA) ทุกขั้นตอนยกเว้ยคู่การเปรียบเทียบที่ 6 (DENLS vs. FA)

เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบ ภายใต้เงื่อนไขและชุดปัญหาเดียวกับ ของแต่ละอัลกอริทึมดังแสดงในตารางที่ 23 ทำให้เห็นว่าขั้นตอนวิธี SA ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีดังกล่าว นั้นมีอัตราการลดต้นทุนที่ต่ำที่สุด และเมื่อวิเคราะห์แนวทางในการนำอัลกอริทึมต่าง ๆ เป็นแนวทางการใช้งานจริงในอนาคต เวลาของทุกขั้นตอนวิธีมีความสมเหตุสมผลไม่มาเกินไปส่งผลกระทบต่อการทำงานของพนักงานประจำห้องเบิกจ่ายโลหิต

การทดลองที่ 2 เป็นการนำความต้องการโลหิตจริงในอดีตนำเข้าสู่กระบวนการหาคำตอบจำนวนทั้งสิ้น 10 ชุดข้อมูล ทำให้เห็นว่าทุกขั้นตอนวิธีสามารถออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตที่มีต้นทุนต่ำกว่ารูปแบบการขนส่งในปัจจุบันทุกอัลกอริทึม และทุกอัลกอริทึมให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกันทั้งสิ้น เนื่องจากทั้ง 10 ชุดปัญหาเป็นตัวอย่างจริงที่มีโรงพยาบาลที่ต้องการโลหิตในแต่ละวันค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 1 ส่งผลพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้น้อยกว่าการทดลองที่ 1 แต่ละอัลกอริทึมจึงมีโอกาสที่จะเจอคำตอบที่ดีที่สุดได้ง่ายกว่า

การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาพฤติกรรมการหาคำตอบ หรือการลู่เข้า สามารถทำให้เห็นว่าทุกขั้นตอนเมื่อเจอคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันจะส่งคำตอบดังกล่าวไปรอบถัดไป และจะเห็นได้ว่าจำนวนรอบการหาคำตอบ 100 รอบอาจจะยังไม่ใช้คำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ เนื่องความชันของการพัฒนาคำตอบยังไม่เป็น 0 ใน 10 รอบสุดท้าย ผู้วิจัยจึงเชื่อว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรวบการหาคำตอบสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าเดิมได้

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการพัฒนาคำตอบถึงแม้ว่าทั้ง 2 อัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการสร้างประชากรเริ่มต้น (รอบที่1) เนื่องจากเป็นการสร้างคำตอบแบบสุ่ม แต่เมื่อพิจารณาช่วงหลังจากรอบที่ 79 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธี HFA+NLS มีคำตอบที่ดีที่สุดจนถึงรอบที่ 100

4.6.2.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลกรณีที่ 2

กรณีนี้เป็นการทดลองที่ออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม A และ B ซึ่งเงื่อนไขในการหาคำตอบใกล้เคียงกับ รูปแบบการขนส่งโลหิตในปัจจุบันของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 มากที่สุด คือในหนึ่งชุดปัญหา (1วัน) สามารถมีทั้งความต้องการโลหิตของทั้งโรงพยาบาลกลุ่ม A และ B ทำให้มีการเปรียบเทียบต้นทุนที่แตกต่างจากกรณีที่ 1 ที่เพียงแค่คำนวณต้นทุนจากเที่ยวรถการขนส่งเท่านั้นเนื่องจากพิจารณาเพียงโรงพยาบาลกลุ่ม A โดยในกรณีที่ 2 เป็นการเป็นการขนส่งที่มีการใช้บริการขนส่งสาธารณะ (บขส.) โดยใช้เงื่อนไขของการหาคำตอบจากในหัวข้อที่ 5.5.3 ลำดับที่ 5 การทดลองจึงมุ่งเน้นไปที่การทดสอบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ทั้ง 2 อัลกอริทึม นั้นสามารถแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีเพียงใด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อทดสอบความสามารถในการหาคำตอบจากรูปแบบการขนส่งจริงที่ใช้ชุดข้อมูลความต้องการโลหิตจริงที่มีทั้งโรงพยาบาลกลุ่ม A และ B เข้ามาพิจารณาโดยใช้ข้อมูลความต้องการโลหิตจริงในเดือนกันยายน พ.ศ.2564 ดังตารางที่ 26

การทดลองที่ 2 การทดลองศึกษาพฤติกรรมการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม (Behavior Plot) โดยการใช้ข้อมูลสมมติ 1 ชุดข้อมูล ที่มีจำนวนโรงพยาบาล 31 แห่ง (จำนวนโรงพยาบาลมากที่สุด ที่เป็นไปได้) โดยกำหนดจำนวนรอบการหาคำตอบที่ 100 รอบ

ตารางที่ 26 ข้อมูลความต้องการโลหิตจริงของเดือนกันยายน พ.ศ.2564

วันที่	จำนวนโรงพยาบาลที่ร้องขอ		รหัสสถานที่*	
	กลุ่มA	กลุ่ม B	กลุ่ม A	กลุ่ม B
1 กันยายน	4	1	5, 9, 10, 12	14
2 กันยายน	4	7	2, 7, 8, 10	14, 16, 18, 20, 23, 26, 31
3 กันยายน	2	0	6, 10	N/A
4 กันยายน	4	0	3, 5, 9, 11	N/A
5 กันยายน	3	0	5, 9, 11	N/A
6 กันยายน	5	4	1, 5, 6, 7, 8	15, 16, 17, 18
7 กันยายน	4	3	7, 8, 10, 11	14, 17, 18

ตารางที่ 26 ข้อมูลความต้องการโลหิตจริงของเดือนกันยายน พ.ศ.2564 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาลที่ร้องขอ		รหัสสถานที่*	
	กลุ่มA	กลุ่ม B	กลุ่ม A	กลุ่ม B
8 กันยายน	3	1	6, 10, 11	14
9 กันยายน	4	2	7, 8, 10, 11	14, 16
10 กันยายน	5	2	2, 5, 8, 10, 11	14, 17
11 กันยายน	5	6	2, 3, 8, 9, 11	14, 16, 21, 22, 23, 26
12 กันยายน	1	2	1	14, 18
13 กันยายน	4	1	2, 3, 5, 6	17
14 กันยายน	6	1	1, 5, 8, 10, 11, 12	18
15 กันยายน	3	3	1, 3, 10	14, 18, 29
16 กันยายน	4	3	1, 3, 6, 10	14, 28, 30
17 กันยายน	4	0	3, 4, 7, 11	N/A
18 กันยายน	2	4	2, 11	16, 17, 19, 31
19 กันยายน	5	3	2, 6, 7, 11	14, 16, 18
20 กันยายน	5	3	3, 9, 10, 11	15, 16, 20
21 กันยายน	4	0	1, 3, 7, 10	N/A
22 กันยายน	2	4	3, 9	16, 17, 18, 19
23 กันยายน	4	5	2, 5, 10	14, 17, 18, 19, 26
24 กันยายน	2	1	7, 10	18
25 กันยายน	5	4	2, 7, 9, 10, 12	16, 17, 20, 31
26 กันยายน	3	1	5, 11	16
27 กันยายน	1	3	6	14, 16, 18
28 กันยายน	6	4	2, 5, 6, 7, 10, 12	15, 16, 17, 28
29 กันยายน	4	4	4, 7, 10, 11	14, 21, 22, 29
30 กันยายน	8	4	1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 12	12, 15, 17, 25, 31

*รหัสสถานที่แสดงในตารางที่ 17

การทดลองที่ 1 ผู้วิจัยแสดงผลการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ (1) การแสดงคำตอบส่วนของต้นทุนของทั้ง 6 อัลกอริทึม (2) แสดงรูปแบบคำตอบตัวอย่างของ 1 อัลกอริทึม (DENLS) พร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนจากการออกแบบเส้นทางของอัลกอริทึมต่าง ๆ กับต้นทุนรูปแบบขนส่งในปัจจุบัน ผลการทดลองทั้ง 2 การทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 27 – 29 และรูปที่ 42 ดังนี้

ตารางที่ 27 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ *2*

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล A และ B (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
1 กันยายน	5	2,243	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367	1,367
2 กันยายน	11	1,659	1,678	1,702	1,809	1,888	1,876	1,695
3 กันยายน	2	277	153	153	153	153	153	153
4 กันยายน	4	1,570	749	749	778	787	784	749
5 กันยายน	3	1,443	560	560	560	560	560	560
6 กันยายน	9	2,167	1,078	1,104	1,256	1,244	1,305	1,204
7 กันยายน	7	955	687	687	690	698	700	687

ตารางที่ 28 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล A และ B (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
8 กันยายน	4	680	536	536	536	536	536	536
9 กันยายน	6	1,044	567	567	567	578	567	567
10 กันยายน	7	2,027	1,138	1,178	1,189	1,190	1,348	1,190
11 กันยายน	11	2,258	1,260	1,300	1,406	1,400	1,398	1,320
12 กันยายน	3	545	545	545	545	545	545	545
13 กันยายน	5	1,608	656	656	656	656	656	656
14 กันยายน	7	2,539	1,268	1,222	1,400	1,320	1,390	1,280

ตารางที่ 29 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล A และ B (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
15 กันยายน	6	1,113	697	697	697	697	697	697
16 กันยายน	7	1,228	664	664	664	664	664	664
17 กันยายน	4	698	389	389	389	389	389	389
18 กันยายน	6	1,114	652	652	652	652	652	652
19 กันยายน	8	1,225	817	817	817	817	980	817
20 กันยายน	8	1,708	970	970	1,000	970	1,100	970
21 กันยายน	4	1,079	468	468	468	468	468	468

ตารางที่ 30 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล A และ B (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
22 กันยายน	6	1,719	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281
23 กันยายน	9	2,780	1,305	1,280	1,450	1,460	1,540	1,400
24 กันยายน	3	406	301	301	301	301	301	301
25 กันยายน	9	2,239	1,180	1,205	1,320	1,330	1,290	1,190
26 กันยายน	4	1,219	550	536	536	536	536	536
27 กันยายน	4	406	406	406	406	406	406	406

ตารางที่ 31 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึมในการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล A และ B (แห่ง)	ต้นทุนรูปแบบปัจจุบัน (บาท)	DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
			ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)	ต้นทุน (บาท)
28 กันยายน	10	2,624	1,180	1,180	1,340	1,442	1,280	1,440
29 กันยายน	8	1,022	823	823	865	870	900	823
30 กันยายน	12	2,870	1,185	1,185	1,280	1,295	1,320	1,190

ตารางที่ 32 แสดงผลการทดสอบอัลกอริทึม DENLS การทดลองที่ 1 กรณีที่ 2

วันที่	จำนวน โรงพยาบาล (แห่ง)	เส้นทางจากการออกแบบ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
			ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1 กันยายน	5	0, 9, 10, 5, 12, 0, 14	580.4	2,243	330	1,367
2 กันยายน	11	0, 2, 10, 7, 8, 6, 0 , 18, 26, 23, 16,0	257.6	1,659	187	1,678
3 กันยายน	2	0-10-6-0	73.2	277	373	153
4 กันยายน	4	0, 9, 5, 11, 3, 0	435.6	1,570	155	749
5 กันยายน	3	0, 11, 5, 9, 3, 0	401.8	1,443	270.4	560
6 กันยายน	9	0, 13, 8, 5, 7, 6, 1, 0	480.6	2,167	317	1,078
7 กันยายน	7	0,13, 10, 8, 11, 7, 0	216	955	132	687
8 กันยายน	4	0, 11, 10, 6, 0	140.8	680	88	536
9 กันยายน	6	0, 13, 8, 11, 7, 10, 0	218.2	1,044	202	567
10 กันยายน	7	0,13, 8, 11, 5, 2, 10, 0	493.4	2,027	415	1,138
11 กันยายน	11	0,13, 9, 8, 3, 2, 11, 0	432	2,258	168	1,260
12 กันยายน	3	ใช้รูปแบบเดิม	94.2	545	94.2	545

ตารางที่ 33 แสดงผลการทดสอบอัลกอริทึม DENLS การทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	เส้นทางจากการออกแบบ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
			ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1 กันยายน	5	0, 9, 10, 5, 12, 0, 14	580.4	2,243	330	1,367
2 กันยายน	11	0, 2, 10, 7, 8, 6, 0 , 18, 26, 23, 16,0	257.6	1,659	187	1,678
3 กันยายน	2	0-10-6-0	73.2	277	373	153
4 กันยายน	4	0, 9, 5, 11, 3, 0	435.6	1,570	155	749
5 กันยายน	3	0, 11, 5, 9, 3, 0	401.8	1,443	270.4	560
6 กันยายน	9	0, 13, 8, 5, 7, 6, 1, 0	480.6	2,167	317	1,078
7 กันยายน	7	0,13, 10, 8, 11, 7, 0	216	955	132	687
8 กันยายน	4	0, 11, 10, 6, 0	140.8	680	88	536
9 กันยายน	6	0, 13, 8, 11, 7, 10, 0	218.2	1,044	202	567
10 กันยายน	7	0,13, 8, 11, 5, 2, 10, 0	493.4	2,027	415	1,138
11 กันยายน	11	0,13, 9, 8, 3, 2, 11, 0	432	2,258	168	1,260
12 กันยายน	3	ใช้รูปแบบเดิม	94.2	545	94.2	545

ตารางที่ 34 แสดงผลการทดสอบอัลกอริทึม DENLS การทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

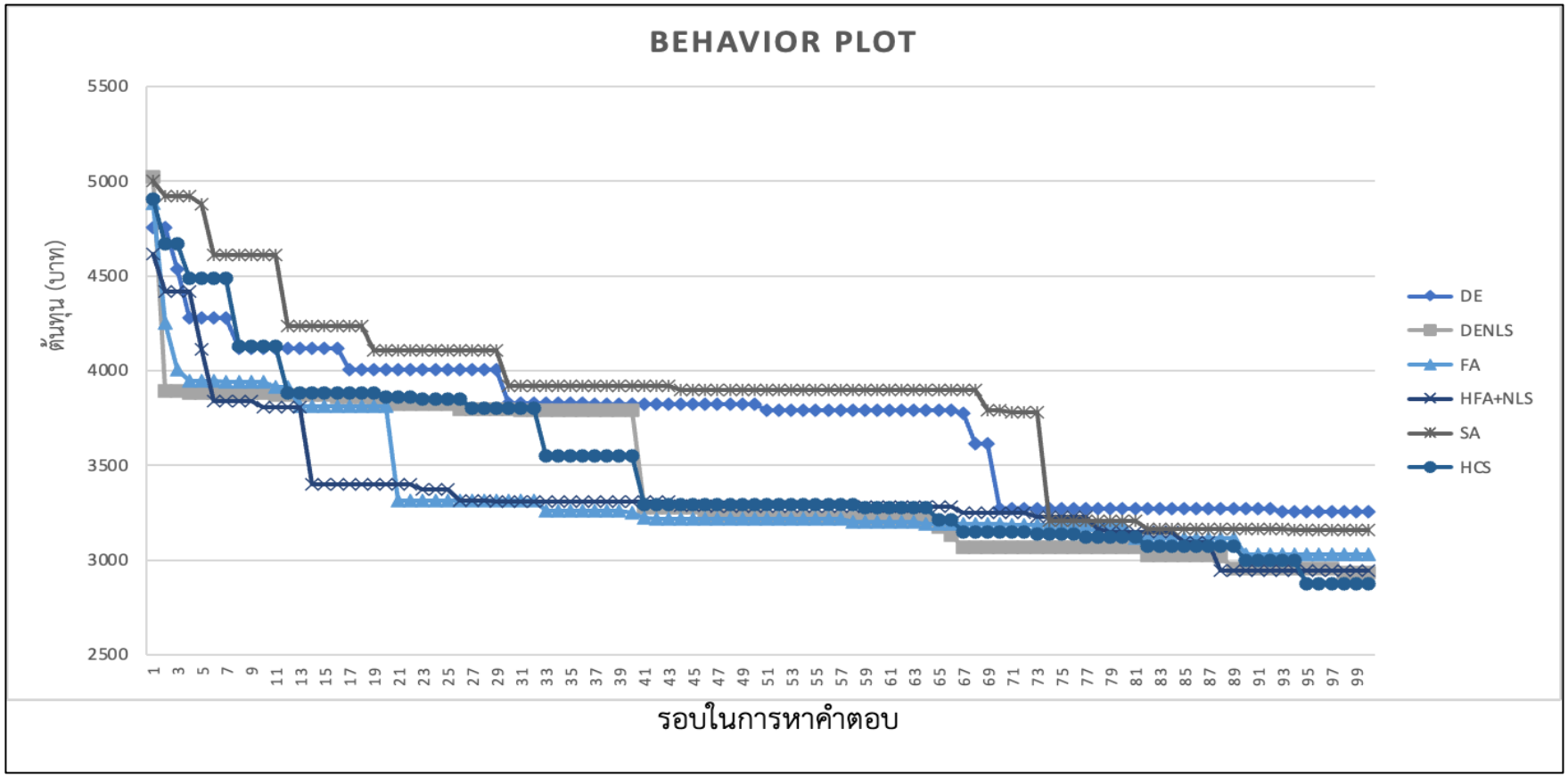
วันที่	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	เส้นทางจากการออกแบบ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
			ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
13 กันยายน	5	0, 13, 2, 4, 6, 5, 0	406	1,608	45	656
14 กันยายน	7	0, 13, 8, 1, 10, 11, 5, 0	648.4	2,539	40	1,268
15 กันยายน	6	0, 13, 1, 3, 10, 0	225.6	1,113	427	697
16 กันยายน	7	0, 13, 10, 3, 1, 6, 0	256.4	1,228	317	664
17 กันยายน	4	0, 4, 7, 11, 3, 0	186.8	698	61.5	389
18 กันยายน	6	0, 13, 2, 11, 0	143	1,114	200	652
19 กันยายน	8	0, 13, 11, 6, 7, 2, 0	252.2	1,225	268	817
20 กันยายน	8	0, 13, 10, 11, 9, 3, 0	384.2	1,708	46.8	970
21 กันยายน	4	0, 10, 1, 3, 8, 0	295.6	1,079	118	468
22 กันยายน	6	0,13, 9, 3, 10, 0 , 18, 19	349	1,719	200	1,281
23 กันยายน	9	0, 13, 5, 10, 2, 0	627.6	2,780	86	1,280
24 กันยายน	3	0, 7, 10, 0	78.4	406	102	301

ตารางที่ 35 แสดงผลการทดสอบอัลกอริทึม DENLS การทดลองที่ 1 กรณีที่ 2 (ต่อ)

วันที่	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	เส้นทางจากการออกแบบ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
			ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ระยะทาง (กม.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
25 กันยายน	9	0, 13, 2, 9, 10, 7, 0	487.6	2,239	154	1,205
26 กันยายน	4	0, 13, 11, 5, 0	305.6	1,219	120	536
27 กันยายน	4	ใช้รูปแบบเดิม	40	406	254	406
28 กันยายน	10	0, 13, 6, 2, 10, 7, 5, 0	626.4	2,624	365	1,180
29 กันยายน	8	0, 11, 4, 10, 7, 0	140.2	1,022	462	823
30 กันยายน	12	0, 4, 1, 8, 6, 11, 9, 3, 0	645.8	2,870	462	1,185

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการทดลองที่ 1 กรณีที่ 2

ผลการทดลอง	รูปแบบปัจจุบัน	อัลกอริทึม					
		DENLS	HFA+NLS	DE	FA	SA	HCS
จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)	192	192	192	192	192	192	192
ต้นทุนรวม (บาท)	44,465	25,110	25,180	26,378	26,500	26,989	25,733
ต้นทุนเฉลี่ยต่อวัน (บาท)	1,482	837	839	879	883	900	858
อัตตาการพัฒนา (%)	-	43.53	43.37	40.68	40.40	39.30	42.13



รูปที่ 42 ผลการทดลองที่ 3 (Behavior Plot) กรณีที่ 1

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ในกรณีที่ 2 เป็นการทดลองที่มุ่งเน้นไปที่ การทดสอบว่าอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตแบบรายวันที่มีรถตู้สำหรับขนส่ง 1 คัน ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาได้จริงหรือไม่ โดยการใช้ข้อมูลความต้องการโลหิตจริงสำหรับการทดลอง สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1.ตลอดเดือนกันยายน มีโรงพยาบาลร้องขอโลหิตมายังภาคบริการโลหิตแห่งชาติทั้งหมด 30 วันตลอดเดือด ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไร เปิดการทำงานทุกวัน มีการรับความต้องการโลหิต และจัดส่งโลหิต ทุกวัน โดยในเดือนกันยายน มีการร้องขอจากโรงพยาบาลรวมกัน 192 ครั้ง

2.การอ่านคำตอบที่ออกแบบจากโปรแกรมจัดเส้นทางขนส่งโลหิต เป็นการอ่านตามลำดับจากซ้ายไปขวา และ ถอดรหัสสถานที่ โดยเริ่มและเสร็จสิ้น ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ในระหว่างเส้นทางมีการเวียนส่งไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ตามลำดับ และในบางกรณีที่แสดงคำตอบไม่ครบตามจำนวนของโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตคือ เป็นเงื่อนไขสำหรับโรงพยาบาลกลุ่ม B ที่ไม่ถูกเลือกให้อยู่ในเส้นทาง แต่จะฝากกล่องส่งโลหิตกับรถตู้สาธารณะแทน

3.ในวันที่ 12 และ 27 กันยายน โปรแกรมคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิต ไม่สามารถออกแบบเส้นทางการขนส่งโลหิตที่ทำให้ต้นทุนลดลงได้ เนื่องจากการเวียนส่ง ระยะทางของโรงพยาบาลกลุ่ม B มีความห่างไกลกันมาก และโรงพยาบาลกลุ่ม A มีการร้องขอน้อย ทำให้การเวียนรถออกไปส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ รวมถึงการวิ่งรถไปยัง สถานีขนส่งสาธารณะ ไม่คุ้มค่า กว่าการขนส่งแบบเดิม

4.ระยะทางในการขนส่งรูปแบบก่อนปรับปรุงนั้นเป็นการคำนวณจากสองส่วนคือ ระยะทางที่โรงพยาบาลกลุ่ม A ทำการส่งรถมารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทั้งไปและกลับ อีกส่วนคือ ระยะทางที่เกิดจากภาคบริการโลหิต ทำการส่งรถไปที่สถานีขนส่งสาธารณะ เพื่อทำการฝากกล่องส่งโลหิตให้โรงพยาบาลกลุ่ม B

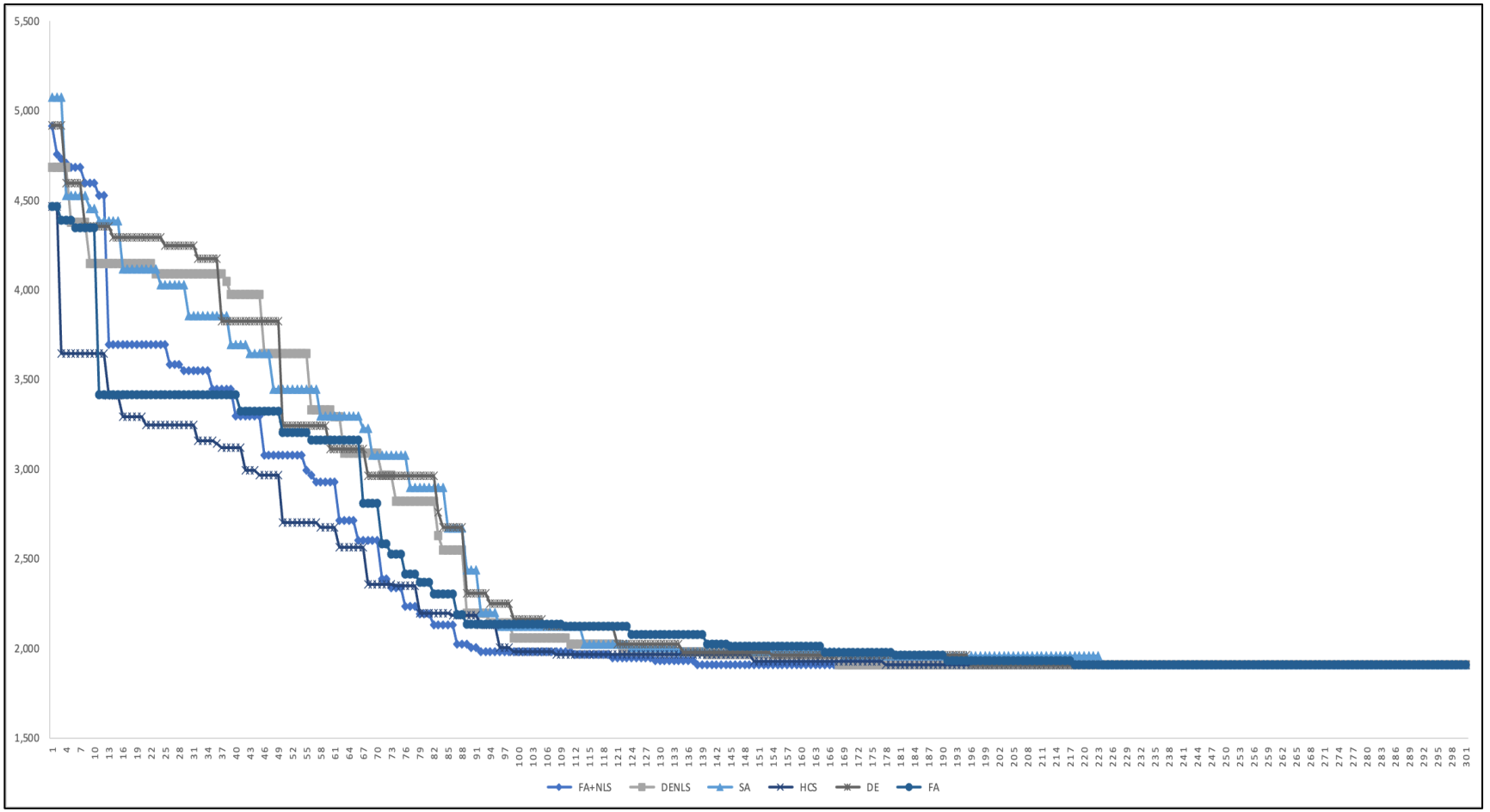
5.ระยะทางในการขนส่งรูปแบบหลังปรับปรุงนั้นเป็นการคำนวณจาก ระยะทางการเดินรถของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทำการเวียนรถส่งไปยังสถานที่ต่าง ๆ เป็นระยะทางรวมของรถ 1 คัน เท่านั้น

6.การคำนวณค่าใช้จ่าย ทั้งก่อนและหลังปรังปรุง ใช้วิธีเดียวกันคือ ผลรวมของ ระยะทาง เวลา และค่าจ้างฝากส่งโลหิต ในการขนส่งแต่ละรอบนั้น ๆ

7.ผลจากการคำนวณเส้นทางการขนส่งโลหิตนั้น สามารถลดระยะทาง และต้นทุนรวมในการตลอดทั้งเดือนได้

8.เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมดังแสดงในตารางที่ 29 จะแสดงให้เห็นว่าทุกอัลกอริทึมสามารถคำนวณเส้นทางที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตลดลงได้ทุกขั้น โดยที่ทั้ง 2 อัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถพัฒนาคำตอบได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยที่ DENLS และ HFA+NLS สามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 43.53 % และ 43.37 % ตามลำดับ

9.เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 3 ในกรณีที่ 1 และการทดลองที่ 2 ในกรณีที่ 2 ในส่วนของการทดลองศึกษาพฤติกรรมการหาคำตอบ โดยที่ทั้งสองการทดลองนั้นงานวิจัยได้นำเสนอผลการทดลองจากการหาคำตอบจำนวน 100 รอบ (Number of Run = 100) สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 41 และ42 จะเห็นได้ว่าการหาคำตอบของทุกขั้นตอนวิธียังไม่หยุดนิ่ง (ค่าต้นทุนยังไม่ต่ำที่สุด) อาจจะกล่าวได้ว่าต้นทุนในการขนส่งโลหิตสำหรับการหาคำตอบ 100 รอบอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการศึกษาการทำงานของแต่ละขั้นตอนวิธี เพื่อการศึกษาพฤติกรรมในการหาคำตอบอย่างละเอียดยิ่งขึ้นงานวิจัยจึงเพิ่มรอบการหาคำตอบ จาก 100 รอบ เพิ่มเป็น 300 รอบ สำหรับการทดลองที่ 3 ในกรณีที่ 1 ซึ่งผลสามารถแสดงให้เห็นว่า คำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธี HFA+NLS นั้นเข้าสู่สภาวะนิ่งได้เร็วที่สุด ที่ต้นทุน 1,908.1 บาท ตั้งแต่รอบที่ 138 และจะเห็นได้ว่าใน 300 รอบ ทุกขั้นตอนวิธีสามารถเข้าสู่สภาวะนิ่งได้ทุกขั้นตอนวิธี สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 43



รูปที่ 43 ผลการทดลอง Behavior Plot กรณีเพิ่มจำนวนรอบในการหาคำตอบ

4.6.3 การทดลองการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตในระบบจริง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของอัลกอริทึม เพื่อเป็นแนวทางในให้ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 นำใช้งานจริง หรือพัฒนาระบบการขนส่งโลหิตได้ในอนาคต แนวทางและผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

4.6.3.1 การเตรียมความพร้อมสำหรับการทดลอง

ในการทดลองที่เป็นรถที่ใช้สำหรับขนส่งใช้รถตู้ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ *12* เพื่อให้การทดลองเสมือนการขนส่งจริงมากที่สุด โดยที่การทดลองอาจไปกระทบการเบิกจ่ายโลหิตโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีความต้องการโลหิตในวันนั้น ๆ จึงจำเป็นต้องมีการแจ้งล่วงหน้า รวมไปถึงการขอความร่วมมือไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ให้ปฏิบัติตามรูปแบบการทดลองของผู้วิจัยในวันนั้น ๆ และเมื่อได้รับความอนุเคราะห์จากสภากาชาดไทยเป็นที่เรียบร้อยจึงสามารถ ดำเนินการในขั้นตอนถัดไปได้ ในส่วนของการอนุมัตินั้น วันเวลาการทดลอง อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก ความพร้อมในแต่ละวัน เช่นความพร้อมของผู้ร่วมการทดลอง พนักงานขับ รถสำหรับขนส่ง เป็นต้น

4.6.3.2 การทดลองขนส่งโลหิตจริง

เริ่มต้นจากการเตรียมความพร้อมก่อนการทดลอง ผู้วิจัยมีการส่งเอกสาร “คำแนะนำการทดลอง” เพื่อให้ผู้ร่วมทดลอง และโรงพยาบาลต่าง ๆ ทราบถึงรูปแบบการทดที่ผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อถึงวันที่มีการทดลองนั้น ผู้วิจัยเดินทางไปทำการทดลองจริง ณ ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เวลาประมาณ 8 นาฬิกา เพื่อให้ทราบถึงความต้องการโลหิตในวันนั้น ๆ และนำความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลเข้าสู่โปรแกรมคำนวณเส้นทางการขนส่งโลหิต

เมื่อได้เส้นทางการจัดส่งโลหิตเป็นที่เรียบร้อยแล้วนั้น พนักงานเวรประจำห้องจ่ายโลหิตทำการแจ้งไปยังโรงพยาบาลปลายว่า มีการทดลองและมีการเปรียบแปลงรูปแบบการขนส่งในวันนั้น ๆ เพื่อโรงพยาบาลปลายทางทราบ และเตรียมพนักงานสำหรับการรับโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต ณ โรงพยาบาลปลายทาง และทำการปิดผนึกกล่องสำหรับรักษาคุณภาพโลหิตและผลิตภัณฑ์ รวมถึงมีการสุ่มใส่เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ เพื่อเป็นการ

ตรวจสอบว่า อุณหภูมิระหว่างการจัดส่ง มีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยแค่ไหน เพื่อเป็นการยืนยันว่าการขนส่งโลหิตในรูปแบบการขนส่งแบบใหม่ จะไม่ทำให้โลหิตเสื่อมคุณภาพภายใต้เวลาที่กำหนด

ต่อมาคือการจัดเรียงโลหิตขึ้นรถสำหรับขนส่ง และการแจ้งลำดับการขนส่งให้กับพนักงานขับรถประจำวันทราบถึงเส้นทางที่ทำการขนส่งในแต่ละรอบการขนส่ง เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันระหว่าง ผู้วิจัย พนักงานขับรถ และโรงพยาบาลปลายทาง

ในการขนส่งจริง ผู้วิจัยได้ออกแบบแบบฟอร์มสำหรับแสดงลำดับการขนส่งโดยมีการแสดงเวลาและระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง และมีการเพิ่มช่องสำหรับบันทึกการขนส่งในระบบจริง โดยที่ระยะทางที่ใช้ และเวลาที่ใช้ คือ ระยะทางหรือเวลา ระหว่างการเดินรถของสถานที่ก่อนหน้า มายังสถานทีปัจจุบันทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองขนส่งโลหิตจริง จำนวนทั้งสิ้น 5 วัน แบ่งเป็นการขนส่งโลหิตตามปกติจำนวน 4 วัน และ การขนส่งเซลล์ตรวจโลหิต จำนวน 1 วัน (การขนส่งเซลล์ตรวจโลหิตคือ การขนส่งใหญ่ประจำเดือน โดยส่งให้โรงพยาบาลขนาดใหญ่ภายใต้การดูแล) สามารถแสดงวันที่และรายละเอียดของการทดลองได้ดังตารางที่ 30 และสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 31 (รายละเอียดการส่งของวันที่ 7, 9, 19, 22 มกราคม พ.ศ.2565 ดังแสดงในภาคผนวกที่ ค)

ตารางที่ 37 วันและรายละเอียดของการทดลอง

ลำดับที่	วันที่	จำนวนโรงพยาบาล (แห่ง)		
		กลุ่ม A	กลุ่ม B	รวม
1	7 มกราคม 2565	6	4	10
2	9 มกราคม 2565	3	4	7
3*	15 มกราคม 2565	12	13	25
4	19 มกราคม 2565	6	3	9
5	22 มกราคม 2565	3	5	8

*วันขนส่งเซลล์ตรวจโลหิต

ตารางที่ 38 ผลการทดลองการขนส่งโลหิตจริง ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2565

การขนส่งประจำวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2565								
ลำดับที่	โรงพยาบาล	ระยะทางที่ใช้ (กิโลเมตร)		เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)		เวลาส่งมอบโลหิต (นาฬิกา)		
		โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริงเข้า	ขนส่งจริงออก
0	ภาคบริการฯ	0	0	0	0	8.30	-	8.45
1	บขส.	8.4	9	15	22	8.45	9.09	9.26
2	ราษฎร์ยินดี	5	2	11	5	9.26	9.31	9.32
3	กรุงเทพฯ	2.4	2	10	11	9.36	9.42	9.43
4	มิตรภาพฯ	2.3	2	10	11	9.46	9.53	9.59
5	หาดใหญ่	2.2	2	10	9	9.56	10.04	10.06
6	ศิครินทร์	3	3	10	5	10.6	10.09	10.10
7	สงขลา	23	21	30	25	10.36	10.34	10.45
8	จะนะ	40	35	40	42	11.16	11.16	11.19
9	เทพา	38	38	40	36	11.56	11.52	11.56
10	นาทวี	40	39	42	39	12.38	12.31	12.32
11	สะเดา	51	53	55	76	13.33	13.47	13.50
12	ภาคบริการฯ	65	63	79	56	14.52	14.43	-

4.6.3.3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองขนส่งโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิตจริง สามารถสรุปผลได้ดังนี้ ระยะทางรวมในการขนส่งโลหิตประจำวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2565 ที่ได้จากโปรแกรมคือ 280.3 กิโลเมตร และระยะทางรวมจริงหลังการทดลองจริงคือ 269 กิโลเมตร (การเก็บข้อมูลระยะทาง ผู้วิจัยเก็บเป็นเลขจำนวนเต็ม ตามมาตรวัดระยะทางของรถที่ใช้ขนส่ง) ระยะทางจากโปรแกรมและจากการทดลองขนส่งจริงมีความใกล้เคียงกันมาก ทำให้เส้นทางที่ได้จากโปรแกรมการคำนวณเส้นทางนั้น มีความเหมาะสม สามารถใช้ได้จริง ไม่มีการเวียนรถไปมา ทุกโรงพยาบาลได้รับของตามที่ร้องขอครบถ้วน และเส้นทางที่ได้จกการออกแบบในทัศนของพนักงานขับซึ่งมีความชำนาญเส้นทาง มีความสอดครองกัน การออกแบบเส้นทางรายวัน ใช้เวลาไม่เกิน 5 นาทีต่อหนึ่งครั้ง ตั้งแต่การรับข้อมูลความต้องการโลหิต และการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมเพื่อทำการคำนวณ เวลาในการคำนวณเส้นทางน้อยมาก ไม่กระทบการทำงานของพนักงานประจำห้องจ่ายโลหิตและผลิตภัณฑ์โลหิต

ในส่วนของเวลาการขนส่ง โปรแกรมนั้นไม่สามารถทราบถึงเวลาที่จะใช้สำหรับกระบวนการส่งมอบโลหิตและ เวลาการบริการ ณ สถานที่ต่าง ๆ อาทิเช่น เวลาการใช้บริการขั้นตอนฝากล่องส่งโลหิตให้โรงพยาบาลนอกเขตจังหวัดสงขลา เวลารอคอยที่เกิดจากกระบวนการส่งมอบโลหิต ทำให้ส่วนของเวลาใช้ในการเดินทางที่โปรแกรมคำนวณออกมาได้ จึงเป็นเวลารวมเวลาการให้บริการไปแล้ว ผู้วิจัยจึงมีการเก็บข้อมูล เวลาการทดลองการขนส่งจริง เป็นเวลาขาเข้าและออก เพื่อเก็บเป็นสถิติย้อนหลังสำหรับเวลาบริการในแต่ละสถานีที่แตกต่างกันออกไป และทำให้ทราบถึงเวลาขนส่งจริงของแต่ละสถานที่

รวมถึงเส้นทางที่ได้จากการขนส่งสามารถทำให้ต้นทุนการขนส่งรวมของห่วงโซ่อุปทานโลหิตที่มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 เป็นศูนย์กลางนั้น ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่ขั้นตอนการทดลองโดยโปรแกรมฯ และการทดลองส่งจริง สามารถนำไปใช้ได้ แต่ยังคงมีข้อเสียเปรียบอยู่คือ เนื่องด้วยเป็นเพียงการทดลองภายใต้งานวิจัยไม่ได้มีการใช้งานจริงอย่างเป็นทางการ อาจจะเกิดความสับสนของโรงพยาบาลปลายทางที่มีความต้องการโลหิต ที่ไม่ได้มีการเตรียมตัวรับในความเปรียบแปลงแบบรายวัน ทำให้ในบางโรงพยาบาล ไม่พร้อมเรื่องพนักรอรับโลหิต ซึ่งทำให้เกิดเวลารอคอย ทำให้การขนส่งเกิดการติดขัดได้

ทั้งนี้ การขนส่งโลหิตรูปแบบใหม่ภายใต้การออกแบบของโปรแกรมการคำนวณเส้นทางขนส่งโลหิตด้วยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก สามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่ ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน

4.6.3.3 การเปรียบเทียบระยะทางรวมจากการขนส่งโลหิตในรูปแบบปัจจุบัน และเส้นทางหลังการออกแบบเส้นทาง ของโปรแกรมคำนวณเส้นทางและการทดลองส่งจริง

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบระยะทางรวมระหว่างการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ

วันที่ (มกราคม 2565)	จำนวนโรงพยาบาล	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)		
		รูปแบบปัจจุบัน	โปรแกรมคำนวณเส้นทางฯ DENLS	ทดลองขนส่งจริง
7	6	307.8	157	144
9	3	100.6	37.7	35
15	10	1071.4	280.3	269
19	5	288.4	162.4	158
22	3	206.2	132	130

จากตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่า ทั้ง 5 วันที่มีการทดลองขนส่งโลหิตจริงที่ได้ทำการทดลองไปในหัวข้อที่ 5.6.3 เปรียบเทียบกับการขนส่งในรูปแบบปัจจุบันสามารถทำให้ระยะทางในการขนส่งลดลงได้ รวมไปถึงระยะทางระหว่าง โปรแกรมการคำนวณ เมื่อนำมาขนส่งในระบบจริง มีความใกล้เคียงกันมาก โดยที่ทุกวันในการทดลองขนส่งจริง ระยะทางจากการขนส่งจริง จะน้อยกว่าระยะทางที่โปรแกรมคำนวณเส้นทาง ระบุไว้หลังคำนวณเสร็จเสมอ จากการวิเคราะห์อาจจะเกิดได้จากหลายเหตุผล เช่น ความชำนานของพนักงานขับรถ หรือการบันทึกระยะทางระหว่างทดลอง ผู้วิจัยบันทึกเป็นเลขจำนวนเต็มเนื่องจากมาตรวัดระยะทางของรถไม่สามารถแสดงเป็นเลขทศนิยมได้ อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อย เป็นต้น

4.6.3.4 คำนวณอัตราการบริโภคน้ำมัน

ขั้นตอนเป็นเพื่อให้ทราบถึงอัตราการบริโภคน้ำมันจริง สำหรับรถที่ใช้ขนส่งในอนาคต และสามารถคำนวณต้นทุนที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด โดยขั้นตอนการคำนวณคือ ก่อนเริ่มการทดลอง ผู้วิจัยทำการเติมน้ำมันรถตู้สำหรับขนส่ง เต็มความสามารถบรรจุน้ำมันของรถตู้ และเมื่อทำการทดลองขนส่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนกลับเข้าสู่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จะทำการเติมที่สถานีบริการน้ำมันเดียวกันทั้งก่อนทดลองและหลังทดลอง

การคำนวณอ้างอิงจากการทดลองในวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2565 ระยะทางรวมในการขนส่งรอบดังกล่าวอยู่ที่ 269 กิโลเมตร ผู้วิจัยได้เติมน้ำมันเชื้อเพลิงในวันดังกล่าว เวลา 14 นาฬิกา 31 นาที เต็มความจุถังน้ำมัน มูลค่า 1,250 บาท ราคาน้ำมันดีเซล อยู่ที่ลิตรละ 30.21 บาท (ราคา ณ สถานีจ่ายน้ำมัน) สรุปได้ว่า รถบริโภคน้ำมันทั้งสิ้น 41.3 ลิตรในรอบขนส่งดังกล่าว สารถคำนวณอัตราการบริโภคน้ำมันของรถตู้สำหรับขนส่งโลหิตคือ 6.51 กิโลเมตรต่อลิตร

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนา ระบบการขนส่งโลหิตของห่วงโซ่อุปทานโลหิตของภาคใต้ตอนล่าง โดยในในปัจจุบัน ห่วงโซ่อุปทานโลหิตดังกล่าว มีภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลาเป็นศูนย์กลาง มีหน้าที่สนับสนุนให้โรงพยาบาลภาคใต้การดูแลทั้งสิ้น 89 โรงพยาบาล จากการศึกษากระบวนการขนส่งโลหิตในปัจจุบัน ไม่มีเครือข่ายที่ชัดเจนสำหรับการขนส่งโลหิต และมีรูปแบบการขนส่งโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ที่แตกต่างกันส่งผลให้ ระยะทาง และเวลารวมในการขนส่งสูงโดยไม่จำเป็น ทำให้ต้นทุนรวมในกระบวนการขนส่งโลหิตโดยภาพรวมสูงขึ้นตามจำนวนครั้งที่โรงพยาบาลร้องขอโลหิต โดยที่ปี พ.ศ.2562 ต้นทุนการขนส่งโลหิตรวมจากการรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์เพิ่มเติม คือ 688,319 บาท

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก สำหรับการพัฒนาอัลกอริทึมที่ประยุกต์ขั้นตอนเมตาฮิวริสติกแบบผสมผสานสำหรับออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ทำให้เส้นทางการขนส่งโลหิตที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าว สามารถนำมาใช้จริงได้ คือ เงื่อนไขด้านเวลาการขนส่ง และเงื่อนไขด้านจำนวนรถที่ใช้สำหรับการขนส่ง ทั้งสองเงื่อนไขนี้เป็นตัวกำหนดระยะทางรวม และเวลารวมที่สามารถขนส่งได้ เนื่องจากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยไม่สามารถที่จะออกแบบเส้นทาง ที่สามารถออกแบบเส้นทางที่จะขนส่งโลหิตให้กับทุกโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในบางวันได้ ผู้วิจัยจึงออกแบบ รูปแบบการขนส่ง ซึ่งส่งผลตรงต่อการทำงานของโปรแกรมขนส่งโลหิต โดยการแบ่งโรงพยาบาลเป็น 3 กลุ่ม คือ A, B, C เพื่อให้การออกแบบเส้นทางรถสามารถใช้ส่งโลหิตในโลกแห่งความเป็นจริงได้

เมื่อได้รูปแบบการขนส่งโลหิต ผู้วิจัยจำเป็นต้องสร้างขั้นตอนวิธีสำหรับการหาเส้นทางโลหิต แต่เนื่องจากขั้นตอนวิธีดังเดิม อย่างเช่นขั้นตอน แม่นตรง ที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากภายใต้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำให้เวลาในการหาคำตอบที่มีขอบเขตคำตอบที่มาก ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงในการหาคำตอบต่อหนึ่งรอบการทดลอง ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก เพื่อการคำนวณหาเส้นทางขนส่งโลหิตที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เวลาในการหาคำตอบที่น้อยกว่าวิธีแม่นตรงมาก โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีแบบใหม่สำหรับการออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิต โดยโปรแกรมออกแบบเส้นทางขนส่งโลหิตดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพจากความต้องการโลหิตย้อนหลัง และการทดลองขนส่งโลหิตจริง สามารถทำให้ต้นทุนรวมในการ

ขนส่งรวมของห่วงโซ่อุปทานดังกล่าว ลดลงกว่าวิธีการขนส่งแบบปัจจุบันได้จริง อีกทั้งสามารถควบคุมคุณภาพระหว่างการขนส่ง ทราบเวลาที่แต่ละโรงพยาบาลจะได้รับโลหิต

งานวิจัยนี้สามารถตอบวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยได้ และสามารถนำไปพัฒนาเป็นรูปแบบการขนส่งโลหิตมาตฐานในอนาคต เนื่องจากในประเทศไทยมีภาคบริการโลหิตอยู่มากกว่า 12 ภาคบริการ สภากาชาดสามารถศึกษางานวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาระบบการขนส่งที่ทำให้ต้นทุนรวมการขนส่งโลหิตโดยภาพรวมของประเทศลดลงได้ อีกทั้ง โปรแกรมนี้สามารถลดช่องว่างระหว่างองค์กรที่ทำงานต่างกระทรวงกัน คือโรงพยาบาลส่วนใหญ่อยู่ภายใต้กระทรวงสาธารณสุข และสภากาชาดเป็นองค์กรไม่แสวงผลกำไร การมีโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาเพื่อการใช้งานสำหรับร้องขอ เบิกจ่าย ออกแบบเส้นทาง และการติดตามโลหิตแบบเวลาปัจจุบันที่เกิดขึ้นจริง (Real Time) สามารถลดเวลาการทำงานโดยรวมของบุคลากร และต้นทุนโดยภาพรวมของกระบวนการขนส่งโลหิตได้ อีกทั้งเป็นการพัฒนาองค์กรหรือหน่วยงาน ให้สอดคล้องกับนยาบาลรัฐบาล คือ การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 (industry 4.0)

ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมต้นแบบการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตในงานวิจัยนี้เป็นเพียงโปแกรมที่มีผู้ใช้แค่ฝั่งเดียว คือ ฝั่งภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 สำหรับขั้นตอนจัดเส้นทางขนส่งโลหิตให้กับโรงพยาบาลที่ร้องขอโลหิต แต่ในส่วนของฝั่งโรงพยาบาลภายใต้การดูแลยังคงดำเนินการรูปแบบร้องขอโลหิตแบบเดิม คือขอผ่านอีเมล โทรศัพท์ หรือเอกสารเบิกจ่าย ทำให้ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลความต้องการโลหิตแบบรายวันค่อนข้างซับซ้อน ในอนาคตเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อโดยตรงและเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันระหว่างองค์กร ผู้วิจัยขอแนะนำการสร้างต้นแบบโปรแกรมสำหรับโทรศัพท์มือถือที่มีการใช้งานร่วมกันทั้งภาคบริการโลหิต และโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิต เป็นโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ Data Visualization เพื่อง่ายต่อการใช้งาน ที่เป็นการรวมขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่ ร้องขอ อนุมัติ เบิกจ่าย และจัดเส้นทางขนส่งโลหิต

บรรณานุกรม

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ, & ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2556). การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป. Thai Journal of Operations Research: TJOR, 1(2), 39-50.

กวีวรรธณ์ วิพัฒน์กิจไพศาล. การเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ กรณีศึกษา บริษัท Xsquare จำกัด. (Master Dissertation, สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย)

กัลป์ญารัตน์ สถิรสุขสมบูรณ์. (2559). ภาษาซีเบื้องต้น. 30 พฤศจิกายน 2563, จากเว็บไซต์ https://sites.google.com/a/banraiwitthaya.ac.th.

คณน สุจารี, & สิริชัยจิรวงศ์นุสรณ์. (2561). การแก้ปัญหาการจัดส่งเลือดด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า. Kasem Bundit Engineering Journal, 8(2), 206-226.

คณะแพทย์จุฬาลงณ์มหาวิทยาลัย. (2560). เลือดและส่วนประกอบของเลือด. 10 มกราคม 2564, จากเว็บไซต์ http://www.cai.md.chula.ac.th/lesson/lesson4607/lesson/main4.html

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี. (2561). ห้องปฏิบัติการคลังเลือด. 12 มกราคม 2564, จากเว็บไซต์ https://www.rama.mahidol.ac.th/patho/th/Laboratory/blood_bank.

จอมจิน จันทรสกุล. (2551). การจัดเก็บและการจัดส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิต. Journal of Hematology and Transfusion Medicine, 18(3), 243-247.

เจนจิรา อินสว่าง, สุรเชษฎ์ อ่อนเส็ง, ณิชาภัทรแสงโสรัตน์, ณมน ไชยสิทธิ์, & อุไรวรรณ บุญจันทร์. (2021). Quality of Leukocyte Poor Packed Red Cells Blood Products from Regional Blood Centre 9th Phitsanulok, Thai Red Cross Society. Health Science Clinical Research, 36(2), 13-24.

ฐิติมา วงศ์อินตา, ชุติมา หวังรุ่งชัยศรี, & อนิรุทธ์ ขันธสะอาด. (2561). กระบวนการลดต้นทุนค่าขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถแบบมิลค์รันสำหรับ กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. Kasem Bundit Engineering Journal, 8(1), 71-90.

ณัฐพร ไชยเสนา. (2561). การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีเมต้าฮิวริสติกส์: กรณีศึกษา บริษัทผู้ให้บริการขนส่ง. Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University, 4(2), 64-76.

ทวีศักดิ์ ตีระวัฒนพงษ์. (2550). การ ใช้ NAT ในการตรวจโลหิตบริจาค. Journal of Hematology and Transfusion Medicine, 17(2), 107-110

พลอยพรรณ ศรีกิจการ, & อรอุไร แสงสว่าง. (2557). การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางเดินรถขนส่งเครื่องสำอาง: กรณีศึกษา. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, 7(2).

พิมล เชี่ยวศิลป์. (2019). เวชศาสตร์การบริการโลหิตในประเทศไทยจากอดีตถึงปัจจุบัน. Journal of Hematology and Transfusion Medicine, 29(2), 71-79.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สามาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 7-12

ลาภลอย วานิชอังกูร. (2564). เรียนรู้ด้วยตนเอง OOP C# ASP.NET. พิมพ์ครั้งที่1. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

โลจิสติกส์คาเฟ่. (2563). ทุนของการขนส่ง (Cost of Transportation) คืออะไร. 10 มกราคม 2564, จากเว็บไซต์ https://www.logisticafe.com/2017/11/% Cost/.

วนัฐณพงษ์ คงแก้ว, & และศิวศิษย์ วิทยศิลป์. (2564). การวิจัยดำเนินงาน: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. พิมพ์ครั้งที่ 1. ไอคิวมีเดีย,

วนัฐณพงษ์ คงแก้ว, & และศิวศิษย์ วิทยศิลป์. (2564). ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสานเพื่อลดต้นทุนรวมจากงานที่เสร็จก่อนและงานที่เสร็จล่าช้าให้น้อยที่สุดในการจัดตารางการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป. Thai Journal of Operations Research: TJOR, 9(1), 79-91.

วรลักษณ์ คุณทะสิงห์, & ศิโรจน์ ปรีชาไว. (2555) การวิเคราะห์ต้นทุนด้านการขนส่งสินค้ากรณีศึกษา: กิจการค้าน้ำดื่ม เค แอนด์ เค. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9, 1743 – 1749.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี.(2564). กูเกิลแผนที่. 15 กันยายน 2564, จากเว็บไซต์ http://th.wikipedia.org/wiki/googlemaps.

วิจัย บุญญานุสิทธิ์. การพัฒนาตัวแบบการจัดสรรโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติในประเทศไทย (Doctoral Dissertation, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).

ศิริรัตน์ กะการดี, & ศิรประภา มโนมัธย์. (2563). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีแบท สำหรับตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับขั้น. Thai Journal of Operations Research: TJOR, 8(1), 11-19.

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย. (2559). สูจิบัตร ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา. ม.ป.พ.

สารานุกรม IT. (2560). Java คืออะไร จาวา คือภาษาคอมพิวเตอร์ สำหรับเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ. 3 มีนาคม 2564, จากเว็บไซต์ https://www.mindphp.com.

สำนักงานแรงงาน จังหวัดสงขลา. (2564). อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ. 12 มิถุนายน 2564, จากเว็บไซต์ https://songkhla.mol.go.th/.

สุทธินี จันทร์สุวรรณ์. (2563). การประยุกต์วิธีตรวจหาแอนติเจน D ในโลหิตผู้บริจาคด้วยวิธีสไลด์และใช้น้ำยาแอนติ D เจือจางเพื่อลดต้นทุน. วารสารการแพทย์โรงพยาบาลศรีสะเกษ สุรินทร์ บุรีรัมย์, 35(1), 157-167.

สุรเชษฎ์ อ่อนเส็ง, & เจนจิรา อินสว่าง. (2563). Preparation of whole blood derived platelet component, Thai Red Cross Society. Health Science Clinical Research, 30(4), 379-392.

อัครพล อร่ามเจริญ. (2562). สถานะทางกฎหมายของสภากาชาดไทย. Graduate Law Journal, 12(4), 733-745.

Ak, A., & Erera, A. L. (2007). A paired-vehicle recourse strategy for the vehicle-routing problem with stochastic demands. Transportation science, 41(2), 222-237.

Alter, H. J., & Klein, H. G. (2008). The hazards of blood transfusion in historical perspective. blood, 112(7), 2617-2626.

Bianco, L., Caramia, M., & Giordani, S. (2009). A bilevel flow model for hazmat transportation network design. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 17(2), 175-196.

Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. Computers & Industrial Engineering, 99, 300-313.

Delen, D., Erraguntla, M., Mayer, R. J., & Wu, C. N. (2011). Better management of blood supply-chain with GIS-based analytics. Annals of Operations Research, 185(1), 181-193.

Doerner, K. F., Gronalt, M., Hartl, R. F., Kiechle, G., & Reimann, M. (2008). Exact and heuristic algorithms for the vehicle routing problem with multiple interdependent time windows. Computers & Operations Research, 35(9), 3034-3048.

Göçmen, E., & Rızvan, E. R. O. L. (2018). Location and multi-compartment capacitated vehicle routing problem for blood banking system. International Journal of Engineering Technologies IJET, 4(1), 1-12.

Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Homaei, S. (2020). Blood supply chain management: robust optimization, disruption risk, and blood group compatibility (a real-life case). Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 11(3), 1085-1104.

Iswari, T., & Asih, A. M. S. (2018, April). Comparing genetic algorithm and particle swarm optimization for solving capacitated vehicle routing problem. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 337, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

Iswari, T., Vincent, F. Y., & Asih, A. M. S. (2016). Simulated annealing for the blood pickup routing problem. International Journal of Information and Management Sciences, 27(4), 317-327.

Khalilpourazari, S., Soltanzadeh, S., Weber, G. W., & Roy, S. K. (2020). Designing an efficient blood supply chain network in crisis: neural learning, optimization and case study. Annals of Operations Research, 289(1), 123-152.

Moncayo-Martínez, L. A., & Zhang, D. Z. (2011). Multi-objective ant colony optimisation: A meta-heuristic approach to supply chain design. International Journal of Production Economics, 131(1), 407-420.

Mvere, D., & Vinelli, E. (2005). Manual on the management, maintenance and use of blood cold chain equipment. World Health Organization.

Nagurney, A., Masoumi, A.H., and Yu, M. (2012). Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization. Computational Management Science. 9(2): 205-231

Nurprihatin, F., & Lestari, A. (2020). Waste collection vehicle routing problem model with multiple trips, time windows, split delivery, heterogeneous fleet and intermediate facility. Engineering Journal, 24(5), 55-64.

Ramírez, A. P., Labadie, N., & Rueda, W. J. G. (2018, June). Vehicle Routing Problem for Blood Mobile Collection System with Stochastic Supply. In International Conference on Production Research 2018.

Taweeugsornpun, N., & Raweewan, M. (2017). Vehicle Routing for Blood Product Delivery. Panyapiwat Journal, 9, 230-243.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือราชการ สำหรับขอทดลองจัดส่งโลหิต

ที่ อว.000 / 576

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

วันที่ 17 ธันวาคม 2564

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ผู้เชียญชาญและคุรุภัณฑ์โครงการสำหรับการทดลอง เพื่อการวิจัย
เรียน นางสาวสุภัตตรา มิถุนดี
สิ่งที่ส่งมาด้วย คู่มือการทดลองจำนวน 1 ฉบับ

ด้วยนายคุณานนต์ อินทปาน รหัสนักศึกษา 6310120014 นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เป็นผู้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การออกแบบกระบวนการขนส่งโลหิตในเขตพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง” มี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนัฐณ พงษ์ คงแก้ว และมีอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คือ รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์ มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและพัฒนาระบบการขนส่งและบริการโลหิต ให้มีต้นทุนลดลง

โดยที่การพัฒนาตัวแบบคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกที่เหมาะสมกับปัญหาการขนส่งโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตที่ 12 สภากาชาดไทยนั้น ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปแกรมต้นแบบสำเร็จแล้ว โดยการใช้วิธี “ขั้นตอนวิธีหิ่งห้อยแบบผสมผสาน”สำหรับการทดลอง

ในการนี้ จึงใคร่ขอความอนุเคราะห์ ครุภัณฑ์สำหรับการทดลอง ในช่วงเวลาที่ภาคบริการโลหิตฯ สะดวก ซึ่งขอจำนวนวันสำหรับการทดลองอยู่ที่ 7-10 วัน ในช่วงวันที่ 20 ธันวาคม 2564 ถึงวันที่ 30 มกราคม 2565 ในวันเวลาราชการเพื่อวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาดังนี้

1.ผู้เชียวชาญเฉพาะในส่วนการบริหารโลหิต เพื่อเป็นที่ปรึกษาสำหรับการวิจัย จำนวน 2 คน ดังนี้
1.1นางสาวสุภัตตรา มิถุนดี หัวหน้าภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ที่ 12
1.2นางสาวศิริภัทร์ สารานพคุณ
2.รถตู้สำหรับขนส่งโลหิต ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จำนวน 1 คัน
3.พนักงานขับรถประจำ ของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จำนวน 1 คน
4.ข้อมูลความต้องการโลหิตประจำวันที่ทำการทดลอง

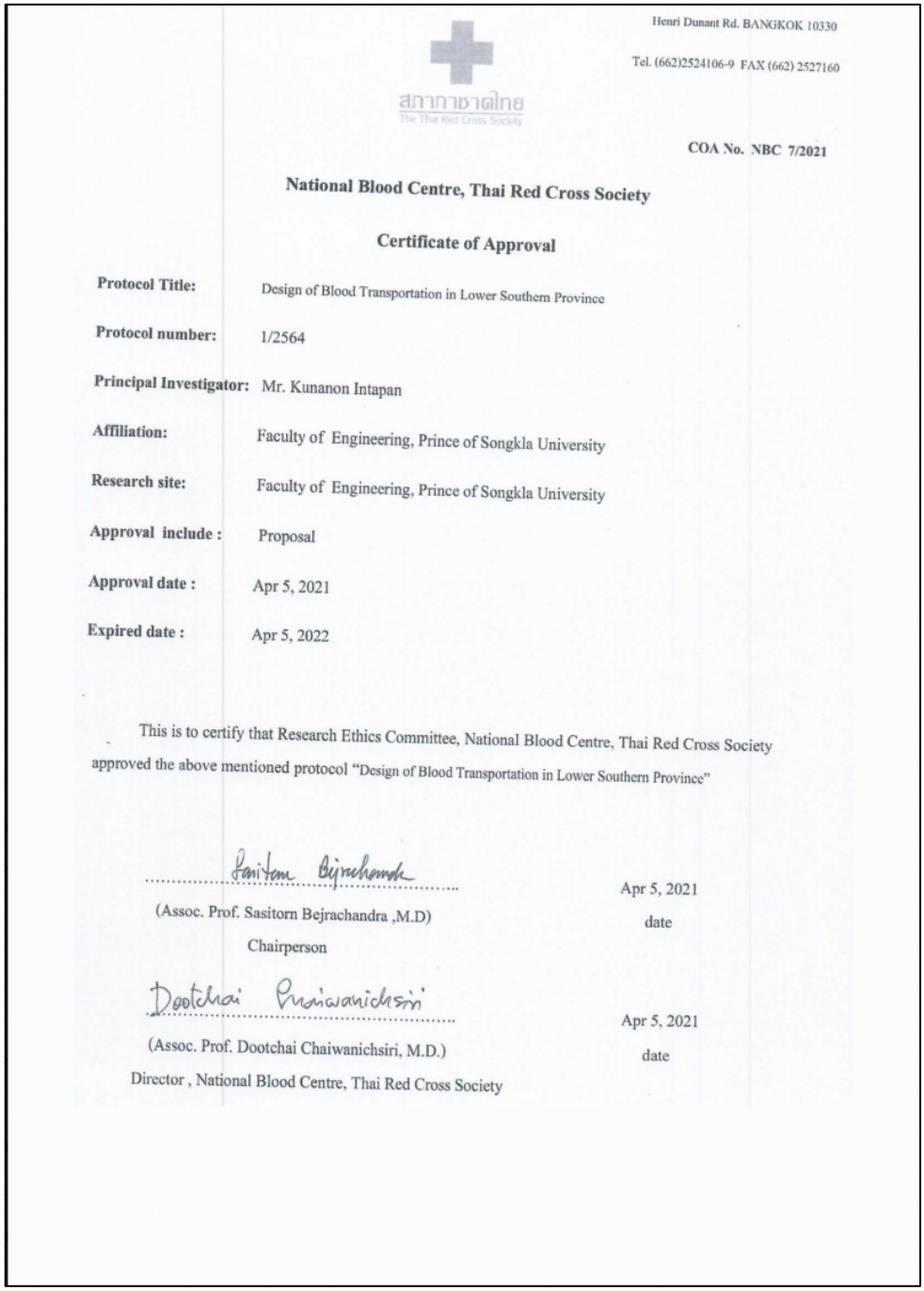
ทั้งนี้หากท่านต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ นายคุณานนต์ อินทปาน ได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ 083-390-5887

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

ภาคผนวก ข

หนังสืออนุมัติจริยธรรมการวิจัยสภากาชาดไทย



Henri Dunant Rd. BANGKOK 10330

Tel. (662)2524106-9 FAX (662) 2527160

สภากาชาดไทย
The Thai Red Cross Society

COA No. NBC 7/2021

National Blood Centre, Thai Red Cross Society

Certificate of Approval

Protocol Title:	Design of Blood Transportation in Lower Southern Province
Protocol number:	1/2564
Principal Investigator:	Mr. Kunanon Intapan
Affiliation:	Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
Research site:	Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
Approval include :	Proposal
Approval date :	Apr 5, 2021
Expired date :	Apr 5, 2022

This is to certify that Research Ethics Committee, National Blood Centre, Thai Red Cross Society approved the above mentioned protocol "Design of Blood Transportation in Lower Southern Province"

Sasitorn Bejrachandra

(Assoc. Prof. Sasitorn Bejrachandra ,M.D)
Chairperson

Apr 5, 2021
date

Dootchai Chaiwanichsiri

(Assoc. Prof. Dootchai Chaiwanichsiri, M.D.)
Director , National Blood Centre, Thai Red Cross Society

Apr 5, 2021
date

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง ขนส่งโลหิตจริง เรียงตามวันที่

การขนส่งประจำวันที่ 7 มกราคม พ.ศ.2565								
ลำดับที่	โรงพยาบาล	ระยะทางที่ใช้ (กิโลเมตร)		เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)		เวลาส่งมอบโลหิต (นาฬิกา)		
		โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริงเข้า	ขนส่งจริงออก
0	ภาคบริการฯ	0	0	0	0	8.30	-	8.40
1	มิตรภาพฯ	14	12	23	17	8.53	8.55	8.57
2	ราษฎร์ยินดี	2	2	10	5	8.58	9.00	9.02
3	ศิครินทร์	2.9	2	10	4	9.02	9.05	9.06
4	กรุงเทพฯ	2.5	3	10	6	9.08	9.10	9.12
5	สงขลา	21	24	30	28	9.36	9.35	9.50
6	นาทวี	60	54	55	50	10.26	9.45	9.50
7	ภาคบริการฯ	54.6	47	60	60	11.26	10.50	-

การขนส่งประจำวันที่ 9 มกราคม พ.ศ.2565								
ลำดับที่	โรงพยาบาล	ระยะทางที่ใช้ (กิโลเมตร)		เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)		เวลาส่งมอบโลหิต (นาฬิกา)		
		โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริงเข้า	ขนส่งจริงออก
0	ภาคบริการฯ	0	0	0	0	8.30	-	9.00
1	ราษฎร์ยินดี	15.4	14	20	17	8.30	9.15	9.17
2	ศิครินทร์	2.9	4	10	4	8.40	9.20	9.21
3	กรุงเทพฯ	2.5	2	10	5	8.50	9.25	9.26
4	ภาคบริการฯ	16.9	15	22	30	9.12	9.55	-

การขนส่งประจำวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2565								
ลำดับที่	โรงพยาบาล	ระยะทางที่ใช้ (กิโลเมตร)		เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)		เวลาส่งมอบโลหิต (นาฬิกา)		
		โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริงเข้า	ขนส่งจริงออก
0	ภาคบริการฯ	0	0	0	0	8.30	-	8.45
1	ราษฎร์ยินดี	15.4	15	20	18	8.50	9.00	9.03
2	ศิครินทร์	2.9	3	10	8	9.00	9.09	9.12
3	หาดใหญ่	2.5	2	10	5	9.10	9.15	9.18
4	สงขลา	23	25	24	26	9.34	9.40	9.44
5	นาทวี	22	23	55	55	10.29	10.35	10.39
6	ภาคบริการฯ	63	65	60	61	11.29	11.40	-

การขนส่งประจำวันที่ 22 มกราคม พ.ศ.2565								
ลำดับที่	โรงพยาบาล	ระยะทางที่ใช้ (กิโลเมตร)		เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (นาที)		เวลาส่งมอบโลหิต (นาฬิกา)		
		โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริง	โปรแกรมฯ	ขนส่งจริงเข้า	ขนส่งจริงออก
0	ภาคบริการฯ	0	0	0	0	8.30	-	8.30
1	กรุงเทพฯ	16.9	15	22	18	8.52	8.46	8.48
2	หาดใหญ่	3.1	3	10	5	10.2	8.52	8.53
3	สะเดา	47	48	56	60	10.58	9.50	9.53
4	ภาคบริการฯ	65	64	79	70	12.17	12.03	-

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายคุณานนต์ อินทปาน

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6310120014

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อุตสาหการ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2562

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1.Engineering Graduate Study Scholarship, Graduate Study Level ปีการศึกษา 2562 – 2564

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

[1] *K. Intapan, W. Kongkaew, S. Suthummanon, S. Mitundee, and S. Saranobphakhun, "A hybrid differential evolution for the blood routing problems: A case study of hospital cluster in Songkhla province," Thai J. Oper. Res., vol. 10, no. 1, pp. 179-192, Jun., 2022.*

งานประชุมวิชาการ

ภายในประเทศ

[1] คุณานนต์ อินทปาน, วนัฐณพงษ์ คงแก้ว, เสกสรร สุธรรมานนท์, สุภัตตรา มิถุนดี และ ศิริภัทร์ สารานพคุณ "การแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตด้วยการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่ กรณีศึกษากลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลา," ประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2565 (OR-NET 2022) ระหว่างวันที่ 16 -18 มีนาคม 2565 ณ โรงแรมเดอะเบด เวเคชั่น ราชมังคลา จังหวัดสงขลา.

ระดับนานาชาติ

[1] *K. Intapan, W. Kongkaew, S. Suthummanon, S. Mitundee, and S. Saranobphakhun, "A Logistic Optimization for the Blood Delivery Routing Problem in the Lower Southern Region of Thailand,"* The 16th International Congress on Logistics and SCM Systems (ICLS 2022) ระหว่างวันที่ 28 – 30 สิงหาคม 2565 ณ Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel จังหวัด ขอนแก่น.

รางวัลและความภาคภูมิใจ

1.รางวัลบทความดีมาก (Very Good Paper) จากการประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2565 (OR-NET 2022) ระหว่างวันที่ 16 -18 มีนาคม 2565 ณ โรงแรมเดอะเบดเวเคชั่น ราชมังคลา จังหวัดสงขลา

2.Outstanding Paper Award จากการชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 16th International Congress on Logistics and SCM Systems (ICLS 2022) ระหว่างวันที่ 28 – 30 สิงหาคม 2565 ณ Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel จังหวัด ขอนแก่น