ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ	วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ

An Algorithm for Solving Multi-depot Location Routing Problem for Parcel Delivery Service

นามผู้วิจัย นางสาวสโรชา นาคเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์วิสุทธิ์ สุพิทักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ

An Algorithm for Solving Multi-depot Location Routing Problem for Parcel Delivery Service

โดย

นางสาวสโรชา นาคเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)
พ.ศ. 2552

สโรชา นาคเจริญ 2552: วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. 100 หน้า

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-depot location routing problem, MDLRP) ที่เป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนานมากขึ้นตามขนาดของปัญหาและมีความจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของคลังสินค้าที่เป็นไปได้เพื่อหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากตำแหน่งดังกล่าว

งานวิจัยฉบับนี้จึงปรับปรุงวิธีแก้ปัญหา MDLRP ในกรณีที่ไม่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าที่เป็นไปได้ด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าตำแหน่งของคลังสินค้าควรอยู่จุดเดียวกันกับตำแหน่งของผู้ใช้บริการเพื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกตำแหน่งสามารถทำหน้าที่เป็นคลังสินค้าได้และแบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่ง การหาจำนวนคลังสินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วย MDLRP และระบุตำแหน่งของคลังสินค้าพร้อมกำหนดเส้นทางเดินรถด้วยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP)

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอ และขอบเขตต่ำสุดของผลลัพธ์จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ MDLRP ที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม LINGO 8.0 โดยใช้ข้อมูลจากกรณีศึกษาของธุรกิจจัดส่งพัสดุและปัญหาตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.98% และเหมาะที่จะนำไปใช้งานกับปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sarocha Nakcharoen 2009: An Algorithm for Solving Multi-depot Location Routing Problem for Parcel Delivery Service. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Mungwattana, Ph.D. 100 pages.

This research is focused on an algorithm for solving the Multi-depot Location Routing Problem (MDLRP) which is NP-hard and requires substantial amount of time to determine optimal solutions for large problems. However, For the MDLRP, the locations of potential depots must be known. The proposed algorithm is a heuristic solution method based on assumption to set the locations of potential depots on the same place of customer's locations for solving the MDLRP with unknown potential depots. The algorithm is divided into three steps as follows. The customers must be clustered within a constraint of vehicle capacity. The number of customers must be determined and then customers are allocated to each depot by using MDLRP. The locations of depot and routes are determined.

The comparison of performance, from a case study of parcel delivery service and the sample problems, between the solution of a proposed algorithm and the lower bound or optimal solution by using the mathematical model for MDLRP. The average percent error of a proposed algorithm is 15.98% and the result show that a proposed algorithm is suitable for small problems.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์เนื่องด้วยได้รับการส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่และสมาชิกในครอบครัวนาคเจริญ

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา ประธานกรรมการที่ปรึกษาและ อ.ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ กรรมการร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการวิจัยมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ด้านวิศวกรรมอุตสาหการให้แก่ผู้วิจัยเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอขอบคุณบริษัทและบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่อนุเคราะห์เอื้อเฟื้อข้อมูลเพื่อการศึกษาจนสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วง

สโรชา นาคเจริญ

ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (3)
สารบัญภาพ (5)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 3
การตรวจเอกสาร 4
อุปกรณ์และวิธีการ 20
อุปกรณ์ 20
วิธีการ 20
ผลและวิจารณ์ 44
ผล 44
วิจารณ์ 47
สรุปและข้อเสนอแนะ 48
สรุป 48
ข้อเสนอแนะ 49
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 50
ภาคผนวก 52
ภาคผนวก ก การทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เขียนโดยโปรแกรม LINGO 8.0 53
ภาคผนวก ข ข้อมูลการจัดลำดับระยะทางและความต้องการเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ 62
ภาคผนวก ค ข้อมูลการกำหนดพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการ 68
ภาคผนวก ง เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง D, J, K, L, M, N และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4 72
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบ VRP และ FCVRP จากโปรแกรม LINGO 8.0 79
ภาคผนวก ฉ ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด B และ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ 90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ช ข้อมูลพิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติม
ที่ 1-9 97
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตำแหน่งของผู้ใช้บริการและความต้องการพัสดุ	22
2	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมด	24
3	ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ	26
4	พิกัดของกลุ่มผู้ใช้บริการและผลรวมความต้องการพัสดุ	27
5	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลางของเซต	27
6	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซตที่ 1, 3 และ 4	31
7	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	33
8	ผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้สมาชิกในเซตที่ 1 เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	37
9	การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่าง VRP และ FCVRP เมื่อกำหนดให้สมาชิกในเซตที่ 1 เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	40
10	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง Q และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 2	40
11	ผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้ตำแหน่งผู้ใช้บริการ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	42
12	การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่าง VRP และ FCVRP เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งผู้ใช้บริการ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	42
13	สรุปผลการทดลองจากกรณีศึกษา	44
14	ข้อมูลของปัญหาตัวอย่างเพิ่มเติม	46
15	ผลลัพธ์ของปัญหาตัวอย่างเพิ่มเติม	46

ตารางผนวกที่

ก1	พิกัดของจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ MDLRP	54
ก2	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดสำหรับ MDLRP	55
ก3	ผลรวมระยะทางขนส่งที่ได้จากเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับ MDLRP	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก4	พิกัดของจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ VRP	58
ก5	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดสำหรับ VRP	59
ก6	ผลรวมระยะทางขนส่งที่ได้จากเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับ VRP	59
ข1	ข้อมูลการจัดลำดับระยะทางและความต้องการเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ	63
ค1	พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 1	69
ค2	พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 2	69
ค3	พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 3	70
ค4	พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 4	70
ง1	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง D และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	73
ง2	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง J และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	74
ง3	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง K และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	75
ง4	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง L และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	76
ง5	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง M และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	77
ง6	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง N และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4	78
ฉ1	เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B, Q และผู้ใช้บริการอื่น	91
ช1	พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 1 และ 2	98
ช2	พิกัดและความต้องการของผู้ใช้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 3 และ 4	98
ช3	พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 5, 6 และ 7	99
ช4	พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 8 และ 9	99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สามเหลี่ยม ABC และสามเหลี่ยม BCD	4
2	ผลลัพธ์ได้จาก MWLRP	9
3	แผนภูมิการไหลของวิธีการหาคำตอบสำหรับ MWLRP	11
4	ผลการเลือกจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุจากกลุ่มผู้ใช้บริการ	31
5	เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ B	37
6	เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ Q	42
7	เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ B และ Q	45

ภาพผนวกที่

ก1	ตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ MDLRP	55
ก2	เส้นทางการเดินรถเมื่อเปิดจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1	57
ก3	ตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ VRP	58
ก4	เส้นทางการเดินรถของตัวอย่างการทวนสอบสำหรับ VRP	60
ก5	เส้นทางการเดินรถของตัวอย่างการทวนสอบสำหรับ FCVRP	61

วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ

An Algorithm for Solving Multi-depot Location Routing Problem for Parcel Delivery Service

คำนำ

ในปัจจุบันราคาน้ำมันของตลาดโลกมีราคาสูงและถือเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการขนส่งทางธุรกิจ ดังนั้นผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงให้ความสำคัญกับระบบการขนส่งมากขึ้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนทางการผลิตและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันโดยคงไว้ซึ่งคุณภาพในการบริการ งานวิจัยฉบับนี้จึงเลือกศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาด้านการกำหนดเส้นทางเดินรถของผู้ให้บริการการจัดส่งพัสดุ ซึ่งเป็นธุรกิจที่มีการอัตราการแข่งขันสูงโดยมีค่าใช้จ่ายในการให้บริการขึ้นอยู่กับค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบการขนส่งเป็นปัจจัยหลัก และมีแนวโน้มว่าในอนาคตข้างหน้าผู้ใช้บริการจะมีความต้องการใช้บริการเพิ่มขึ้นจนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่มีอยู่เพียงแห่งเดียวจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้อีกต่อไป อีกทั้งระบบการกำหนดพื้นที่ความรับผิดชอบในการขนส่งสำหรับพนักงานขับรถของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุเป็นการกำหนดแบบอ้างอิงตามเขตบริการเป็นหลักโดยใช้รถขนส่งหนึ่งคันต่อหนึ่งเขต จึงทำให้ผู้ให้บริการไม่สามารถใช้ทรัพยากรในการดำเนินงานได้อย่างเต็มที่โดยเฉพาะเขตที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนน้อยซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายโดยรวมและความยืดหยุ่นในการให้บริการเมื่อมีการกำหนดที่ตั้งของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่

การแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-depot location routing problem, MDLRP) เป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนานมากขึ้นตามขนาดของปัญหาและมีความจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากตำแหน่งเบื้องต้นเหล่านั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้ในกรณีที่นำไปใช้กับปัญหาที่ไม่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้น งานวิจัยฉบับนี้จึงปรับปรุงการแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าตำแหน่งของคลังสินค้าหรือจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุควรอยู่จุดเดียวกันกับตำแหน่งของผู้ใช้บริการเพื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกตำแหน่งสามารถทำหน้าที่เป็นคลังสินค้าได้ โดยประยุกต์ใช้วิธี

แก้ปัญหา MDLRP ร่วมกับวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem, VRP) โดยแบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการแบ่งผู้ใช้บริการออก เป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่งและความต้องการในการใช้บริการ การหาจำนวนคลัง สินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วย MDLRP และการระบุตำแหน่งของคลังสินค้าที่เปิดใช้งานจริงพร้อมกำหนดเส้นทางเดินรถด้วย VRP เพื่อลดระยะทางในการขนส่งจึงสามารถระบุตำแหน่งรวมทั้งหาจำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมในตำแหน่งที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยรวมต่ำที่สุดไปพร้อมๆกับการกำหนดเส้น ทางการเดินรถหรือขนส่งพัสดุ ซึ่งช่วยในการลดต้นทุนที่เกิดจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่รถขนส่งพัสดุใช้วิ่งระหว่างจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุและตำแหน่งของผู้ใช้บริการโดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 เป็นเครื่องมือในการประมวลผลสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในงานวิจัยนี้ซึ่งสามารถสร้างคำตอบสุดท้ายได้ดีเพียงพอภายในเวลาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับรูปแบบการดำเนินธุรกิจจัดส่งพัสดุ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการแก้ปัญหาด้านการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งในกรณีที่ไม่มีการระบุจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เป็นไปได้ (Potential Depot) เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการในอนาคตของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ

2. เพื่อกำหนดเส้นทางการให้บริการภายใต้ความรับผิดชอบของพนักงานขนส่งเพื่อทำให้เกิดระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการจัดส่งพัสดุต่ำที่สุด

3. เพื่อระบุตำแหน่งหรือพิกัดของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของผู้ให้บริการในการเช่าหรือสร้างจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะบริการจัดส่งพัสดุตามปกติ ไม่รวมบริการพิเศษอื่นๆ โดยที่ความต้องการของผู้ใช้บริการถูกกำหนดให้มีค่าแน่นอนและไม่ทำการพิจารณาเงื่อนไขทางด้านเวลา

2. พาหนะขนส่งที่ใช้เป็นชนิดเดียวกันและมีความสามารถในการบรรทุกเท่ากัน ส่วนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เป็นไปได้ มีความสามารถในการรองรับพัสดุเท่ากันทุกจุด

3. พาหนะขนส่งต้องกลับมาที่จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเสมอเมื่อขนส่งพัสดุเสร็จ โดยพิจารณาเฉพาะการส่งพัสดุขาออกและไม่พิจารณาพัสดุนำเข้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

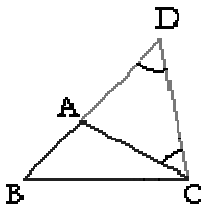
1. สามารถระบุตำแหน่งและจำนวนของสถานที่ตั้งจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุพร้อมสร้างเครือข่ายเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมซึ่งทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานของผู้ให้บริการลดลง

2. การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งช่วยลดเวลาที่ผู้ให้บริการใช้ในการแก้ปัญหาและสร้างคำตอบที่เหมาะสม

การตรวจเอกสาร

ปฐมภูมิของยูคลิด

ทฤษฎีบทที่ 20 ของยูคลิดกล่าวไว้ว่าสองด้านใดๆของสามเหลี่ยมเมื่อรวมกันย่อมยาวกว่าอีกด้านที่เหลือเสมออีกทั้งยังสอดคล้องกับข้อเท็จจริงว่าเส้นตรงเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเชื่อมต่อระหว่างจุดถึงจุดในปริภูมิยูคลิเดียน (Euclidean space) หรือ ปริภูมิฮิลเบิร์ท (Hilbert space) อีกด้วย (Todhunter, 1867)



ภาพที่ 1 สามเหลี่ยม ABC และสามเหลี่ยม BCD
ที่มา: Joyce (2002)

จากภาพที่ 1 สามเหลี่ยม ABC และสามเหลี่ยม BCD สามารถกล่าวได้ว่าด้าน BA หากรวมกับ AC แล้วจะมีความยาวมากกว่าด้าน BC โดยที่ด้าน AC เป็นด้านที่ทำให้เกิดสามเหลี่ยมหน้าจั่ว DAC เมื่อด้าน AC มีความยาวเท่ากับ AD ที่อยู่บนด้าน BD และด้าน BA, AD มีความยาวเท่ากับด้าน BA, AC อีกทั้งมุมของสามเหลี่ยม DCB มีความกว้างกว่ามุม D อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นด้านตรงข้ามBD จะมีความยาวมากกว่าด้านตรงข้าม BC แต่ BD มีความยาวเท่ากับ BA, AC เพราะฉะนั้น BA, AC ย่อมมีความยาวมากกว่า BC เสมอ

เมื่อกำหนดให้ ABC เป็นสามเหลี่ยมดังภาพที่ 1 โดยขยายด้าน BA ไปถึงจุด D จนทำให้ด้าน AD ยาวเท่ากับด้าน AC เมื่อนำสองด้านใดๆของสามเหลี่ยมมารวมกันจะต้องมีความยาวมากกว่าอีกด้านที่เหลือเสมอโดยที่ด้าน BA, AC ยาวกว่าด้าน BC ส่วนด้าน AB, BC ยาวกว่าด้าน AC และด้าน BC, CA ยาวกว่าด้าน AB ดังนี้แล้วจึงส่งผลให้มุม ADC เท่ากับมุม ACD เนื่องจากเป็นมุมฐานของสามเหลี่ยมหน้าจั่วตามทฤษฎีบทที่ 5 ของยูคลิด ส่วนมุม BCD ใหญ่กว่ามุม ACD ดังนั้นมุม BCD ย่อมใหญ่กว่ามุม ADC ด้วยและมุม DCB ใหญ่กว่ามุม BDC เนื่องจากมุมที่ใหญ่ที่สุดจะอยู่ตรงกันข้ามกับด้านที่ยาวที่สุดเสมอตามทฤษฎีบทที่ 19 ของยูคลิด

เมื่อด้าน BD ยาวกว่าด้าน BC แต่ BC ยาวเท่ากับด้าน BA, AD รวมกันและ AD เท่ากับ AC ดังนั้นด้าน BD จึงมีความยาวเท่ากับ BA, AC รวมกัน เพราะฉะนั้นด้าน BA, AC จึงยาวกว่าด้าน BC เช่นเดียวกันนี้จึงสามารถพิสูจน์ได้ว่าด้าน AB, BC ยาวกว่า CA และ BC, CA ยาวกว่า AB ด้วย (Joyce, 2002)

ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งคลังสินค้าและเส้นทางเดินรถ

Perl (1983) ได้นำเสนอและอธิบายถึง The Warehouse Location-Routing Problem หรือ WLRP ว่าเป็นปัญหาในการค้นหาตำแหน่งเพื่อตั้งศูนย์กลางการกระจายสินค้าและเส้นทางขนส่งที่เหมาะสมซึ่ง WLRP ครอบคลุมถึงปัญหาด้านทำเลที่ตั้งและเส้นทางขนส่งซึ่งเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายเช่น Transportation Location Problem (TLP), General Transportation Problem (GTP), Multi-Depot Vehicle Dispatch Problem (MDVDP) และ Traveling Salesman Problem (TSP) ทั้งนี้ WLRP ได้ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองผสมผสานกำหนดการเชิงเส้น (mixed-integer programming model) โดยประกอบไปด้วยดัชนีกำกับ (Subscripts), เซต (Sets), ตัวแปรสริม (Parameters), ตัวแปรตัดสินใจ (Variables) ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้

ดัชนีกำกับ (Subscripts):

h, g = ดัชนีกำหนดจุด (point index) ของลูกค้าหรือศูนย์กลางการกระจายสินค้า

$(1 \leq h \leq N+M), (1 \leq g \leq N+M)$

i = ดัชนีลูกค้า (customer index) $(1 \leq i \leq N)$

j = ดัชนีศูนย์กลางการกระจายสินค้า (DC site index) $(N+1 \leq j \leq N+M)$

k = ดัชนีเส้นทางขนส่ง (route index) $(1 \leq k \leq K)$

s = ดัชนีแหล่งสนับสนุนทรัพยากร (supply source index) $(1 \leq s \leq S)$

เซต (Sets):

$p = \{p_h \mid 1 \leq h \leq N+M\}$ เซตของจุดทั้งหมด

$W = \{w_j \mid N+1 \leq j \leq N+M\}$ เซตของตำแหน่งศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เป็นไปได้

$L = \{w_j \mid Z = 1\}$ เซตของตำแหน่งศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่ถูกเปิด

ตัวแปรสริม (Parameters):

d_{ij} = ระยะห่างระหว่างจุด i และจุด j

q_i = ความต้องการของลูกค้า i

FC_j = ค่าใช้จ่ายคงที่ในการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้าj

VC_j = ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (unit throughput) ของศูนย์กลางการกระจายสินค้า j

T_j = ปริมาณงานสูงสุดที่ศูนย์กลางการกระจายสินค้า j สามารถรับได้

CT_{sj} = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการขนย้าย (trunking) จากแหล่งสนับสนุนทรัพยากร s ไปยังศูนย์กลางการกระจายสินค้า j

C_k = ความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง (หรือเส้นทาง) k

D_k = ระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ทำการขนส่งได้ในเส้นทาง k

CM_k = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยวัดระยะในการขนส่งของพาหนะบนเส้นทาง k

ตัวแปรตัดสินใจ (Variables):

$$X_{ghk} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด g ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด h บนเส้นทาง k} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ หากลูกค้า i ถูกกำหนดให้ได้รับการบริการ โดยศูนย์กลางการกระจายสินค้าj} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Z_j = \begin{cases} 1 \text{ หากศูนย์กลางการกระจายสินค้า j ถูกสร้างขึ้น} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

f_{sj} = ปริมาณการขนส่งจากแหล่งสนับสนุนทรัพยากร s ไปศูนย์กลางการกระจายสินค้า j

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min } C(X, Y, Z, f) = \sum_{j=N+1}^{N+M} FC_j Z_j + \sum_{s=1}^{S} \sum_{j=N+1}^{N+M} CT_{sj} f_{sj} + \sum_{j=N+1}^{N+M} VC_j \left(\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{ij} \right) + \sum_{k=1}^{K} \sum_{g=1}^{N+M} \sum_{h=1}^{N+M} CM_k d_{gh} X_{ghk}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} = 1 \text{ โดยที่ i} = 1 \ldots N \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i \sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} \le C_k \quad \text{โดยที่ k = 1…K} \tag{2}$$

$$\sum_{g=1}^{N+M} \sum_{h=1}^{N+M} d_{gh} X_{ghk} \le D_k \quad \text{โดยที่ k = 1…K}$$

$$\text{h = 1…N+M} \tag{3}$$

$$\sum_{g \in V} \sum_{h \in \overline{V}} \sum_{k=1}^{K} X_{ghk} \ge 1 \quad \forall \left(V, \overline{V}\right) \text{ เมื่อ V เป็นสับเซตแท้ของ P และ W} \tag{4}$$

$$\sum_{g=1}^{N+M} X_{hgk} - \sum_{g=1}^{N+M} X_{ghk} = 0 \quad \text{โดยที่ k = 1…K}$$

$$\text{h = 1…N+M} \tag{5}$$

$$\sum_{j=N+1}^{N+M} \sum_{i=1}^{N} X_{ijk} \le 1 \quad \text{โดยที่ k = 1…K} \tag{6}$$

$$\sum_{s=1}^{S} f_{sj} - \sum_{i=1}^{N} q_i Y_{ij} = 0 \quad \text{โดยที่ j = N+1…N+M} \tag{7}$$

$$\sum_{s=1}^{S} f_{sj} - T_j Z_j \le 0 \quad \text{โดยที่ j = N+1…N+M} \tag{8}$$

$$\sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} + \sum_{h=1}^{N+M} X_{jhk} - Y_{ij} \le 1 \quad \text{โดยที่ i = 1…N}$$

$$\text{j = N+1…N+M}$$

$$\text{k = 1…K} \tag{9}$$

$X_{ghk} = 0, 1$ โดยที่ g = 1…N+M, h = 1…N+M และ k = 1…K (10)

$Y_{ij} = 0, 1$ โดยที่ i = 1…N และ j = N+1…N+M (11)

$Z_j = 0, 1$ โดยที่ j = N+1…N+M (12)

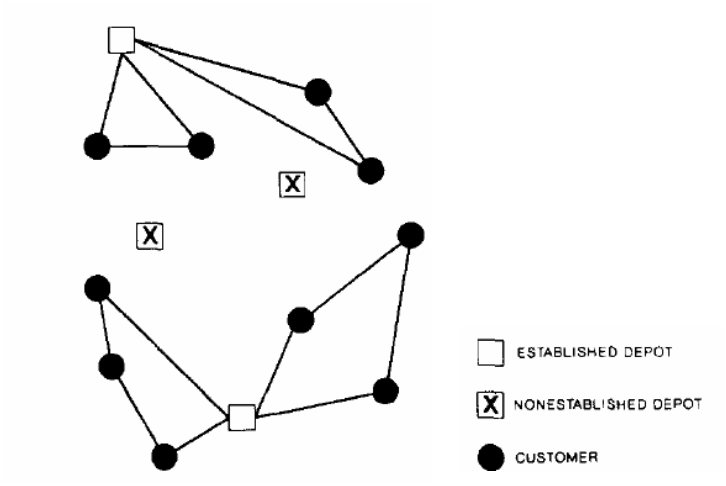
$f_{sj} \ge 0$ โดยที่ s = 1…S และ j = N+1…N+M (13)

สมการเป้าหมายคือผลรวมต่ำสุดของค่าใช้จ่ายคงที่ในการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนย้าย (trunking) ค่าใช้จ่ายแปรผันของศูนย์กลางการกระจายสินค้าและการขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (1) กำหนดให้ลูกค้าแต่ละคนสามารถได้รับการบริการจากพาหนะขนส่งเพียงคน

ละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางส่วนสมการที่ (2) คือสมการเงื่อนไขด้านการบรรทุกพัสดุของพาหนะขนส่งกำหนดให้ความต้องการของลูกค้าแต่ละคนต้องน้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง หากลูกค้าคนใดคนหนึ่งมีความต้องการมากกว่านั้นให้ลดจำนวนลงเหลือเท่าที่ความสามารถในการบรรทุกเต็มจำนวนของพาหนะขนส่งจะรับได้ สมการเงื่อนไขที่ (3) ระบุให้ระยะทางรวมของเส้นทางขนส่งต้องไม่มากกว่าระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ทำการขนส่งได้ในเส้นทางนั้นๆ ซึ่งปกติแล้วจะใช้ในกรณีที่มีการตกลงด้านสัญญาจ้างที่อาจระบุไว้ระหว่างพนักงานขับรถและบริษัท สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นการกำหนดว่าเส้นทางขนส่งทุกๆเส้นต้องเชื่อมต่อกับศูนย์กลางการกระจายสินค้าส่วนสมการเงื่อนไขที่ (5) กำหนดว่าเมื่อพาหนะขนส่งเข้าให้บริการที่จุดบริการใดๆก็จะต้องออกจากจุดนั้นเช่นกัน สมการเงื่อนไขที่ (6) กำหนดให้เส้นทางขนส่งแต่ละเส้นสามารถขึ้นตรงกับศูนย์กลางการกระจายสินค้าเพียงศูนย์ใดศูนย์หนึ่งเท่านั้นส่วนสมการเงื่อนไขที่ (7) ระบุว่าปริมาณพัสดุขาออกจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าจะต้องเท่ากับเข้าที่ได้จากแหล่งสนับสนุนทรัพยากรเสมอ สมการเงื่อนไขที่ (8) เป็นการจำกัดปริมาณพัสดุของศูนย์กลางการกระจายสินค้า ส่วนสมการที่ (9) คือสมการเงื่อนไขที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบในการหาตำแหน่งและเส้นทางของ WLRP โดยการระบุให้ลูกค้าสามารถรับบริการจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าได้ในกรณีที่มีเส้นทางขนส่งจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (10), (11) และ (12) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจด้านการออกแบบเส้นทางขนส่ง (X_{ghk}) ด้านการกำหนดหน้าที่ (Y_{ij}) และด้านการเลือกตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กลางการกระจายสินค้า (Z_j) ให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (13) กำหนดให้ปริมาณการขนส่งจากแหล่งสนับสนุนทรัพยากร s ไปยังศูนย์กลางการกระจายสินค้า (f_{sj}) มีค่ามากกว่า 0 เสมอ

ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งคลังสินค้าและเส้นทางเดินรถแบบดัดแปลง

Perl and Daskin (1985) ได้นำเสนอปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งคลังสินค้าและเส้นทางเดินรถแบบดัดแปลง (The Modified Warehouse Location-Routing Problem, MWLRP) ซึ่งเป็นการปรับปรุง WLRP ให้มีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยลงโดยตั้งสมมุติฐานว่าค่าใช้จ่ายในการขนย้าย (trunking cost per unit) คงที่จึงกล่าวได้ว่าศูนย์กลางการกระจายสินค้าสามารถทำหน้าที่เป็นจุดสนับสนุนทรัพยากรได้ด้วยเช่นเดียวกับแบบจำลองการหาสถานที่ตั้งคลังสินค้า (Warehouse Location Models) (Nauss, 1978) โดยที่ไม่นำส่วนประกอบที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการขนย้ายมาพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการขนส่งในแบบจำลองและกำหนดให้คลังสินค้าคือจุดสนับสนุนทรัพยากร อีกทั้งยังไม่นำเงื่อนไขเกี่ยวกับการกำหนดระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ทำการขนส่งได้ในแต่ละเส้นทางมาพิจารณาในแบบจำลอง



ภาพที่ 2 ผลลัพธ์ได้จาก MWLRP

ที่มา: Hansen *et al.* (1994)

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min } C(X, Y, Z) = \sum_{j=N+1}^{N+M} FC_j Z_j + \sum_{j=N+1}^{N+M} VC_j \left(\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{ij} \right) + \sum_{k=1}^{K} \sum_{g=1}^{N+M} \sum_{h=1}^{N+M} CM_k d_{gh} X_{ghk}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} = 1 \text{ โดยที่ i} = 1 \ldots \text{N} \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i \sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} \leq C \text{ โดยที่ k} = 1 \ldots \text{K} \tag{2}$$

$$\sum_{g \in V} \sum_{h \in \overline{V}} \sum_{k=1}^{K} X_{ghk} \geq 1 \ \forall \left(V, \overline{V} \right) \text{ เมื่อ V เป็นสับเซตแท้ของ P และ W} \tag{3}$$

$$\sum_{g=1}^{N+M} X_{hgk} - \sum_{g=1}^{N+M} X_{ghk} = 0 \text{ โดยที่ k} = 1 \ldots \text{K}$$

$$\text{h} = 1 \ldots \text{N+M} \tag{4}$$

$$\sum_{j=N+1}^{N+M} \sum_{i=1}^{N} X_{ijk} \leq 1 \text{ โดยที่ k} = 1 \ldots \text{K} \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{ij} - T_j Z_j \leq 0 \text{ โดยที่ j} = \text{N+1} \ldots \text{N+M} \tag{6}$$

$$\sum_{h=1}^{N+M} X_{ihk} + \sum_{h=1}^{N+M} X_{jhk} - Y_{ij} \leq 1 \text{ โดยที่ i = 1…N}$$

$$\text{j = N+1…N+M}$$

$$\text{k = 1…K} \quad (7)$$

X_{ghk} = 0, 1 โดยที่ g = 1…N+M, h = 1…N+M และ k = 1…K (8)

Y_{ij} = 0, 1 โดยที่ i = 1…N และ j = N+1…N+M (9)

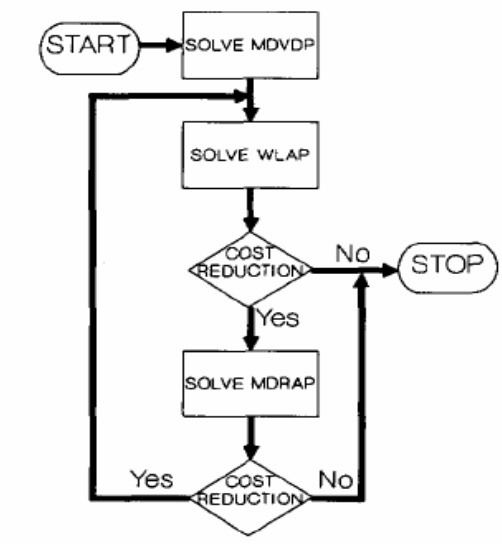
Z_j = 0, 1 โดยที่ j = N+1…N+M (10)

จากสมมุติฐานที่กล่าวไว้ข้างต้นทำให้สมการเป้าหมายของ MWLRP แตกต่างไปจาก WLRP คือไม่มีการนำส่วนประกอบที่สองในสมการเป้าหมายของ WLRP มาพิจารณาเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการขนย้ายต่อหน่วยคงที่ ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (2) ทางขวามือของ WLRP ถูกแทนที่โดยความสามารถในการบรรทุกตามมาตรฐานของพาหนะขนส่งเพื่อความสะดวกในการคำนวณ สำหรับสมมุติฐานที่ระบุว่าจะไม่นำเงื่อนไขเกี่ยวกับการกำหนดระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ทำการขนส่งได้ในแต่ละเส้นทางมาพิจารณาในแบบจำลองและกำหนดให้ศูนย์กลางการกระจายสินค้าสามารถทำหน้าที่เสมือนจุดสนับสนุนทรัพยากรทำให้สมการเงื่อนไขที่ (3) และ (7) ของ WLRP ถูกตัดออกไปตาม ลำดับ ดังนี้แล้วจึงทำให้ WLRP กลายเป็น MWLRP

วิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งคลังสินค้าและเส้นทางเดินรถ

Hansen *et al*. (1994) ได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับ MWLRP โดยจำแนกปัญหาออกเป็นสามส่วนย่อยตามส่วนประกอบพื้นฐานของ MWLRP ตามแนวคิดของ (Perl and Daskin, 1985) และทำการแก้ไขปัญหาทีละส่วนตามลำดับดังภาพที่ 3 โดยที่สามารถจำแนกการแก้ปัญหา MWLRP ออกได้เป็นสามปัญหาย่อยดังนี้

- ปัญหาด้านการจัดส่งของพาหนะขนส่งสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (The Multi-Depot Vehicle-Dispatch Problem, MDVDP)
- ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งสำหรับคลังสินค้า (The Warehouse Location-Allocation Problem, WLAP)
- ปัญหาการกำหนดเส้นทางขนส่งของพาหนะขนส่งสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (The Multi-Depot Routing-Allocation Problem, MDRAP)



ภาพที่ 3 แผนภูมิการไหลของวิธีการหาคำตอบสำหรับ MWLRP
ที่มา: Hansen *et al*. (1994)

เนื่องจาก MDVDP และ MDRAP คือปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งซึ่งยากต่อการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีแม่นตรง (existing strict optimization method) ส่วน WLAP ก็แก้ปัญหาได้ยากเช่นเดียวกันดังนั้นการแก้ปัญหาย่อยโดยใช้วิธีเชิงฮิวริสติกซึ่งหลีกเลี่ยงการหาคำตอบที่มีค่าต่ำสุดสัมพันธ์ (local minimum) และเน้นการหาผลลัพธ์อย่างรวดเร็วแม้จะเป็นปัญหาขนาดใหญ่ก็ตาม ซึ่ง MDVDP ให้ผลลัพธ์ที่มีระยะการขนส่งโดยรวมต่ำที่สุดและแสดงจำนวนเส้นทางขนส่งที่ต้องการภายใต้สมมุติฐานเริ่มต้นว่าตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เป็นไปได้นั้นถูกเปิดใช้งานทั้งหมด ส่วนขั้นตอนที่สอง WLAP เป็นการค้นหาตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่ต้องเปิดใช้งานจริงและจัดเรียงเส้นทางขนส่งเสียใหม่โดยอ้างอิงเส้นทางการขนส่งที่ได้จาก MDVDP แล้วตรวจสอบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลดลงจาก MDVDP หรือไม่ หากไม่ลดลงให้ถือว่าผลลัพธ์ที่ได้จาก WLAP เป็นคำตอบสุดท้ายและสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบแต่ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลดลง ให้นำไปสู่ขั้นตอนที่สามคือ MDRAP ซึ่งเป็นการกำหนดความรับผิดชอบต่อลูกค้าให้กับศูนย์กลางการกระจายสินค้าใหม่อีกครั้งโดยอ้างอิงจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่ถูกเปิดใช้งานตามผลลัพธ์ที่ได้จาก WLAP (Miller, 2002) จากนั้นจึงพิจารณาถึงการลดลงของค่าใช้จ่ายอีกครั้งหนึ่ง หากไม่ลดลงให้ถือว่าผลลัพธ์ที่ได้จาก MDRAP เป็นคำตอบสุดท้ายและสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบแต่ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลดลงให้ย้อนกลับไปที่ขั้นตอนของ WLAP อีกครั้งหนึ่ง

ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง

วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-Depot Location-Routing Problem, MDLRP) ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีสมมุติฐานว่าจำนวนลูกค้า, ตำแหน่งของลูกค้า, ความต้องการของลูกค้า, จำนวนศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เป็นไปได้, ทำเลที่ตั้งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าเป็นไปได้, จำนวนและชนิดของพาหนะขนส่งจะต้องสามารถระบุได้ในระบบโลจิสติกส์ ซึ่งการกระจายสินค้าและแผนการดำเนินงานตามเครือข่ายการเดินทางถูกออกแบบให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ว่าต้องสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้, ลูกค้าแต่ละคนลูกค้าสามารถรับบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงตำแหน่งละหนึ่งคันเท่านั้น, ความต้องการทั้งหมดของลูกค้าในแต่ละเส้นทางต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะที่รับผิดชอบเส้นทางการขนส่งนั้นๆและพาหนะขนส่งจะออกเดินทางจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าและต้องสิ้นสุดลงที่จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าแห่งเดิมเสมอ ซึ่งแบบจำลองที่ (Wu *et al.*, 2002) ได้นำเสนอนั้นเป็นการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จาก MWLRP ของ (Perl and Daskin, 1985) โดยมีข้อแตกต่างสามประการดังนี้

- เพิ่มเติมสมการเงื่อนไขที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดซับทัวร์ขึ้นในคำตอบของ MWLRP
- ไม่มีการนำค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยของศูนย์กลางการกระจายสินค้ามาพิจารณาในสมการเป้าหมาย ในขณะที่มีการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดส่งของพาหนะขนส่งลงไปแทน
- เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานจึงอนุญาตให้ใช้งานพาหนะขนส่งที่มีความสามารถในการบรรทุกแตกต่างกันได้

โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังนี้

เซต (Sets):

i = จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าทั้งหมดที่เป็นไปได้

j = ลูกค้าทั้งหมด

k = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

ตัวแปรเสริม (Parameters):

N = จำนวนของลูกค้า

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปจุด j

G_i = ต้นทุนคงที่ของการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้า i

F_k = ต้นทุนคงที่ของการใช้พาหนะขนส่ง k

V_i = ความสามารถในการรองรับสินค้าของศูนย์กลางการกระจายสินค้า i

d_j = ความต้องการของลูกค้า j

Q_k = ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง (หรือเส้นทาง) k

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j บนเส้นทาง k } (i, j \in I \cup J) \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 \text{ หากศูนย์กลางการกระจายสินค้า i ถูกสร้างขึ้น} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ หากลูกค้า j ถูกกำหนดให้ได้รับการบริการโดยศูนย์กลางการกระจายสินค้า i} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

U_{lk} = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable)

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} G_i Y_i + \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} F_k \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \text{ โดยที่ } j \in J \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} \le Q_k \text{ โดยที่ } k \in K \quad (2)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + NX_{ljk} \le N - 1 \text{ โดยที่ } l, j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} X_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} X_{jik} = 0 \text{ โดยที่ } k \in K, i \in I \cup J \quad (4)$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} X_{ijk} \le 1 \text{ โดยที่ } k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j\in J} d_j Z_{ij} - V_i Y_i \le 0 \text{ โดยที่ } i \in I \quad (6)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u\in I\cup J}\left(X_{iuk} + X_{ujk}\right) \le 1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$X_{ijk} = 0, 1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$Y_i = 0, 1 \text{ โดยที่ } i \in I \quad (9)$$

$$Z_{ij} = 0,1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$U_{lk} \ge 0 \text{ โดยที่ } l \in J, k \in K \quad (11)$$

สมการเป้าหมายคือผลรวมต่ำสุดจากผลบวกของต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้า, ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนคงที่ในการใช้ยานพาหนะขนส่ง ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (1) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละคนสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (2) เป็นการกำหนดเงื่อนไขว่าปริมาณของสินค้าที่ยานพาหนะคันนั้นๆรับผิดชอบจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้า สมการเงื่อนไขที่ (3) ใช้เพื่อป้องกันการเกิดซับทัวร์ สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นเงื่อนไขที่บังคับให้พาหนะขนส่งเข้าให้บริการที่จุดใดก็ต้องออกจากจุดนั้นเสมอ พาหนะขนส่งแต่ละคันสามารถทำงานให้กับศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเพียงแห่งเดียวเท่านั้นระบุไว้ในสมการเงื่อนไขที่ (5) ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (6) เป็นเงื่อนไขด้านความสามารถในการรองรับความต้องการของลูกค้าของศูนย์กลางการกระจายสินค้า สมการเงื่อนไขที่ (7) เป็นการจัดสรรลูกค้าให้เข้าใช้บริการในศูนย์กลางการกระจายสินค้าได้เพียงแห่งเดียวหากมีเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างลูกค้าและศูนย์กลางการกระจายสินค้า ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (8), (9) และ (10) คือตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น สุดท้ายคือสมการเงื่อนไขที่ (11) ซึ่งเป็นตัวแปรสนับสนุนที่ต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

Golden *et al.* (1977) ได้เสนอปัญหาการจัดเส้นทางของพาหนะขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายจุดที่มีปริมาณความต้องการสินค้าแตกต่างกัน เพื่อให้มีระยะการเดินทางต่ำที่สุด และมีเงื่อนไขว่าพาหนะขนส่งทุกคันจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทางที่คลังสินค้าเสมอ โดยมีข้อ

จำกัดด้านความจุของพาหนะขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง หากไม่มีเงื่อนไขด้านเวลาจะกลายเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมาตรฐาน (Standard Vehicle Routing Problem, VRP) ซึ่งเป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ดที่มีเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่า 50 จุด (Kytojoki *et al.*, 2007) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงดังนี้

เซต (Sets):

i = ตำแหน่งหรือโนดที่ i

j = ตำแหน่งหรือโนดที่ j

v = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

ตัวแปรเสริม (Parameters):

n = จำนวนของตำแหน่งหรือโนดทั้งหมดที่มีในระบบ

NV = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

d_i = ความต้องการสินค้าที่จุด i โดยกำหนดให้ $d_1 = 0$

C_{ij} = ระยะทางระหว่างจุด i และ j

K_v = ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง v

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j บนเส้นทาง v หรือโดยยานพาหนะ v} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

Y_i = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij} X_{ij}^{v}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \text{ โดยที่ j} = 2\ldots n \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \text{ โดยที่ i = 2…n} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{n} X_{pj}^{v} = 0 \text{ โดยที่ v = 1…NV และ p = 1…n} \quad (3)$$

$$\sum_{i-1}^{n} D_i \left(\sum_{j=1}^{n} X_{ij}^{v} \right) \le K_v \text{ โดยที่ v = 1…NV} \quad (4)$$

$$\sum_{j=2}^{n} X_{1j}^{v} \le 1 \text{ โดยที่ v=1…NV} \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^{n} X_{i1}^{v} \le 1 \text{ โดยที่ v=1…NV} \quad (6)$$

$$Y_i - Y_j + n\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} \le n-1 \text{ โดยที่ i, j=2…n และ } i \neq j \quad (7)$$

$$X_{ij}^{v} = 0 \text{ หรือ1 สำหรับทุก i, j และ v} \quad (8)$$

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดระยะในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (1) และ (2) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (3) แสดงความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทางเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดใดๆและออกจากจุดนั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) แสดงข้อจำกัดทางด้านความจุของยานพาหนะ สมการเงื่อนไขที่ (5), (6) ยืนยันความสามารถในการมียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด สมการเงื่อนไขที่ (7) เป็นสมการป้องกันการเกิดซับทัวร์ โดยกำหนดให้ตัวแปรสนับสนุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และ สมการที่ (8) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับพาหนะขนส่งที่มีความสามารถในการบรรทุกเท่ากัน (Fixed Capacity Vehicle Routing Problem, FCVRP) นั้น บริษัทผู้พัฒนาซอฟแวร์ LINGO ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาโดยเปลี่ยนแปลงสมการเงื่อนไขบางส่วนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมาตรฐานเพื่อลดเวลาใน

การค้นหาคำตอบ โดยกำหนดให้จำนวนพาหนะขนส่งที่ต้องการขั้นต่ำเท่ากับความต้องการของผู้ใช้บริการทั้งหมดหารด้วยความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ และพาหนะขนส่งทุกคันต้องมีความสามารถในการบรรทุกเท่ากัน แบบจำลองแสดงได้ดังนี้

เซต (Sets):

i = ตำแหน่งหรือโนดที่ i

j = ตำแหน่งหรือโนดที่ j

k = ตำแหน่งหรือโนดที่ k

ตัวแปรเสริม (Parameters):

N = จำนวนของตำแหน่งหรือโนดทั้งหมดที่มีในระบบ

Q_i= ปริมาณความต้องการสินค้าที่จุด i

U_i= ปริมาณความต้องการสินค้าสะสมที่จุด i

V_{cap} = ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง

V_{req} = จำนวนพาหนะขนส่งทั้งหมด

C_{ij} = ระยะทางระหว่างจุด i และ j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}$$

สมการเงื่อนไข:

$X_{(k,k)} = 0$ โดยที่ k = 2…n (1)

$$\sum_{i=1}^{n} X_{(i,k)} = 1 \text{ โดยที่ } i \neq k \text{ และ } k = 2\ldots n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{(k,j)} = 1 \text{ โดยที่ } j \neq k \text{ และ } k = 2\ldots n \quad (3)$$

$$Q_k \leq U_k \leq V_{cap} \text{ โดยที่ } k = 2\ldots n \quad (4)$$

$$U_k \geq U_i + Q_k - V_{cap} + (V_{cap}(X_{k,i} + X_{i,k})) - ((Q_k + Q_i) X_{k,i}) \text{ โดยที่ } i \neq k,\ i = 2\ldots n \text{ และ } k = 2\ldots n \quad (5)$$

$$U_k \leq V_{cap} - ((V_{cap} - Q_k) X_{1,k}) \text{ โดยที่ } k = 2\ldots n \quad (6)$$

$$U_k \geq Q_k + \sum_{i=2}^{n} (Q_i X_{i,k}) \text{ โดยที่ } k = 2\ldots n \quad (7)$$

$$\sum_{j=2}^{n} X_{1,j} \geq V_{req} \quad (8)$$

$$X_{i,j} = 0 \text{ หรือ } 1 \text{ โดยที่ } i = 1\ldots n \text{ และ } j = 1\ldots n \quad (9)$$

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดระยะในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (1) เป็นการกำหนดไม่ให้พาหนะขนส่งเดินทางอยู่กับที่ สมการเงื่อนไขที่ (2) และ (3) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคัน หรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นการจำกัดให้ความต้องการสะสมของผู้ใช้บริการในแต่ละเส้นทางไม่เกินกว่าความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (5) เป็นสมการกำหนดขอบเขต (Bound) ความต้องการสะสมของผู้ใช้บริการในแต่ละเส้นทาง สมการเงื่อนไขที่ (6) และ (7) กำหนดให้ความต้องการสะสมมีค่าเท่ากับความต้องการของผู้ใช้บริการที่จุดใดๆหากจุดนั้นถูกเลือกให้เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (8) ใช้บังคับให้พาหนะขนส่งที่ออกจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้ามีจำนวนเพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (9) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

Clark and Wright (1964) ได้นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งที่มีความต้องการของลูกค้าหลายแห่ง พาหนะขนส่งมีความจุหลายขนาด และส่งสินค้าออกจากคลังสินค้าแห่งเดียวโดยการหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งแบบประหยัด (Saving cost) และสร้างเส้นทางขึ้นมาจากการเชื่อมโยง

จุดที่มีค่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งแบบประหยัดมากที่สุดภายใต้เงื่อนไขด้านความ สามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง ต่อมา (Holmes and Parker, 1976) ได้พัฒนางานวิจัยของ Clarke and Wright ให้มีความเหมาะสมต่อระบบต้นทุนไปกลับระหว่างจุดที่มีลักษณะสมมาตรกันและไม่สมมาตรกันมากยิ่งขึ้น (Renaud and Boctor, 2002) ได้นำเสนอ Sweep-based algorithm ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาเชิงฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาการเลือกขนาดและการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

การบริการจัดส่งจดหมายและพัสดุด่วนพิเศษ

ธุรกิจการจัดส่งจดหมายและพัสดุด่วนพิเศษเป็นรูปแบบหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานซึ่งมีความสำคัญต่อการติดต่อสื่อสารและดำเนินธุรกิจที่สามารถสนองความต้องการของธุรกิจได้อย่างทันท่วงที โดยสิ่งที่ลูกค้าหรือผู้จัดส่งสินค้าต้องการคือผู้ให้บริการต้องสามารถรับสินค้าและจัดส่งพัสดุได้ตรงตามเวลาที่ลูกค้ากำหนดและมีความรวดเร็วในการดำเนินงาน โดยสินค้าที่ถูกจัดส่งต้องถึงมือผู้รับในสภาพปกติไม่ชำรุดเสียหาย (สมศักดิ์, 2550) ทั้งนี้สิ่งที่ต้องทำการตัดสินใจในการสร้างเครือข่ายธุรกิจประเภทการจัดส่งพัสดุคือสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า, การจัดสรรลูกค้าและรหัสไปรษณีย์ต่างๆลงไปยังศูนย์กระจายสินค้าและการหาเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า (Wasner and Zapfel, 2004)

รถที่วิ่งให้บริการส่งพัสดุจะต้องวิ่งออกจากศูนย์กระจายสินค้าในตอนเช้าเพื่อเข้าไปยังพื้นที่บริการของแต่ละคันซึ่งมีลูกค้ากระจายอยู่ตามจุดต่างๆทั่วไปในพื้นที่บริการเพื่อทำการจัดส่งพัสดุให้แก่ลูกค้า ในกรณีที่มีลูกค้าติดต่อพนักงานที่ศูนย์บริการ (Customer service) ให้ไปรับสินค้า พนักงานขับรถจะถูกติดต่อจากศูนย์บริการให้เข้าไปรับสินค้าจากลูกค้าด้วย รถบริการจะวิ่งกลับศูนย์กระจายสินค้าในตอนเย็นเพื่อส่งสินค้าที่รับมาทั้งวัน ณ จุดรวมสินค้าเพื่อเตรียมทำการส่งออกต่อไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งสามารถทำได้ในกรณีที่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้น (Potential depot) แล้วจึงหาสถานที่ตั้งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากตำแหน่งคลังสินค้าเบื้องต้นเหล่านั้น ดังนั้นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งในกรณีที่ไม่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้นจึงถูกนำเสนอขึ้นในงานวิจัยฉบับนี้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล CPU Pentium M 1.73 GHz, RAM 512 MB Windows XP

2. โปรแกรม LINGO Version 8.0

3. แผนที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ

วิธีการ

การแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-depot location routing problem, MDLRP) เป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนานมากขึ้นตามขนาดของปัญหาและมีความจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากตำแหน่งเบื้องต้นเหล่านั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้ในกรณีที่นำไปใช้กับปัญหาที่ไม่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้น อีกทั้งยังไม่พบวิธีการแก้ปัญหาในกรณีดังกล่าวในงานวิจัยก่อนหน้า

งานวิจัยฉบับนี้จึงปรับปรุงการแก้ปัญหาด้วยวิธีเชิงฮิวริสติกโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าตำแหน่งของคลังสินค้าหรือจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุควรอยู่จุดเดียวกันกับตำแหน่งของผู้ใช้บริการเพื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกตำแหน่งสามารถทำหน้าที่เป็นคลังสินค้าได้ โดยประยุกต์ใช้วิธีแก้ปัญหา MDLRP ร่วมกับวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem, VRP) โดยแบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการแบ่งผู้ใช้บริการออก เป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่งและความต้องการในการใช้บริการ การหาจำนวนคลังสินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วย MDLRP และการระบุตำแหน่งของคลังสินค้าที่เปิดใช้งานจริงพร้อมกำหนดเส้นทางเดินรถด้วย VRP เพื่อลดระยะทางในการขนส่งจึงสามารถระบุตำแหน่งรวมทั้งหาจำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมในตำแหน่งที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยรวมต่ำที่สุดไปพร้อมๆกับการกำหนดเส้นทางการเดินรถหรือขนส่งพัสดุซึ่งช่วยในการลดต้นทุนที่เกิดจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่รถขนส่งพัสดุใช้วิ่งระหว่างจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุและตำแหน่งของผู้ใช้บริการโดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 เป็นเครื่องมือในการประมวล

ผลสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในงานวิจัยนี้ซึ่งสามารถสร้างคำตอบสุดท้ายดีเพียงพอภายในเวลาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับรูปแบบการดำเนินธุรกิจจัดส่งพัสดุ ซึ่งขั้นตอนหลักในการแก้ปัญหาสามารถแจกแจงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. แบ่งผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่ง โดยสร้างเมตริกซ์ระยะทางระหว่างจุดขึ้นมาจากพิกัดตำแหน่งของผู้ใช้บริการทั้งหมดโดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของผู้ใช้บริการ และทำการแบ่งออกเป็นกลุ่มโดยเลือกจุดขึ้นมา 2 จุดที่มีระยะทางระหว่างจุดสั้นที่สุดในเมตริกซ์กำหนดให้เป็นเส้นทางเริ่มต้น (Initial route) ในเซต S จากนั้นเลือกจุดต่อไปที่มีระยะทางสั้นที่สุดในการเชื่อมต่อกับจุดที่เป็นสมาชิกของเซต S เข้ามาร่วม โดยการเพิ่มสมาชิกใหม่ต้องไม่ส่งผลให้ความต้องการสินค้ารวมในเซตเกินความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง ในกรณีที่ทางเลือกที่นำมาพิจารณามีระยะทางเท่ากัน ต้องเลือกจุดที่ทำให้ความต้องการสินค้ารวมในเซต S ใกล้เคียงความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่งมากที่สุด หากจุดที่นำมาพิจารณาส่งผลให้ความต้องการสินค้ารวมในเซต S มากกว่าความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่งให้สร้างเซตขึ้นมาใหม่และทำซ้ำวิธีการเดิมไปจนกว่าตำแหน่งของผู้ใช้บริการจะถูกจัดลงไปในเซตต่างๆจนกระทั่งครบจำนวน

2. หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเซตทุกเซตจากสมาชิกของแต่ละเซตที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 โดยวิธีกำหนดจุดศูนย์กลางของกราวิทัตแบบถ่วงน้ำหนัก (Center of Gravity with Weight Average) เพื่อกำหนดให้เป็นจุดอ้างอิงแทนตำแหน่งของสมาชิกที่อยู่ในเซตนั้นๆและนำจุดอ้างอิงดังกล่าวไปสร้างเมตตริกระยะทางระหว่างจุดขึ้นมาใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวแปรนำเข้า (Cij) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา MDLRP ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม LINGO 8.0 เพื่อหาจำนวนจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เหมาะสม และกำหนดว่าจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบผู้ใช้บริการในตำแหน่งใดบ้าง (การทวนสอบแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยดูได้ที่ภาคผนวก ก)

3. ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา VRP ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม LINGO 8.0 เพื่อระบุตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าพร้อมจำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้และกำหนดเส้นทางการเดินรถให้กับพาหนะขนส่งแต่ละคัน โดยทดสอบกับสมาชิกทุกตัวในเซตที่ถูกระบุว่าเป็นเซตศูนย์กลางการกระจายสินค้าจากผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนการแก้ปัญหา MDLRP จากนั้นทำการรวมระยะทางที่พาหนะขนส่งแต่ละคันต้องรับผิดชอบในแต่ละลูปเข้าด้วยกันเพื่อเป็นคำตอบสุดท้าย

จากนั้นจึงนำขั้นตอนดังกล่าวไปทำการทดสอบกับกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยได้นำข้อมูลส่วนหนึ่งส่วนหนึ่งของระบบการขนส่งพัสดุของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุในกรุงเทพมหานครที่ประกอบไปด้วยผู้ใช้บริการจำนวน 24 ตำแหน่ง แทนด้วยตัวแปร A, B,…, X ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งของผู้ใช้บริการและความต้องการพัสดุ

ตำแหน่งของผู้ใช้บริการ (ถนน)	ตัวแปร	พิกัด (X, Y)	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม/วัน)
บรมราชชนนี	A หรือ 1	(13, 26)	66.58
อรุณอัมรินทร์	B หรือ 2	(19, 20)	13.78
สิรินธร	C หรือ 3	(20, 26)	11.48
เพชรเกษมช่วงที่ 1	D หรือ 4	(18, 19)	102.55
เพชรเกษมช่วงที่ 2	E หรือ 5	(15, 16)	132.40
พระราม 2 ช่วงที่ 1	F หรือ 6	(16.5, 12)	55.87
เอกชัยช่วงที่ 1	G หรือ 7	(13, 12)	51.28
บางขุนเทียน	H หรือ 8	(11.5, 9)	10.71
บางขุนเทียนชายทะเล	I หรือ 9	(12, 5)	10.71
จอมทอง	J หรือ 10	(17, 14.5)	18.37
เจริญนคร	K หรือ 11	(20, 15.5)	80.36
รัชดาภิเษก	L หรือ 12	(18, 17)	29.85
สมเด็จพระเจ้าตากสิน	M หรือ 13	(19, 15.5)	32.14
กรุงธนบุรี	N หรือ 14	(20, 18)	28.32
สุขสวัสดิ์	O หรือ 15	(23, 5.9)	52.04
ประชาอุทิศ	P หรือ 16	(21, 6)	26.02
เพชรเกษมช่วงที่ 3	Q หรือ 17	(4, 16)	76.53
กาญจนาภิเษก	R หรือ 18	(8.5, 20.5)	35.20
บางบอน 4	S หรือ 19	(3, 12)	40.56
เอกชัยช่วงที่ 2	T หรือ 20	(7, 7.5)	28.32
พระราม 2 ช่วงที่ 2	U หรือ 21	(6, 4)	18.37
หนองแขม	V หรือ 22	(0, 10)	46.68
บางบอน5	W หรือ 23	(3, 7)	15.31

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตำแหน่งของผู้ใช้บริการ (ถนน)	ตัวแปร	พิกัด (X, Y)	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม/วัน)
เลียบคลองภาษีเจริญ	X หรือ 24	(3, 13)	17.60

เมื่อความต้องการในการใช้บริการของลูกค้าเพิ่มขึ้น 10% ต่อปี ทำให้ในปีที่ 4 จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่สามารถรองรับสินค้าได้ 1000 กิโลกรัมไม่สามารถรองรับความต้องการโดยรวมของลูกค้า ($\sum_{j \in J} d_j = 1001.05$) ได้อีกต่อไปจึงมีความจำเป็นต้องหาจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่โดยกำหนดให้

- ค่าใช้จ่ายในการเช่าจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่เท่ากับ 267 บาท/วัน/แห่ง
- ค่าแรงของพนักงานขับรถขนส่งเท่ากับ 150 บาท/วัน
- รถขนส่งสามารถบรรทุกสินค้าได้ 350 กิโลกรัม/คัน โดยไม่มีเงื่อนไขด้านเวลาในการขนส่ง
- อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถขนส่งอยู่ที่ 8.5 กิโลเมตร/กิโลกรัม
- ราคาเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.5 บาท/กิโลกรัม

การนำพิกัดที่ได้มาคำนวณหาระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดแบบยูคลิเดียน (Euclidean) เพื่อสร้างเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2

สูตรการหาระยะห่างระหว่างจุดแบบยูคลิเดียน = $\sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$

ตารางที่ 2 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมด

ระยะทาง	โนด (j)											
โนด (i)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	0.00	8.49	7.00	8.60	10.20	14.43	14.00	17.07	21.02	12.18	12.62	10.30
B	8.49	0.00	6.08	1.41	5.66	8.38	10.00	13.31	16.55	5.85	4.61	3.16
C	7.00	6.08	0.00	7.28	11.18	14.43	15.65	19.01	22.47	11.88	10.50	9.22
D	8.60	1.41	7.28	0.00	4.24	7.16	8.60	11.93	15.23	4.61	4.03	2.00
E	10.20	5.66	11.18	4.24	0.00	4.27	4.47	7.83	11.40	2.50	5.02	3.16
F	14.43	8.38	14.43	7.16	4.27	0.00	3.50	5.83	8.32	2.55	4.95	5.22
G	14.00	10.00	15.65	8.60	4.47	3.50	0.00	3.35	7.07	4.72	7.83	7.07
H	17.07	13.31	19.01	11.93	7.83	5.83	3.35	0.00	4.03	7.78	10.70	10.31
I	21.02	16.55	22.47	15.23	11.40	8.32	7.07	4.03	0.00	10.74	13.20	13.42
J	12.18	5.85	11.88	4.61	2.50	2.55	4.72	7.78	10.74	0.00	3.16	2.69
K	12.62	4.61	10.50	4.03	5.02	4.95	7.83	10.70	13.20	3.16	0.00	2.50
L	10.30	3.16	9.22	2.00	3.16	5.22	7.07	10.31	13.42	2.69	2.50	0.00
M	12.09	4.50	10.55	3.64	4.03	4.30	6.95	9.92	12.62	2.24	1.00	1.80
N	10.63	2.24	8.00	2.24	5.39	6.95	9.22	12.38	15.26	4.61	2.50	2.24
O	22.45	14.66	20.32	14.02	12.88	8.91	11.71	11.91	11.04	10.49	10.06	12.17
P	21.54	14.14	20.02	13.34	11.66	7.50	10.00	9.96	9.06	9.39	9.55	11.40
Q	13.45	15.52	18.87	14.32	11.00	13.12	9.85	10.26	13.60	13.09	16.01	14.04
R	7.11	10.51	12.75	9.62	7.91	11.67	9.62	11.88	15.89	10.40	12.54	10.12
S	17.20	17.89	22.02	16.55	12.65	13.50	10.00	9.01	11.40	14.22	17.36	15.81
T	19.45	17.33	22.61	15.91	11.67	10.51	7.50	4.74	5.59	12.21	15.26	14.53
U	23.09	20.62	26.08	19.21	15.00	13.20	10.63	7.43	6.08	15.21	18.12	17.69
V	20.62	21.47	25.61	20.12	16.16	16.62	13.15	11.54	13.00	17.59	20.74	19.31
W	21.47	20.62	25.50	19.21	15.00	14.40	11.18	8.73	9.22	15.88	19.01	18.03
X	16.40	17.46	21.40	16.16	12.37	13.54	10.05	9.39	12.04	14.08	17.18	15.52

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระยะทาง	โนด (j)											
โนด (i)	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
A	12.09	10.63	22.45	21.54	13.45	7.11	17.20	19.45	23.09	20.62	21.47	16.40
B	4.50	2.24	14.66	14.14	15.52	10.51	17.89	17.33	20.62	21.47	20.62	17.46
C	10.55	8.00	20.32	20.02	18.87	12.75	22.02	22.61	26.08	25.61	25.50	21.40
D	3.64	2.24	14.02	13.34	14.32	9.62	16.55	15.91	19.21	20.12	19.21	16.16
E	4.03	5.39	12.88	11.66	11.00	7.91	12.65	11.67	15.00	16.16	15.00	12.37
F	4.30	6.95	8.91	7.50	13.12	11.67	13.50	10.51	13.20	16.62	14.40	13.54
G	6.95	9.22	11.71	10.00	9.85	9.62	10.00	7.50	10.63	13.15	11.18	10.05
H	9.92	12.38	11.91	9.96	10.26	11.88	9.01	4.74	7.43	11.54	8.73	9.39
I	12.62	15.26	11.04	9.06	13.60	15.89	11.40	5.59	6.08	13.00	9.22	12.04
J	2.24	4.61	10.49	9.39	13.09	10.40	14.22	12.21	15.21	17.59	15.88	14.08
K	1.00	2.50	10.06	9.55	16.01	12.54	17.36	15.26	18.12	20.74	19.01	17.18
L	1.80	2.24	12.17	11.40	14.04	10.12	15.81	14.53	17.69	19.31	18.03	15.52
M	0.00	2.69	10.40	9.71	15.01	11.63	16.38	14.42	17.36	19.78	18.12	16.19
N	2.69	0.00	12.47	12.04	16.12	11.77	18.03	16.71	19.80	21.54	20.25	17.72
O	10.40	12.47	0.00	2.00	21.52	20.58	20.91	16.08	17.11	23.36	20.03	21.22
P	9.71	12.04	2.00	0.00	19.72	19.14	18.97	14.08	15.13	21.38	18.03	19.31
Q	15.01	16.12	21.52	19.72	0.00	6.36	4.12	9.01	12.17	7.21	9.06	3.16
R	11.63	11.77	20.58	19.14	6.36	0.00	10.12	13.09	16.69	13.51	14.58	9.30
S	16.38	18.03	20.91	18.97	4.12	10.12	0.00	6.02	8.54	3.61	5.00	1.00
T	14.42	16.71	16.08	14.08	9.01	13.09	6.02	0.00	3.64	7.43	4.03	6.80
U	17.36	19.80	17.11	15.13	12.17	16.69	8.54	3.64	0.00	8.49	4.24	9.49
V	19.78	21.54	23.36	21.38	7.21	13.51	3.61	7.43	8.49	0.00	4.24	4.24
W	18.12	20.25	20.03	18.03	9.06	14.58	5.00	4.03	4.24	4.24	0.00	6.00
X	16.19	17.72	21.22	19.31	3.16	9.30	1.00	6.80	9.49	4.24	6.00	0.00

เมื่อแบ่งตำแหน่งของผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มตามขั้นตอนที่ 1 โดยเลือกจุด K และ M ซึ่งมีระยะทางระหว่างจุดสั้นที่สุดในเมตริกซ์แสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุด กำหนดให้เป็นเส้นทางเริ่มต้นในเซตแรก โดยการเพิ่มสมาชิกลำดับถัดมาต้องไม่ส่งผลให้ความต้องการสินค้ารวมในเซตเกิน 350 กิโลกรัมซึ่งเป็นความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่งดังผลลัพธ์ในตารางที่ 3 (ข้อมูลการจัดลำดับระยะทางและความต้องการของผู้ใช้บริการเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มแสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ

เซต	สมาชิกในเซต								
SET 1 (S1)	K	M	L	D	B	N	J		
SET 2 (S2)	S	X	Q	V	W	T	U	H	G
SET 3 (S3)	O	P	F	E	R				
SET 4 (S4)	A	C	I						

จากนั้นทำการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเซตทั้งสี่ด้วยวิธีกำหนดจุดศูนย์กลางของกราวิทัตแบบถ่วงน้ำหนัก (Center of Gravity with Weight Average) (Stevenson, 2007) เพื่อนำกำหนดเป็นจุดอ้างอิงในแบบจำลอง MDLRP

โดยกำหนดให้ $\overline{X}$ = พิจุดศูนย์กลางของกราวิทัตในแกน X

$\overline{Y}$ = พิจุดศูนย์กลางของกราวิทัตในแกน Y

X_j = พิกัดในแกน X ของตำแหน่งผู้ใช้บริการ j

Y_j = พิกัดในแกน Y ของตำแหน่งผู้ใช้บริการ j

d_j = ความต้องการของผู้ใช้บริการ j

$$\overline{X} = \frac{\sum_{j=1}^{n} X_j d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} \quad \text{และ} \quad \overline{Y} = \frac{\sum_{j=1}^{n} Y_j d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}$$

ทำให้ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 (ข้อมูลการกำหนดพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเซตทั้งสี่แสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4 พิกัดของกลุ่มผู้ใช้บริการและผลรวมความต้องการพัสดุ

เซต	$\overline{X}$ (X bar)	$\overline{Y}$ (Y bar)	ผลรวมความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม/วัน)
SET 1 (S1)	18.80	17.20	305.36
SET 2 (S2)	5.32	11.50	305.36
SET 3 (S3)	16.42	13.18	301.54
SET 4 (S4)	13.78	23.47	88.78

เมื่อนำพิกัดที่ได้มาคำนวณหาระยะทางไป- กลับระหว่างจุดทั้งหมดแบบยูคลิเดียน เพื่อสร้างเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลางของเซตทั้งสี่จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลางของเซต

ระยะทาง	โนด (j)			
โนด (i)	SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
SET 1	0.00	14.64	4.67	8.03
SET 2	14.64	0.00	11.22	14.66
SET 3	4.67	11.22	0.00	10.62
SET 4	8.03	14.66	10.62	0.00

จากนั้นทำการแก้ปัญหา MDLRP เพื่อคัดเลือกและหาจำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุจากกลุ่มผู้ใช้บริการโดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 และนำข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5 กำหนดเป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปจุด j (C_{ij}) โดยกำหนดให้เซตที่ 1-4 แทนด้วยตัวแปร 1 หรือ 5, 2 หรือ 6, 3 หรือ 7 และ 4 หรือ 8 ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังนี้

เซต (Sets):

i = จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุทั้งหมดที่เป็นไปได้ (1, 2, 3, 4)

j = กลุ่มผู้ใช้บริการทั้งหมด (5, 6, 7, 8)

k = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า (A, B, C, D)

ตัวแปรเสริม (Parameters):

N = จำนวนของกลุ่มผู้ใช้บริการ = 4

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปจุด j (ค่าเชื้อเพลิง = 1 บาท/กิโลเมตร)

G_i = ต้นทุนคงที่ของการสร้างศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ i = 267

F_k = ต้นทุนคงที่ของการใช้พาหนะขนส่ง k = 150

V_i = ความสามารถในการรองรับสินค้าของศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ i = 1000

d_j = ความต้องการของกลุ่มผู้ใช้บริการ j

Q_k = ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง (หรือเส้นทาง) k = 350

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j บนเส้นทาง k } (i, j \in I \cup J) \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 \text{ หากศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ i ถูกสร้างขึ้น} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ หากกลุ่มผู้ใช้บริการ j ถูกกำหนดให้ได้รับการบริการโดยศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ i} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

U_{lk} = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable)

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} G_i Y_i + \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} F_k \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \text{ โดยที่ } j \in J \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} \le Q_k \text{ โดยที่ } k \in K \quad (2)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + NX_{ljk} \le N - 1 \text{ โดยที่ } l, j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j\in I\cup J} X_{ijk} - \sum_{j\in I\cup J} X_{jik} = 0 \text{ โดยที่ } k \in K, i \in I \cup J \quad (4)$$

$$\sum_{i\in I} \sum_{j\in J} X_{ijk} \leq 1 \text{ โดยที่ } k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j\in J} d_j Z_{ij} - V_i Y_i \leq 0 \text{ โดยที่ } i \in I \quad (6)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u\in I\cup J} \left(X_{iuk} + X_{ujk}\right) \leq 1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$X_{ijk} = 0, 1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$Y_i = 0, 1 \text{ โดยที่ } i \in I \quad (9)$$

$$Z_{ij} = 0, 1 \text{ โดยที่ } i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$U_{lk} \geq 0 \text{ โดยที่ } l \in J, k \in K \quad (11)$$

สมการเป้าหมายคือผลรวมต่ำสุดจากผลบวกของต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ, ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนคงที่ในการใช้ยานพาหนะขนส่ง ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (1) เป็นการกำหนดให้กลุ่มผู้ใช้บริการแต่ละตำแหน่งสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (2) เป็นการกำหนดเงื่อนไขว่าปริมาณของพัสดุที่ยานพาหนะคันนั้นๆรับผิดชอบจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกพัสดุ สมการเงื่อนไขที่ (3) ใช้เพื่อป้องกันการเกิดซับทัวร์ สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นเงื่อนไขที่บังคับให้พาหนะขนส่งเข้าให้บริการที่จุดใดก็ต้องออกจากจุดนั้นเสมอ พาหนะขนส่งแต่ละคันสามารถทำงานให้กับศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเพียงแห่งเดียวเท่านั้นระบุไว้ในสมการเงื่อนไขที่ (5) ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (6) เป็นเงื่อนไขด้านความสามารถในการรองรับความต้องการของกลุ่มผู้ใช้บริการของศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ สมการเงื่อนไขที่ (7) เป็นการจัดสรรกลุ่มผู้ใช้บริการให้เข้าใช้บริการในศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุได้เพียงแห่งเดียวหากมีเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ใช้บริการและศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (8), (9) และ (10) คือตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น สุดท้ายคือสมการเงื่อนไขที่ (11) ซึ่งเป็นตัวแปรสนับสนุนที่ต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

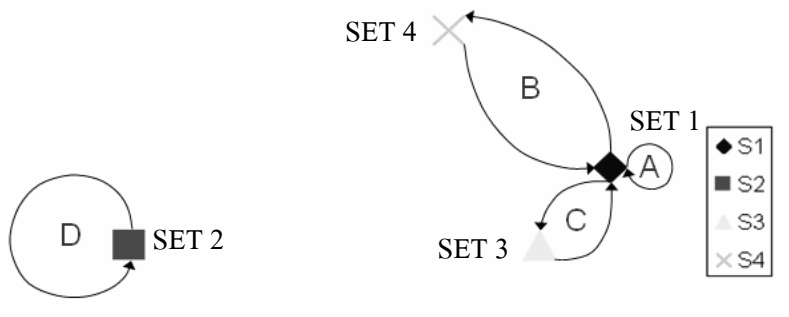
ผลการทดสอบ MDLRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลเป็นเวลา (Run time) 25 วินาที โปรแกรมได้แสดงผลไว้ผลดังนี้

Global optimal solution found at iteration: 192386

Objective value: 1159.400

Variable	Value	Reduced Cost
X (1, 5, A)	1.000000	150.0000
X (1, 7, C)	1.000000	154.6700
X (1, 8, B)	1.000000	158.0300
X (2, 6, D)	1.000000	150.0000
X (5, 1, A)	1.000000	0.000000
X (6, 2, D)	1.000000	0.000000
X (7, 1, C)	1.000000	4.670000
X (8, 1, B)	1.000000	8.030000
Y (1)	1.000000	267.0000
Y (2)	1.000000	267.0000
Z (1, 5)	1.000000	0.000000
Z (1, 7)	1.000000	0.000000
Z (1, 8)	1.000000	0.000000
Z (2, 6)	1.000000	0.000000

ผลลัพธ์เบื้องต้นของ MDLRP จากโปรแกรม LINGO 8.0 ข้างต้นสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 ซึ่งทำให้เห็นว่าเซตที่ 1 และ 2 สมควรเป็นที่ตั้งของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่โดยมีพาหนะขนส่งจำนวน 4 คันในเบื้องต้น เพื่อทำการกระจายพัสดุไปยังสมาชิกที่อยู่ในเซตที่ 3 และ 4 จึงสามารถกล่าวได้ว่าควรเลือกจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่จากสมาชิกที่อยู่ในเซตที่ 1 และ 2 เพื่อทำการกระจายพัสดุไปยังสมาชิกในเซตของตนเองรวมทั้งเซตที่ 3 และ 4 เช่นกัน



ภาพที่ 4 ผลการเลือกจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุจากกลุ่มผู้ใช้บริการ

จากนั้นนำสมาชิกที่อยู่ในเซตที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยผู้ใช้บริการที่จุด B, D, J, K, L, M และ N มากำหนดให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่ละตำแหน่งเพื่อหาระยะทางขนส่งที่สั้นที่สุดในการส่งพัสดุไปยังสมาชิกที่อยู่ในเซตของตนเองรวมทั้งเซตที่ 3 และ 4 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRP ซึ่งเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซตที่ 1,3 และ 4 แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)							
โนด (i)	B	D	J	K	L	M	N	E
B	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66
D	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24
J	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50
K	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02
L	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16
M	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03
N	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39
E	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00
F	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27
O	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88
P	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66
R	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91
A	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20
C	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18
I	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ระยะทาง	โนด (j)						
โนด (i)	F	O	P	R	A	C	I
B	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

โดยปกติแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRP ต้องกำหนดให้จุด i = 1 เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการให้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่นำมาทดสอบสามารถทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุได้ จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดผู้ใช้บริการที่อยู่ในเซตที่ 1 ,3 และ 4 ขึ้นมาใหม่โดยเพิ่มตำแหน่ง B, D, J, K, L, M และ N ซึ่งเป็นสมาชิกของเซตที่ 1 ที่ถูกกำหนดให้เป็นเซตจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเข้าไปอีกเมตริกละ 1 ตำแหน่งตามลำดับเพื่อกำหนดให้เป็นได้ทั้งจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุและตำแหน่งผู้ใช้บริการ และนำเมตริกดังกล่าวมากำหนดเป็นค่าตัวแปรเสริมระยะทางระหว่างจุด (C_{ij}) เช่น เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1 ,3 และ 4 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 โดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแทนด้วยตัวแปร 1 ส่วนจุดผู้ใช้บริการอื่นแทนด้วยตัวแปร 2, 3,…, 16 ตามลำดับ (ข้อมูลเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง D, J, K, L, M, N และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1 ,3 และ 4 แสดงไว้ในภาคผนวก ง)

ตารางที่ 7 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	B(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
B(1)	0.00	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
B(2)	0.00	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	1.41	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	5.85	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	4.61	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	3.16	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	4.50	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	2.24	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	5.66	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	8.38	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	14.66	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	14.14	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	10.51	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	8.49	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	6.08	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	16.55	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRP สามารถแสดงได้ดังนี้

เซต (Sets):

i = ตำแหน่งหรือโนดที่ i (1,…,16)

j = ตำแหน่งหรือโนดที่ j (1,…,16)

v = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า (A, B)

จากสูตร $\sum_{j=1}^{n} d_j \Big/ Q_k$ = 695.68 / 350 = 1.99 ดังนั้นจำนวนยานพาหนะขั้นต่ำมีค่าเท่ากับ 2 คัน โดยแทนยานพาหนะด้วยตัวแปร A และ B ตามลำดับ

ตัวแปรเสริม (Parameters):

n = จำนวนของตำแหน่งหรือโนดทั้งหมดที่มีในระบบ = 16

NV = ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งพัสดุ = 2

d_i = ความต้องการพัสดุที่จุด i โดยกำหนดให้ $d_1 = 0$

C_{ij} = ระยะทางระหว่างจุด i และ j

K_v = ความสามารถในการขนส่งพัสดุของพาหนะขนส่ง v = 350

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ijv} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j บนเส้นทาง v หรือโดยยานพาหนะ v} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

Y_i = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} C_{ij} X_{ij}^{v}$$

สมการเงื่อนไข:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \text{ โดยที่ j} = 2,\ldots, \text{n} \qquad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} = 1 \text{ โดยที่ i} = 2,\ldots, \text{n} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{n} X_{pj}^{v} = 0 \text{ โดยที่ v} = 1,\ldots, \text{NV และ p} = 1,\ldots, \text{n} \quad (3)$$

$$\sum_{i-1}^{n} D_i \left(\sum_{j=1}^{n} X_{ij}^{v} \right) \le K_v \text{ โดยที่ v} = 1,\ldots, \text{NV} \quad (4)$$

$$\sum_{j=2}^{n} X_{1j}^{v} \le 1 \text{ โดยที่ v} = 1,\ldots, \text{NV} \quad (5)$$

$$\sum_{i=2}^{n} X_{i1}^{v} \le 1 \text{ โดยที่ v=1,}\ldots, \text{NV} \quad (6)$$

$$Y_i - Y_j + n\sum_{v=1}^{NV} X_{ij}^{v} \le n-1 \text{ โดยที่ i, j} = 2,\ldots, \text{n และ i} \neq \text{j} \quad (7)$$

$X_{ij}^{v} = 0$ หรือ1 สำหรับทุก i, j และ v (8)

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดระยะในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (1) และ (2) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (3) ความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทางเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดใดๆและออกจากจุดนั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) แสดงข้อจำกัดทางด้านความจุของยานพาหนะ สมการเงื่อนไขที่ (5), (6) ยืนยันความสามารถในการมียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (7) เป็นสมการป้องกันการเกิดซับทัวร์ โดยที่ตัวแปรสนับสนุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และ สมการที่ (8) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

ผลการทดสอบ VRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด B ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุได้ผลดังนี้ (ผลการทดสอบ VRP เมื่อกำหนดจุด D, J, K, L, M และ N ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแสดงไว้ในภาคผนวก จ)

Global optimal solution found at iteration: 2878017

Objective value: 77.51710

Variable	Value	Reduced Cost
X (1, 2, A)	1.000000	0.000000
X (1, 15, B)	1.000000	6.080000
X (2, 6, A)	1.000000	3.160000
X (3, 1, B)	1.000000	1.410000
X (4, 10, A)	1.000000	2.550000
X (5, 7, A)	1.000000	1.000000
X (6, 4, A)	1.000000	2.690000
X (7, 8, A)	1.000000	2.690000
X (8, 1, A)	1.000000	2.240000
X (9, 3, B)	1.000000	4.240000
X (10, 16, A)	1.000000	8.321700
X (11, 5, A)	1.000000	10.06000
X (12, 11, A)	1.000000	2.000000
X (13, 9, B)	1.000000	7.910000
X (14, 13, B)	1.000000	7.110000
X (15, 14, B)	1.000000	7.000000
X (16, 12, A)	1.000000	9.055400

เมื่อทำการทดสอบจนครบทุกตำแหน่งและคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วทำให้สามารถสรุปผลได้ดัง ตารางที่ 8 โดยที่

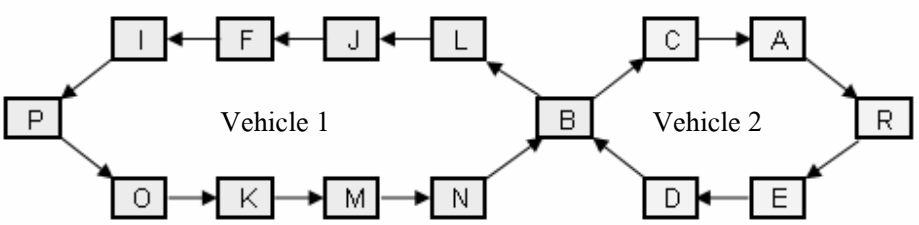
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = (ผลรวมของระยะทางขนส่ง × ค่าเชื้อเพลิง) + (จำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ × ค่าใช้จ่ายในการเช่าจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ) + (จำนวนยานพาหนะขนส่ง × ค่าแรงของพนักงานขับรถขนส่ง)

เนื่องจากกรณีศึกษากำหนดให้พาหนะขนส่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ 8.5 กิโลเมตร/กิโลกรัม และราคาเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.5 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นจึงมีค่าเชื้อเพลิงในการเดินรถ 1 บาท/กิโลเมตร เช่น ค่าใช้จ่ายที่จุด B = (77.52 × 1) + (1 × 267) + (2 × 150) = 644.52 บาท

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้สมาชิกในเซตที่ 1 เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พาหนะขนส่ง (คัน)	เวลาในการคำนวณ (นาที)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
B	77.52	2	4:14	644.52
D	77.56	2	8:00	644.56
J	79.75	2	10:54	646.75
K	79.07	2	13:11	646.07
L	78.23	2	10:57	645.23
M	79.23	2	5:25	646.23
N	79.33	2	14:58	646.33

ผลลัพธ์ของ VRP จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าการตั้งจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่ตำแหน่ง B ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำที่สุดและมีเส้นทางการเดินรถดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ B

จากภาพที่ 5 สามารถสรุปได้ว่าพาหนะขนส่งทุกคันต้องออกเดินทางเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ B โดยพาหนะขนส่งคันที่ 1 ทำหน้าที่ขนส่งพัสดุไปยังตำแหน่งผู้ใช้บริการ B ที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ, ตำแหน่งผู้ใช้ บริการ L, J, F, I, P, O, K, M และ N ตามลำดับ ส่วนพาหนะขนส่งคันที่ 2 ทำหน้าที่ขนส่งพัสดุไปยังตำแหน่งผู้ใช้ บริการ C, A, R, E และ D ตามลำดับ

จากตารางที่ 8 สามารถกล่าวได้ว่าผลรวมของเวลาที่ใช้ในการคำนวณอยู่ที่ 67:41 นาที แต่เนื่องจากปัญหาที่ผู้วิจัยนำมาเป็นใช้กรณีศึกษาเป็นปัญหาที่พาหนะขนส่งมีความสามารถในการบรรทุกคงที่ และมีเพียงชนิดเดียวจึงสามารถนำ FCVRP มาใช้เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณให้

น้อยลงได้โดยใช้ข้อมูลและเมตริกระยะทางไป – กลับระหว่างจุดชุดเดียวกันกับที่ใช้ในแบบ จำลอง VRP ดังนั้นแบบจำลอง FCVRP จึงแสดงได้ดังนี้

เซต (Sets):

i = ตำแหน่งหรือโนดที่ i (1,…, 16)

j = ตำแหน่งหรือโนดที่ j (1,…, 16)

k = ตำแหน่งหรือโนดที่ k (1,…, 16)

ตัวแปรเสริม (Parameters):

N = จำนวนของตำแหน่งทั้งหมดที่มีในระบบ = 16

Q_i= ปริมาณความต้องการสินค้าที่จุด i

U_i= ปริมาณความต้องการสินค้าสะสมที่จุด i

V_{cap} = ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง = 350

V_{req} = จำนวนพาหนะขนส่งทั้งหมด = 695.68 / 350 = 1.99 = 2 คัน

C_{ij} = ระยะทางระหว่างจุด i และ j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables):

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ หากจุด i ถูกกำหนดให้อยู่ก่อนหน้าจุด j} \\ 0 \text{ ประการอื่น} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij}$$

สมการเงื่อนไข:

$X_{(k,k)} = 0$ โดยที่ k = 2,…, n (1)

$$\sum_{i=1}^{n} X_{(i,k)} = 1 \text{ โดยที่ } i \neq k \text{ และ } k = 2,\ldots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{(k,j)} = 1 \text{ โดยที่ } j \neq k \text{ และ } k = 2,\ldots, n \quad (3)$$

$$Q_k \leq U_k \leq V_{cap} \text{ โดยที่ } k = 2,\ldots, n \quad (4)$$

$$U_k \geq U_i + Q_k - V_{cap} + (V_{cap}(X_{k,i} + X_{i,k})) - ((Q_k + Q_i) X_{k,i}) \text{ โดยที่ } i \neq k, i = 2,\ldots, n \text{ และ } k = 2,\ldots, n \quad (5)$$

$$U_k \leq V_{cap} - ((V_{cap} - Q_k) X_{1,k}) \text{ โดยที่ } k = 2,\ldots, n \quad (6)$$

$$U_k \geq Q_k + \sum_{i=2}^{n} (Q_i X_{i,k}) \text{ โดยที่ } k = 2,\ldots, n \quad (7)$$

$$\sum_{j=2}^{n} X_{1,j} \geq V_{req} \quad (8)$$

$$X_{i,j} = 0 \text{ หรือ } 1 \text{ โดยที่ } i = 1,\ldots,n \text{ และ } j = 1,\ldots, n \quad (9)$$

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดระยะในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (1) เป็นการกำหนดไม่ให้พาหนะขนส่งเดินทางอยู่กับที่ สมการเงื่อนไขที่ (2) และ (3) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคัน หรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นการจำกัดให้ความต้องการสะสมของผู้ใช้บริการในแต่ละเส้นทางไม่เกินกว่าความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (5) เป็นสมการกำหนดขอบเขต (Bound) ความต้องการสะสมของผู้ใช้บริการในแต่ละเส้นทาง สมการเงื่อนไขที่ (6) และ (7) กำหนดให้ความต้องการสะสมมีค่าเท่ากับความต้องการของผู้ใช้บริการที่จุดใดๆหากจุดนั้นถูกเลือกให้เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (8) ใช้บังคับให้พาหนะขนส่งที่ออกจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้ามีจำนวนเพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนสมการเงื่อนไขที่ (9) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

ผลการเปรียบเทียบระยะทางและเวลาที่ใช้ระหว่าง VRP และ FCVRP ดังตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง FCVRP ใช้เวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดอยู่ที่ 18:04 นาทีซึ่งน้อยกว่า VRP

ถึง 3 เท่าโดยให้ผลลัพธ์ไม่ต่างกัน (ผลการทดสอบ FCVRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 แสดงไว้ในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่าง VRP และ FCVRP เมื่อกำหนดให้สมาชิกในเซตที่ 1 เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	ระยะทาง (กิโลเมตร)		พาหนะขนส่ง (คัน)		เวลาในการคำนวณ (นาที)	
	VRP	FCVRP	VRP	FCVRP	VRP	FCVRP
B	77.52	77.52	2	2	4:14	2:00
D	77.56	77.56	2	2	8:00	1:51
J	79.75	79.75	2	2	10:54	2:48
K	79.07	79.07	2	2	13:11	3:30
L	78.23	78.23	2	2	10:57	2:20
M	79.23	79.23	2	2	5:25	2:08
N	79.33	79.33	2	2	14:58	3:26

ส่วนกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 2 เป็นการขนส่งพัสดุให้กับสมาชิกในเซตเดียวกัน อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการสร้างจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเท่ากันทุกตำแหน่งจึงเลือกจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุจากตำแหน่งที่มีความต้องการของผู้ใช้บริการมากที่สุดในเซตเป็นหลัก ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ตำแหน่งของผู้ใช้บริการ Q โดยกำหนดให้แทนด้วยตัวแปร 1 ส่วนจุดผู้ใช้บริการอื่นแทนด้วยตัวแปร 2, 3,…, 10 ตามลำดับ เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง Q และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 2 ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง Q และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 2

ระยะทาง	โนด (j)									
โนด (i)	Q(1)	G(2)	H(3)	Q(4)	S(5)	T(6)	U(7)	V(8)	W(9)	X(10)
Q(1)	0.00	9.85	10.26	0.00	4.12	9.01	12.17	7.21	9.06	3.16
G(2)	9.85	0.00	3.35	9.85	10.00	7.50	10.63	13.15	11.18	10.05
H(3)	10.26	3.35	0.00	10.26	9.01	4.74	7.43	11.54	8.73	9.39

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ระยะทาง	โนด (j)									
โนด (i)	Q(1)	G(2)	H(3)	Q(4)	S(5)	T(6)	U(7)	V(8)	W(9)	X(10)
Q(4)	0.00	9.85	10.26	0.00	4.12	9.01	12.17	7.21	9.06	3.16
S(5)	4.12	10.00	9.01	4.12	0.00	6.02	8.54	3.61	5.00	1.00
T(6)	9.01	7.50	4.74	9.01	6.02	0.00	3.64	7.43	4.03	6.80
U(7)	12.17	10.63	7.43	12.17	8.54	3.64	0.00	8.49	4.24	9.49
V(8)	7.21	13.15	11.54	7.21	3.61	7.43	8.49	0.00	4.24	4.24
W(9)	9.06	11.18	8.73	9.06	5.00	4.03	4.24	4.24	0.00	6.00
X(10)	3.16	10.05	9.39	3.16	1.00	6.80	9.49	4.24	6.00	0.00

ผลการแก้ปัญหา VRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด Q ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุได้ผลจากโปรแกรมดังนี้

Global optimal solution found at iteration: 47044

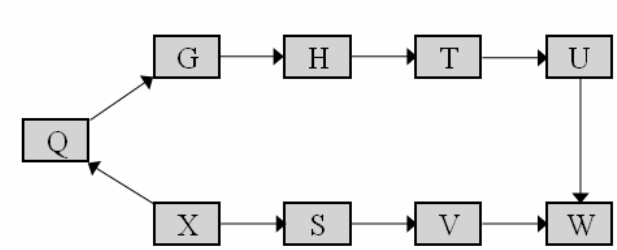
Objective value: 37.83000

Variable	Value	Reduced Cost
X (1, 4, A)	1.000000	0.000000
X (2, 3, A)	1.000000	3.350000
X (3, 6, A)	1.000000	4.740000
X (4, 2, A)	1.000000	9.850000
X (5, 10, A)	1.000000	1.000000
X (6, 7, A)	1.000000	3.640000
X (7, 9, A)	1.000000	4.240000
X (8, 5, A)	1.000000	3.610000
X (9, 8, A)	1.000000	4.240000
X (10, 1, A)	1.000000	3.160000

ภายหลังการใช้แบบจำลอง VRP ทำให้ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 11 และมีเส้นทางการขนส่งพัสดุดังภาพที่ 6 โดยมีค่าใช้จ่ายที่จุด Q = (ผลรวมของระยะทางขนส่ง × ค่าเชื้อเพลิง) + (จำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ × ค่าใช้จ่ายในการเช่าจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ) + (จำนวนยานพาหนะขนส่ง × ค่าแรงของพนักงานขับรถขนส่ง) = 37.83 + 267 + 150 = 454.83 บาท

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้ตำแหน่งผู้ใช้บริการ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พาหนะขนส่ง (คัน)	เวลาในการคำนวณ (นาที)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
Q	37.83	1	0:02	454.83



ภาพที่ 6 เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ Q

หากนำแบบจำลอง FCVRP มาใช้กับการทดสอบที่กำหนดให้ตำแหน่งผู้ใช้บริการ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุจะได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่าง VRP และ FCVRP เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งผู้ใช้บริการ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	ระยะทาง (กิโลเมตร)		พาหนะขนส่ง (คัน)		เวลาในการคำนวณ (นาที)	
	VRP	FCVRP	VRP	FCVRP	VRP	FCVRP
Q	37.83	37.83	1	1	0:02	0:01

ผลการแก้ปัญหา FCVRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด Q ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุได้ผลจากโปรแกรมดังนี้

Global optimal solution found at iteration: 4416

Objective value: 37.83000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 4)	1.000000	0.000000
X(2, 1)	1.000000	9.850000
X(3, 2)	1.000000	3.350000
X(4, 10)	1.000000	3.160000
X(5, 8)	1.000000	3.610000
X(6, 3)	1.000000	4.740000
X(7, 6)	1.000000	3.640000
X(8, 9)	1.000000	4.240000
X(9, 7)	1.000000	4.240000
X(10, 5)	1.000000	1.000000

ผลและวิจารณ์

ผล

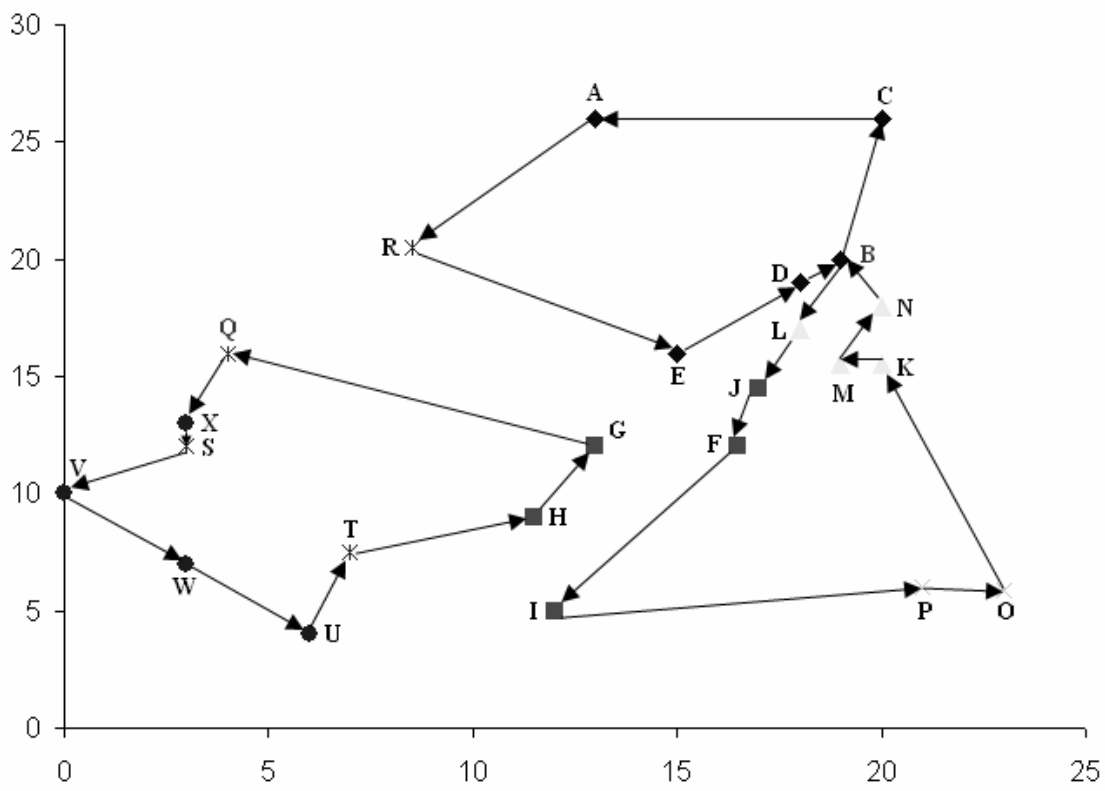
เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้จากกรณีศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุทั้งหมดมาสรุปผลทำให้ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 13 และภาพที่ 7 โดยมีผลรวมของระยะทางขนส่งทั้งหมด 115.35 กิโลเมตรและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น 1099.35 บาท

ตารางที่ 13 สรุปผลการทดลองจากกรณีศึกษา

จุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ	ผู้ใช้บริการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พาหนะขนส่ง (คัน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
B	B, L, J, F, I, P, O, K, M, N, C, A, R, E, D	77.52	2	644.52
Q	Q, G, H, T, U, W, V, S, X	37.83	1	454.83
	ผลรวม	115.35	3	1099.35

สรุปได้ว่าตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่ถูกเลือกให้เป็นที่ตั้งจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุคือตำแหน่งผู้ใช้บริการบนถนนอรุณอัมรินทร์และถนนเพชรเกษมช่วงที่ 3 โดยจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่ตั้งอยู่บนถนนอรุณอัมรินทร์ทำหน้าที่รองรับพัสดุจากผู้ใช้บริการที่อยู่บนถนนอรุณอัมรินทร์, ถนนรัชดาภิเษก, ถนนจอมทอง, ถนนพระราม 2 ช่วงที่ 1, ถนนบางขุนเทียนชายทะเล, ถนนประชาอุทิศ, ถนนสุขสวัสดิ์, ถนนเจริญนคร, ถนนสมเด็จพระเจ้าตากสิน, ถนนกรุงธนบุรี ซึ่งได้รับบริการโดยพาหนะขนส่งคันที่ 1 ส่วนพาหนะขนส่งคันที่ 2 ทำหน้าที่ให้บริการผู้ใช้บริการที่ถนนสิรินธร, ถนนถนนบรมราชชนนี, ถนนกาญจนาภิเษก, ถนนเพชรเกษมช่วงที่ 2 และถนนเพชรเกษมช่วงที่ 1 ตามลำดับ

ส่วนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่ตั้งอยู่บนถนนเพชรเกษมช่วงที่ 3 ทำหน้าที่รองรับพัสดุจากผู้ใช้บริการที่อยู่บนถนนเพชรเกษมช่วงที่ 3, ถนนเอกชัยช่วงที่ 1, ถนนบางขุนเทียน, ถนนเอกชัยช่วงที่ 2, ถนนพระราม 2 ช่วงที่ 2, ถนนบางบอน 5, ถนนหนองแขม, ถนนบางบอน 4 และถนนเลียบคลองภาษีเจริญ ซึ่งได้รับบริการโดยพาหนะขนส่งคันที่ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 7 เส้นทางเดินรถของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ B และ Q

หากนำผลลัพธ์จากการทดลองในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง โดยใช้แบบจำลอง MDLRP โดยกำหนดให้จุด B และ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเช่นเดียวกับวิธีที่ผู้วิจัยนำเสนอ เนื่องจากการใช้แบบจำลอง MDLRP แม้จะสามารถการันตีว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimum Solution) แต่ก็มีความจำเป็นต้องกำหนดจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เป็นไปได้ลงไปด้วย เมื่อทำการทดสอบแบบจำลอง MDLRP ในโปรแกรม LINGO 8.0 โดยใช้เวลาในการคำนวณ 100 ชั่วโมง โปรแกรมยังไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปรียบเทียบกับขอบเขตต่ำสุดของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO 8.0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 92.0894 แทน (ผลลัพธ์ที่หาได้ที่เวลา 100 ชั่วโมงคือ 132.6 (Best Known Solution) ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบได้เพราะมีค่ามากกว่าวิธีที่ผู้วิจัยนำเสนอและยังไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด)

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error) ระหว่างผลลัพธ์จากการทดลองในกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยได้นำเสนอและขอบเขตต่ำสุดของผลลัพธ์จากวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งโดยใช้แบบจำลอง MDLRP ที่เวลา 100 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 20.16%

(ข้อมูลเมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B, Q และผู้ใช้บริการอื่นแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 18 และผลลัพธ์จากแบบจำลอง MDLRP โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 14 ข้อมูลของปัญหาตัวอย่างเพิ่มเติม

ปัญหา	จำนวนลูกค้า (โนด)	ความต้องการ (กิโลกรัม)	ความจุของ DC. (กิโลกรัม)	ความจุของรถขนส่ง (กิโลกรัม)	ค่าเช่ารถขนส่ง (บาท/คัน)	ค่าเช่า DC. (บาท/แห่ง)
1	24	1001.05	500	250	15	20
2	24	1001.05	1000	350	150	267
3	20	300	140	90	150	267
4	20	300	200	90	150	267
5	15	93	60	30	150	267
6	15	93	90	30	150	267
7	15	93	45	30	20	10
8	10	65	60	40	70	100
9	10	65	60	30	70	100

ตารางที่ 15 ผลลัพธ์ของปัญหาตัวอย่างเพิ่มเติม

	ผลลัพธ์				Optimal Solution		% Error
ปัญหา	จำนวน DC. (แห่ง)	จำนวนรถ (คัน)	Runtime (นาที)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	Best Known	Lower Bound	Lower Bound
1	4	5	8.13	121.76	122.63	78.22	35.75%
2	2	3	18.29	115.35	132.60	92.08	20.16%
3	3	4	7.49	281.28	313.32	200.64	28.66%
4	2	4	12.57	285.55	337.05	206.43	27.70%
5	2	4	1.21	81.51	76.42	76.42	6.24%
6	2	4	6.48	77.47	70.18	70.18	9.40%
7	3	4	0.37	81.02	68.16	68.16	15.87%

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ผลลัพธ์					Optimal Solution		% Error
ปัญหา	จำนวน DC. (แห่ง)	จำนวนรถ (คัน)	Runtime (นาที)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	Best Known	Lower Bound	Lower Bound
8	2	2	0.01	36.09	36.09	36.09	0.00%
9	2	3	0.06	39.91	39.91	39.91	0.00%

ผลที่ได้จากการนำเสนอวิธีแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุทั้งในส่วนของกรณีศึกษาและปัญหาเพิ่มเติมตามข้อมูลในตารางที่ 14 และตารางที่ 15 (ข้อมูลพิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 1-9 แสดงไว้ในภาคผนวก ช) แสดงให้เห็นว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาในการหาคำตอบสำหรับแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุได้จริงและให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจเนื่องจากเป็นวิธีหาคำตอบที่รวดเร็วโดยมีขั้นตอนการหาคำตอบที่ไม่ยุ่งยาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเมื่อเทียบกับขอบเขตต่ำสุดของผลลัพธ์อยู่ที่ 15.98% (กรณีที่ Best Known มีค่าเท่ากับ Lower Bound ถือว่าคำตอบนั้นคือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด)

วิจารณ์

วิธีที่นำเสนอเหมาะสมจะนำไปใช้งานกับปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกิน 25 ตำแหน่งเท่านั้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมีค่าไม่แน่นอนโดยขึ้นอยู่กับจำนวนเซตที่แบ่งได้ในขั้นตอนการจัดกลุ่มและการกำหนดจำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุในขั้นตอนการแก้ปัญหา MDLRP ซึ่งหากมีจำนวนมากก็ยิ่งทำให้ระยะเวลาในการประมวลผลนานขึ้น อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับจำนวนโนดที่ต้องนำมาแก้ปัญหา VRP ซึ่งใช้เวลานานมากขึ้นตามจำนวนโนดที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้หากผลลัพธ์จากขั้นตอนการแก้ปัญหา MDLRP ระบุให้มีจำนวนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุหลายแห่งจะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงขึ้นเนื่องจากวิธีแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยนำเสนอเมื่อเกิดการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของผู้ใช้บริการพร้อมความต้องการพัสดุเพื่อหาค่าระยะทางขนส่งที่สั้นที่สุดจะสามารถสับเปลี่ยนได้เฉพาะผู้ใช้บริการที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มหรือเซตของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเดียวกันเท่านั้นซึ่งแตกต่างจากการหาคำตอบจากวิธีแม่นตรงซึ่งสามารถสับเปลี่ยนผู้ใช้บริการได้อิสระจนกว่าจะพบคำตอบสุดท้ายที่ทำให้เกิดระยะทางในการขนส่งที่สั้นที่สุด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผู้ให้บริการในธุรกิจบริการจัดส่งพัสดุเป็นธุรกิจที่มีค่าใช้จ่ายในการให้บริการขึ้นอยู่กับค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและระบบการขนส่งเป็นปัจจัยหลัก และมีแนวโน้มว่าในอนาคตข้างหน้าผู้ใช้บริการจะมีความต้องการใช้บริการเพิ่มขึ้นทุกปีตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจโลกที่มีแนวโน้มการแข่งขันสูงขึ้นทุกปีจนจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่มีอยู่เพียงแห่งเดียวจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้อีกต่อไป ทำให้ผู้ประกอบการต้องกำหนดที่ตั้งของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุแห่งใหม่ ซึ่งต้องใช้วิธีแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งเข้ามาช่วยในการหาคำตอบ อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาในลักษณะนี้ในงานวิจัยก่อนหน้ามีความจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้นเพื่อหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากตำแหน่งเบื้องต้นเหล่านั้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้ในกรณีที่นำไปใช้กับปัญหาที่ไม่ทราบตำแหน่งของคลังสินค้าในเบื้องต้น งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุควรอยู่จุดเดียวกันกับตำแหน่งของผู้ใช้ บริการ และแบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่ง การหาจำนวนคลังสินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วย MDLRP และการระบุตำแหน่งของคลังสินค้าพร้อมกำหนดเส้นทางเดินรถด้วย Vehicle Routing Problem (VRP) จึงสามารถระบุตำแหน่งและหาจำนวนคลังสินค้าหรือจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมในตำแหน่งที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยรวมต่ำที่สุดไปพร้อมๆกับการกำหนดเส้นทางการเดินรถ เพื่อทำให้ได้คำตอบสุดท้ายดีเพียงพอภายในเวลาที่เหมาะสม เมื่อนำวิธีดังกล่าวทดสอบกับปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุทำให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจโดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยระหว่างผลลัพธ์จากการทดลองในปัญหาตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้นำเสนอและขอบเขตต่ำสุดของผลลัพธ์จากวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งโดยใช้แบบจำลอง MDLRP เท่ากับ 15.98%

ข้อเสนอแนะ

ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งต้องการวิธีแก้ปัญหาแบบบูรณาการณ์โดยแก้ปัญหาสถานที่ตั้งและปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถไปพร้อมๆกัน ซึ่งวิธีการแก้ ปัญหาที่ผู้วิจัยได้นำเสนอจึงเป็นการแยกปัญหาออกมาพิจารณาเป็นส่วนๆจึงทำให้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมลดลง แต่อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาในลักษณะนี้ยังต้องใช้เวลานานมากเมื่อพบกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะขั้นตอนการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหา MDLRP ซึ่งต้องทำการพัฒนาแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อให้สามารถใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ต่อไป อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยนำเสนอนั้นเหมาะสมที่จะไปใช้งานเมื่อสามารถจัดกลุ่มผู้ใช้บริการให้มีขนาดไม่เกิน 6 กลุ่มหรือมีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกิน 25 ตำแหน่งเท่านั้น ในอนาคตผู้วิจัยเห็นว่าควรทำการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นโดยพัฒนาวิธีการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการที่ถือเป็นคำตอบเบื้องต้นและส่งผลต่อคำตอบสุดท้ายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและนำวิธีเชิงฮิวริสติกอื่นๆ เช่น วิธีแบบประหยัด (Saving Algorithm) หรือวิธีกวาดวง (Sweep Approach) เข้ามาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการแก้ปัญหา VRP เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สมศักดิ์ ศิริพุทธคุณ. 2550. **การกำหนดจุดศูนย์กลางการรับและส่งพัสดุ กรณีศึกษา บริษัทบริการจัดส่งพัสดุ**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม) สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Clark, G. and J.W. Wright. 1964. Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research**. 12: 568-581

Ghiani, G., G. Laporte and R. Musmanno. 2004. **Introduction to logistics systems planning and control**. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex.

Golden, B., T. Magnanti and H. Nguyen. 1977. Implementing vehicle routing algorithms. **Networks**. 7: 113-148.

Hansen, PH., B. Hegedahl, S. Hjortkjaer and B. Obel. 1994. A Heuristic solution to the warehouse location-routing problem. **European journal of Operational Research**. 76: 111-27.

Holmes, R.A. and R.G. Packer. 1976. A Vehicle scheduling procedure based upon saving and a solution perturbation scheme. **Operations Research Quarterly**. 27 (1): 83-92.

Joyce, D.E. 2002. **Proposition of Euclid's elements**. Euclid's elements (book 1). Available Source: http://aleph0.clarku.edu/~djoyce/java/elements/bookI/bookI.html, May 20, 2008.

Kytojoki, J., T. Nuortio, O. Braysy and M. Gendreau. 2007. An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems. **Computers and Operations Research**. 34: 2743 – 2757.

Miller, T. 2002. **Hierarchical operations and supply chain planning**. 2nd ed. Springer Publishing Co., New York.

Perl, J. 1983. A unified warehouse location-routing analysis. **UMI Dissertation Information Service**.

Perl, J. and M. Daskin. 1985. A warehouse location problem. **Transportation Research Quarterly**. 19B (5): 381-396.

Renaud, J. and F. F. Boctor. 2002. A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. **Europe Journal of Operation Research**. 140: 618-628.

Todhunter, I. 1867. **The elements of Euclid for the use of schools and colleges (book 1)**. Macmillan and Co., London and Cambridge.

Wasner, M. and G. Zapfel. 2004. An intetrated multi-depot hub-location vehicle routing model for network planning service. **International Journal of Production Economics**. 90: 403-419.

Wu, T.H., C. Low and J.W. Bai. 2002. Heuristic solutions to multi-depot location-routing problem. **Computer and Operations Research**. 29: 1393-1415.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เขียนโดย
โปรแกรม LINGO 8.0

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง MDLRP ที่เขียนขึ้นจากโปรแกรม LINGO 8.0 เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากมีจำนวนสมการเงื่อนไขและตัวแปรค่อนข้างมาก เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรมจึงสมควรทำการทดสอบแก้ปัญหาขนาดเล็กที่สามารถคาดเดาผลลัพธ์ได้ง่ายโดยการใช้แบบจำลอง MDLRP ที่เขียนขึ้นจากโปรแกรม LINGO 8.0 มาหาคำตอบ

1. การทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ MDLRP

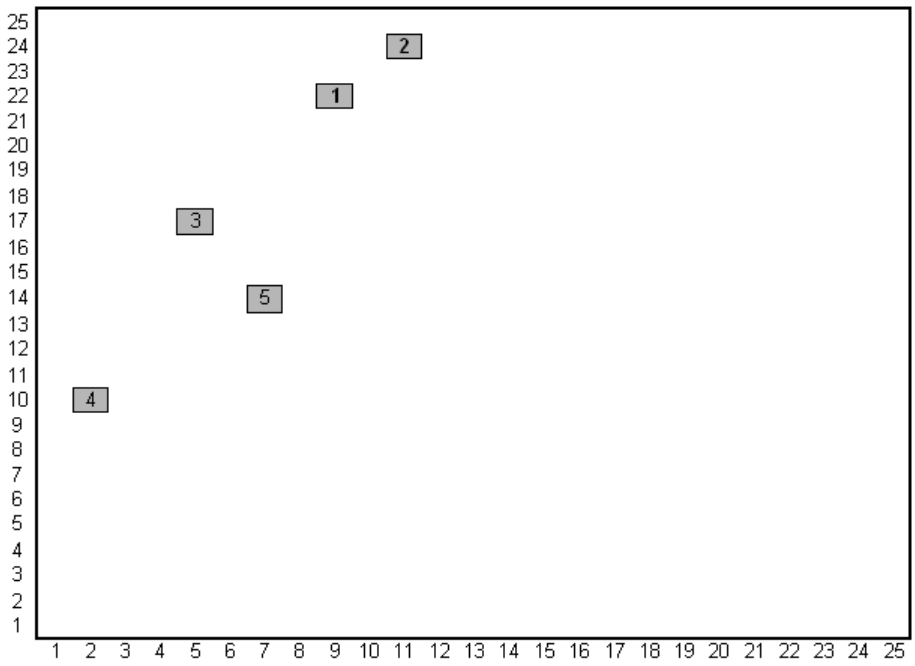
ตัวอย่าง:

กำหนดให้จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าทั้งหมดที่เป็นไปได้และตำแหน่งของลูกค้ามี 2 จุดและ 3 จุดตามลำดับดังแสดงหมายเลขจุดและพิกัดไว้ในตารางผนวกที่ ก1 โดยมีต้นทุนคงที่ของการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้าเท่ากับ 267 บาทต่อแห่ง และใช้รถขนส่งสินค้าได้ไม่เกิน 2 คัน โดยมีต้นทุนคงที่ของการใช้รถขนส่งเท่ากับ 150 บาทต่อคัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการคาดคะเนผลลัพธ์จึงกำหนดให้จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าทั้งสองแห่งมีความสามารถในการรองรับสินค้าเท่ากันคือ 1000 หน่วยและกำหนดให้รถขนส่งทั้งสองคันมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าเท่ากันคือ 350 หน่วยต่อคัน ส่วนความต้องการใช้บริการของลูกค้าแต่ละจุดเท่ากับ 50 หน่วย

ตารางผนวกที่ ก1 พิกัดของจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ MDLRP

จุด	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y
1	9	22
2	11	24
3	5	17
4	2	10
5	7	14

กำหนดให้จุดที่ 1 และ 2 คือศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เป็นไปได้ ส่วนจุดที่ 3 ถึง 5 คือตำแหน่งของลูกค้าดังแสดงในภาพผนวกที่ ก1



ภาพผนวกที่ ก1 ตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ MDLRP

เมื่อนำพิกัดที่ได้มาคำนวณหาระยะทางไป-กลับระหว่างจุดทั้งหมดแบบยูคลิเดียนจะได้ผลลัพธ์ดังตารางผนวกที่ ก2

สูตรการหาระยะห่างระหว่างจุดแบบยูคลิเดียน $= \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$

ตารางผนวกที่ ก2 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดสำหรับ MDLRP

ระยะทาง	โนด (j)				
โนด (i)	1	2	3	4	5
1	0.00	2.80	6.40	14.00	8.20
2	2.80	0.00	9.20	17.00	11.00
3	6.40	9.20	0.00	7.60	3.60
4	14.00	17.00	7.60	0.00	6.40
5	8.20	11.00	3.60	6.40	0.00

จากข้อมูลพิกัดและภาพผนวกที่ ก1 สังเกตได้ว่าจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 อยู่ใกล้กับตำแหน่งของลูกค้าทั้งสามมากกว่าจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 2 และยังสามารถรองรับสินค้าจากลูกค้าไว้ได้ทั้งหมดอีกด้วยจึงไม่มีความจำเป็นต้องเปิดใช้งานจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 2 ทั้งนี้หากพิจารณาด้านการใช้รถขนส่งก็สามารถดำเนินงานได้โดยใช้รถเพียงหนึ่งคันเท่านั้นเนื่องจากความต้องการของลูกค้าทั้งหมดยังน้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่ง ดังนั้นจึงสามารถคาดคะเนคำตอบได้ว่าควรเลือกเปิดจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 เพียงแห่งเดียว

ตารางผนวกที่ ก3 ผลรวมระยะทางขนส่งที่ได้จากเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับ MDLRP

จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้า	เส้นทางเดินรถ			ผลรวมระยะทาง
1	3	4	5	28.66823
1	3	5	4	30.30424
1	4	3	5	33.35998
1	4	5	3	30.30424
1	5	4	3	28.66823
1	5	3	4	33.35998
2	3	4	5	34.00877
2	3	5	4	35.87154
2	4	3	5	38.63497
2	4	5	3	35.87154
2	5	4	3	34.00877
2	5	3	4	38.63497

จากตารางผนวกที่ ก3 แสดงให้เห็นว่าการเปิดจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 ทำให้เกิดผลรวมของระยะทางขนส่งต่ำที่สุดโดยมีเส้นทางจากเดินรถเริ่มจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 ไปยังลูกค้าหมายเลข 3, 4, 5 หรือ 5, 4, 3 ตามลำดับและกลับมาสิ้นสุดที่จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าแห่งเดิมโดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 28.66823 หน่วย

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด = ต้นทุนในการสร้างศูนย์กลางการกระจายสินค้า + ค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินรถ + ค่าใช้จ่ายคงที่ในการใช้รถขนส่ง

= 267 + 28.66823 + 150 = 445.66823

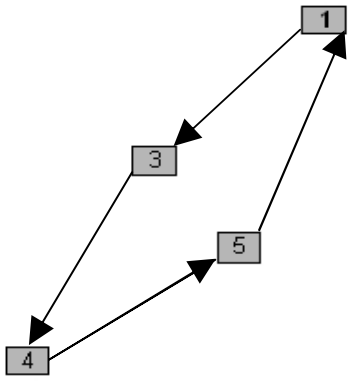
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO 8.0:

Global optimal solution found at iteration: 1250

Objective value: 445.6000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3, B)	1.000000	156.4000
X(3, 4, B)	1.000000	7.600000
X(4, 5, B)	1.000000	6.400000
X(5, 1, B)	1.000000	8.200000
Y(1)	1.000000	267.0000
Z(1, 3)	1.000000	0.000000
Z(1, 4)	1.000000	0.000000
Z(1, 5)	1.000000	0.000000

จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 8.0 สรุปได้ว่าควรเปิดจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 โดยพิจารณาจากตัวแปร Z และมีเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่ง ดังภาพผนวกที่ ก2 โดยพิจารณาจากตัวแปร Y และมีค่าใช้จ่ายรวม (Objective value) เท่ากับ 445.60 บาท ซึ่งตรงกับคำตอบที่ได้ประเมินไว้ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม LINGO 8.0 วิเคราะห์ผลถูกต้อง



ภาพผนวกที่ ก2 เส้นทางการเดินรถเมื่อเปิดจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1

2. การทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRP

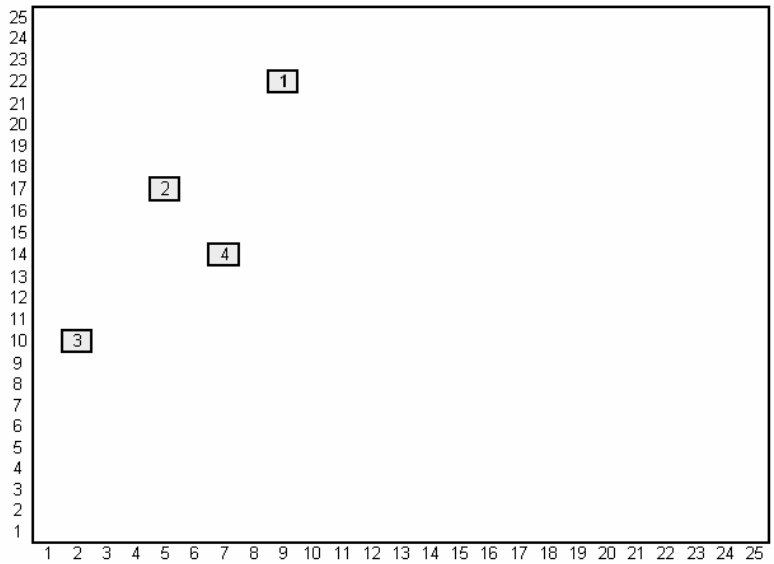
ตัวอย่าง:

กำหนดให้จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าตั้งอยู่ที่พิกัดของลูกค้าหมายเลย 1 ดังแสดงหมายเลขจุดและพิกัดไว้ในตารางผนวกที่ ก4 โดยระบุให้ใช้รถขนส่งสินค้าได้ 2 คัน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกต่อการคาดคะเนผลลัพธ์จึงกำหนดให้รถขนส่งทั้งสองคันมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าเท่ากันคือ 100 หน่วยต่อคัน ส่วนความต้องการใช้บริการของลูกค้าแต่ละจุดเท่ากับ 50 หน่วย

ตารางผนวกที่ ก4 พิกัดของจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ VRP

จุด	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y
1 หรือ DC 1	9	22
2	5	17
3	2	10
4	7	14

กำหนดให้จุดที่ 1 คือตำแหน่งของลูกค้าที่ต้องการนำมาตั้งจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้า ส่วนจุดที่ 2 ถึง 4 คือตำแหน่งของลูกค้าดังแสดงในภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก3 ตำแหน่งของศูนย์กลางการกระจายสินค้าและลูกค้าสำหรับ VRP

เมื่อนำพิกัดที่ได้มาคำนวณหาระยะทางไป-กลับระหว่างจุดทั้งหมดแบบยูคลิเดียน จะได้ผลลัพธ์ดังตารางผนวกที่ ก5

ตารางผนวกที่ ก5 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดทั้งหมดสำหรับ VRP

ระยะทาง	โนด (j)				
โนด (i)	1 (DC 1)	2 (จุดที่ 1)	3 (จุดที่ 2)	4 (จุดที่ 3)	5 (จุดที่ 4)
1 (DC 1)	0.00	0.00	6.40	14.00	8.20
2 (จุดที่ 1)	0.00	0.00	6.40	14.00	8.20
3 (จุดที่ 2)	6.40	6.40	0.00	7.60	3.60
4 (จุดที่ 3)	14.00	14.00	7.60	0.00	6.40
5 (จุดที่ 4)	8.20	8.20	3.60	6.40	0.00

ตารางผนวกที่ ก6 ผลรวมระยะทางขนส่งที่ได้จากเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับ VRP

แบบที่	เส้นทางเดินรถในลูปที่ 1	เส้นทางเดินรถในลูปที่ 2	ผลรวมระยะทาง
1	1, 2, 1	1, 3, 4, 1	41.40
2	1, 2, 1	1, 4, 3, 1	41.40
3	1, 3, 1	1, 2, 4, 1	46.20
4	1, 3, 1	1, 4, 2, 1	46.20
5	1, 4, 1	1, 2, 3, 1	44.40
6	1, 4, 1	1, 3, 2, 1	44.40

จากตารางผนวกที่ ก6 แสดงให้เห็นว่ากำหนดเส้นทางเดินรถแบบที่ 1 และ 2 ทำให้เกิดผลรวมของระยะทางขนส่งต่ำที่สุดโดยมีรถให้บริการ 2 คัน เส้นทางเดินรถในลูปที่ 1 เริ่มจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 ไปยังลูกค้าหมายเลข 2 และกลับมาที่จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 อีกครั้ง ส่วนเส้นทางเดินรถในลูปที่ 1 เริ่มจากจุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 ไปยังลูกค้าหมายเลข 3, 4 ตามลำดับและกลับมาที่จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าหมายเลข 1 อีกครั้งโดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 41.40 หน่วย

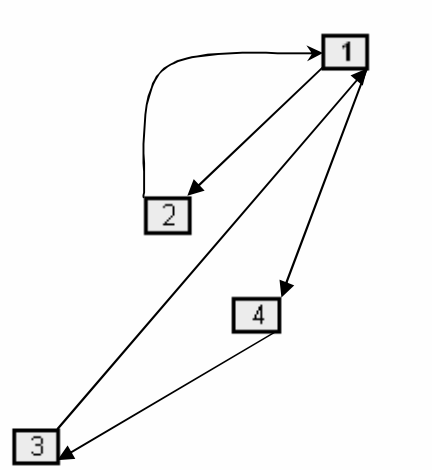
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO 8.0:

Global optimal solution found at iteration: 1112

Objective value: 41.40000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3, A)	1.000000	6.400000
X(1, 5, B)	1.000000	8.200000
X(2, 1, A)	1.000000	0.000000
X(3, 2, A)	1.000000	6.400000
X(4, 1, B)	1.000000	14.00000
X(5, 4, B)	1.000000	6.400000

จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 8.0 ให้ผลลัพธ์ได้ตรงกับคำตอบที่ได้ประเมินเอาไว้ข้างต้นในแบบที่ 2 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม LINGO 8.0 วิเคราะห์ผลถูกต้อง



ภาพผนวกที่ ก4 เส้นทางการเดินรถของตัวอย่างการทวนสอบสำหรับ VRP

3. การทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ FCVRP

สำหรับการการทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ FCVRP กำหนดให้ใช้ข้อมูลเดียวกันกับการทวนสอบและรับรองความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRP เมื่อทำการประเมินผลลัพธ์ทุกแบบที่เป็นไปได้ทำให้ได้ผลเช่นเดียวกันกับตารางผนวกที่ ก6

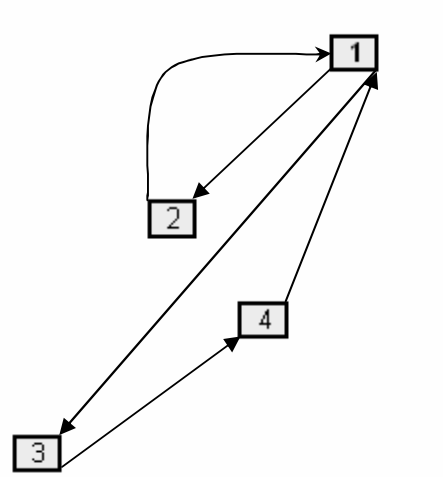
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LINGO 8.0:

Global optimal solution found at iteration: 9

Objective value: 41.40000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 2)	1.000000	0.000000
X(1, 4)	1.000000	14.00000
X(2, 3)	1.000000	6.400000
X(3, 1)	1.000000	6.400000
X(4, 5)	1.000000	6.400000
X (5, 1)	1.000000	8.200000

จากการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 8.0 ให้ผลลัพธ์ได้ตรงกับคำตอบที่ได้ประเมินเอาไว้ข้างต้นในแบบที่ 1 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม LINGO 8.0 วิเคราะห์ผลถูกต้อง



ภาพผนวกที่ ก5 เส้นทางการเดินรถของตัวอย่างการทวนสอบสำหรับ FCVRP

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการจัดลำดับระยะทางและความต้องการเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ

ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลการจัดลำดับระยะทางและความต้องการเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการ

เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ	เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ
K-M	1.00	112.50	T-W	4.03	43.62
S-X	1.00	58.16	Q-S	4.12	117.09
B-D	1.41	116.33	D-E	4.24	234.95
L-M	1.80	61.99	U-W	4.24	33.67
D-L	2.00	132.40	V-W	4.24	61.99
O-P	2.00	78.06	V-X	4.24	64.29
B-N	2.24	42.09	E-F	4.27	188.27
D-N	2.24	130.87	F-M	4.30	88.01
J-M	2.24	50.51	E-G	4.47	183.68
L-N	2.24	58.16	B-M	4.50	45.92
E-J	2.50	150.77	B-K	4.61	94.13
K-L	2.50	110.21	D-J	4.61	120.92
K-N	2.50	108.68	J-N	4.61	46.68
F-J	2.55	74.24	G-J	4.72	69.64
J-L	2.69	48.22	H-T	4.74	39.03
M-N	2.69	60.46	F-K	4.95	136.23
B-L	3.16	43.62	S-W	5.00	55.87
E-L	3.16	162.25	E-K	5.02	212.76
J-K	3.16	98.73	F-L	5.22	85.72
Q-X	3.16	94.13	E-N	5.39	160.72
G-H	3.35	61.99	I-T	5.59	39.03
F-G	3.50	107.15	B-E	5.66	146.18
S-V	3.61	87.25	F-H	5.83	66.58
D-M	3.64	134.70	B-J	5.85	32.14
T-U	3.64	46.68	W-X	6.00	32.91
D-K	4.03	182.91	S-T	6.02	68.88
E-M	4.03	164.54	B-C	6.08	25.26
H-I	4.03	21.43	I-U	6.08	29.08

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ	เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ
Q-R	6.36	111.74	F-O	8.91	107.91
T-X	6.80	45.92	H-S	9.01	51.28
F-N	6.95	84.19	Q-T	9.01	104.85
G-M	6.95	83.42	I-P	9.06	36.74
A-C	7.00	78.06	Q-W	9.06	91.84
G-I	7.07	61.99	C-L	9.22	41.33
G-L	7.07	81.12	G-N	9.22	79.59
A-R	7.11	101.79	I-W	9.22	26.02
D-F	7.16	158.42	R-X	9.30	52.81
Q-V	7.21	123.22	H-X	9.39	28.32
C-D	7.28	114.03	J-P	9.39	44.39
H-U	7.43	29.08	U-X	9.49	35.97
T-V	7.43	75.00	K-P	9.55	106.38
F-P	7.50	81.89	D-R	9.62	137.76
G-T	7.50	79.59	G-R	9.62	86.48
H-J	7.78	29.08	M-P	9.71	58.16
E-H	7.83	143.12	G-Q	9.85	127.81
G-K	7.83	131.64	H-M	9.92	42.86
E-R	7.91	167.61	H-P	9.96	36.74
C-N	8.00	39.80	B-G	10.00	65.05
F-I	8.32	66.58	G-P	10.00	77.30
B-F	8.38	69.64	G-S	10.00	91.84
A-B	8.49	80.36	G-X	10.05	68.88
U-V	8.49	65.05	K-O	10.06	132.40
S-U	8.54	58.93	L-R	10.12	65.05
A-D	8.60	169.14	R-S	10.12	75.77
D-G	8.60	153.83	A-E	10.20	198.98
H-W	8.73	26.02	H-Q	10.26	87.25

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ	เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ
A-L	10.30	96.43	H-R	11.88	45.92
H-L	10.31	40.56	H-O	11.91	62.76
M-O	10.40	84.19	D-H	11.93	113.27
J-R	10.40	53.57	I-X	12.04	28.32
J-O	10.49	70.41	N-P	12.04	54.34
C-K	10.50	91.84	A-M	12.09	98.73
B-R	10.51	48.98	Q-U	12.17	94.90
F-T	10.51	84.19	L-O	12.17	81.89
C-M	10.55	43.62	A-J	12.18	84.95
A-N	10.63	94.90	J-T	12.21	46.68
G-U	10.63	69.64	E-X	12.37	150.00
H-K	10.70	91.07	H-N	12.38	39.03
I-J	10.74	29.08	N-O	12.47	80.36
E-Q	11.00	208.93	K-R	12.54	115.56
I-O	11.04	62.76	A-K	12.62	146.94
C-E	11.18	143.88	I-M	12.62	42.86
G-W	11.18	66.58	E-S	12.65	172.96
E-I	11.40	143.12	C-R	12.75	46.68
I-S	11.40	51.28	E-O	12.88	184.44
L-P	11.40	55.87	I-V	13.00	57.40
H-V	11.54	57.40	J-Q	13.09	94.90
M-R	11.63	67.35	R-T	13.09	63.52
E-P	11.66	158.42	F-Q	13.12	132.40
E-T	11.67	160.72	G-V	13.15	97.96
F-R	11.67	91.07	F-U	13.20	74.24
G-O	11.71	103.32	I-K	13.20	91.07
N-R	11.77	63.52	B-H	13.31	24.49
C-J	11.88	29.85	D-P	13.34	128.57

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ	เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ
I-L	13.42	40.56	K-T	15.26	108.68
A-Q	13.45	143.12	B-Q	15.52	90.31
F-S	13.50	96.43	L-X	15.52	47.45
R-V	13.51	81.89	C-G	15.65	62.76
F-X	13.54	73.47	L-S	15.81	70.41
I-Q	13.60	87.25	J-W	15.88	33.67
A-G	14.00	117.86	I-R	15.89	45.92
D-O	14.02	154.60	D-T	15.91	130.87
L-Q	14.04	106.38	K-Q	16.01	156.89
J-X	14.08	35.97	O-T	16.08	80.36
P-T	14.08	54.34	N-Q	16.12	104.85
B-P	14.14	39.80	D-X	16.16	120.16
J-S	14.22	58.93	E-V	16.16	179.09
D-Q	14.32	179.09	M-X	16.19	49.75
F-W	14.40	71.18	M-S	16.38	72.71
M-T	14.42	60.46	A-X	16.40	84.19
A-F	14.43	122.45	B-I	16.55	24.49
C-F	14.43	67.35	D-S	16.55	143.12
L-T	14.53	58.16	F-V	16.62	102.55
R-W	14.58	50.51	R-U	16.69	53.57
B-O	14.66	65.82	N-T	16.71	56.63
E-U	15.00	150.77	A-H	17.07	77.30
E-W	15.00	147.71	O-U	17.11	70.41
M-Q	15.01	108.68	K-X	17.18	97.96
P-U	15.13	44.39	A-S	17.20	107.15
J-U	15.21	36.74	B-T	17.33	42.09
D-I	15.23	113.27	K-S	17.36	120.92
I-N	15.26	39.03	M-U	17.36	50.51

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ	เส้นทาง	ระยะทาง	ความต้องการ
B-X	17.46	31.38	N-W	20.25	43.62
J-V	17.59	65.05	C-O	20.32	63.52
L-U	17.69	48.22	O-R	20.58	87.25
N-X	17.72	45.92	A-V	20.62	113.27
B-S	17.89	54.34	B-U	20.62	32.14
L-W	18.03	45.15	B-W	20.62	29.08
N-S	18.03	68.88	K-V	20.74	FALSE
P-W	18.03	41.33	O-S	20.91	92.60
K-U	18.12	98.73	A-I	21.02	77.30
M-W	18.12	47.45	O-X	21.22	69.64
C-Q	18.87	88.01	P-V	21.38	72.71
P-S	18.97	66.58	C-X	21.40	29.08
C-H	19.01	22.19	A-W	21.47	81.89
K-W	19.01	95.67	B-V	21.47	60.46
P-R	19.14	61.23	O-Q	21.52	128.57
D-U	19.21	120.92	A-P	21.54	92.60
D-W	19.21	117.86	N-V	21.54	75.00
L-V	19.31	76.53	C-S	22.02	52.04
P-X	19.31	43.62	A-O	22.45	118.63
A-T	19.45	94.90	C-I	22.47	22.19
P-Q	19.72	102.55	C-T	22.61	39.80
M-V	19.78	78.83	A-U	23.09	84.95
N-U	19.80	46.68	O-V	23.36	98.73
C-P	20.02	37.50	C-W	25.50	26.79
O-W	20.03	67.35	C-V	25.61	58.16
D-V	20.12	149.24	C-U	26.08	29.85

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการกำหนดพิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการ

ตารางผนวกที่ ค1 พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 1

สมาชิกในเซตที่ 1	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม)	X bar	Y bar
B	19	20	13.78		
D	18	19	102.55		
J	17	14.5	18.37		
K	20	15.5	80.36	18.80	17.20
L	18	17	29.85		
M	19	15.5	32.14		
N	20	18	28.32		

$$\overline{X} = (19(13.78) + 18(102.55) + 17(18.37) + 20(80.36) + 18(29.85) + 19(32.14) + 20(28.32)) \div (13.78 + 102.55 + 18.37 + 80.36 + 29.85 + 32.14 + 28.32) = 18.80$$

$$\overline{Y} = (20(13.78) + 19(102.55) + 14.5(18.37) + 15.5(80.36) + 17(29.85) + 15.5(32.14) + 18(28.32)) \div (13.78 + 102.55 + 18.37 + 80.36 + 29.85 + 32.14 + 28.32) = 17.20$$

ตารางผนวกที่ ค2 พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 2

สมาชิกในเซตที่ 2	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม)	X bar	Y bar
G	13	12	51.28		
H	11.5	9	10.71		
Q	4	16	76.53		
S	3	12	40.56		
T	7	7.5	28.32	5.32	11.50
U	6	4	18.37		
V	0	10	46.68		
W	3	7	15.31		
X	3	13	17.60		

$\overline{X}$ = (13(51.28) + 11.5(10.71) + 4(76.53) + 3(40.56) + 7(28.32) + 6(18.37) + 0(46.68) + 3(15.31) + 3(17.60)) ÷ (51.28 + 10.71 + 76.53 + 40.56 + 28.32 + 18.37 + 46.68 + 15.31 + 17.60) = 5.32

$\overline{Y}$ = (12(51.28) + 9(10.71) + 16(76.53) + 12(40.56)) + 7.5(28.32) + 4(18.37) + 10(46.68) + 7(15.31) + 13(17.60)) ÷ (51.28 + 10.71 + 76.53 + 40.56 + 28.32 + 18.37 + 46.68 + 15.31 + 17.60) = 11.50

ตารางผนวกที่ ค3 พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 3

สมาชิกในเซตที่ 3	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม)	X bar	Y bar
E	15	16	132.40		
F	16.5	12	55.87		
O	23	5.9	52.04	16.42	13.18
P	21	6	26.02		
R	8.5	20.5	35.20		

$\overline{X}$ = (15(132.40) + 16.5(55.87) + 23(52.04) + 21(26.02) + 8.5(35.20)) ÷ (132.40 + 55.87 + 52.04 + 26.02 + 35.20) = 16.42

$\overline{Y}$ = (16(132.40) + 12(55.87) + 5.9(52.04) + 6(26.02) + 20.5(35.20)) ÷ (132.40 + 55.87 + 52.04 + 26.02 + 35.20) = 13.18

ตารางผนวกที่ ค4 พิกัดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มผู้ใช้บริการในเซตที่ 4

สมาชิกในเซตที่ 4	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y	ความต้องการพัสดุ (กิโลกรัม)	X bar	Y bar
A	13	26	66.58		
C	20	26	11.48	13.78	23.47
I	12	5	10.71		

$$\overline{X} = (13(66.58) + 20(11.48) + 12(10.71)) \div (66.58 + 11.48 + 10.71) = 13.78$$

$$\overline{Y} = (26(66.58) + 26(11.48) + 5(10.71)) \div (66.58 + 11.48 + 10.71) = 23.47$$

ภาคผนวก ง

เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง D, J, K, L, M, N และผู้ใช้บริการ
ที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ตารางผนวกที่ ง1 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง D และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	D(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
D(1)	0.00	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
B(2)	1.41	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	0.00	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	4.61	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	4.03	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	2.00	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	3.64	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	2.24	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	4.24	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	7.16	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	14.02	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	13.34	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	9.62	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	8.60	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	7.28	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	15.23	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ตารางผนวกที่ ง2 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง J และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	J(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
J(1)	0.00	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
B(2)	5.85	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	4.61	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	0.00	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	3.16	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	2.69	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	2.24	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	4.61	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	2.50	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	2.55	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	10.49	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	9.39	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	10.40	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	12.18	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	11.88	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	10.74	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ตารางผนวกที่ ง3 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง K และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	K(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
K(1)	0.00	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
B(2)	4.61	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	4.03	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	3.16	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	0.00	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	2.50	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	1.00	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	2.50	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	5.02	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	4.95	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	10.06	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	9.55	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	12.54	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	12.62	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	10.50	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	13.20	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ตารางผนวกที่ ง4 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง L และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	L(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
L(1)	0.00	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
B(2)	3.16	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	2.00	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	2.69	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	2.50	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	0.00	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	1.80	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	2.24	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	3.16	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	5.22	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	12.17	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	11.40	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	10.12	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	10.30	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	9.22	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	13.42	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ตารางผนวกที่ ง5 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง M และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	M(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
M(1)	0.00	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
B(2)	4.50	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	3.64	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	2.24	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	1.00	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	1.80	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	0.00	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	2.69	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	4.03	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	4.30	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	10.40	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	9.71	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	11.63	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	12.09	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	10.55	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	12.62	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ตารางผนวกที่ ง6 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง N และผู้ใช้บริการที่เป็นสมาชิกในเซตที่ 1, 3 และ 4

ระยะทาง	โนด (j)															
โนด (i)	N(1)	B(2)	D(3)	J(4)	K(5)	L(6)	M(7)	N(8)	E(9)	F(10)	O(11)	P(12)	R(13)	A(14)	C(15)	I(16)
N(1)	0.00	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
B(2)	2.24	0.00	1.41	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	5.66	8.38	14.66	14.14	10.51	8.49	6.08	16.55
D(3)	2.24	1.41	0.00	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	4.24	7.16	14.02	13.34	9.62	8.60	7.28	15.23
J(4)	4.61	5.85	4.61	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	2.50	2.55	10.49	9.39	10.40	12.18	11.88	10.74
K(5)	2.50	4.61	4.03	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	5.02	4.95	10.06	9.55	12.54	12.62	10.50	13.20
L(6)	2.24	3.16	2.00	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	3.16	5.22	12.17	11.40	10.12	10.30	9.22	13.42
M(7)	2.69	4.50	3.64	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	4.03	4.30	10.40	9.71	11.63	12.09	10.55	12.62
N(8)	0.00	2.24	2.24	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	5.39	6.95	12.47	12.04	11.77	10.63	8.00	15.26
E(9)	5.39	5.66	4.24	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	0.00	4.27	12.88	11.66	7.91	10.20	11.18	11.40
F(10)	6.95	8.38	7.16	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	4.27	0.00	8.91	7.50	11.67	14.43	14.43	8.32
O(11)	12.47	14.66	14.02	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	12.88	8.91	0.00	2.00	20.58	22.45	20.32	11.04
P(12)	12.04	14.14	13.34	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	11.66	7.50	2.00	0.00	19.14	21.54	20.02	9.06
R(13)	11.77	10.51	9.62	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	7.91	11.67	20.58	19.14	0.00	7.11	12.75	15.89
A(14)	10.63	8.49	8.60	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	10.20	14.43	22.45	21.54	7.11	0.00	7.00	21.02
C(15)	8.00	6.08	7.28	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	11.18	14.43	20.32	20.02	12.75	7.00	0.00	22.47
I(16)	15.26	16.55	15.23	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.40	8.32	11.04	9.06	15.89	21.02	22.47	0.00

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบ VRP และ FCVRP จากโปรแกรม LINGO 8.0

1. ผลการทดสอบ VRP จากโปรแกรม LINGO 8.0

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด D ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 5925559

Objective value: 77.56000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 2, A)	1.000000	1.410000
X(1, 3, B)	1.000000	0.000000
X(2, 8, A)	1.000000	2.240000
X(3, 15, B)	1.000000	7.280000
X(4, 6, A)	1.000000	2.690000
X(5, 11, A)	1.000000	10.06000
X(6, 1, A)	1.000000	2.000000
X(7, 5, A)	1.000000	1.000000
X(8, 7, A)	1.000000	2.690000
X(9, 1, B)	1.000000	4.240000
X(10, 4, A)	1.000000	2.550000
X(11, 12, A)	1.000000	2.000000
X(12, 16, A)	1.000000	9.060000
X(13, 9, B)	1.000000	7.910000
X(14, 13, B)	1.000000	7.110000
X(15, 14, B)	1.000000	7.000000
X(16, 10, A)	1.000000	8.320000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด J ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 5686710

Objective value: 79.75000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3, A)	1.000000	4.610000
X(1, 9, B)	1.000000	2.500000
X(2, 8, B)	1.000000	2.240000

Variable	Value	Reduced Cost
X(3, 5, A)	1.000000	4.030000
X(4, 1, A)	1.000000	0.000000
X(5, 11, A)	1.000000	10.06000
X(6, 7, B)	1.000000	1.800000
X(7, 1, B)	1.000000	2.240000
X(8, 6, B)	1.000000	2.240000
X(9, 13, B)	1.000000	7.910000
X(10, 4, A)	1.000000	2.550000
X(11, 12, A)	1.000000	2.000000
X(12, 16, A)	1.000000	9.060000
X(13, 14, B)	1.000000	7.110000
X(14, 15, B)	1.000000	7.000000
X(15, 2, B)	1.000000	6.080000
X(16, 10, A)	1.000000	8.320000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด K ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 5234925

Objective value: 79.07000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 7, B)	1.000000	1.000000
X(1, 11, A)	1.000000	10.06000
X(2, 3, A)	1.000000	1.410000
X(3, 8, A)	1.000000	2.240000
X(4, 10, B)	1.000000	2.550000
X(5, 1, B)	1.000000	0.000000
X(6, 5, B)	1.000000	2.500000
X(7, 4, B)	1.000000	2.240000
X(8, 1, A)	1.000000	2.500000
X(9, 6, B)	1.000000	3.160000
X(10, 9, B)	1.000000	4.270000

Variable	Value	Reduced Cost
X(11, 12, A)	1.000000	2.000000
X(12, 16, A)	1.000000	9.060000
X(13, 14, A)	1.000000	7.110000
X(14, 15, A)	1.000000	7.000000
X(15, 2, A)	1.000000	6.080000
X(16, 13, A)	1.000000	15.89000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด L ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 6555519

Objective value: 78.23000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3, B)	1.000000	2.000000
X(1, 4, A)	1.000000	2.690000
X(2, 6, A)	1.000000	3.160000
X(3, 15, B)	1.000000	7.280000
X(4, 10, A)	1.000000	2.550000
X(5, 7, A)	1.000000	1.000000
X(6, 1, A)	1.000000	0.000000
X(7, 8, A)	1.000000	2.690000
X(8, 2, A)	1.000000	2.240000
X(9, 1, B)	1.000000	3.160000
X(10, 16, A)	1.000000	8.320000
X(11, 5, A)	1.000000	10.06000
X(12, 11, A)	1.000000	2.000000
X(13, 9, B)	1.000000	7.910000
X(14, 13, B)	1.000000	7.110000
X(15, 14, B)	1.000000	7.000000
X(16, 12, A)	1.000000	9.060000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด M ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 4458390

Objective value: 79.23000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 5, A)	1.000000	1.000000
X(1, 7, B)	1.000000	0.000000
X(2, 15, B)	1.000000	6.080000
X(3, 1, A)	1.000000	3.640000
X(4, 3, A)	1.000000	4.610000
X(5, 11, A)	1.000000	10.06000
X(6, 1, B)	1.000000	1.800000
X(7, 8, B)	1.000000	2.690000
X(8, 2, B)	1.000000	2.240000
X(9, 6, B)	1.000000	3.160000
X(10, 4, A)	1.000000	2.550000
X(11, 12, A)	1.000000	2.000000
X(12, 16, A)	1.000000	9.060000
X(13, 9, B)	1.000000	7.910000
X(14, 13, B)	1.000000	7.110000
X(15, 14, B)	1.000000	7.000000
X(16, 10, A)	1.000000	8.320000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด N ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 8038821

Objective value: 79.33000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3, B)	1.000000	2.240000
X(1, 8, A)	1.000000	0.000000
X(2, 15, A)	1.000000	6.080000
X(3, 4, B)	1.000000	4.610000
X(4, 10, B)	1.000000	2.550000

Variable	Value	Reduced Cost
X(5, 1, B)	1.000000	2.500000
X(6, 7, A)	1.000000	1.800000
X(7, 1, A)	1.000000	2.690000
X(8, 2, A)	1.000000	2.240000
X(9, 6, A)	1.000000	3.160000
X(10, 16, B)	1.000000	8.320000
X(11, 5, B)	1.000000	10.06000
X(12, 11, B)	1.000000	2.000000
X(13, 9, A)	1.000000	7.910000
X(14, 13, A)	1.000000	7.110000
X(15, 14, A)	1.000000	7.000000
X(16, 12, B)	1.000000	9.060000

2. ผลการทดสอบ FCVRP จากโปรแกรม LINGO 8.0

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด B ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 1275811

Objective value: 77.51710

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 8)	1.000000	2.240000
X(1, 15)	1.000000	6.080000
X(2, 1)	1.000000	0.000000
X(3, 1)	1.000000	1.410000
X(4, 6)	1.000000	2.690000
X(5, 11)	1.000000	10.06000
X(6, 2)	1.000000	3.160000
X(7, 5)	1.000000	1.000000
X(8, 7)	1.000000	2.690000
X(9, 3)	1.000000	4.240000
X(10, 4)	1.000000	2.550000

Variable	Value	Reduced Cost
X(11, 12)	1.000000	2.000000
X(12, 16)	1.000000	9.055400
X(13, 9)	1.000000	7.910000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 10)	1.000000	8.321700

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด D ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 1020283

Objective value: 77.56000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3)	1.000000	0.000000
X(1, 6)	1.000000	2.000000
X(2, 1)	1.000000	1.410000
X(3, 15)	1.000000	7.280000
X(4, 10)	1.000000	2.550000
X(5, 7)	1.000000	1.000000
X(6, 4)	1.000000	2.690000
X(7, 8)	1.000000	2.690000
X(8, 2)	1.000000	2.240000
X(9, 1)	1.000000	4.240000
X(10, 16)	1.000000	8.320000
X(11, 5)	1.000000	10.06000
X(12, 11)	1.000000	2.000000
X(13, 9)	1.000000	7.910000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 12)	1.000000	9.060000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด J ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 2790657

Objective value: 79.75000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 4)	1.000000	0.000000
X(1, 7)	1.000000	2.240000
X(2, 15)	1.000000	6.080000
X(3, 1)	1.000000	4.610000
X(4, 10)	1.000000	2.550000
X(5, 3)	1.000000	4.030000
X(6, 8)	1.000000	2.240000
X(7, 6)	1.000000	1.800000
X(8, 2)	1.000000	2.240000
X(9, 1)	1.000000	2.500000
X(10, 16)	1.000000	8.320000
X(11, 5)	1.000000	10.06000
X(12, 11)	1.000000	2.000000
X(13, 9)	1.000000	7.910000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 12)	1.000000	9.060000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด K ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 2364484

Objective value: 79.07000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 5)	1.000000	0.000000
X(1, 8)	1.000000	2.500000
X(2, 15)	1.000000	6.080000
X(3, 2)	1.000000	1.410000
X(4, 10)	1.000000	2.550000

Variable	Value	Reduced Cost
X(5, 7)	1.000000	1.000000
X(6, 1)	1.000000	2.500000
X(7, 4)	1.000000	2.240000
X(8, 3)	1.000000	2.240000
X(9, 6)	1.000000	3.160000
X(10, 9)	1.000000	4.270000
X(11, 1)	1.000000	10.06000
X(12, 11)	1.000000	2.000000
X(13, 16)	1.000000	15.89000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 12)	1.000000	9.060000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด L ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 1488951

Objective value: 78.23000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 3)	1.000000	2.000000
X(1, 6)	1.000000	0.000000
X(2, 1)	1.000000	3.160000
X(3, 15)	1.000000	7.280000
X(4, 10)	1.000000	2.550000
X(5, 7)	1.000000	1.000000
X(6, 4)	1.000000	2.690000
X(7, 8)	1.000000	2.690000
X(8, 2)	1.000000	2.240000
X(9, 1)	1.000000	3.160000
X(10, 16)	1.000000	8.320000
X(11, 5)	1.000000	10.06000
X(12, 11)	1.000000	2.000000

Variable	Value	Reduced Cost
X(13, 9)	1.000000	7.910000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 12)	1.000000	9.060000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด M ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 1300240

Objective value: 79.23000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 5)	1.000000	1.000000
X(1, 7)	1.000000	0.000000
X(2, 15)	1.000000	6.080000
X(3, 1)	1.000000	3.640000
X(4, 3)	1.000000	4.610000
X(5, 11)	1.000000	10.06000
X(6, 1)	1.000000	1.800000
X(7, 8)	1.000000	2.690000
X(8, 2)	1.000000	2.240000
X(9, 6)	1.000000	3.160000
X(10, 4)	1.000000	2.550000
X(11, 12)	1.000000	2.000000
X(12, 16)	1.000000	9.060000
X(13, 9)	1.000000	7.910000
X(14, 13)	1.000000	7.110000
X(15, 14)	1.000000	7.000000
X(16, 10)	1.000000	8.320000

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด N ให้เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

Global optimal solution found at iteration: 2281321

Objective value: 79.33000

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 5)	1.000000	2.500000
X(1, 8)	1.000000	0.000000
X(2, 1)	1.000000	2.240000
X(3, 1)	1.000000	2.240000
X(4, 3)	1.000000	4.610000
X(5, 11)	1.000000	10.06000
X(6, 9)	1.000000	3.160000
X(7, 6)	1.000000	1.800000
X(8, 7)	1.000000	2.690000
X(9, 13)	1.000000	7.910000
X(10, 4)	1.000000	2.550000
X(11, 12)	1.000000	2.000000
X(12, 16)	1.000000	9.060000
X(13, 14)	1.000000	7.110000
X(14, 15)	1.000000	7.000000
X(15, 2)	1.000000	6.080000
X(16, 10)	1.000000	8.320000

ภาคผนวก ฉ

ผลลัพธ์จากโปรแกรม LINGO 8.0 เมื่อกำหนดให้จุด B และ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ

ตารางผนวกที่ ฉ1 เมตริกแสดงระยะทางไป – กลับระหว่างจุดศูนย์กลาง B, Q และผู้ใช้บริการอื่น

ระยะทาง	โนด (j)								
โนด (i)	B	Q	A	B	C	D	E	F	G
B	0.00	15.52	8.49	0.00	6.08	1.41	5.66	8.38	10.00
Q	15.52	0.00	13.45	15.52	18.87	14.32	11.00	13.12	9.85
A	8.49	13.45	0.00	8.49	7.00	8.60	10.20	14.43	14.00
B	0.00	15.52	8.49	0.00	6.08	1.41	5.66	8.38	10.00
C	6.08	18.87	7.00	6.08	0.00	7.28	11.18	14.43	15.65
D	1.41	14.32	8.60	1.41	7.28	0.00	4.24	7.16	8.60
E	5.66	11.00	10.20	5.66	11.18	4.24	0.00	4.27	4.47
F	8.38	13.12	14.43	8.38	14.43	7.16	4.27	0.00	3.50
G	10.00	9.85	14.00	10.00	15.65	8.60	4.47	3.50	0.00
H	13.31	10.26	17.07	13.31	19.01	11.93	7.83	5.83	3.35
I	16.55	13.60	21.02	16.55	22.47	15.23	11.40	8.32	7.07
J	5.85	13.09	12.18	5.85	11.88	4.61	2.50	2.55	4.72
K	4.61	16.01	12.62	4.61	10.50	4.03	5.02	4.95	7.83
L	3.16	14.04	10.30	3.16	9.22	2.00	3.16	5.22	7.07
M	4.50	15.01	12.09	4.50	10.55	3.64	4.03	4.30	6.95
N	2.24	16.12	10.63	2.24	8.00	2.24	5.39	6.95	9.22
O	14.66	21.52	22.45	14.66	20.32	14.02	12.88	8.91	11.71
P	14.14	19.72	21.54	14.14	20.02	13.34	11.66	7.50	10.00
Q	15.52	0.00	13.45	15.52	18.87	14.32	11.00	13.12	9.85
R	10.51	6.36	7.11	10.51	12.75	9.62	7.91	11.67	9.62
S	17.89	4.12	17.20	17.89	22.02	16.55	12.65	13.50	10.00
T	17.33	9.01	19.45	17.33	22.61	15.91	11.67	10.51	7.50
U	20.62	12.17	23.09	20.62	26.08	19.21	15.00	13.20	10.63
V	21.47	7.21	20.62	21.47	25.61	20.12	16.16	16.62	13.15
W	20.62	9.06	21.47	20.62	25.50	19.21	15.00	14.40	11.18
X	17.46	3.16	16.40	17.46	21.40	16.16	12.37	13.54	10.05

ตารางผนวกที่ ฉ1 (ต่อ)

ระยะทาง	โนด (j)								
โนด (i)	H	I	J	K	L	M	N	O	P
B	13.31	16.55	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	14.66	14.14
Q	10.26	13.60	13.09	16.01	14.04	15.01	16.12	21.52	19.72
A	17.07	21.02	12.18	12.62	10.30	12.09	10.63	22.45	21.54
B	13.31	16.55	5.85	4.61	3.16	4.50	2.24	14.66	14.14
C	19.01	22.47	11.88	10.50	9.22	10.55	8.00	20.32	20.02
D	11.93	15.23	4.61	4.03	2.00	3.64	2.24	14.02	13.34
E	7.83	11.40	2.50	5.02	3.16	4.03	5.39	12.88	11.66
F	5.83	8.32	2.55	4.95	5.22	4.30	6.95	8.91	7.50
G	3.35	7.07	4.72	7.83	7.07	6.95	9.22	11.71	10.00
H	0.00	4.03	7.78	10.70	10.31	9.92	12.38	11.91	9.96
I	4.03	0.00	10.74	13.20	13.42	12.62	15.26	11.04	9.06
J	7.78	10.74	0.00	3.16	2.69	2.24	4.61	10.49	9.39
K	10.70	13.20	3.16	0.00	2.50	1.00	2.50	10.06	9.55
L	10.31	13.42	2.69	2.50	0.00	1.80	2.24	12.17	11.40
M	9.92	12.62	2.24	1.00	1.80	0.00	2.69	10.40	9.71
N	12.38	15.26	4.61	2.50	2.24	2.69	0.00	12.47	12.04
O	11.91	11.04	10.49	10.06	12.17	10.40	12.47	0.00	2.00
P	9.96	9.06	9.39	9.55	11.40	9.71	12.04	2.00	0.00
Q	10.26	13.60	13.09	16.01	14.04	15.01	16.12	21.52	19.72
R	11.88	15.89	10.40	12.54	10.12	11.63	11.77	20.58	19.14
S	9.01	11.40	14.22	17.36	15.81	16.38	18.03	20.91	18.97
T	4.74	5.59	12.21	15.26	14.53	14.42	16.71	16.08	14.08
U	7.43	6.08	15.21	18.12	17.69	17.36	19.80	17.11	15.13
V	11.54	13.00	17.59	20.74	19.31	19.78	21.54	23.36	21.38
W	8.73	9.22	15.88	19.01	18.03	18.12	20.25	20.03	18.03
X	9.39	12.04	14.08	17.18	15.52	16.19	17.72	21.22	19.31

ตารางผนวกที่ ฉ1 (ต่อ)

ระยะทาง	โนด (j)							
โนด (i)	Q	R	S	T	U	V	W	X
B	15.52	10.51	17.89	17.33	20.62	21.47	20.62	17.46
Q	0.00	6.36	4.12	9.01	12.17	7.21	9.06	3.16
A	13.45	7.11	17.20	19.45	23.09	20.62	21.47	16.40
B	15.52	10.51	17.89	17.33	20.62	21.47	20.62	17.46
C	18.87	12.75	22.02	22.61	26.08	25.61	25.50	21.40
D	14.32	9.62	16.55	15.91	19.21	20.12	19.21	16.16
E	11.00	7.91	12.65	11.67	15.00	16.16	15.00	12.37
F	13.12	11.67	13.50	10.51	13.20	16.62	14.40	13.54
G	9.85	9.62	10.00	7.50	10.63	13.15	11.18	10.05
H	10.26	11.88	9.01	4.74	7.43	11.54	8.73	9.39
I	13.60	15.89	11.40	5.59	6.08	13.00	9.22	12.04
J	13.09	10.40	14.22	12.21	15.21	17.59	15.88	14.08
K	16.01	12.54	17.36	15.26	18.12	20.74	19.01	17.18
L	14.04	10.12	15.81	14.53	17.69	19.31	18.03	15.52
M	15.01	11.63	16.38	14.42	17.36	19.78	18.12	16.19
N	16.12	11.77	18.03	16.71	19.80	21.54	20.25	17.72
O	21.52	20.58	20.91	16.08	17.11	23.36	20.03	21.22
P	19.72	19.14	18.97	14.08	15.13	21.38	18.03	19.31
Q	0.00	6.36	4.12	9.01	12.17	7.21	9.06	3.16
R	6.36	0.00	10.12	13.09	16.69	13.51	14.58	9.30
S	4.12	10.12	0.00	6.02	8.54	3.61	5.00	1.00
T	9.01	13.09	6.02	0.00	3.64	7.43	4.03	6.80
U	12.17	16.69	8.54	3.64	0.00	8.49	4.24	9.49
V	7.21	13.51	3.61	7.43	8.49	0.00	4.24	4.24
W	9.06	14.58	5.00	4.03	4.24	4.24	0.00	6.00
X	3.16	9.30	1.00	6.80	9.49	4.24	6.00	0.00

ผลลัพธ์จากแบบจำลอง MDLRP เมื่อกำหนดให้จุด B และ Q เป็นจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุ โดยใช้โปรแกรม LINGO 8.0 ที่เวลาในการประมวลผล 100 ชั่วโมง โปรแกรมแสดงผลดังนี้

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 5, B)	1.000000	6.080010
X(1, 16, A)	1.000000	2.240010
X(2, 19, C)	1.000000	0.1000000E-04
X(3, 20, C)	1.000000	7.110000
X(4, 1, B)	1.000000	0.000000
X(5, 7, B)	1.000000	11.18000
X(6, 1, A)	1.000000	1.410000
X(7, 12, B)	1.000000	2.500000
X(8, 9, A)	1.000000	3.500000
X(9, 10, A)	1.000000	3.350000
X(10, 11, A)	1.000000	4.030000
X(11, 18, A)	1.000000	9.060000
X(12, 15, B)	1.000000	2.240000
X(13, 4, B)	1.000000	4.610000
X(14, 13, B)	1.000000	2.500000
X(15, 14, B)	1.000000	1.800000
X(16, 8, A)	1.000000	6.950000
X(17, 6, A)	1.000000	14.02000
X(18, 17, A)	1.000000	2.000000
X(19, 3, C)	1.000000	13.45000
X(20, 22, C)	1.000000	13.09000
X(21, 2, C)	1.000000	4.120000
X(22, 23, C)	1.000000	3.640000
X(23, 25, C)	1.000000	4.240000
X(24, 26, C)	1.000000	4.240000
X(25, 24, C)	1.000000	4.240000
X(26, 21, C)	1.000000	1.000000

Variable	Value	Reduced Cost
Y(1)	1.000000	0.000000
Y(2)	1.000000	0.000000
Z(1, 4)	1.000000	0.000000
Z(1, 5)	1.000000	0.000000
Z(1, 6)	1.000000	0.000000
Z(1, 7)	1.000000	0.000000
Z(1, 8)	1.000000	0.000000
Z(1, 9)	1.000000	0.000000
Z(1, 10)	1.000000	0.000000
Z(1, 11)	1.000000	0.000000
Z(1, 12)	1.000000	0.000000
Z(1, 13)	1.000000	0.000000
Z(1, 14)	1.000000	0.000000
Z(1, 15)	1.000000	0.000000
Z(1, 16)	1.000000	0.000000
Z(1, 17)	1.000000	0.000000
Z(1, 18)	1.000000	0.000000
Z(1, 19)	1.000000	0.000000
Z(1, 20)	1.000000	0.000000
Z(1, 21)	1.000000	0.000000
Z(1, 22)	1.000000	0.000000
Z(1, 23)	1.000000	0.000000
Z(1, 24)	1.000000	0.000000
Z(1, 25)	1.000000	0.000000
Z(1, 26)	1.000000	0.000000
Z(2, 3)	1.000000	0.000000
Z(2, 4)	1.000000	0.000000
Z(2, 5)	1.000000	0.000000
Z(2, 6)	1.000000	0.000000
Z(2, 8)	1.000000	0.000000

Variable	Value	Reduced Cost
Z(2, 9)	1.000000	0.000000
Z(2, 10)	1.000000	0.000000
Z(2, 11)	1.000000	0.000000
Z(2, 12)	1.000000	0.000000
Z(2, 13)	1.000000	0.000000
Z(2, 14)	1.000000	0.000000
Z(2, 15)	1.000000	0.000000
Z(2, 16)	1.000000	0.000000
Z(2, 17)	1.000000	0.000000
Z(2, 18)	1.000000	0.000000
Z(2, 19)	1.000000	0.000000
Z(2, 20)	1.000000	0.000000
Z(2, 21)	1.000000	0.000000
Z(2, 22)	1.000000	0.000000
Z(2, 23)	1.000000	0.000000
Z(2, 24)	1.000000	0.000000
Z(2, 25)	1.000000	0.000000
Z(2, 26)	1.000000	0.000000

ภาคผนวก ช

ข้อมูลพิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 1-9

ตารางผนวกที่ ช1 พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 1 และ 2

ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ	ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ
1	13.00	26.00	66.58	13	19.00	15.50	32.14
2	19.00	20.00	13.78	14	20.00	18.00	28.32
3	20.00	26.00	11.48	15	23.00	5.90	52.04
4	18.00	19.00	102.55	16	21.00	6.00	26.02
5	15.00	16.00	132.40	17	4.00	16.00	76.53
6	16.50	12.00	55.87	18	8.50	20.50	35.20
7	13.00	12.00	51.28	19	3.00	12.00	40.56
8	11.50	9.00	10.71	20	7.00	7.50	28.32
9	12.00	5.00	10.71	21	6.00	4.00	18.37
10	17.00	14.50	18.37	22	0.00	10.00	46.68
11	20.00	15.50	80.36	23	3.00	7.00	15.31
12	18.00	17.00	29.85	24	3.00	13.00	17.60

ตารางผนวกที่ ช2 พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 3 และ 4

ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ	ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ
1	37.00	52.00	7.00	11	42.00	41.00	18.00
2	49.00	49.00	22.00	12	31.00	32.00	29.00
3	52.00	64.00	16.00	13	5.00	25.00	23.00
4	20.00	26.00	14.00	14	12.00	42.00	21.00
5	40.00	30.00	21.00	15	36.00	16.00	10.00
6	21.00	47.00	15.00	16	52.00	41.00	15.00
7	17.00	63.00	19.00	17	27.00	23.00	3.00
8	31.00	62.00	13.00	18	17.00	33.00	21.00
9	52.00	33.00	11.00	19	13.00	13.00	9.00
10	51.00	21.00	5.00	20	57.00	58.00	8.00

ตารางผนวกที่ ช3 พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 5, 6 และ 7

ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ	ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ
1	13.00	26.00	7.00	11	20.00	15.00	12.00
2	19.00	20.00	3.00	12	18.00	17.00	4.00
3	20.00	26.00	10.00	13	19.00	16.00	7.00
4	18.00	19.00	9.00	14	20.00	18.00	4.00
5	15.00	16.00	5.00	15	23.00	6.00	5.00
6	16.50	12.00	2.00				
7	13.00	12.00	6.00				
8	11.50	9.00	8.00				
9	12.00	5.00	6.00				
10	17.00	15.00	5.00				

ตารางผนวกที่ ช4 พิกัดและความต้องการของผู้ใช้บริการสำหรับปัญหาเพิ่มเติมที่ 8 และ 9

ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ	ผู้ใช้บริการ	พิกัด X	พิกัด Y	ความต้องการ
1	12.00	9.00	7.00	6	15.00	16.00	6.00
2	18.00	17.00	3.00	7	12.00	5.00	4.00
3	19.00	15.00	6.00	8	19.00	20.00	8.00
4	7.00	8.00	5.00	9	20.00	18.00	7.00
5	17.00	14.00	9.00	10	6.00	4.00	10.00

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสโรชา นาคเจริญ
เกิดวันที่	5 เมษายน 2526
สถานที่เกิด	อำเภอบางเขน กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยบูรพา
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2550)