



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การบริหารจัดการขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

Drinking water transportation management using mathematical programming model: a case study of Thap Kaew Drinking Water Plant, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

วรุตัย เดชตานนท์ จิรวัดน์ โลพันดุง* ปรัชญ์ บุญแซม กนกพร บุญจูบุตร ละอองดาว ขุนจิว

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Warutai Dejtanon Jirawat Lopandung* Prat Boonsam Kanokporn Boonjubut Laongdao Khunngio

Department of Engineering Management, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000

* Corresponding author.

E-mail: jirawat.l@nrru.ac.th; Telephone: 08 1264 9623

วันที่รับบทความ 9 กันยายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 13 ตุลาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ 24 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

การวางแผนถือได้ว่าเป็นการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตหรือการบริการให้สูงขึ้น แต่พบว่าโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ยังไม่มีตารางการขนส่งที่เป็นรูปธรรม ทำให้เกิดปัญหาการขนส่งไปยังลูกค้าไม่เป็นไปตาม การนัดหมาย จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อบริหารจัดการขนส่งน้ำดื่มให้เป็นไปตามการนัดหมายของลูกค้า และจัดส่งน้ำดื่มภายในกำหนดเวลาแบบจำกัด โดยการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์และการจัดสรรงานโดยการปรับเรียงการผลิตเพื่อให้ แต่ละวันมีการกระจายงานอย่างสม่ำเสมอ การแก้ปัญหาแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ 1) การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มภายใต้เงื่อนไขความจุของรถขนส่ง และ 2) การวางแผนการขนส่งภายใต้กรอบเวลาการผลิต ทั้งนี้กำหนดปริมาณน้ำดื่มจำนวน 150 โหล/วัน จำนวนลูกค้าทั้งหมด 22 ราย และเวลาในการจัดส่งน้ำ 2 ชั่วโมง/วัน สามารถจัดปริมาณน้ำดื่มและตารางการขนส่งน้ำดื่มโดยใช้เวลาทั้งหมด 3 วัน คือ วันที่ 1 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 143 โหล ให้กับลูกค้า 5 ราย ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 47 นาที 41 วินาที วันที่ 2 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 144 โหล ให้กับลูกค้า 8 ราย ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 47 นาที 20 วินาที และวันที่ 3 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 145 โหล ให้กับลูกค้า 9 ราย ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 39 นาที 39 วินาที และสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงลงได้ร้อยละ 91.5

คำสำคัญ

การบริหารจัดการขนส่ง ปัญหาการจัดงาน ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

Planning can be regarded as management to increase efficiency, but it was found that the Thap Kaew drinking water plant at Nakhon Ratchasima Rajabhat University does not have a transport schedule, causing problems in transportation for customers who do not follow the appointment. Based on the aforementioned problems, this research aims to manage the transportation of drinking water according to the customer's appointment and deliver drinking water within a limited time. This problem was solved by using mathematical models and the allocation of tasks by smooth production, with the purpose of ensuring that the daily tasks are distributed evenly. The solution is divided into two levels: 1) the routing of potable water transport under truck capacity conditions and 2) transportation planning under a production time frame.

However, this case study has production capacity constraints as follows: the capacity to produce drinking water at an amount of 150 dozen/day, the total number of 22 customers, and a delivery time of 2 hours/day. The results of this study found that the production quantity and drinking water transportation schedule can be arranged using a total of 3 days, consisting of: on Day 1, delivery for 142 dozen of drinking water to 5 customers took 1 hour, 47 minutes, and 41 seconds. On Day 2, water delivery takes 1 hour, 47 minutes, and 20 seconds for 146 dozen to 8 customers. On Day 3, water delivery for 144 dozen to 9 customers took 1 hour, 39 minutes, and 39 seconds; furthermore, fuel costs can be reduced by 91.5 percent.

Keywords

transportation management; assignment problem; vehicle routing problem; mathematical programming model

1. บทนำ

โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ดำเนินการผลิตและจัดจำหน่ายน้ำดื่ม “ทับแก้ว” ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ปัจจุบันมีความต้องการน้ำดื่มขนาด 600 มิลลิลิตร จำนวน 792 โหล/สัปดาห์ แบ่งออกเป็นการบริโภคของบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย และจำหน่ายให้กับร้านค้าภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 432 และ 360 โหล/สัปดาห์ ตามลำดับ แต่ปัจจุบันโรงผลิตน้ำดื่มทับแก้วสามารถผลิตได้เพียง 510 โหล/สัปดาห์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากการศึกษาของ วรุทัย เดชตานนท์ และจิรวรรณ โล่ห์พันธุ์ [1] พบว่า โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้วมีพนักงานแผนกบรรจุน้ำเพียง 1 คน ทำให้เกิดปัญหาคอขวดในกระบวนการผลิตของแผนกบรรจุ แนวทางในการแก้ปัญหาของโรงผลิตน้ำดื่มให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการได้ คือ การนำพนักงานแผนกจัดส่งน้ำจำนวน 2 คน มาช่วยในขั้นตอนการบรรจุในช่วงเวลาที่ว่าง และจัดทำตารางการจัดส่งน้ำขึ้นมาใหม่ ในเวลาที่จำกัด โดยจะทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ร้อยละ 133.41 ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการบริโภค จากข้อมูลการจัดส่งน้ำในปัจจุบันพบว่า การจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มไม่มีรูปแบบการจัดส่งที่แน่นอน ทำให้การกระจายน้ำไม่ทั่วถึง และบางหน่วยงานต้องรอน้ำดื่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการบริหารจัดการการขนส่งน้ำดื่ม คือ 1) จัดส่งน้ำให้เป็นไปตามนัดหมายของหน่วยงาน และ 2) กำหนดตารางในการขนส่งน้ำ เพื่อให้พนักงานแผนกจัดส่งน้ำสามารถส่งน้ำได้ครบถ้วนตามจำนวนในเวลาที่กำหนด ด้วยการนำวิธี Split Delivery VRP มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาเนื่องจากพบว่าปัญหานี้เป็นปัญหาที่ความต้องการของลูกค้าเกินความสามารถของรถบรรทุก และนำปัญหาการจัดงานมาใช้ในการกำหนดตาราง

การจัดการขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและขนส่งให้สูงขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริหารจัดการขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้เพื่อแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ประกอบด้วย ปัญหาการจัดงาน และปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

2.1 ปัญหาการจัดงาน (Assignment Problem)

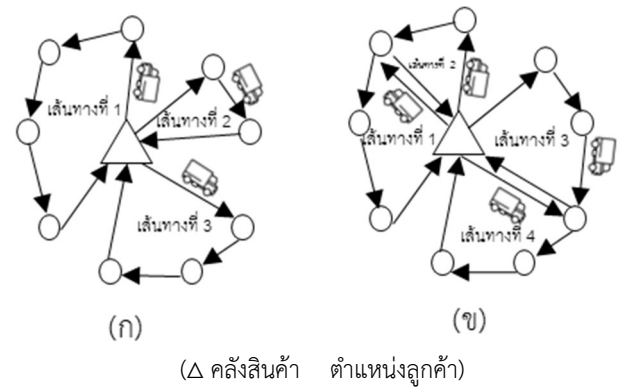
ปัญหาการจัดงาน (Assignment Problem; AP) เป็นปัญหาเกี่ยวกับการมอบหมายหรือจัดสรรงานที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดให้ใช้ได้อย่างเหมาะสมให้กับหน่วยงานที่ต้องการเพื่อตอบสนองต่อเป้าหมายที่กำหนดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด [2-5] โดยส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ 2 แบบ คือ เพื่อหาต้นทุนต่ำที่สุด (Minimize Cost) หรือเพื่อหากำไรมากที่สุด (Maximize Profit) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขของการจัดสรร เช่น การจัดสรรงานให้กับเครื่องจักรเพื่อให้เวลาที่ใช้การผลิตต่ำที่สุด หรือการจัดสรรลูกค้าให้กับคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า เพื่อให้ต้นทุนการจัดส่งสินค้าต่ำที่สุด เป็นต้น ซึ่งปัญหาการจัดงานสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ ดังนี้ 1) ทรัพยากร (Agent) กับจำนวนงาน (Task) มีจำนวนเท่ากัน (One-to-one matching) 2) จำนวนทรัพยากรกับจำนวนงานมีจำนวนไม่เท่ากัน (The classic assignment problem recognizing agent qualification) โดยแต่ละทรัพยากรสามารถทำทุกงานได้ เนื่องจากแต่ละทรัพยากรมีคุณสมบัติเหมือนกัน 3) การจัดงาน ทรัพยากรสามารถรับผิดชอบงานได้มากกว่า 1 งาน โดยไม่เกินความสามารถของแต่ละทรัพยากร (The generalized

assignment problem; GAP) โดยมีการกำหนดงานที่เรียกว่า One-to-many assignment problem

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบความจุยานพาหนะจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบความจุยานพาหนะจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem; CVRP) [6] หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) ประกอบด้วยรถขนส่งหลายคัน ทำให้เกิดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง โดยมีเงื่อนไขจะต้องส่งสินค้าให้ครบทุกจุดและกลับมายังคลังสินค้าเดิมทุกครั้ง ปริมาณความจุของยานพาหนะที่ใช้มีความจุจำกัด วิธีที่นิยมใช้แก้ปัญหา VRP สามารถแบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้ 1) วิธีแม่นยำตรง (Exact Method) เป็นวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ให้ค่าดีที่สุด แต่มีข้อเสีย คือ หากปัญหามีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถรับประกันการหาค่าที่เหมาะสม รวมถึงใช้เวลาในการประมวลผลนาน 2) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) สามารถหาผลลัพธ์ได้ดีใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด ในปัญหาที่ซับซ้อนภายในเวลาจำกัด 3) วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic Method) เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติกส์ สามารถหาผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด โดยสามารถหาผลลัพธ์ของปัญหาที่มีความซับซ้อน และมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว

ปัญหาการจัดเส้นทางที่แบ่งจำนวนการส่งสินค้า (Split Delivery VRP; SDVRP) เป็นรูปแบบการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ยินยอมให้แยกจำนวนการส่งสินค้าให้ลูกค้าได้มากกว่า 1 ครั้ง และในบางครั้งใช้เพื่อแก้ปัญหาการขนส่งสินค้าที่มีปริมาณความต้องการของลูกค้ามีมากกว่าปริมาณความสามารถที่รถขนส่งสินค้าจะสามารถบรรทุกไปส่งได้ภายใน 1 เที่ยว และมีต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำที่สุด แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 (ก) การจัดเส้นทางแบบ CVRP (ข) การจัดเส้นทางที่แบ่งจำนวนการส่งสินค้า (SDVRP)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรุตม์ บุญภักดี และพิรยุทธ ชาญเศรษฐิกุล [7] ได้เสนอการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีเพิ่มคอลัมน์เพื่อแก้ปัญหาการขนส่งและการจัดงานที่มีตัวแปรตัดสินใจขนาดใหญ่ มีข้อจำกัดในการหาผลลัพธ์เมื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้น โดยพัฒนาให้อยู่ในรูปของโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) และทำการทดลองเปรียบเทียบพบว่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการเพิ่มคอลัมน์มากกว่าในปัญหามีขนาดเล็ก และยังพบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Quazzafi Rabbani, Aamir Khan, and Abdul Quddoos [8] เสนอการปรับปรุงด้วยวิธีการฮังการี (Hungarian Method) ในการแก้ปัญหามอบหมายงานที่ไม่สมดุลด้วยการกำหนดเครื่องหลอก (Dummy or Pseudo) ในการมอบหมายงานบางอย่างโดยไม่มีการดำเนินการจริง ผลลัพธ์พบว่าผลลัพธ์อยู่หลายอันที่ได้ผลลัพธ์ที่มีต้นทุนขั้นต่ำจากการใช้วิธีการที่นำเสนอ

Silva, Marcos Melo, Anand Subramanian, and Luiz Satoru Ochi [9] ได้เสนออัลกอริทึมที่เรียกว่า SplitILS โดยพัฒนาจาก Iterated Local Search (ILS) และ Randomized Variable Neighborhood Descent (RVND) โดยทำการแก้ปัญหาคำหนดเส้นทางขนส่งแบบแยกส่วน (SDVRP) ปัญหานี้เป็นปัญหาล้ำกับปัญหา CVRP ที่แยกความต้องการของลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าออกเป็นส่วน ๆ โดยงานวิจัยนี้ใช้ฮิวริสติกแบบ ILS ในการแก้ปัญห และทำการทดลองโดยการ

เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วยโจทย์มาตรฐานปัญหา VRP พบว่าผลลัพธ์แม่นยำเทียบเท่าคำตอบที่ดีที่สุด 55 ปัญหา และพบผลลัพธ์ที่ปรับปรุงดีกว่าทั้งหมด 243 จาก 324 ปัญหา โดยมี การปรับปรุงโดยเฉลี่ย 1.15% และสูงสุด 2.81%

Ozbaygin, Gizem, Oya Karasan, and Hande Yaman [10] เสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution Algorithms) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง ยานพาหนะที่แบบแยกส่ง (SDVRP) ด้วยการกำหนดดัชนีใน ด้านข้อจำกัดการไหลของยานพาหนะ ส่งผลให้พบผลลัพธ์ที่ดี ที่สุดสำหรับการจัดเส้นทางด้วยยานพาหนะหลายคันที่ส่งสินค้า ให้กับลูกค้า ทำการทดลองกับโจทย์ปัญหาแบบสุ่ม ซึ่งพบว่า มี ผลลัพธ์ดีขึ้นจากเดิมถึง 46 ปัญหา

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำเสนอ วิธีการแก้ไขปัญหการจัดสรรงาน และการจัดเส้นทาง ยานพาหนะหลายวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดี สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือก ทำการแก้ไขปัญหการจัดงานเพื่อผลิตและการจัดเส้นทางใน การขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าภายในข้อจำกัดด้านทรัพยากรและ เวลาด้วยแบบจำลองเชิงทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Model) เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์มีค่าที่ดี ที่สุด

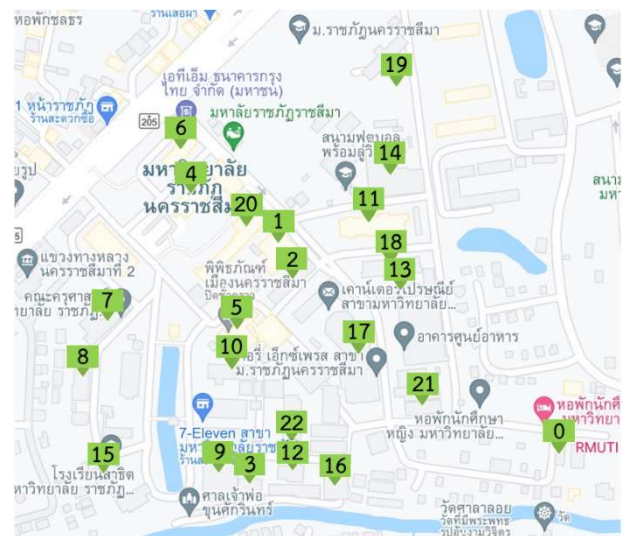
3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ข้อมูลเบื้องต้น

กำหนดให้โรงผลิตน้ำดื่มต้องดำเนินการผลิตน้ำดื่มขนาด 600 มิลลิลิตร บรรจุเป็นโหลจำนวนไม่ต่ำกว่า 150 โหล/วัน มี พนักงานขนส่งน้ำ จำนวน 2 คน ทำงาน 2 ชั่วโมง/วัน ทำงาน เฉพาะจันทร์-ศุกร์ ใช้พาหนะ คือ มอเตอร์ไซด์พ่วงข้างส่งน้ำ บรรทุกครั้งละ 40 โหล ใช้เวลานำขึ้นรถ 10 นาที พนักงาน สามารถยกน้ำได้ครั้งละ 4 โหล/คน มีจุดส่งน้ำและความ ต้องการน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการน้ำในแต่ละจุด

จุดที่	อาคาร	ความต้องการน้ำ (โหล/สัปดาห์)
0	โรงผลิตน้ำดื่ม	-
1	4	2
2	5	3
3	7	3
4	9	64
5	10	3
6	15	8
7	17	15
8	18	9
9	22	47
10	23	16
11	24	6
12	25	3
13	26	7
14	27	10
15	28	26
16	29	34
17	31	13
18	32	60
19	34	8
20	36	55
21	37	7
22	38	33
รวม		432



รูปที่ 2 จุดส่งน้ำภายในมหาวิทยาลัย

3.2 การแก้ปัญหา

เริ่มจากการสำรวจสภาพปัจจุบันและใช้ Google Map ในการหาระยะทางระหว่างจุดส่งน้ำมาสร้างเมตริกซ์ระยะทางและจับเวลาการเดินทางระหว่างจุดส่งน้ำภายในมหาวิทยาลัย จากนั้นทำการแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วางแผนกระบวนการผลิตและการขนส่งน้ำดื่ม ซึ่งเป็นการแก้ปัญหา 2 ระดับ คือ ระดับแรกทำการกำหนดจำนวนงานแต่ละกลุ่มจากปัญหาของกรณีศึกษา โดยจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มภายใต้เงื่อนไขความจุของรถขนส่ง และปัญหานี้ยังพบว่าลูกค้า (หน่วยงาน) แต่ละจุดมีความต้องการมากกว่าความสามารถของความจุรถขนส่ง จึงทำการจัดเส้นทางการขนส่งโดยแยกส่งสินค้าให้ลูกค้าเมื่อความต้องการสินค้าของลูกค้ามีมากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันหนึ่ง ๆ (Split Demand Delivery) และระดับที่สอง คือ การวางแผนการขนส่งภายใต้กรอบเวลาการผลิต เนื่องจากปัญหานี้มีข้อจำกัดในการขนส่งโดยในช่วงเช้าเป็นการผลิตน้ำดื่มและช่วงบ่ายเป็นการขนส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง/วันงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในปัญหาการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าของ ออกนิษฐ์ สันธนิศา และศิริวดี อรัญนารถ [11] ที่ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Maheo และคณะ [12] ที่ใช้การพิจารณาการไหลของสินค้าแทนการไหลของยานพาหนะและการนับจำนวนเมือง โดยกำหนดสมการข้อจำกัดเพิ่มเติมในการกำจัดตัวร่อยรังสมการ (5) - (6) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งสามารถสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาวางแผนการผลิตและจัดเส้นทางการขนส่งน้ำไปยังลูกค้า โดยใช้วิธีหาค่าเหมาะด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming, ILP) ดังสมการ (1) - (16) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี

- i แทน โหนดต่าง ๆ ของโรงผลิตน้ำดื่มหรือลูกค้ารายที่ i ; $i = 0, 1, 2, 3, \dots, N$; 0 คือ โรงผลิตน้ำดื่ม
- j แทน โหนดต่าง ๆ ของโรงผลิตน้ำดื่มหรือลูกค้ารายที่ j ; $j = 0, 1, 2, 3, \dots, N$; 0 คือ โรงผลิตน้ำดื่ม
- N แทน จำนวนโรงผลิตน้ำดื่มและลูกค้าทั้งหมด

k แทน จำนวนกลุ่มในการขนส่ง k ; โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, K$; K คือ จำนวนกลุ่มสูงสุดในการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ตัวแปร

d_i คือ ปริมาณความต้องการน้ำของแต่ละจุดของลูกค้ารายที่ i (โหนด/สัปดาห์)

T_{ij} คือ ระยะเวลาในการขนส่งจากจุด i ไปยังลูกค้า j (วินาที)

TT_{ij} คือ ระยะเวลารวมในการขนส่งแต่ละเส้นทางตามความสามารถความจุของรถขนส่ง (วินาที)

Q_k คือ ปริมาณความจุของรถขนส่งในบรรทุกน้ำในการขนส่งน้ำในแต่ละกลุ่ม k ในหนึ่งรอบการส่ง (โหนด)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$x_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจาก } i \text{ ไป } j \text{ โดยกลุ่มการขนส่งที่ } k \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$

Y_{ik} = ปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถบรรทุกของกลุ่มการขนส่งที่ k (โหนด)

F_{ijk} = ปริมาณสินค้าที่บรรทุกส่งให้ลูกค้า i จากจุด i ไปยัง j จุดโดยรถบรรทุกของกลุ่มการขนส่งที่ k (โหนด)

U_i = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary Variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\min \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N T_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{ik} = d_i \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^N Y_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^N (F_{jik} - F_{ijk}) = Y_{ik} \quad \forall k, \forall i; i > 0 \quad (5)$$

$$F_{ijk} \leq x_{ijk} Q_k \quad \forall k, \forall i, \forall j; i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{j=0}^N (F_{jik} - F_{ijk}) > 0 \quad \forall k, \forall i; i > 0 \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ijk} \leq 1 \quad \forall k, \forall i; i = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{jik} \leq 1 \quad \forall k, \forall i; i = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \quad (10)$$

$$U_i - U_j + N \sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j; i \neq j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^N F_{0ik} \leq Q_k \quad \forall k \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ijk} \leq Y_{ki} \quad \forall k, \forall j; j > 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^N F_{iok} = 0 \quad \forall k \quad (14)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k, \forall i, \forall j \quad (15)$$

$$Y_{ik}, F_{ijk} \geq 0 \quad \forall k, \forall i, \forall j \quad (16)$$

สมการ (1) เป็นสมการเป้าหมายเพื่อหาเวลาในการขนส่งรวมน้อยที่สุด สมการ (2) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ลูกค้าหรือโรงผลิตน้ำดื่มถูกผ่านอย่างน้อย 1 ครั้ง สมการ (3) กำหนดรถขนส่งทุกคันต้องส่งสินค้าให้ลูกค้าให้เท่ากับปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการแต่ละจุด สมการ (4) กำหนดให้ปริมาณสินค้ารวมที่จะต้องขนส่งต้องไม่เกินความจุในการบรรทุกของรถบรรทุก สมการ (5) สมการขจัดทัวร์ย่อย กำหนดให้เป็นปริมาณสินค้าที่อยู่บนรถบรรทุกที่ออกจากลูกค้าไปยังลูกค้าถัดไป คำนวณจากปริมาณสินค้าที่บรรทุกมาก่อนหักออกด้วยปริมาณสินค้าที่ส่งให้ลูกค้า สมการ (6) กำหนดให้ปริมาณการบรรทุกสินค้าไม่เกินความจุของรถบรรทุก ซึ่งเป็นสมการขจัดทัวร์ย่อย สมการ (7) กำหนดว่าเมื่อรถบรรทุกเดินทางขนส่งสินค้าที่จุดที่มีความต้องการส่งสินค้า ยกเว้นโรงผลิตน้ำดื่ม สมการ (8) - (9) กำหนดให้รถขนส่งแต่ละรอบการขนส่งสามารถเดินทางแต่ละจุดได้เพียงครั้งเดียว สมการ (10) กำหนดให้รถขนส่งสินค้าแต่ละคันสามารถออกจากโรงผลิตน้ำดื่มได้ไม่เกิน 1 ครั้ง สมการ (11) เป็นสมการกำจัดเส้นทางย่อย (Sub tour Elimination) สมการ (12) กำหนดให้รถขนส่งสินค้าออกจากโรงผลิตน้ำดื่มด้วยปริมาณบรรทุกไม่เกินความจุของรถขนส่ง สมการ (13) กำหนดให้รถขนส่งเดินทางไปยังลูกค้าที่ต้องการสินค้าเท่านั้น สมการ (14) กำหนดให้รถขนส่งที่เดินทางเข้าโรงผลิตน้ำดื่มต้องไม่มีสินค้าเหลืออยู่เท่านั้น สมการ (15)-(16) กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจที่เกี่ยวข้อง

หลังจากนั้นทำการจัดสรรงานโดยทำการปรับเรียบการผลิต (Level Production) เพื่อให้การผลิตและการขนส่งของ

แต่ละวันมีการกระจายงานอย่างสม่ำเสมอภายใต้เงื่อนไขความสามารถในการผลิตน้ำดื่มในแต่ละวัน และเวลาที่จำกัดในการขนส่งน้ำไปยังลูกค้า สามารถแสดงการจัดตารางการผลิตและขนส่งน้ำดื่มได้ดังสมการ (17) - (21) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

l แทน วันที่โรงงานผลิตน้ำเปิดดำเนินการ โดยที่ $l = 1, 2, 3, \dots, L$

L แทน จำนวนวันสูงสุดที่โรงงานผลิตน้ำดำเนินการต่อสัปดาห์

m แทน กลุ่มงานที่ทำการส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้า; $m = 1, 2, 3, \dots, M$

M คือ จำนวนกลุ่มมากที่สุดในการส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้า

ตัวแปร (Parameters)

d_m คือ ปริมาณความต้องการน้ำของแต่ละกลุ่มเส้นทาง m (โหล)

C_l คือ ปริมาณความสามารถในการผลิตน้ำแต่ละวัน (โหล/วัน)

TT_m คือ ระยะเวลาในการขนส่งแต่ละกลุ่มเส้นทางตามความสามารถความจุของของรถขนส่ง (วินาที)

t_m คือ เวลาในการเตรียมสินค้าที่โรงงานผลิตเพื่อเตรียมขนส่ง (วินาที)

Q_l คือ ระยะเวลารวมที่สามารถขนส่งน้ำส่งลูกค้าในแต่ละวัน (วินาที)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$$x_{lm} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการขนส่งกลุ่ม } m \text{ และขนส่งวันที่ } l \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\min \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L TT_{lm} x_{lm} \quad (17)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{l=1}^L x_{lm} = 1 \quad \forall m \quad (18)$$

$$\sum_{m=1}^M d_m x_{lm} \leq C_l \quad \forall l \quad (19)$$

$$\sum_{m=1}^M (TT_m + t_m) x_{lm} \leq Q_l \quad \forall m, \forall l \quad (20)$$

$$x_{lm} \in \{0,1\} \quad \forall m, \forall l \quad (21)$$

สมการ (17) คือ สมการเป้าหมายในการกำหนดการจัดการผลิตและขนส่งน้ำมีค่าผลรวมของวันน้อยที่สุด สมการ (18) แต่ละกลุ่มเส้นทางจะมีเพียง 1 วันเท่านั้นที่รับผิดชอบในการผลิตเพื่อส่งให้กับลูกค้า สมการ (19) คือ สมการเงื่อนไขที่กำหนดให้การผลิตและขนส่งรวมในแต่ละวันต้องไม่เกินความสามารถในการผลิต สมการ (20) เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการขนส่งต้องไม่เกินเวลาที่สามารถขนส่งในแต่ละวันได้ สมการ (21) กำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจที่เกี่ยวข้อง

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้าโดยใช้โปรแกรม Python ได้ผลการวิเคราะห์ คือ 1) กลุ่มของเส้นทางขนส่งน้ำดื่มต่อเที่ยวของรถส่งน้ำดื่ม และ 2) นำกลุ่มดังกล่าวมาจัดตารางการขนส่งน้ำดื่มต่อวันด้วยข้อจำกัดด้านปริมาณการผลิต แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลการจัดปริมาณน้ำดื่มและตารางการขนส่งน้ำดื่ม โดยในกรณีศึกษากำหนดให้เวลาในการโหลดน้ำดื่ม (Loading Process) สำหรับขนส่งไปยังลูกค้ามีเวลาเท่ากับ 10 นาทีต่อหนึ่งรอบการขนส่ง โดยผลการจัดตารางการขนส่ง พบว่า วันที่ 1 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 143 โหล ตามกลุ่มของเส้นทางขนส่ง 2→4→3→9 ใช้เวลารวม 1 ชั่วโมง 47 นาที 41 วินาที วันที่ 2 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 144 โหล ตามกลุ่มของเส้นทางขนส่ง 7→8→1→6 ใช้เวลารวม 1 ชั่วโมง 47 นาที 20 วินาที และวันที่ 3 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 145 โหล ตามกลุ่มของเส้นทางขนส่ง 10→11→5→12 ใช้เวลารวม 1 ชั่วโมง 39 นาที 39 วินาที เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

ตารางที่ 2 เส้นทางขนส่งน้ำดื่มต่อเที่ยวของรถส่งน้ำดื่ม

กลุ่ม	ลำดับการขนส่ง	ความจุ (โหล)	ระยะเวลารวม (วินาที: 100)
1	0→8→7→6→0	32	2,398
2	0→4→0	40	1,069
3	0→20→0	40	1,274
4	0→20→4→0	39	2,017
5	0→10→2→1→5→13→0	31	2,572
6	0→3→22→12→0	39	1,517
7	0→9→0	40	1,080
8	0→15→9→0	33	1,738
9	0→19→14→11→0	24	1,787
10	0→18→0	40	1,064
11	0→18→17→21→0	40	1,461
12	0→16→0	34	868

ตารางที่ 3 ตารางการขนส่งน้ำดื่มและปริมาณน้ำดื่ม

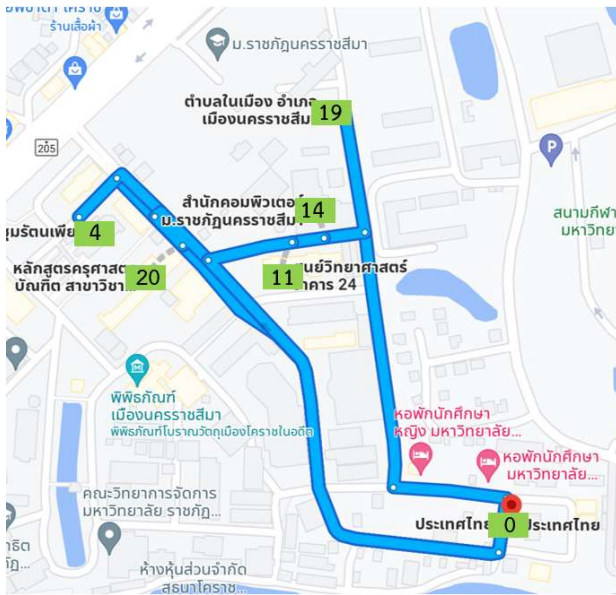
วันที่	ปริมาณน้ำดื่ม (โหล)	กลุ่มของเส้นทางขนส่งน้ำดื่ม	เวลารวม (วินาที: 100)
1	143	2→4→3→9	10,768
2	144	7→8→1→6	10,733
3	145	10→11→5→12	9,965

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

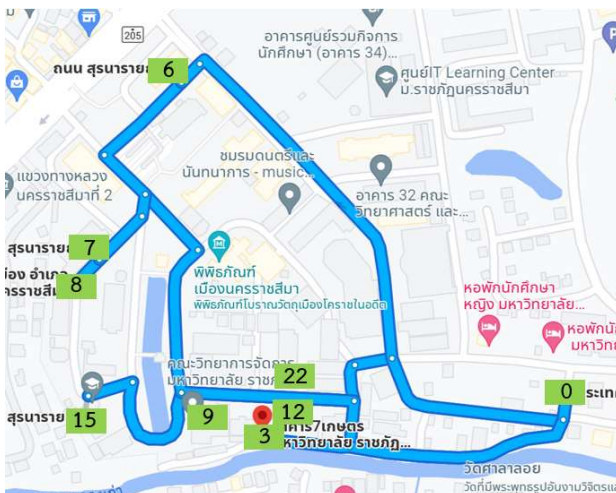
5.1 สรุปผล

การบริหารจัดการขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสามารถจัดส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการของหน่วยงาน จำนวน 432 โหล/สัปดาห์ และสามารถกำหนดตารางเวลาในการส่งน้ำเพื่อให้พนักงานแผนกจัดส่งน้ำสามารถส่งน้ำได้ครบถ้วนตามจำนวนในเวลาที่กำหนด โดยใช้เวลาในการดำเนินการทั้งหมด 3 วัน คือ วันที่ 1 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 143 โหล ไปยังลูกค้า 5 ราย จำนวน 4 รอบ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 47 นาที 41 วินาที วันที่ 2 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 144 โหล ไปยังลูกค้า 8 ราย จำนวน 4 รอบ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 47 นาที 20 วินาที และวันที่ 3 จัดส่งน้ำดื่มจำนวน 145 โหล ไปยังลูกค้า 9 ราย จำนวน 4 รอบ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 39 นาที 39 วินาที เส้นทางขนส่งในแต่ละวันแสดงดังรูปที่ 3 – 5 จากรูปแบบการดำเนินการดังกล่าวพบว่าผลการดำเนินการที่ดีขึ้น เมื่อ

เปรียบเทียบกับ การจัดส่งน้ำในรูปแบบเดิมที่ไม่มีรูปแบบการจัดส่งที่ชัดเจน ทำให้มีเส้นทางในการจัดส่งที่ซ้ำซ้อนและใช้เวลาในการจัดส่งนาน และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงจากเดิม 200 บาท/สัปดาห์ (ระยะทาง 166.67 กิโลเมตร/สัปดาห์) เหลือ 16.99 บาท/สัปดาห์ (ระยะทาง 14.16 กิโลเมตร/สัปดาห์) ลดลงร้อยละ 91.5



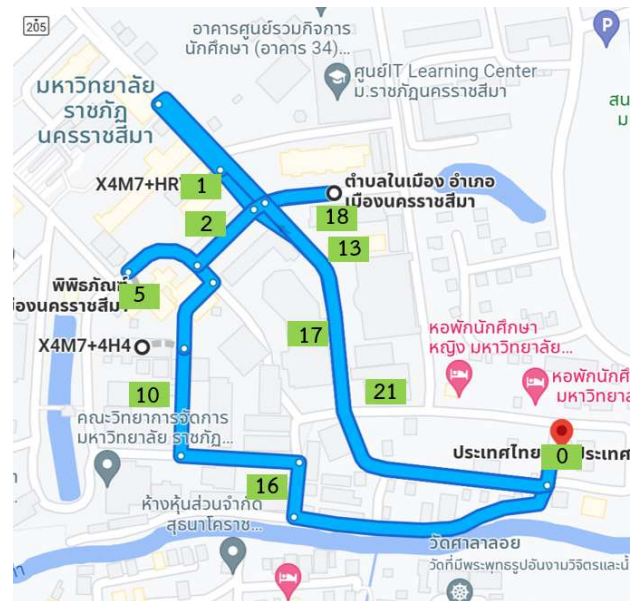
รูปที่ 3 เส้นทางส่งน้ำวันที่ 1



รูปที่ 4 เส้นทางส่งน้ำวันที่ 2

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการขนส่งน้ำไปยังลูกค้าของโรงผลิตกรณีศึกษาในปัจจุบันยังไม่มีตารางการขนส่งอย่างเป็นรูปธรรม งานวิจัยนี้ได้ทำการเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์ในการกำหนดตารางการขนส่ง ทำให้สามารถจัดส่งน้ำไปยังลูกค้าได้ตรงตามที่นัดหมายและสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงลงได้ โดยงานวิจัยนี้มีการนำเอาวิธี Linear Programming ด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์ของปัญหาการขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าในการแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งเหมาะกับการแก้ไขปัญหากับปัญหาขนาดเล็ก ถ้านำไปใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่อาจใช้เวลาในการประมวลผลนาน อีกทั้งในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการพิจารณาโดยใช้รถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งเพียงชนิดเดียว ควรมีการเปรียบเทียบชนิดขนาดของรถขนส่งว่าชนิดใดมีความเหมาะสมที่ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงควรมีการพิจารณาต้นทุนร่วมด้วย



รูปที่ 5 เส้นทางส่งน้ำวันที่ 3

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงผลิตน้ำดื่มที่บ๊วก มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในด้านข้อมูลและองค์ความรู้ต่าง ๆ ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรุทัย เดชตานนท์, จิรวัดน์ โลพันธุ์. การเพิ่มผลผลิตในขั้นตอนการบรรจุน้ำดื่ม กรณีศึกษา โรงผลิตน้ำดื่มทับแก้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*. 2564; 14(2): 62 – 74.
- [2] Stacho J. Introduction to operations research. Available from: <https://www.cs.toronto.edu/~stacho/public/IEOR4004-notes1.pdf> [Accessed 1st September 2022]
- [3] Arora S, Puri MC. A variant of time minimizing assignment problem. *European Journal of Operational Research*. 1998; 110(2): 314-325.
- [4] Chang GJ, Ho PH. The β -assignment problems. *European Journal of Operational Research*. 1998; 104(3): 593-600.
- [5] Caron G, Hansen P, Jaumard B. The assignment problem with seniority and job priority constraints. *Operations Research*. 1999; 47(3): 449-453.
- [6] Pisinger D, Ropke S. A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & operations research*. 2007; 34(8): 2403-2435.
- [7] Boonphakdee W, Charnsethikul P. Solving the linear programming model of large- scale transportation and assignment problems using the column generation technique. *Thai Journal of Operations Research: TJOR*. 2014; 2(1): 10-21.
- [8] Rabbani Q, Khan A, Quddoos A. Modified Hungarian method for unbalanced assignment problem with multiple jobs. *Applied Mathematics and Computation*. 2019; 361: 493-508.
- [9] Silva MM, Subramanian A, Ochi LS. An iterated local search heuristic for the split delivery vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 2015; 53: 234-249.
- [10] Ozbaygin G, Karasan O, Yaman H. New exact solution approaches for the split delivery vehicle routing problem. *EURO Journal on Computational Optimization*. 2018; 6(1): 85-115.
- [11] ออกนิษฐ์ สันธินาค, ศิรวดี อรัญนารถ การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและรถหลายขนาดด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง: กรณีศึกษาบริษัทขนส่งเครื่องดื่ม. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 2562; 42(2): 145-159.
- [12] Mahéo A, Urli T, Kilby P. Fleet size and mix split-delivery vehicle routing: a study of MIP formulations with CP integration. *EURO Journal on Transportation and Logistics Manuscript*. 2016.