



การแก้ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและจัดเส้นทางรถขนส่งวัตถุดิบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

SOLVING OF ETHANOL PLANT LOCATION SELECTION AND RAW MATERIAL ROUTING

PROBLEM IN NORTHEASTERN

เฉลิมชาติธีระวิริยะ^{1*}, จีระศักดิ์ สุทธิกร², จุฑารัตน์ พงษ์สุวรรณ², สุชาดา ไชยพรม², สุนิสา วงศ์พิมนต์²

¹อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

²นักศึกษา, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Corresponding author: chalemchat.t@npu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งของกรณีศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอลและการจัดเส้นทางรถขนส่งวัตถุดิบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ด้วยการออกแบบวิธีการฮิวริสติกส์ขึ้นมาใหม่ โดยมีเป้าหมายให้มีระยะทางการขนส่งรวมต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้โปรแกรมลิงโกในการหาคำตอบ พบว่าโปรแกรมลิงโกสามารถหาคำตอบได้เฉพาะปัญหขนาดเล็กเท่านั้น สำหรับปัญหขนาดใหญ่เช่นเดียวกับกรณีศึกษานั้น โปรแกรมลิงโกไม่สามารถหาคำตอบได้ ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์วิธีการฮิวริสติกส์ 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธี Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD) 2) วิธี Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ) 3) วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI) มาใช้ในการหาคำตอบ ผลการศึกษาพบว่า ทั้ง 3 วิธีสามารถหาคำตอบให้กับปัญหากรณีศึกษาได้ แต่วิธี RWANI มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีที่สุด โดยในด้านระยะทางการขนส่ง วิธี RWANI ให้ผลคำตอบที่ดีกว่าวิธี CFRSD และวิธี CFRSQ คิดเป็น 12.42% และ 32.65% ตามลำดับ ส่วนในด้านจำนวนรถที่ใช้ วิธี RWANI ให้ผลคำตอบที่ดีกว่าวิธี CFRSD และวิธี CFRSQ คิดเป็น 2.36% และ 10.79% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง, ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ, วิธีฮิวริสติกส์

ABSTRACT

This research is aimed to solve the location routing problem in the case study of ethanol plant location and raw material routing in northeastern of Thailand by design new heuristics methods. The objective is to minimize the total transportation distance. We collected related data to formulate mathematical model which was solved by Lingo program. Lingo program could find the solution for only small problem, but it could not find for large problem such as the case study. The three heuristics methods were applied to find the solution: 1) Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD) 2) Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ) 3) Roulette Wheel and Nearest Insertion (RWANI). The results shown that all three methods could find the solution for case study problem but RWANI method was the best performance. In term of total distance, RWANI method obtained better result than CFRSD

Chalermchat Theeraviriya^{1*}, Jeerasak Suttikorn², Jutarat Pongsuwan², Suchada Chaiyaporm², Sunisa Wongpimon²

¹Lecturer, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

²Student, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

and CFRSQ of 12.42% and 32.65% respectively. In term of number of vehicles, RWANI method generated better result than CFRSD and CFRSQ of 2.36% and 10.79% respectively.

KEYWORDS: facility location problem, vehicle routing problem, heuristics method

1. บทนำ

ปัญหาวิกฤติด้านพลังงานเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกได้รับผลกระทบและมีแนวโน้มที่จะรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับประเทศไทยได้รับผลกระทบจากภาวะวิกฤติพลังงานเนื่องจากจะต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานและน้ำมันเป็นหลักเพื่อใช้ในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงโดยเฉพาะกลุ่มภาคอุตสาหกรรม ทำให้ประเทศสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเพื่อนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก และในอนาคตราคาน้ำมันในตลาดโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามราคาของตลาดโลก ด้วยเหตุนี้ทำให้ทางรัฐบาลได้มีนโยบายเพื่อหาทางออกโดยการหาพลังงานทดแทนจากผลผลิตทางการเกษตร เช่น เอทานอล และไบโอดีเซล เป็นต้น [1-2] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสามารถใช้เป็นพลังงานได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปรรูปกากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลังสามารถผลิตเอทานอลได้ กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเหล่านี้เพื่อจะได้เป็นตลาดทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรซึ่งจะสามารถช่วยลดข้อขัดข้องผลผลิตทางการเกษตรและช่วยทำให้ราคาผลผลิตการเกษตรมีเสถียรภาพ และภาครัฐไม่ต้องจัดสรรงบประมาณมาประกันราคาพืชผลผลิตดังกล่าว ประกอบกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจหากได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล [3]

จากข้อมูลปริมาณการผลิตและการใช้เอทานอลในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2550-2560 พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณการผลิตเอทานอล 1,461 ล้านลิตร และมีปริมาณการใช้อยู่ที่ 3.91 ล้านลิตร/วัน [4] ส่วนหนึ่งของการใช้งานเอทานอล คือการนำไปใช้ผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ จากรายงานสถานการณ์การใช้น้ำมันของปี 2561 พบว่าปริมาณการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ คิดเป็น 96% ของการใช้น้ำมันกลุ่มเบนซินทั้งหมด มีการใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 29.77 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้น 3.7% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า [5] จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา รัฐบาลจึงได้มีการส่งเสริมให้มีการผลิตและการใช้เอทานอลมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าหากพิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลในปัจจุบันจะพบว่าโรงงานต่าง ๆ ก็จะเลือกใช้วัตถุดิบสองชนิดคือ กากน้ำตาลกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งวัตถุดิบทั้งสองต่างก็มีความสำคัญ และมีความต้องการสูงในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นผลกระทบที่จะตามมาคือการขาดแคลนวัตถุดิบที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นตามมา งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้วัตถุดิบต่อเนื่องจากการผลิตแป้งมัน นั่นคือกากมัน

ปัจจุบันการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งมีความสำคัญต่อความสำเร็จขององค์กรธุรกิจ กล่าวคือหากเลือกทำเลที่ตั้งที่ไม่เหมาะสมจะทำให้องค์กรธุรกิจประสบปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น ค่าขนส่งสูง เนื่องจากสถานประกอบการอยู่ไกลจากแหล่งวัตถุดิบและตลาด รวมไปถึงปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการผลิตและการปฏิบัติงานขององค์กร การจัดเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม สามารถใช้ยานพาหนะในการขนส่งน้อยที่สุด ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าได้ ลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้น้อยลง ทำให้มีต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวมต่ำและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ แก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอล และจัดเส้นทางรถขนส่งจากโรงงานผลิตเอทานอลไปยังปั๊มหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่สำหรับปัญหานี้ โดยเฉพาะ โดยมีเป้าหมายให้มีระยะทางในการขนส่งรวมต่ำที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Buddadee และคณะ [6-7] ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อย โดยศึกษาถึงผลของความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ นัทรพงศ์ และคณะ [8-9] ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากชานอ้อยแบบหลายจุดประสงค์ (multi-objectives) โดยที่การระบุปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะมีลักษณะเฉพาะ 4 ประการ คือ (1) ที่ตั้งของลูกค้าที่มีที่ตั้งแน่นอนอยู่แล้ว (2) ที่ตั้งโรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งเอง (3) ที่ตั้งที่ลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ (4) ระยะทางในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า นอกจากนี้การศึกษายังเป็นการเลือกสถานที่ตั้งแบบสองระดับ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะแบบสองระดับ (two-level location routing problem) นอกจากนี้ ทองพูน และ ระพีพันธ์ [10] ได้ทำการศึกษาในปัญหาเดียวกันกับนัทรพงศ์แต่ขยายรูปแบบของปัญหาเป็นการเพิ่มแหล่งของวัตถุดิบเป็นหลายแหล่ง (Multi-Source) กล่าวคือมีการพิจารณาถึงแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตเอทานอลเป็นชานอ้อยและกากมัน โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO Version 11.0

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะ (Location Routing Problem; LRP) เป็นการแก้ปัญหาที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งซึ่งเป็นปัญหาหลัก แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะซึ่งเป็นปัญหารองด้วยรูปแบบปัญหา LRP มีความซับซ้อน ซึ่งปัญหานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท Nondeterministic Polynomial-Time Hard (NP-Hard) เนื่องจากการรวมปัญหา NP-Hard ทั้งสองปัญหาเข้าด้วยกัน คือ (1) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem; FLP) และ (2) ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) Balakrishnan และคณะ [11] ได้กล่าวว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งให้มีประสิทธิภาพควรแก้ปัญหาไปพร้อมๆ กัน โดยไม่ต้องแยกปัญห่ออกจากกัน เนื่องจากปัญหามีความสัมพันธ์กันจำเป็นต้องบูรณาการวิธีการหาคำตอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคำตอบที่ได้

จากการวิเคราะห์และทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีในการแก้ปัญหา LRP ที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ (1) วิธีหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแม่นยำตรง (Exact method) และ (2) วิธีการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลแบบประมาณ (Approximate method) วิธีหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแม่นยำตรงเป็นการแก้ปัญหาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งมีหลายวิธี เช่น วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (The Branch and Bound Algorithm) วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex method) การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) วิธี Column Generation การคำนวณโดยใช้โปรแกรม LINGO และการคำนวณโดยใช้โปรแกรม CPLEX เป็นต้น ในขณะที่วิธีการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลแบบประมาณนั้นทำได้โดยวิธีการออกแบบอัลกอริทึมโดยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristics) [12] โดยมีผู้วิจัยหลายท่านได้นำวิธีการเมตาฮิวริสติกส์มาใช้ในการแก้ปัญหา LRP เช่น Yu และคณะ (2010) [13] Lin และคณะ (2009) [14] ได้ใช้วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหา LRP วิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียงแบบแปรผัน (Variable neighborhood search: VNS) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยม โดย Schwengerer และคณะ (2012) [15] Jarboui และคณะ (2013) [16] ได้นำมาใช้ในการหาคำตอบของปัญหา LRP เช่นเดียวกัน ส่วน

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มีนักวิจัยที่นำมาใช้ ได้แก่ Derbel และคณะ (2012) [17] Ma และ Davidrajah (2013) [18] เป็นต้น

วิธีวิวิธวิธีเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยจากการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่ตายตัว โดยมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาหนึ่งๆ เป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีวิวิธวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาหนึ่งๆ อาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาย่อยปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง [19] Barreto และคณะ (2007) [20] Boudahri และคณะ (2013) [21] Zare Mehrjerdi และ Nadizadeh (2013) [22] ได้นำเสนอวิธีวิวิธวิธีแบบ clustering technique ในการแก้ไขปัญหา LRP

งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการวิวิธวิธีในการแก้ไขปัญหา เนื่องจากมีข้อดีหลายด้าน เช่น ง่ายในการทำ ความเข้าใจ ง่ายในการนำไปใช้งาน และการอธิบายถึงลักษณะการแก้ปัญหาและผลลัพธ์ที่ได้ เหมาะกับปัญหาที่ซับซ้อน ไม่คุ้มค่ากับการใช้วิธีหาคำตอบแบบแม่นยำตรง อีกทั้งสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ในเวลาที่รวดเร็วกว่า เป็นต้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ลักษณะของปัญหา

จากข้อมูลโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังที่มีจำนวน 40 โรงงาน มีกำลังการผลิตแป้งมันรวม 15,318 ตัน/วัน ซึ่งต้องใช้หัวมันสำปะหลัง 76,590 ตัน/วัน แต่ในกระบวนการผลิตนั้นเกิดกากมันสำปะหลัง 11% ของปริมาณมันสำปะหลังทั้งหมด [23-24] ดังนั้นทั้ง 40 โรงงานจะมีปริมาณกากมันสำปะหลังรวมทั้งหมด 8,425 ตัน/วัน สามารถผลิตเอทานอลจากกากมันได้ 716,125 ลิตร/วัน (กากมัน 1 ตันจะสามารถผลิตเอทานอลได้ 85 ลิตร) จากสมมติฐานของปัญหานี้คือการจัดตั้งโรงงานผลิตเอทานอลที่มีกำลังการผลิต 110,500 ลิตร/วัน หรือใช้กากมัน 1,300 ตัน/วัน ดังนั้น จะต้องมีการตั้งโรงงานผลิตเอทานอลทั้งหมด 7 โรงงาน (716,125/110,500)

จากนั้นทำการหาลูกค้าที่จะไปรับเอากากมันสำปะหลัง เพื่อนำมาผลิตเอทานอลโดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการระยะทางการส่งสินค้าที่ใกล้ที่สุด โดยมีเงื่อนไขคือ ยานพาหนะแต่ละคันสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ไม่เกิน 50 ตัน และยานพาหนะแต่ละคันจะถูกกำหนดให้ใช้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือยานพาหนะที่ออกไปรับกากมันสำปะหลังจากลูกค้าแต่ละรายเมื่อรับเข้ามายังโรงงานผลิตเอทานอลแล้วจะต้องไม่ออกไปรับกากมันสำปะหลังหรือวัตถุดิบได้อีก ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการทราบจำนวนยานพาหนะที่โรงงานผลิตเอทานอลใช้ในการขนส่ง

3.2 การรวบรวมข้อมูลโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวน 40 โรงงาน จาก 12 จังหวัด ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัด นครราชสีมา อุบลราชธานี อุรธานี ร้อยเอ็ด ชัยภูมิ มุกดาหาร ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น อำนาจเจริญ และยโสธร เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการแก้ไขปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งเป็นโรงงานผลิตเอทานอลและจัดเส้นทางขนส่งกากมันจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมายังโรงงานผลิตเอทานอลตั้งขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด การหาระยะทางระหว่างโรงงานทั้ง 40 แห่ง สามารถหาได้จากการใช้โปรแกรม Google map จะได้เมตริกซ์ระยะทาง มิติ 40 x 40 ดังตารางที่ 1 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณระยะทางในการขนส่งต่อไป

ตารางที่ 1 เมตริกซ์ระยะทาง

โรงงาน	1	2	3	...	...	39	40
1	0	60.1	127	163	2.1	126	94.5
2	60.1	0	88.2	117	62.2	108	39.9
3	127	88.2	0	114	128	119	70.5
...	163	117	114	0	161	9.6	6.9
...	2.1	62.5	128	161	0	164	96.5
39	126	108	119	9.6	164	0	40.4
40	94.5	39.9	70.5	6.9	96.5	40.4	0

3.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนของปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอลและจัดเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบ โดยได้ทำการดัดแปลงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจาก Perl&Daskin (1985) [25]

ดัชนี (Indices)

- i โรงงานผลิตเอทานอล (Depot)
- j โรงงานผลิตแป้งมัน
- k ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

- N จำนวนโรงงานทั้งหมด
- d_{ij} ระยะทางในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j
- P_i ความสามารถในการรองรับกากมันของ Depot i
- q_j ปริมาณกากมันที่โรงงานผลิตแป้งมัน j
- V_k ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

- $X_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากจุด } i \text{ ไปยังจุด } j \text{ ด้วยยานพาหนะ } k \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases}$
- $Y_j \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกโรงงาน } j \text{ เปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอล} \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases}$
- $Z_{ij} \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการส่งกากมันจากโรงงานแป้งมัน } j \text{ ไปยังโรงงานเอทานอล } i \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases}$
- U_{jk} ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

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

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \quad j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} q_i \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} \leq V_k \quad k \in K \quad (3)$$

$$U_k - U_{ik} + NX_{ijk} \ll N - 1 \quad j \in J, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} X_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} X_{jik} = 0 \quad k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq 1 \quad k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} q_j Z_{ij} - P_i Y_i \leq 0 \quad i \in I \quad (7)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u \in I \cap J} (X_{iuk} + X_{ujk}) \leq 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$X_{ijk} = 0, 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (9)$$

$$Y_i = 0, 1 \quad i \in I \quad (10)$$

$$Z_{ij} = 0, 1 \quad i \in I, j \in J \quad (11)$$

$$U_{jk} \geq 0 \quad j \in J, k \in K \quad (12)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) คือระยะทางรวมในการขนส่งต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (2) เป็นการกำหนดให้โรงงานผลิตแป้งมันแต่ละรายสามารถรับบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการที่ (3) ปริมาณของกากมันที่พาหนะคันนั้น ๆ รับผิดชอบจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้า สมการที่ (4) ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (sub-tour) สมการที่ (5) พาหนะขนส่งเข้าให้บริการที่จุดใดก็ต้องออกจากจุดนั้นเสมอ สมการที่ (6) พาหนะขนส่งแต่ละคันสามารถทำงานให้กับโรงงานผลิตเอทานอลเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (7) ปริมาณกากมันที่ต้องส่งไปยังโรงงานผลิตเอทานอลต้องไม่เกินกำลังการผลิตที่รับได้ สมการที่ (8) เป็นการจัดสรรโรงงานแป้งมันแต่ละที่ให้กับโรงงานผลิตเอทานอลได้เพียงแห่งเดียว ส่วนสมการที่ (9), (10) และ (11) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี สมการ (12) เป็นตัวแปรสนับสนุนที่ต้องมีค่าเป็นเลขบวกเท่านั้น

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาได้ถูกนำไปทดสอบความถูกต้องด้วยโปรแกรม Lingo V.13 โดยทดลองใส่ค่าตัวแปรที่ทราบค่าให้กับโปรแกรม แล้วตรวจสอบความถูกต้องของการจัดเส้นทาง ความสอดคล้องกับสมการข้อจำกัดที่กำหนดไว้ และค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งในที่นี้คือ ต้นทุนรวม โดยการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสร้างกลุ่มตัวอย่างในการทดลองออกมาเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (SM1-SM5) มี 5 โรงงานในแต่ละกลุ่ม กลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (ME1-ME5) มี 10 โรงงานในแต่ละกลุ่ม และกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (LA1-LA5) มี 20 โรงงานในแต่ละกลุ่ม ผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงในตารางที่ 2 – ตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (n=5)

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	เวลาในการ รัน	ประเภท คำตอบ
SM1	1,588	00:00:09	Global Opt.
SM2	1,409	00:00:11	Global Opt.
SM3	1,606	00:00:10	Global Opt.
SM4	1,524	00:00:11	Global Opt.
SM5	1,445	00:00:12	Global Opt.
ค่าเฉลี่ย	1,514	00:00:11	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างขนาดกลาง (n=10)

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	เวลาในการ รัน	ประเภท คำตอบ
ME1	2,894	> 24 ชม.	Feasible
ME2	2,952	> 24 ชม.	Feasible
ME3	2,956	> 24 ชม.	Feasible
ME4	3,056	> 24 ชม.	Feasible
ME5	3,042	> 24 ชม.	Feasible
ค่าเฉลี่ย	2,980	> 24 ชม.	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ (n=20)

กลุ่มตัวอย่าง	ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์	เวลาในการ รัน	ประเภท คำตอบ
LA1	N/A	> 72 ชม.	Unknown
LA2	N/A	> 72 ชม.	Unknown
LA3	N/A	> 72 ชม.	Unknown
LA4	N/A	> 72 ชม.	Unknown
LA5	N/A	> 72 ชม.	Unknown
ค่าเฉลี่ย	N/A	> 72 ชม.	

จากการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Lingo พบว่า กลุ่มปัญหาขนาดเล็กใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยเพียง 00.00.11 ชั่วโมงเท่านั้น และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global optimal) ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น กลุ่มปัญหาขนาดกลางใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากกว่า 24 ชั่วโมงแต่ได้เพียงคำตอบที่เป็นไปได้เท่านั้น (Feasible solution) ส่วนกลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ใช้เวลามากกว่า 72 ชั่วโมง แต่ก็ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ ซึ่งในการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยการทดสอบปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลางจะใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีข้อมูลจำนวนโรงงานและปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้นในการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เป็นไปได้ แต่สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ด้วยโปรแกรม Lingo ไม่สามารถหาคำตอบได้เลย วิจัยนี้จึงต้องนำวิธีฮิวริสติกส์มาใช้ในแก้ไขปัญหของกรณีศึกษา

3.4 การเลือกวิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ไขปัญห

การวิเคราะห์หาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการแก้ไขปัญหานั้น ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ลักษณะของปัญหาในงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

- 1) ปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก มีจำนวนโรงงานแปรรูปสำหรับผลิตทั้งหมด 40 โรงงานและต้องเลือกตำแหน่งที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอล 7 แห่ง ใน 40 โรงงาน
- 2) มีคลังสินค้าหรือโรงงานที่ตั้งจัดตั้งให้เป็นโรงงานเอทานอล (Depot) จำนวน 7 แห่งและรถบรรทุกไม่จำกัดจำนวน ประเภทเดียวกัน สามารถรับน้ำหนักคันละไม่เกิน 50 ตัน

- 3) โดยส่วนมากปริมาณสินค้า (กากมันสำปะหลัง) ของโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีจำนวนมากกว่าความจุของรถบรรทุกที่สามารถรับได้ ซึ่งหมายความว่าโดยส่วนใหญ่ รถบรรทุกหนึ่งคันจะต้องขนส่งกากมันสำปะหลัง ระหว่างโรงงานเอทานอลไปยังโรงงานแป้งมันสำปะหลัง (Node) ได้เพียง 1 ถึง 2 โรงงานเท่านั้น
- 4) จากข้อ 3) แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการขนส่งที่สามารถจัดได้จะมี จำนวนลูกค้า (Node) มากที่สุด 2 Node เท่านั้น ดังนั้นการจะนำวิธีการหาค่าประหยัด (Saving Algorithm) มาใช้ไม่มีความเหมาะสม เพราะส่วนมากวิธีการหาค่าประหยัด (Saving Algorithm) จะเหมาะสมที่สุดก็ต่อเมื่อในเส้นทางการขนส่งสินค้า 1 เส้นทาง ต้องมีลูกค้า 2 Node ขึ้นไป
- 5) เป็นการส่งสินค้าภายในเมืองเดียวและระหว่างเมือง การใช้วิธีการหาเมตริกซ์ระยะทาง อาจมีข้อผิดพลาดบ้างเล็กน้อย เนื่องจาก ถนน จุดกลับรถและทิศทางการจราจร มีผลต่อระยะทางจากโรงงานหนึ่งไปยังอีกโรงงานหนึ่ง ระยะทางที่วัดออกมาไม่ใช่เส้นตรง

จากการวิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการจัดเส้นทาง ผู้วิจัยสามารถเลือกวิธีในการแก้ปัญหา คือ วิธีฮิวริสติกส์แบบ Cluster First-Route Second และ แบบ Roulette Wheel And Nearest Insertion เป็นการหาเส้นทางในการเดินรถโดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบหรือแบ่งพื้นที่ย่อยในการส่งสินค้าก่อน โดยจะต้องพิจารณาถึงความสามารถตอบสนองต่อความต้องการ หลังจากนั้นจึงหาลำดับในการส่งสินค้าโดยพิจารณาถึงความจุของรถบรรทุกในลำดับต่อไป โดยวิธี Cluster First-Route Second นั้นเป็นหลักการที่ได้รับการนิยมนำกันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการมาประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาในงานวิจัยนี้ ส่วนวิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion นั้นเป็นวิธีที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นมาสำหรับปัญหานี้โดยเฉพาะ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะแก้ปัญหาลำดับการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งด้วย 3 วิธี คือ (1) วิธี Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD) หาดำแหน่งและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาระยะทางเป็นอันดับแรก จากนั้นพิจารณาปริมาณกากมันสำปะหลังมากที่สุดเป็นอันดับต่อไป (2) วิธี Cluster First-Route Second-Quantity (CFRSQ) หาดำแหน่งและเส้นทางการขนส่ง โดยพิจารณาปริมาณกากมันสำปะหลังมากที่สุดเป็นอันดับแรก จากนั้นพิจารณาระยะทางเป็นอันดับต่อไป และ (3) วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI) หาดำแหน่งเส้นทางการขนส่งสินค้า จะคล้าย วิธีที่ 2 ที่ใช้ Cluster First-Route Second โดยพิจารณาปริมาณกากมันสำปะหลังมากที่สุดเป็นอันดับแรก จากนั้นพิจารณาระยะทางเป็นอันดับต่อไป แต่มีความแตกต่างตรงที่ว่า วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion การเลือกโรงงานที่จะตั้งเป็นโรงงานหลักจากการสุ่มเทียบค่าความน่าจะเป็น จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

3.4.1 วิธี Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD)

ขั้นตอนที่ 1: จากเมตริกซ์ระยะทาง เลือกโรงงานที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุดมาหากลุ่มของโรงงานผลิตเอทานอลเป็นกลุ่มแรก สมมติว่าได้โรงงานที่ 7 จากนั้นให้เลือกโรงงานที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุดลำดับถัดมา (ไม่นับ โรงงานที่ 7) นั่นคือโรงงานที่ 9 ในขั้นตอนนี้ต้องตรวจสอบปริมาณกากมันสำปะหลังไม่เกินกำลังการผลิตเอทานอลที่ 110,500 ลิตร/วัน หรือใช้กากมันประมาณ 1,300 ตัน/วัน หากยังไม่เต็มกำลังการผลิต ก็สามารถเลือกเอาโรงงานอื่นเข้ามาอยู่ในกลุ่มได้อีกจนกระทั่งมีกากมันเต็มหรือใกล้เคียงกับกำลังการผลิต

ขั้นตอนที่ 2: เมื่อได้กลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มแรกได้แล้ว ทำขั้นตอนที่ 1 ซ้ำเพื่อหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มที่ 2 ต่อไป โดยจะไม่นำเอาโรงงานที่ถูกเลือกไปแล้วมาพิจารณาอีก

ขั้นตอนที่ 3: จัดหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลให้ครบทั้ง 7 กลุ่ม

ขั้นตอนที่ 4: พิจารณาจำนวนกากมันสำปะหลังของโรงงานแต่ละ โรงงานในกลุ่มโรงงานผลิตเอทานอล จากนั้นเลือกโรงงานที่มีกากมันสำปะหลังมากที่สุดเปิดให้เป็นโรงงานผลิตเอทานอล (Depot) ของแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้ก็เพื่อให้มีการใช้ยานพาหนะน้อยที่สุดด้วย

ขั้นตอนที่ 5: จัดเส้นทางรถขนส่งให้แต่ละกลุ่มโรงงาน โดยพิจารณาโรงงานเป้าหมายที่มีเส้นทางรับสินค้าอยู่ไกลจากโรงงานผลิตเอทานอลมากที่สุด ส่งยานพาหนะนั้นไปรับสินค้าที่โรงงานนั้นก่อน แล้วพิจารณาว่ารถบรรทุกสามารถรับกากมันมาได้หมดหรือไม่ ในกรณีที่รับสินค้าไม่หมด (จำนวนสินค้ามีมากกว่าความจุที่รถบรรทุกสามารถรับได้) ยานพาหนะนั้นสามารถแยกสินค้าของลูกค้า และสามารถทยอยรับสินค้าได้ โดยการส่งยานพาหนะรับสินค้าคันใหม่มารับสินค้าจากโรงงานเดิมเมื่อรับจนหมดแล้วก็กลับมายัง Depot ในกรณีที่ยานพาหนะรับสินค้าจากโรงงานที่มีจำนวนน้อยกว่าความจุรถ แล้วรถมีว่างที่รับสินค้าได้อีก สามารถให้ยานพาหนะคันดังกล่าวไปรับสินค้าจากโรงงานที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด ได้จนเต็มความจุรถแล้วกลับมายัง Depot

ขั้นตอนที่ 6: พิจารณาโรงงานที่ยังไม่ไปรับกากมันหรือโรงงานที่รับกากมันมาไม่หมด แล้วทำตามขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำจนครบทุกกลุ่มโรงงาน

3.4.2 วิธี Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ)

ขั้นตอนที่ 1: พิจารณาเลือกโรงงานที่มีจำนวนปริมาณกากมันมากที่สุดมาจัดตั้งเป็นโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มแรก สมมติว่าได้โรงงานที่ 13 ก็ตั้งโรงงานที่ 13 เป็นโรงงานผลิตเอทานอล (Depot) จากนั้นหาโรงงานที่มีระยะทางใกล้กับโรงงานที่ 13 มากที่สุด นั่นคือโรงงานที่ 7 ในขั้นตอนนี้ต้องตรวจสอบปริมาณกากมันไม่ให้เกินกำลังการผลิตผลิตเอทานอลที่ 110,500 ลิตร/วัน หรือใช้กากมันประมาณ 1,300 ตัน/วัน หากยังไม่เต็มกำลังการผลิต ก็สามารถรวมเอาโรงงานอื่นเข้ามาอยู่ในกลุ่มได้อีกจนกระทั่งมีกากมันเต็มหรือใกล้เคียงกับกำลังการผลิต

ขั้นตอนที่ 2: เมื่อได้กลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มแรกได้แล้ว ทำขั้นตอนที่ 1 ซ้ำเพื่อหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มที่ 2 ต่อไป โดยจะไม่นำเอาโรงงานที่ถูกเลือกไปแล้วมาพิจารณาอีก

ขั้นตอนที่ 3: จัดหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลให้ครบทั้ง 7 กลุ่ม

ขั้นตอนที่ 4: จัดเส้นทางรถขนส่งให้แต่ละกลุ่มโรงงาน ทำเหมือนขั้นตอนที่ 5 ของวิธี CFRSD

3.4.3 วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI)

ขั้นตอนที่ 1: เรียงลำดับโรงงานตามปริมาณกากมันจากมากไปน้อย คำนวณหาความน่าจะเป็นในการเลือกแต่ละโรงงานตามปริมาณกากมันที่มี (โรงงานที่มีปริมาณกากมันมาก จะมีโอกาสถูกเลือกมาก) ทำการสุ่มตัวเลข [0-1] ในโปรแกรม Excel เพื่อนำค่าที่ได้มาเทียบกับตารางค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโรงงาน ใกล้เคียงค่าใดมากที่สุด ก็เลือกโรงงานนั้นมาจัดตั้งเป็นโรงงานเอทานอลกลุ่มแรก สมมติได้โรงงานที่ 13 ก็ตั้งโรงงานที่ 13 เป็นโรงงานผลิตเอทานอล (Depot) จากนั้นหาโรงงานที่มีระยะทางใกล้กับโรงงานที่ 13 มากที่สุด นั่นคือโรงงานที่ 7 ในขั้นตอนนี้ต้องตรวจสอบปริมาณกากมันไม่ให้เกินกำลังการผลิตผลิตเอทานอลที่ 110,500 ลิตร/วัน หรือใช้กากมันประมาณ 1,300 ตัน/วัน หากยังไม่เต็มกำลังการผลิต ก็สามารถรวมเอาโรงงานอื่นเข้ามาอยู่ในกลุ่มได้อีกจนกระทั่งมีกากมันเต็มหรือใกล้เคียงกับกำลังการผลิต

ขั้นตอนที่ 2: เมื่อได้กลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มแรกได้แล้ว ทำขั้นตอนที่ 1 ซ้ำเพื่อหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลกลุ่มที่ 2 ต่อไป โดยจะไม่นำเอาโรงงานที่ถูกเลือกไปแล้วมาพิจารณาอีก

ขั้นตอนที่ 3: จัดหากลุ่มโรงงานผลิตเอทานอลให้ครบทั้ง 7 กลุ่ม

ขั้นตอนที่ 4: จัดเส้นทางรถขนส่งให้แต่ละกลุ่มโรงงาน โดยพิจารณาโรงงานเป้าหมายที่มีเส้นทางรับสินค้าอยู่ใกล้โรงงานผลิตเอทานอล (Depot) มากที่สุด ส่งยานพาหนะนั้นไปรับสินค้าที่โรงงานนั้นก่อน แล้วพิจารณาว่ารถบรรทุกสามารถรับกาก

มันมาได้หมดหรือไม่ ในกรณีที่รับสินค้าไม่หมด (จำนวนสินค้ามีมากกว่าความจุที่รถบรรทุกสามารถรับได้) ยานพาหนะนั้นสามารถแยกสินค้าของลูกค้าและสามารถทยอยรับสินค้าได้ โดยการส่งยานพาหนะรับสินค้าคันใหม่มารับสินค้าจากโรงงานเดิมเมื่อรับจนหมดแล้วก็กลับมายัง Depot ในกรณีที่ยานพาหนะรับสินค้าจากโรงงานที่มีจำนวนน้อยกว่าความจุ แล้วรถมีว่างที่รับสินค้าได้อีก สามารถให้ยานพาหนะคันดังกล่าวไปรับสินค้าจากโรงงานที่อยู่ใกล้กันมากที่สุดได้จนเต็มความจุแล้วกลับมายัง Depot

ขั้นตอนที่ 5: พิจารณาโรงงานที่ยังไม่ไปรับน้ำมันหรือโรงงานที่รับน้ำมันมาไม่หมด แล้วทำตามขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำจนครบทุกกลุ่มโรงงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ทั้ง 3 วิธี แสดงในหัวข้อที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ดังผลการคำนวณในตารางที่ 5 – 7 ซึ่งแสดงข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

- สดมภ์ที่ 1 โรงงานที่เลือกเปิดเป็นโรงงานเอทานอล (Depot)
- สดมภ์ที่ 2 เส้นทางในการเดินทางไปรับน้ำมัน โดยเส้นทางจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ Depot (D) เสมอ
- สดมภ์ที่ 3 จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากรถบรรทุกมีความจุ 50 ตัน หากปริมาณน้ำมันมีมากกว่าความจุรถบรรทุก จะต้องเพิ่มจำนวนรถในการไปรับน้ำมัน
- สดมภ์ที่ 4 ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง ผลรวมของแต่ละ Depot จะแสดงให้เห็นถึงระยะทางในการเดินทางรวม
- สดมภ์ที่ 5 ปริมาณน้ำมันของโรงงานที่เดินทางจะไปรับ ผลรวมของแต่ละ Depot จะต้องไม่เกินกำลังการผลิตเอทานอลที่กำหนดไว้ คือ 110,500 ลิตร/วัน หรือใช้กากมัน 1,300 ตัน/วัน
- สดมภ์ที่ 6 ผลรวมปริมาณกากมันของแต่ละเส้นทาง ผลรวมของแต่ละ Depot จะต้องไม่เกิน 1,300 ตัน/วัน

4.1 วิธี Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD)

ผลการใช้วิธีฮิวริสติกส์ CFRSD ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งให้กับโรงงานผลิตเอทานอล แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คำตอบที่ได้จากวิธีการ Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD)

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
7 = Depot	-	-	-	250	250
1	D-9-3-D	4	914.4	175	200
2	D-3-D	2	282.0	125	100
3	D-13-D	11	217.8	550	550
	ผลรวม	17	1,414.2	1,100	1,100
2 = Depot	-	-	-	375	375
1	D-4-6-D	4	-	375	200
2	D-6-15-D	6	936.6	175	300

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
3	D-15-D	3	1,327.4	300	150
4	D-14-D	4	513.6	175	200
	ผลรวม	17	3,284.8	1,225	1,225
23 = Depot	-	-	-	250	250
1	D-8-D	10	3,960	500	500
2	D-12-D	4	1,496	200	200
3	D-10-D	6	1,848	300	300
	ผลรวม	20	7,304	1,250	1,250
5 = Depot	-	-	-	125	125
1	D-26-D	5	995	250	250
2	D-25-D	4	720	200	200
3	D-24-D	3	376.8	150	150
4	D-11-1-D	3	21.85	125	150
5	D-1-D	6	25.2	315	290
	ผลรวม	21	2,138.8	1,165	1,165
36 = Depot	-	-	-	150	150
1	D-16-D	7	4,620	350	350
2	D-40-D	1	266	50	50
3	D-31-D	2	309.6	100	100
4	D-34-22-D	4	837.1	175	200
5	D-22-33-D	1	457.5	50	50
6	D-33-35-D	4	619.2	200	200
7	D-35-D	4	577.6	200	175
	ผลรวม	23	7,687	1275	1275
39 = Depot	-	-	-	200	200
1	D-20-21-D	2	2,250.8	60	100
2	D-21-37-D	2	1,929	100	100
3	D-37-29-D	4	3,825	200	200
4	D-29-19-D	4	2,301.6	200	200
5	D-19-28-D	4	615.4	200	200

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
6	D-28-32-D	1	133.5	50	50
7	D-32-D	5	104	250	210
	ผลรวม	22	11,159.3	1,260	1,260
18 = Depot	-	-	-	200	200
1	D-30-D	3	3,432	150	150
2	D-27-D	4	2,368	200	200
3	D-38-D	5	2,960	250	250
4.	D-17-D	7	1,211	350	350
	ผลรวม	19	9,971	1,150	1,150

4.2 วิธี Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ)

ผลการใช้วิธีฮิวริสติกส์ CFRSQ ในการแก้ไขปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งให้กับโรงงานผลิตเอทานอล แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คำตอบที่ได้จากวิธีการ Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ)

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
13 = Depot	-	-	-	550	550
1	D-7-D	5	99	250	250
2	D-2-3-D	8	847.6	375	400
3	D-3-D	2	307.2	125	100
	ผลรวม	15	1,253.8	1,300	1,300
8 = Depot	-	-	-	500	500
1	D-4-6-D	8	129.5	175	200
2	D-6-15-D	6	222	300	300
3	D-15-D	3	322.8	175	150
4	D-11-D	3	984	125	125
	ผลรวม	20	1,658.3	1,275	1,275
16 = Depot	-	-	-	350	350
1	D-12-D	4	131.2	200	200
2	D-10-D	6	526.8	300	300

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
3	D-29-D	4	636	200	200
4	D-32-D	5	795	250	250
	ผลรวม	19	2,089	1,300	1,300
17 = Depot	-	-	-	350	350
1	D-18-D	4	692	200	200
2	D-39-D	4	766.4	200	200
3	D-40-D	1	280	50	50
4	D-22-D	1	426	50	50
5	D-27-D	4	1776	200	200
6	D-38-D	5	2220	250	250
	ผลรวม	19	6,160.4	1,300	1,300
1 = Depot	-	-	-	315	315
1	D-5-24-D	3	134	125	150
2	D-24-23-D	3	438.9	150	150
3	D-23-25-D	5	884.2	250	250
4	D-25-26-D	4	746	200	200
5	D-26-D	4	316	250	225
	ผลรวม	19	2,519.1	1,290	1,290
14 = Depot	-	-	-	200	200
1	D-9-35-D	4	1,458	175	200
2	D-35-30-D	4	2,312	200	200
3	D-30-34-D	3	1,945	150	150
4	D-34-D	3	1,728	175	150
5	D-33-D	4	2,440	200	200
6	D-31-D	2	1,332	100	100
7	D-20-D	2	1,448	60	60
	ผลรวม	22	12,663	1,260	1,260
19 = Depot	-	-	-	200	200
1	D-21-D	2	112.4	100	100
2	D-36-D	3	846	150	150

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
3	D-37-D	4	1,672	200	200
4	D-18-D	4	4,064	200	200
	ผลรวม	13	6,694.4	850	850

4.3 วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI)

ผลการใช้วิธีฮิวริสติกส์ RWANI ในการแก้ไขปัญหากล่องเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งให้กับโรงงานผลิตเอทานอล แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คำตอบที่ได้จากวิธีการ Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI)

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
13 = Depot	-	-	-	550	550
1	D-7-D	5	99	250	250
2	D-10-D	6	1,260	300	300
	ผลรวม	11	1,359	1,100	1,100
32 = Depot	-	-	-	250	250
1	D-39-D	4	83.2	200	200
2	D-18-D	4	560.8	200	200
3	D-16-D	7	1113	350	350
4	D-27-D	4	637.6	200	200
	ผลรวม	19	2,394.6	1,200	1,200
2 = Depot	-	-	-	375	375
1	D-31-D	2	141.6	100	100
2	D-1-5-D	7	844.7	315	350
3	D-5-14-D	2	361.9	125	100
4	D-14-11-D	4	621.6	200	200
5	D-11-D	3	388.8	125	115
	ผลรวม	18	2,358.6	1,240	1,240
8 = Depot	-	-	-	500	550
1	D-4-6-D	4	71.1	175	200
2	D-6-12-D	6	137.2	300	300

จุด	เส้นทาง	จำนวนรอบ (คัน)	ระยะทาง (กม.)	ปริมาณกากมันของโรงงาน (ตัน)	ผลรวมกากมันทั้งหมด (ตัน)
3	D-12-D	4	131.2	200	175
	ผลรวม	14	339.5	1,175	1,175
21 = Depot	-	-	-	100	100
1	D-37-D	4	224	200	200
2	D-19-D	4	224.8	200	200
3	D-20-33-D	2	333.2	60	100
4	D-33-34-D	4	1,351	200	200
5	D-34-35-D	4	1,118.6	175	200
6	D-35-36-D	4	1,371.2	200	200
7	D-36-D	2	884	150	85
	ผลรวม	24	5,506.8	1,285	1,285
9 = Depot	-	-	-	175	175
1	D-3-15-D	3	479.8	125	150
2	D-15-D	3	786	175	150
3	D-23-D	5	1,470	250	250
4	D-24-D	3	960	150	150
5	D-25-D	4	1,384	200	200
6	D-40-D	1	396	50	50
7	D-22-D	1	408	50	50
	ผลรวม	20	5,883.8	1,175	1,175
17 = Depot	-	-	-	350	350
1	D-29-D	4	699.2	200	200
2	D-38-D	5	2,220	50	250
3	D-28-D	1	470	250	50
4	D-26-D	5	4,090	250	250
5	D-30-D	3	3,612	150	150
	ผลรวม	18	1,1091.2	1,250	1,250

5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับกรณีศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งที่จะเปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอลซึ่งใช้วัตถุดิบจากกากมันซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผลิตแป้งมัน โรงงานเอทานอลที่เปิดขึ้นมาจะต้องมีการวางแผนจัดเส้นทางขนส่งของรถบรรทุกเพื่อไปรับกากมันจากโรงงานผลิตแป้งมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีระยะทางรวมในการขนส่งสั้นที่สุด ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น พบว่าโปรแกรม Lingo สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในกลุ่มปัญหามานกลาง (5 โรงงาน) เท่านั้น แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น โปรแกรมจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้หรืออาจจะไม่สามารถหาคำตอบได้เลย โดยเฉพาะกับปัญหากรณีศึกษาที่มีจำนวนโรงงานมากถึง 40 โรงงาน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ 3 วิธี คือ (1) วิธี Cluster First-Route Second- Distance (CFRSD) (2) วิธี Cluster First-Route Second- Quantity (CFRSQ) และ (3) วิธี Roulette Wheel And Nearest Insertion (RWANI) มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหากรณีศึกษา ผลของการหาคำตอบทั้ง 3 วิธีแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปผลการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกส์ทั้ง 3 วิธี

ผลลัพธ์	วิธี CFRSD	วิธี CFRSQ	วิธี RWANI
จุดที่เลือกเปิดเป็นโรงงานผลิตเอทานอล	7, 2, 23, 5, 36, 39, 18	13, 8, 16, 17, 1, 14, 19	13, 32, 2, 8, 21, 9, 17
ระยะทางการขนส่งทั้งหมด (กิโลเมตร)	42,959.1	33,037.7	28,933.5
จำนวนรถที่ใช้ทั้งหมด (คัน)	139	127	124

จากตารางที่ 8 พบว่า วิธี RWANI ให้คำตอบที่ดีที่สุดทั้งในด้านระยะทางการขนส่งทั้งหมด และจำนวนรถที่ใช้ทั้งหมด โดยในด้านระยะทางการขนส่ง วิธี RWANI ให้ผลคำตอบที่ดีกว่า วิธี CFRSD และวิธี CFRSQ คิดเป็น 12.42% และ 32.65% ตามลำดับ ส่วนในด้านจำนวนรถที่ใช้ วิธี RWANI ให้ผลคำตอบที่ดีกว่า วิธี CFRSD และวิธี CFRSQ คิดเป็น 2.36 % และ 10.79% ตามลำดับ ดังแสดงในแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบที่ได้จากทั้ง 3 วิธี

ปัญหา กรณีศึกษา	ระยะทางการขนส่ง (กิโลเมตร)			จำนวนรถที่ใช้ (คัน)		
	วิธี CFRSD	วิธี CFRSQ	วิธี RWANI	วิธี CFRSD	วิธี CFRSQ	วิธี RWANI
	42,959.10	33,037.70	28,933.50	139	127	124
	32.65%	12.42%	0.00%	10.79%	2.36%	0.00%

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ วิธี RWANI นั้น พบว่า วิธี RWANI มีการจัดกลุ่มโรงงานมันสำปะหลังตามปริมาณกากมันสำปะหลังและระยะทางใกล้โรงงานเอทานอลที่สุด จากนั้นทำการจัดเส้นทางโดยไปรับโรงงานที่มีระยะทางใกล้กับโรงงานเอทานอลมากที่สุดเป็นอันดับแรก ซึ่งถ้ารถบรรทุกรับกากมันยังไม่เกินความจุของรถบรรทุกจะต้องไปรับโรงงานที่ไกลออกไปตามลำดับ เมื่อรับกากมันเต็มความจุของรถบรรทุกแล้ว ต้องวนรถกลับไปยังโรงงานเอทานอล และในขากลับจะไม่ได้กลับเส้นทาง

เอกสารอ้างอิง

- Chalermchat Theeraviriya
- ^{1*}
- , Jeerasak Suttikorn
- ²
- , Jutarat Pongsuwan
- ²
- , Suchada Chaiyaporm
- ²
- , Sunisa Wongpimon
- ²
- | 165

-
- [7] Buddadee, B. et al. Environmental system optimization of excess bagasse utilization for sugar mills in the Northeastern of Thailand. *Thai environmental engineering journal*, 2009, 24(2), pp. 1-13.
- [8] Nanthasamroeng, N. *A location-allocation problem: a case study of a bagasse ethanol plant*. Master thesis, Ubonratchathani University, 2008.
- [9] Nanthasamroeng, N. et al. Solving a multi-stage multi-objective location problem (MMLP): a case study in a bagasse ethanol plant in northeastern Thailand. *KKU research journal*, 2009, 14(3), pp. 291-301.
- [10] Thongdee, T. and Pitakaso, R. Solving a multi-objective, source & stage location-allocation problem: a case study of a bagasse and cassava pulp ethanol plant in northeastern Thailand. *KKU research journal*, 2012, 17(1), pp. 71-87.
- [11] Balakrishnan, A., Waed, J.E. and Wong R.T. Integrated Facility Location and Vehicle Routing Models: Recent Work and Future Prospects. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 1987, 7(1), pp. 35-61.
- [12] Setthanan, K. *Metaheuristics and applications for industry*. Khon Kaen: Klungnana wittaya, 2015.
- [13] Yu, V. F., Lin, S.-W., Lee, W. and Ting, C.-J. A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, 58(2), pp. 288-299.
- [14] Lin, S.-W., Yu, V. F. and Chou, S.-Y. Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, 2009, 36(5), pp. 1683-1692.
- [15] Schwengerer, M., S. Pirkwieser and G. Raidl, *A Variable Neighborhood Search Approach for the Two-Echelon Location-Routing Problem*. 2012, Vol. 7245.
- [16] Jarboui, B., Derbel, H., Hanafi, S. and Mladenovic, N. Variable neighborhood search for location routing. *Computers & Operations Research*, 2013, 40(1), pp. 47-57.
- [17] Derbel, H., Jarboui, B., Hanafi, S. and Chabchoub, H. Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(3), pp. 2865-2871.
- [18] Ma, H. and Davidrajuh, R. An iterative approach for distribution chain design in agile virtual environment. *Industrial Management & Data Systems*, 2005, 105(6), pp.815-834.
- [19] Inpayoong, N. *Discrete optimization in transport and logistics*. Bangkok: Se-education, 2005.
- [20] Barreto, S., Ferreira, C., Paixão, J. and Santos, B. S. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 2007, 179(3), pp.968-977.
- [21] Boudahri, F., et al., Application of a Clustering Based Location-Routing Model to a Real Agri-food Supply Chain Redesign. *Advanced Methods for Computational Collective Intelligence*, 2013, 457, pp.323-331.
- [22] Zare Mehrjerdi, Y., & Nadizadeh, A. Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *European Journal of Operational Research*, 2013, 229(1), pp. 75-84.
- [23] Kwankaew, M., Launglawan, P. and Sooksombat, W. Utilization of Cassava Peel and Pulp as Composition of Silage. *Journal of Science and Technology: Ubon Ratchathani University*, 2010, 12(3), pp. 92-103.
- [24] Deeprasert, S. et al. Utilization of Cassava Solid Waste for Sugar Production. *Thaksin University journal*, 2012, 15(3), pp.39-46.
- [25] Perl, J. and Daskin, M. A Warehouse Location-Routing Problem. *Transportation Research*, 1985, 19B(5), pp.381-396.