



วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงสำหรับแก้ปัญหาคำถามที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้น กรณีศึกษาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส

Improved Differential Evolution Algorithms for Solving Multi-Level

Location-Allocation Problem: A Case Study of Oil Palm Logistics in Narathiwat Province

ผจงจิต พิจิตบรรจง^{1*}, ไชยา โคมเฉลา², ปรุพ มัชชะเฉว³

Phajongjit Pijitbanjong^{1*}, Chaiya Chomchalao², Paroon Mayachearw³

(Received: May 25, 2020; Revised: June 17, 2020; Accepted: July 24, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาคำถามที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้นของโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาสให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาการปล่อยมลพิษในการขนส่งและสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบ โดยพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และหาคำตอบด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 วิธี คือ 1) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง 2) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการเปลี่ยนค่า และ 3) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการแทรกค่า ทำการทดลองกับกลุ่มปัญหามาตรฐานขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และกรณีศึกษาจริง พบว่าในกลุ่มปัญหามาตรฐานทุกวิธีให้คำตอบไม่แตกต่างกัน แต่ในกลุ่มปัญหามาตรฐานกลาง ขนาดใหญ่ และกรณีศึกษาจริง พบว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการแทรกค่าสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีอื่น และนำไปใช้แก้ปัญหาคำถามที่ตั้งที่เหมาะสม ซึ่งมีเกษตรกรจำนวน 77 ราย และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 2 แห่ง ได้ต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 24,015,294 บาท

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ปาล์มน้ำมัน วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุง ปัญหาคำถามที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้น

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

¹Program in Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

²Program in Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Phanom University

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University,

*Corresponding Author: phajongjit.pi@skru.ac.th



Abstract

This research presented the multi-level location-allocation problem solution of oil palm logistics in Narathiwat province with lowest cost by considering the pollution release in transportation and risk from civil unrest situations. Three methods of mathematical modelling and metaheuristic solution were used to find solutions as follows: (1) Differential evolution algorithm (DE), 2) Improved differential evolution algorithm by shifting algorithm (IDE-S) and 3) Improved differential evolution algorithm by insertion move algorithm (IDE-IM). This research was conducted with small, medium, and large sampling groups and studied from a case study. It was found that the IDE-IM gave the best solution, and its finding was applied with a real case study of 77 farmers and 2 palm oil plants. The lowest cost of logistics was 24,015,294 baht.

Keywords: Oil palm logistics, Differential evolution algorithm, Improved differential evolution algorithms, Multi-level location-allocation problem

บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในหลาย ๆ ประเทศที่สามารถผลิตและพัฒนาพลังงานทดแทนขึ้นมาใช้ได้เอง ซึ่งรัฐบาลได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อนำมาใช้ในกิจการภายในประเทศ ปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชพลังงานทดแทนอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับการส่งเสริมทำให้สามารถลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น ๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถหาได้จากท้องถิ่น เป็นพลังงานสะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งสามารถสร้างขึ้นมาใหม่ได้ตลอดเวลา การขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันตามแผนพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการส่งเสริมพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดนราธิวาส ซึ่งเป็นเขตเศรษฐกิจพิเศษที่ต้องการการส่งเสริมและพัฒนาในทุกด้าน เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่จังหวัดนราธิวาสมีความมั่นคงและเกิดสันติสุข ลดปัญหาความเหลื่อมล้ำด้านสังคมและการก่อเหตุความไม่สงบในพื้นที่ แต่การผลักดันการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันยังคงมีปัญหาและอุปสรรคอยู่หลายประการที่ทำให้การพัฒนาไม่ต่อเนื่องและไม่เป็นไปตามทิศทางที่ได้วางไว้ และการลงทุนในพื้นที่ดังกล่าวยังมีข้อจำกัดที่จะต้องพิจารณาองค์ประกอบของปัญหาอย่างรอบด้านเพื่อสร้างกฎเกณฑ์การตัดสินใจ จากข้อมูลศูนย์เฝ้าระวังสถานการณ์ภาคใต้ (DeepSouthwatch, 2019) พบว่าสถิติความรุนแรงในพื้นที่จังหวัดนราธิวาสเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความไม่ปลอดภัยจึงกลายเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ทำให้การลงทุนในพื้นที่ที่มีการขยายตัวที่ลดลงติดต่อกันมาหลายปี



จากการศึกษาปัญหาการจัดการโลจิสติกส์ของผู้ผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อการค้าใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ (Krahomwong, 2016) พบว่ากิจกรรมการรวบรวมและการเคลื่อนย้ายผลผลิตปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส เริ่มตั้งแต่เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มพิจารณาจัดส่งผลผลิตปาล์มไปยังลานเทปาล์มเพื่อรวบรวมจัดส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และส่งต่อไปยังโรงงานกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์หรือเข้าสู่โรงงานผลิตไบโอดีเซลและสิ้นสุดที่ผู้บริโภค จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการส่งมอบผลผลิตจะมีต้นทุนเกิดขึ้นทุกครั้ง ประกอบกับสถานการณ์การก่อความไม่สงบในพื้นที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยและจากกิจกรรมโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมัน พบว่าตำแหน่งที่ตั้งของเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันนั้นถูกกำหนดไว้โดยไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ในขณะที่ตำแหน่งที่ตั้งของลานเทปาล์มซึ่งเป็นสถานที่ในการรับซื้อผลผลิตปาล์มน้ำมันสามารถเปลี่ยนแปลงได้และมีความยืดหยุ่นกว่า และเนื่องจากลานเทปาล์มเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นการหาที่ตั้งที่เหมาะสมเพื่อเปิดเป็นลานเทปาล์มจะสามารถลดต้นทุนด้านการขนส่ง และเป็นการจัดการปัญหาได้มากกว่าหนึ่งปัญหาไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งรูปแบบปัญหาลักษณะนี้จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงาน (Location-allocation problem: LAP) มีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอผลงานวิธีการแก้ปัญหา LAP ในสถานการณ์ต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ (Bargos, Wendell, Bargos, Morun, & Paula, 2016) เป็นการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งในการปลูกพืชพลังงานทดแทนซึ่งถือเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน สำหรับการแก้ปัญหา LAP ที่มีการตัดสินใจหลายลำดับขั้นและจัดอยู่ในกลุ่มปัญหา NP-Hard จากการศึกษางานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับรูปแบบปัญหา LAP พบว่าในงานวิจัยหลาย ๆ งานได้เลือกใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกโดยเฉพาะวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DE) มาใช้ในการแก้ปัญหาเพราะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย (Storn & Price, 1995) ได้พัฒนาวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างขึ้นมาและหลังจากนั้นได้เริ่มมีการใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ (Storn & Price, 1997) ทั้งในการแก้ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้ง (Sahin & Yusuf, 2016) การแก้ปัญหาการหาที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับขั้น (Thongdee & Pitakaso, 2015) และปัญหาในด้านอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล (Lampinen & Zelinka, 1999) ปัญหาการมอบหมายงาน (Tasgetiren, Suganthan, Chua, & Al-Hajri, 2009) ปัญหาการตรวจสอบระบบความปลอดภัยของโรงงานผลิตนิวเคลียส (Zio & Viadana, 2011) ปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่ง (Xu & Wen, 2012; Sethanan & Pitakaso, 2016a) ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Pitakaso, 2015) ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Gao, Zhou, Li, Pan, & Yi, 2015) รวมถึงปัญหาการจัดการข้อมูลการกระจายตัวของประชากร (Wang, Zhi-Zhong, Jian-bin, Han-Xiong & Gary, 2016) จากงานวิจัยที่ผ่านมาวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีที่ถูกใช้ในการแก้ปัญหา



ต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เพราะมีความรวดเร็วในการประมวลผล การหาคำคำตอบอยู่ในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ และมีหลายงานวิจัยใช้ในการแก้ปัญหาที่มีการตัดสินใจหลายลำดับขั้น (Lai & Er-bao, 2010; Liao, Pius, & Pei-chann, 2012; Pitakaso & Sethanan, 2016; Sethanan & Pitakaso, 2016b; Akkararungruangkul & Kaewman, 2018; Kaewman, Srivarapongse, Theeraviriya, & Jirasirilerd, 2018; Pijitbanjong, Akkararungruangkul, Pitakaso, & Sethanan, 2018; Ketsripongs, Pitakaso, Sethanan, & Srivarapongse, 2018; Srivarapongse & Pijitbanjong, 2019) ดังนั้นวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จึงเป็นวิธีที่ผู้วิจัยให้ความสนใจ เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาคำถามที่ดั่งที่ที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับขั้น กรณีศึกษาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส นอกจากนี้ได้นำเทคนิคการค้นหาคำตอบที่ (Local search) มาใช้ในการปรับปรุงคำตอบ ดังงานวิจัยของ (Jia, Zheng, & Khurram, 2011; Boon, Ponnambalam, & Kanagaraj, 2013) เพื่อให้สามารถหาคำคำตอบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่รวดเร็วและสั้นลง

วัตถุประสงค์

เพื่อแก้ปัญหาคำถามที่ดั่งที่ที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับขั้นของโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาสให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดโดยพิจารณาการปล่อยมลพิษในการขนส่งและสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและการปรับปรุงวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

วิธีการวิจัย

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส

การแก้ปัญหาคำถามที่ดั่งที่ที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับขั้น กรณีศึกษาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส โดยการหาที่ดั่งที่ที่เหมาะสมของลานเทปาล์ม ใช้ข้อมูลการปลูกปาล์มน้ำมันของเกษตรกร ที่ตั้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การปล่อยมลพิษในการขนส่ง และสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบ โดยได้นำข้อมูลและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด จากงานวิจัยของ (Mayacheerw, 2012; Chomchalao, Kaewman, Pitakaso, & Sethanan, 2018; Pijitbanjong, Chomchalao, & Pitakaso, 2019) ซึ่งมี ดัชนี ตัวแปรที่ทราบค่า ตัวแปรตัดสินใจ สมการเป้าหมาย และสมการข้อจำกัด ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันระดับตำบล รายที่ 1, 2, ..., I



j ลานเทพาลัมแห่งที่ 1, 2, ..., J

k โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งที่ 1, 2, ..., K

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

Q_i^1 ปริมาณผลผลิตของเกษตรกร i (กก.)

q_{ij}^1 ปริมาณผลผลิตของเกษตรกร i ที่ส่งไปยังลานเทพาลัม j (กก.)

Q_j^2 ปริมาณรับซื้อสูงสุดของลานเทพาลัม j (กก.)

q_{jk}^2 ปริมาณผลผลิตของลานเทพาลัม j ที่ส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k (กก.)

Q_k^3 ปริมาณรับซื้อสูงสุดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k (กก.)

M ปริมาณสูงสุดของผลผลิตปาล์มน้ำมัน (กก.)

D_{ij}^1 ระยะทางในการขนส่งผลผลิตจากเกษตรกร i ไปยังลานเทพาลัม j (กม.)

D_{jk}^2 ระยะทางในการขนส่งผลผลิตจากลานเทพาลัม j ไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k (กม.)

n_i^1 จำนวนรอบในการขนส่งผลผลิตของเกษตรกร i (เที่ยว)

n_j^2 จำนวนรอบในการขนส่งผลผลิตของลานเทพาลัม j (เที่ยว)

V_j ปริมาณบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งที่ใช้ส่งผลผลิตไปยังลานเทพาลัม j (2.5 ตัน)

V_k ปริมาณบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งที่ใช้ส่งผลผลิตไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k (25 ตัน)

c_i^1 ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงในการขนส่งผลผลิตของเกษตรกร i (บาท/กม.)

c_j^2 ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงในการขนส่งผลผลิตของลานเทพาลัม j (บาท/กม.)

La_j ค่าใช้จ่ายในการซื้อที่ดินของการเปิดลานเทพาลัม j (บาท/ไร่)

Ad_j ค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่ของการเปิดลานเทพาลัม j (บาท/ไร่)

Bu_j ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารโรงเรือนของการเปิดลานเทพาลัม j (บาท/แห่ง)

Op_j ค่าใช้จ่ายดำเนินงานของการเปิดลานเทพาลัม j (บาท)

f_i^1 ค่าธรรมเนียมเชื้อเพลิงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงที่สุดจากการใช้น้ำมันดีเซลของรถขนส่งของเกษตรกร i (บาท/กม.)

f_j^2 ค่าธรรมเนียมเชื้อเพลิงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงที่สุดจากการใช้น้ำมันดีเซลของรถขนส่งของลานเทพาลัม j (บาท/กม.)

R_{ij}^1 ความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบระหว่างการขนส่งของเกษตรกร i ไปยังลานเทพาลัม j

R_j^2 ความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบบริเวณลานเทพาลัม j



R_{jk}^3 ความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบระหว่างการขนส่งของลานเทปาล์ม j ไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k

P_{ij}^1 ความหนาแน่นของประชากรโดยเฉลี่ยรอบเส้นทางการขนส่งจากเกษตรกร i ไปยังลานเทปาล์ม j (คน/ตร.กม.)

P_j^2 ความหนาแน่นของประชากรโดยเฉลี่ยบริเวณลานเทปาล์ม j (คน/ตร.กม.)

P_{jk}^3 ความหนาแน่นของประชากรโดยเฉลี่ยรอบเส้นทางการขนส่งจากลานเทปาล์ม j ไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k (คน/ตร.กม.)

Ep พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบโดยเฉลี่ยในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบแต่ละครั้ง (ตร.กม.)

Ho เงินชดเชยเฉลี่ยในการรักษาพยาบาลและเงินเยียวยาจากสถานการณ์ความไม่สงบของจังหวัดนราธิวาส (บาท/คน)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

x_{ij} = 1 ถ้าเกษตรกร i ส่งผลผลิตไปยังลานเทปาล์ม j , 0 กรณีอย่างอื่น

y_j = 1 ถ้าลานเทปาล์ม j ได้รับมอบหมายให้เปิด, 0 กรณีอย่างอื่น

z_{jk} = 1 ถ้าลานเทปาล์ม j ส่งผลผลิตไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม k , 0 กรณีอย่างอื่น

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} (D_{ij}^1 + D_{ji}^1) c_i^1 n_i^1 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K z_{jk} (D_{jk}^2 + D_{kj}^2) c_j^2 n_j^2 + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} (D_{ij}^1 + D_{ji}^1) f_i^1 n_i^1 \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K z_{jk} (D_{jk}^2 + D_{kj}^2) f_j^2 n_j^2 + \sum_{j=1}^J y_j (La_j + Ad_j + Bu_j + Op_j) \\ & + [Ho (\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} ((R_{ij}^1 P_{ij}^1) + (R_{ji}^1 P_{ji}^1)) n_j^2 + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K 2(z_{jk} R_{jk}^3 P_{jk}^3 n_j^2) + \sum_{j=1}^J y_j R_j^2 P_j^2)] \end{aligned} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraint functions)

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1 \quad \forall_i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J q_{ij}^1 = Q_i^1 \quad \forall_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} q_{ij}^1 \leq Q_j^2 \quad \forall_j \quad (4)$$



$$q_{ij}^1 \leq Mx_{ij} \quad \forall_{ij} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J y_j \geq 1 \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{jk} \leq 1 \quad \forall_j \quad (8)$$

$$q_{jk}^2 \leq Mz_{jk} \quad \forall_{j,k} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J z_{jk} q_{jk}^2 \leq Q_k^3 \quad \forall_k \quad (10)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^I q_{ij}^1 y_j}{V_j} \leq n_i^1 \quad \forall_j, Integer \quad (11)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^J q_{jk}^2 y_k}{V_k} \leq n_j^2 \quad \forall_k, Integer \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^I q_{ij}^1 = \sum_{k=1}^K q_{jk}^2 \quad \forall_j \quad (13)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ต้นทุนโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาภาระทางในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการเปิดลานเทปาล์ม ค่าใช้จ่ายในการปล่อยมลพิษในการขนส่ง และสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบ สมการที่ (2)-(13) เป็นสมการข้อจำกัด โดยสมการที่ (2) กำหนดให้เกษตรกรทุกรายต้องขนส่งผลผลิตไปยังลานเทปาล์ม สมการที่ (3) กำหนดให้เกษตรกรแต่ละรายขนส่งผลผลิตไปยังลานเทปาล์มเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (4) เป็นการจำกัดปริมาณผลผลิตรวมที่เกษตรกรขนส่งไปยังลานเทปาล์มต้องไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุดของลานเทปาล์ม สมการที่ (5) เป็นการจำกัดปริมาณผลผลิตที่เกษตรกรแต่ละรายขนส่งไปยังลานเทปาล์มต้องไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุด สมการที่ (6) กำหนดให้ลานเทปาล์มต้องมีการเปิดตั้งแต่ 1 แห่งขึ้นไป สมการที่ (7) เป็นการประกันว่าถ้ามีการเปิดลานเทปาล์มจะต้องมีการขนส่งผลผลิตของเกษตรกรไปยังลานเทปาล์ม สมการที่ (8) เป็นการประกันว่าลานเทปาล์มที่เปิดต้องขนส่งผลผลิตทั้งหมดไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สมการที่ (9) เป็นการจำกัดปริมาณผลผลิตที่ลานเทปาล์มแต่ละรายขนส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต้องไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุด สมการที่ (10) เป็นการจำกัดปริมาณผลผลิต



รวมที่ลานเทพาลัมขนส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต้องไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุดของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สมการที่ (11) กำหนดให้จำนวนรอบในการขนส่งผลผลิตจากเกษตรกรไปยังลานเทพาลัมต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น สมการที่ (12) กำหนดให้จำนวนรอบในการขนส่งผลผลิตจากลานเทพาลัมไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มต้องเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น และสมการที่ (13) เป็นการประกันว่าปริมาณผลผลิตรวมที่ส่งไปยังลานเทพาลัมจะต้องเท่ากับปริมาณผลผลิตรวมที่ส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

2. การแก้ปัญหาโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Generate initial solution) 2) กระบวนการปรับเปลี่ยนค่า (Mutation process) 3) กระบวนการแลกเปลี่ยนค่า (Recombination process) 4) กระบวนการคัดเลือก (Selection process) ในแต่ละขั้นตอนสำหรับการแก้ปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้นของโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส มีวิธีการดังนี้

1) การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Generate initial solution)

เป็นการให้รหัสและถอดรหัสเวกเตอร์เป้าหมายเพื่อให้ได้คำตอบตามสมการเป้าหมายที่ต้องการโดยพิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น สำหรับการให้รหัสเวกเตอร์เริ่มจากการกำหนดจำนวนประชากรของเวกเตอร์เป้าหมาย (NP) ซึ่งมีขนาดพิกัดของแต่ละเวกเตอร์ (D) เท่ากับผลรวมของจำนวนเกษตรกร จำนวนลานเทพาลัมที่จะเปิด และจำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ($D = n_1 + n_2 + n_3$) จากนั้นสุ่มตัวเลข $[0, 1]$ ให้กับแต่ละพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมาย ตัวอย่างดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้นด้วยการให้รหัสด้วยเลขสุ่ม

รายการ	เกษตรกร					ลานเทพาลัม					โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	
ปริมาณรับซื้อ/ผลผลิต (กก.)	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	30	30
ลำดับ	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
NP1	0.266	0.377	0.910	0.609	0.282	0.921	0.737	0.044	0.084	0.016	0.841	0.860
NP2	0.697	0.127	0.694	0.789	0.586	0.315	0.020	0.972	0.964	0.552	0.061	0.382
NP3	0.978	0.810	0.402	0.422	0.166	0.891	0.867	0.230	0.818	0.120	0.281	0.793
NP4	0.897	0.642	0.677	0.849	0.986	0.064	0.348	0.664	0.590	0.946	0.056	0.367
NP5	0.381	0.079	0.499	0.619	0.337	0.027	0.554	0.228	0.788	0.529	0.909	0.238

ทำการถอดรหัสเวกเตอร์โดยเรียงลำดับค่าเลขสุ่มของแต่ละพิกัดเวกเตอร์เป้าหมายในแต่ละ NP จากน้อยไปหามาก ดังตัวอย่างในตารางที่ 2



ตารางที่ 2 การเรียงลำดับค่าเลขคู่ของ NP1 จากน้อยไปหามาก

รายการ	เกษตรกร (ราย)					ลานเทปาล์ม (แห่ง)					โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	
ปริมาณรับซื้อ/ผลผลิต (กก.)	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	30	30
ลำดับเดิม	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
ลำดับใหม่	1	5	2	4	3	5	3	4	2	1	1	2
NP1	0.266	0.282	0.377	0.609	0.910	0.016	0.044	0.084	0.737	0.921	0.841	0.860

เริ่มมอบหมายการขนส่งผลผลิตของเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันไปยังลานเทปาล์ม และการขนส่งผลผลิตของลานเทปาล์มไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ตามลำดับเลขคู่จากน้อยไปหามากจนครบตามปริมาณผลผลิตของเกษตรกรและลานเทปาล์ม โดยแต่ละครั้งในการขนส่งผลผลิตจะต้องไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุดของลานเทปาล์มและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม หากเกินให้ขนส่งไปยังลานเทปาล์มและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในลำดับถัดไป จากนั้นคำนวณรอบในการขนส่งของเกษตรกรโดยใช้รถกระบะขนาดบรรทุกรอบละ 2.5 ตัน และคำนวณรอบในการขนส่งของลานเทปาล์มโดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อขนาดบรรทุกรอบละ 25 ตัน ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกตามพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ.2535 โดยพิจารณาเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ และคำนวณหาคำตอบตามสมการเป้าหมายจนครบทุก NP

2) กระบวนการปรับเปลี่ยนค่า (Mutation process)

ปรับเปลี่ยนค่าในแต่ละพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมาย ด้วยสมการที่ 14 โดยสุ่มเวกเตอร์เป้าหมายมาจำนวน 3 NP ($X_{r_1,j,G}, X_{r_2,j,G}, X_{r_3,j,G}$) และนำค่าเลขคู่ของแต่ละพิกัดเวกเตอร์เป้าหมายที่ตรงกันในแต่ละ NP มาทำการปรับเปลี่ยนค่าตามสมการ สำหรับค่า F ซึ่งเป็นปัจจัยขยายความแตกต่างของเวกเตอร์ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 (Qin, Vicky, & Ponnuthurai, 2009; Sethanan, & Pitakaso, 2016a,b) ซึ่งทำให้ได้ค่าใหม่ที่เรียกว่ามิวแทนต์เวกเตอร์ ($V_{i,j,G}$)

$$V_{i,j,G} = X_{r_1,j,G} + F(X_{r_2,j,G} - X_{r_3,j,G}) \quad (14)$$

3) กระบวนการแลกเปลี่ยนค่า (Recombination process)

แลกเปลี่ยนค่าพิกัดของเวกเตอร์ในแต่ละ NP ระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายและมิวแทนต์เวกเตอร์ ด้วยสมการที่ 15 โดยทำการสุ่มตัวเลขจำนวนจริง ($rand_{i,j}$) ที่มีค่าในช่วง $[0, 1]$ มาเปรียบเทียบกับค่าของ Cr ซึ่งเป็นอัตราการปรับเปลี่ยน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.8 (Qin et al., 2009; Sethanan, & Pitakaso, 2016a,b) แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าตามสมการ ซึ่งทำให้ได้ค่าใหม่ที่เรียกว่าไทรอัลเวกเตอร์ ($U_{i,j,G}$)



$$U_{i,j,G} = \begin{cases} V_{i,j,G} & \text{if } rand_{i,j} \leq Cr \text{ or } j = Irand \\ X_{i,j,G} & \text{if } rand_{i,j} > Cr \text{ or } j \neq Irand \end{cases} \quad (15)$$

4) กระบวนการคัดเลือก (Selection process)

คัดเลือกค่าคำตอบที่ต่ำกว่าที่ได้จากการถอดรหัสและคำนวณหาค่าตอบตามสมการเป้าหมายระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายเปรียบเทียบกับไทรอัลเวกเตอร์ในแต่ละ NP ด้วยสมการที่ 16 และกำหนดให้เวกเตอร์ที่ได้เป็นเวกเตอร์เป้าหมายของประชากรในรุ่นถัดไป ($X_{i,j,G+1}$)

$$X_{i,j,G+1} = \begin{cases} U_{i,j,G} & \text{if } f(U_{i,j,G}) \leq f(X_{i,j,G}) \\ X_{i,j,G} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

3. การปรับปรุงวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ปรับปรุงวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างด้วยการปรับปรุงคำตอบหลังกระบวนการคัดเลือกโดยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local search) ด้วยอัลกอริทึม 2 แบบ คือ 1) วิธีการเปลี่ยนค่า (Shifting algorithm) และ 2) วิธีการแทรกค่า (Insertion move algorithm) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการเปลี่ยนค่า (Improved differential evolution algorithm by shifting algorithm: IDE-S) เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยการเปลี่ยนค่าในตำแหน่งปัจจุบันให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าคำตอบที่ดีกว่าเดิม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น และประเมินค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างมิวแทนต์เวกเตอร์โดยกระบวนการปรับเปลี่ยนค่า

ขั้นตอนที่ 3 สร้างไทรอัลเวกเตอร์โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนค่า

ขั้นตอนที่ 4 คัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายและไทรอัลเวกเตอร์

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการเปลี่ยนค่า ตัวอย่างดังภาพที่ 1 พบว่ามีจำนวน 3 ลานเทปาล์มที่ทำการเปิด จากนั้นสุ่มเลือก 1 ลานเทปาล์มเพื่อเปลี่ยนเป็นลานเทปาล์มใหม่ จากภาพที่ 1(a) พบว่าลานเทปาล์มที่เปิด คือ 3, 4 และ 5 จะสุ่มเลือกลานเทปาล์มที่ 4 และแทนที่ด้วยลานเทปาล์มที่ 2 ดังภาพที่ 1(b) โดยลานเทปาล์มใหม่ที่สุ่มเลือกมาแทนที่ลานเทปาล์มเดิมจะต้องไม่ซ้ำกับลานเทปาล์มเดิมที่เปิดอยู่ก่อนแล้วและไม่ละเมิดเงื่อนไขข้อจำกัดใด ๆ และคำตอบที่ได้จะเป็นเวกเตอร์เป้าหมายของประชากรในรุ่นถัดไป



เกษตรกร		ลานเทปาล์ม	โรงงาน
1	5	5	1
2	4	4	1
3	-	3	2

(a) ก่อนการเปลี่ยนค่า

เกษตรกร		ลานเทปาล์ม	โรงงาน
1	5	5	1
2	4	2	1
3	-	3	2

(b) หลังดำเนินการเปลี่ยนค่า

ภาพที่ 1 วิธีการเปลี่ยนค่า

2) วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการแทรกค่า (Improved differential evolution algorithm by insertion move algorithm: IDE-IM) เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยการนำค่าจากตำแหน่งปัจจุบันไปแทรกค่าในตำแหน่งใหม่ของกลุ่มคำตอบให้ผลลัพธ์ที่ได้มีคำตอบที่ดีกว่าเดิม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น และประเมินค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างมิวแทนต์เวกเตอร์โดยกระบวนการปรับเปลี่ยนค่า

ขั้นตอนที่ 3 สร้างไทรอัลเวกเตอร์โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนค่า

ขั้นตอนที่ 4 คัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายและไทรอัลเวกเตอร์

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแทรกค่า ตัวอย่างดังภาพที่ 2 พบว่ามีจำนวน 3 ลานเทปาล์มที่ทำการเปิด จากนั้นแทรกสมาชิกเกษตรกรของลานเทปาล์มหนึ่งไปยังอีกลานเทปาล์มหนึ่ง จากภาพที่ 2(a) พบว่าลานเทปาล์มที่เปิด คือ 3, 4 และ 5 จะสุ่มเลือกสมาชิกเกษตรกรของลานเทปาล์มที่ 4 จำนวน 1 รายไปแทรกยังสมาชิกเกษตรกรของลานเทปาล์มที่ 3 ดังภาพที่ 2(b) โดยสมาชิกเกษตรกรที่นำไปแทรกนั้นจะต้องมีปริมาณผลผลิตไม่เกินปริมาณรับซื้อสูงสุดของลานเทปาล์มที่นำไปแทรกและไม่ละเมิดเงื่อนไขข้อจำกัดใด ๆ และคำตอบที่ได้จะเป็นเวกเตอร์เป้าหมายของประชากรในรุ่นถัดไป

เกษตรกร		ลานเทปาล์ม	โรงงาน
1	5	5	1
2	4	4	1
3	-	3	2

(a) ก่อนการแทรกค่า

เกษตรกร		ลานเทปาล์ม	โรงงาน
1	5	5	1
-	4	4	1
3	2	3	2

(b) หลังการแทรกค่า

ภาพที่ 2 วิธีการแทรกค่า



ผลการวิจัย

การแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้น กรณีศึกษา โลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส ด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด หาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo v.11 และนำวิธีการเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหาค่า โดยใช้โปรแกรม Dev C++ มาออกแบบอัลกอริทึมของวิธี DE และ IDE ซึ่งมี 2 วิธี คือ IDE-S และ IDE-IM ทำการประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ Intel Core i3 CPU 3.70 GHz หน่วยความจำ 8 GB โดยทดสอบกับปัญหามิติเล็กมีเกษตรกรจำนวน 5-10 ราย ปัญหามิติกลางมีเกษตรกรจำนวน 20-50 ราย และปัญหามิติใหญ่มีเกษตรกรจำนวน 100 ราย จำนวนลานเทปาล์มที่จะเปิดไม่เกิน 10 แห่ง และจำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไม่เกิน 3 แห่ง รวมทั้งปัญหาค่าจริง ซึ่งมีเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันระดับตำบลจำนวน 77 ราย โดยพิจารณาจากปริมาณผลผลิตแต่ละตำบล (Office of Agricultural Economics, 2018) และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 2 แห่ง คือ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มสหกรณ์นิคมบาเจาะ และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโครงการฟาร์มตัวบ้านอย่างไอร์บือแด ในการทดลองได้กำหนดจำนวน $NP = 20$, $G = 10,000$, $F = 2$ และ $Cr = 0.8$ ทำการทดลองที่เวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 3 และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านค่าต่ำที่สุด (Minimum) ค่าเฉลี่ย (Average) และค่าสูงที่สุด (Maximum) แสดงดังภาพที่ 3

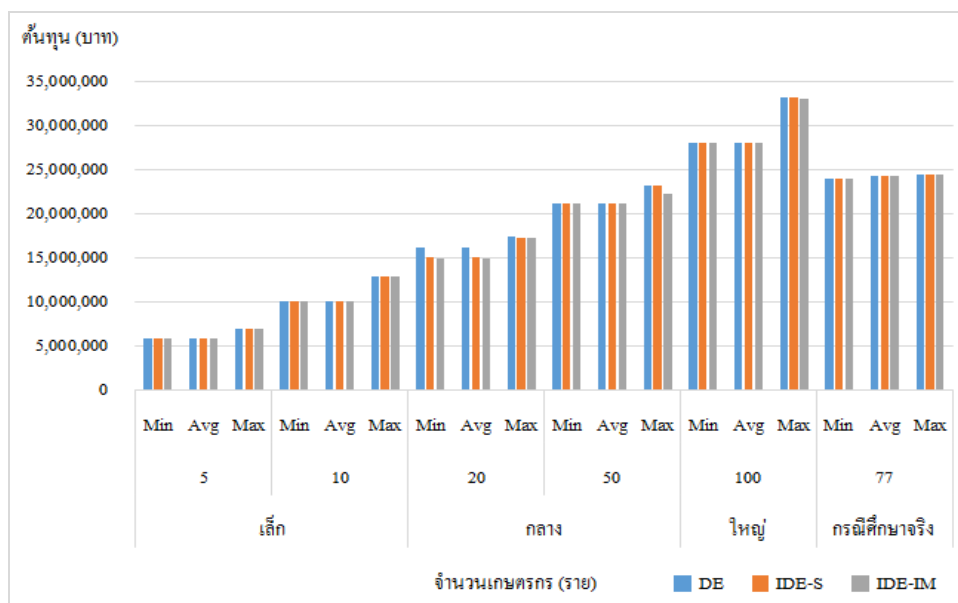
จากตารางที่ 1 การหาต้นทุนโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาส ด้วยโปรแกรม Lingo v.11 วิธี DE และ IDE ที่เวลา 2 ชั่วโมง กับปัญหามิติต่าง ๆ พบว่าปัญหามิติเล็กทุกวิธีให้คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนกัน แต่สำหรับปัญหามิติกลางและขนาดใหญ่ รวมถึงกรณีศึกษาจริง โปรแกรม Lingo v.11 ไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่กำหนด แต่วิธี DE IDE-S และ IDE-IM สามารถหาคำตอบได้ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบ พบว่าวิธี IDE-IM ให้คำตอบที่ต่ำที่สุดทุกขนาดปัญหาเกือบทุกค่า ซึ่งหากพิจารณาคำตอบทั้ง 3 ค่า คือ ค่าต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงที่สุด วิธี IDE-IM จะมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างวิธี DE IDE-S และ IDE-IM โดยการทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของ 2 ประชากรที่ไม่อิสระต่อกัน (Paired t-test) ด้วยโปรแกรม Minitab 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบระหว่างวิธี DE IDE-S และ IDE-IM เฉพาะปัญหามิติกลางและปัญหามิติใหญ่เนื่องจากปัญหามิติเล็กให้คำตอบที่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลดังตารางที่ 4



ตารางที่ 3 การหาต้นทุนโลจิสติกส์น้ำมันในจังหวัดนราธิวาสที่ขนาดปัญหาต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Lingo v.11 วิธี DE IDE-S และ IDE-IM ที่เวลา 2 ชั่วโมง

ขนาด ปัญหา	จำนวน (ราย/แห่ง) (เกษตรกร : ลานเทพาลัม : โรงงาน)	ต้นทุน (บาท)			
		Lingo v.11	DE	IDE-S	IDE-IM
เล็ก	5:3:1	5,892,762	5,892,762	5,892,762	5,892,762
	5:4:1	6,301,195	6,301,195	6,301,195	6,301,195
	5:4:2	6,577,674	6,577,674	6,577,674	6,577,674
	5:5:1	6,848,688	6,848,688	6,848,688	6,848,688
	5:5:2	6,920,928	6,920,928	6,920,928	6,920,928
	10:3:1	10,071,746	10,071,746	10,071,746	10,071,746
	10:4:1	11,572,710	11,572,710	11,572,710	11,572,710
	10:4:2	11,636,140	11,636,140	11,636,140	11,636,140
	10:5:1	12,178,920	12,178,920	12,178,920	12,178,920
	10:5:2	12,866,350	12,866,350	12,866,350	12,866,350
กลาง	20:3:1	18,763,441*	16,194,060	14,998,207	14,965,658
	20:4:1	n/a	16,736,330	15,790,966	15,682,664
	20:4:2	n/a	16,019,180	16,019,180	16,019,180
	20:5:1	n/a	16,481,870	16,481,870	16,481,870
	20:5:2	n/a	17,356,474	17,255,305	17,216,460
	50:3:1	n/a	21,077,430	21,077,430	21,077,430
	50:4:1	n/a	21,335,213	21,121,100	21,121,100
	50:4:2	n/a	21,589,164	21,137,570	21,137,570
	50:5:1	n/a	22,223,900	22,223,900	22,223,900
	50:5:2	n/a	23,155,333	23,161,451	22,229,770
ใหญ่	100:6:2	n/a	28,069,640	28,095,539	28,321,700
	100:6:3	n/a	28,971,213	28,867,878	28,817,440
	100:7:2	n/a	29,299,820	29,182,976	29,182,976
	100:7:3	n/a	29,478,380	29,616,791	29,956,812
	100:8:2	n/a	30,018,447	30,022,979	30,004,173
	100:8:3	n/a	30,606,987	30,513,595	30,448,990
	100:9:2	n/a	31,329,464	31,308,634	31,252,380
	100:9:3	n/a	31,908,841	31,856,578	31,786,900
	100:10:2	n/a	32,861,986	32,799,227	32,442,200
	100:10:3	n/a	33,224,319	33,456,075	33,059,840
กรณีศึกษา		n/a	24,024,922	24,021,646	24,015,294

* คือ คำตอบที่สถานะ Feasible, n/a คือ ไม่สามารถหาคำตอบ Feasible หรือคำตอบที่ดีที่สุดได้



ภาพที่ 3 ค่าตอบค่าต่ำที่สุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงที่สุด ด้วยวิธี DE IDE-S และ IDE-IM ที่เวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Paired t-test (ค่า p-value)

วิธี	IDE-S	IDE-IM
DE	$\leq 0.0016^*$	$\leq 0.0032^*$
IDE-S	-	$\leq 0.0005^*$

* คือ ค่าเฉลี่ยของ p-value

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Paired t-test โดยพิจารณาว่าค่า p-value ของปัญหามานกลางและขนาดใหญ่ พบว่าวิธี IDE-IM มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่แตกต่างจากวิธี DE และ IDE-S อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าวิธี IDE-IM สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีอื่น

อภิปรายผล

การแก้ปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้นของโลจิสติกส์ ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาสให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาการปล่อยมลพิษในการขนส่งและสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบ ด้วยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และแก้ปัญหา โดยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่และวิธีการเปลี่ยนค่า ซึ่งการทดลองได้จำแนกออกเป็น 3 วิธี คือ 1) DE 2) IDE-S และ 3) IDE-IM โดยทดสอบกับปัญหามานกลางมีเกษตรกรจำนวน 5-10 ราย ปัญหามานกลางมีเกษตรกร



จำนวน 20-50 ราย และปัญหาขนาดใหญ่มีเกษตรกรจำนวน 100 ราย จำนวนลานเทปาล์มที่เปิดไม่เกิน 10 แห่ง และจำนวนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มไม่เกิน 3 แห่ง เมื่อเปรียบเทียบการหาคำตอบด้วยวิธี DE IDE-S และ IDE-IM ที่เวลา 2 ชั่วโมง พบว่าวิธี IDE-IM ให้คำตอบที่ต่ำที่สุดเกือบทุกค่าสำหรับปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยปัญหาขนาดเล็กให้คำตอบไม่แตกต่างกัน และเมื่อทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของ 2 ประชากรที่ไม่อิสระต่อกันด้วย Paired t-test พบว่าวิธี IDE-IM มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่แตกต่างจากวิธี DE และ IDE-S อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนำไปได้ว่าการปรับปรุงคำตอบของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างหลังกระบวนการคัดเลือกด้วยการเพิ่มเทคนิคการค้นหาเฉพาะที่โดยวิธีการแทรกค่า สามารถเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีกว่าเดิม โดยในกลุ่มปัญหาขนาดเล็ก วิธี IDE-S และ IDE-IM สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เนื่องจากมีช่วงในการค้นหาที่แคบและจำนวนประชากรมีน้อย ทำให้การค้นหาคำตอบได้ผลไม่แตกต่างกันและสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เช่นเดียวกับการใช้วิธี Optimal solution โดยใช้โปรแกรม Lingo v.11 แต่สำหรับปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่วิธี IDE-IM จะค้นหาคำตอบใหม่ด้วยการปรับเปลี่ยนสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน และดึงคำตอบจากกลุ่มหนึ่งไปแทรกยังอีกกลุ่มหนึ่ง ทำให้สามารถเพิ่มโอกาสในการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ในระยะเวลาที่เร็วขึ้น ในขณะที่วิธี IDE-S จะสุ่มหาคำตอบใหม่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นวงกว้าง ทำให้ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานขึ้น ดังนั้นวิธีการปรับปรุงคำตอบด้วยการแทรกค่าหลังกระบวนการคัดเลือกจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบของการแก้ปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้นด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

สรุป

การแก้ปัญหาการหาที่ตั้งที่เหมาะสมและการจัดสรรงานแบบหลายลำดับชั้นของโลจิสติกส์ปาล์มน้ำมันในจังหวัดนราธิวาสให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุง โดยพิจารณาการปล่อยมลพิษในการขนส่งและสถานะความเสี่ยงในการเกิดสถานการณ์ความไม่สงบ ซึ่งมีเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันระดับตำบลจำนวน 77 ราย และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 2 แห่ง พบว่าวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบปรับปรุงด้วยวิธีการแทรกค่าให้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งลานเทปาล์มที่จะต้องทำการเปิดมีจำนวน 4 แห่ง มีที่ตั้งอยู่ที่ ตำบลสุโหงปาดี ตำบลปาสัมผัส ตำบลสุคริวัน และตำบลร่มไทร ได้ต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 24,015,294 บาท



ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกที่ตั้งลานเทปาล์มในจังหวัดนราธิวาส เพื่อให้มีต้นทุนโลจิสติกส์ที่ต่ำที่สุด และสำหรับการทำวิจัยในอนาคตควรศึกษาเงื่อนไขกรอบเวลา (Time windows) ในการขนส่งเพิ่มเติม เพราะอาจจะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันปาล์ม และควรนำวิธีเมตาฮิวริสติกวิธีการอื่น ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบ รวมถึงการผสมผสานวิธีการเมตาฮิวริสติกเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดี และรวดเร็วยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง (References)

- Akkarungruangkul, R. & Kaewman, S. (2018). Modified differential evolution algorithm solving the special case of location routing problem. *Mathematical and Computational Applications*, 23(34).
- Bargos, F.F., Wendell, Q.L., Bargos, D.C., Morun, B.N. & Paula, C.P.M.P. (2016). Location problem method applied to sugar and ethanol mills location optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 274-282.
- Boon, E.T., Ponnambalam, S.G. & Kanagaraj, G. (2013). Differential evolution algorithm with local search for capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Bio-Inspired Computations*, 7, 321-342.
- Chomchalao, C., Kaewman, S., Pitakaso, R. & Sethanan, K. (2018). An algorithm to manage transportation logistics that considers sabotage risk. *Adm. Sci*, 8, 39.
- Deepsouthwatch. (2019). *Cumulative Incidents in Deep Southern Thailand January 2004-June 2019*. Retrieved July 26, from https://dswdatabase.info/?page_id=984.
- Gao, L., Zhou, Y., Li, X., Pan, Q. & Yi, W. (2015). Multi-objective optimization based reverse strategy with differential evolution algorithm for constrained optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 42(14), 5976-5987.
- Jia, D., Zheng, G. & Khurram, K.M. (2011). An effective memetic differential evolution algorithm based on chaotic local search. *Inf. Sci*, 181, 3175-3187.



- Kaewman, S., Srivarapongse, T., Theeraviriya, T. & Jirasirilerd, G. (2018). Differential evolution algorithm for multilevel assignment problem: a case study in chicken transportation. *Math. Comp. Appl*, 23, 55.
- Ketsripongsa, U., Pitakaso, R., Sethanan, K. & Srivarapongse, T. (2018). An improved differential evolution algorithm for crop planning in the northeastern region of Thailand. *Math. Comput. Appl*, 23.
- Krahamwong, M. (2016). Problem of logistics management of oil palm producers for commercial in three southern border provinces. *Academic Services Journal, Prince of Songkla University*, 27, 14-28.
- Lai, M. & Er-bao, C. (2010). An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows. *Engineering Application of Artificial Intelligent*, 23, 188-195.
- Lampinen, J. & Zelinka, I. (1999). Mechanical engineering design optimization by differential evolution. In *New Ideas in Optimization*. Edited by David Corne, Marco Dorigo, Fred Glover, Dipankar Dasgupta, Pablo Moscato, Riccardo Poli and Kenneth V. Price. London: McGraw-Hill, pp. 127-146.
- Liao, T.W., Pius, J.E. & Pei-chann, C. (2012). Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operation. *Applied Soft Computing*, 12, 3683-3697.
- Mayachearw, P. (2012). *Solving a multi-stages multi objectives location problem in supply chain: a case study in oil palm industry in specific developed area in deep south of Thailand*. Ph.D. thesis, Department of Industrial Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathai, Thailand. (in thai).
- Office of Agricultural Economics. (2018). *Agricultural Economic Information*. Retrieved July 30, from <http://www.oae.go.th/view/1/Information/EN-US>.
- Pijitbanjong, P., Akararungruangkul, R., Pitakaso, R. & Sethanan, K. (2018). Improved differential evolution algorithms for solving multi-stage crop planning model in southern region of Thailand. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 41(5), 1116-1123.



- Pijitbanjong, P., Chomchalao, C. & Pitakaso, R. (2019). *Solving location-allocation problem of oil palm under sabotage risk in Narathiwat province using differential evolution algorithm*. The proceeding of the operations research network of Thailand. Chiang Mai, Thailand, 252-257. (in thai).
- Pitakaso, R. (2015). Differential evolution algorithm for simple assembly line balancing type 1 (SALBP-1). *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32, 104-114.
- Pitakaso, R. & Sethanan, K. (2016). Modified differential evolution algorithm for simple assembly line balancing with a limit on the number of machine types. *Engineering Optimization*, 48, 253-271.
- Qin, A., Vicky, L.H. & Ponnuthurai N.S. (2009). Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13, 398-417.
- Sahin, C. & Yusuf, K. (2016). Differential evolution based meta-heuristic algorithm for dynamic continuous berth allocation problem. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 10679-10688.
- Sethanan, K. & Pitakaso, R. (2016a). Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation. *Computers and Electronic in Agriculture*, 121, 245-259.
- Sethanan, K. & Pitakaso, R. (2016b). Improved differential evolution algorithms for solving generalized assignment problem. *Expert Systems with Applications*, 45, 450-459.
- Srivarapongse, T. & Pijitbanjong, P. (2019) Solving a special case of the generalized assignment problem using the modified differential evolution algorithms: a case study in sugarcane harvesting. *J. Open Innov. Technol, Mark, Complex*, 5, 5.
- Storn, R. & Price, K. (1995). *Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces*. Technical Report TR-95-012, New Delhi, ICSI.
- Storn, R. & Price, K. (1997). Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359.
- Tasgetiren, M.F., Suganthan, P.N., Chua, T.J. & Al-Hajri, A. (2009). *Differential evolution algorithms for the generalized assignment problem*. The proceedings of the 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Trondheim, Norway.
- Thongdee, T. & Pitakaso, R. (2015). Differential evolution algorithms solving a multi-objective, source and stage location-allocation problem. *Industrial Engineering and Management System*, 14, 11-21.



- Wang, Y., Zhi-Zhong, L., Jian-bin, L., Han-Xiong, L. & Gary, G.Y. (2016). Utilizing cumulative population distribution information in differential evolution. *Applied Soft Computing*, 48, 329-346.
- Xu, H. & Wen, J. (2012). *Differential evolution algorithm for the optimization of the vehicle routing problem in logistics*. Paper present at of the Eighth International Conference on Computational Intelligence and Security, Guangzhou, China, 48-51.
- Zio, E. & Viadana, G. (2011). Optimization of the inspection intervals of a safety system in a nuclear power plant by multi-objective differential evolution (MODE). *Reliability Engineering & System Safety*, 1552-1563.