

ตัวแบบห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่:

กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

A Battery Electric Vehicle Modification Supply Chain Model:

A Case Study in Northern Part of Thailand

พิมพิกา สุภาวงศ์¹, จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนาโกศล^{2*} และศุทธิณี สวัสดิ์ชิตัง³

Pimpika Supawong¹, Jirapat Wanitwattanakosol^{2*} and Suttinee Sawadsitng³

^{1,2*,3}วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทร 0 5392 0299 โทรสาร 0 5394 1803 E-mail: jirapat.w@cmu.ac.th

^{1,2*,3}College of Arts, Media and Technology Chiang Mai University

239 Huaykaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

Tel. +66 5392 0299 Fax. +66 5394 1803 E-mail: jirapat.w@cmu.ac.th

วันที่รับบทความ 14 มีนาคม 2568

Received: Mar. 14, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 5 สิงหาคม 2568

Revised: Aug. 5, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 8 สิงหาคม 2568

Accepted: Aug. 8, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ดัดแปลง ศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้า และคลังจัดเก็บวัสดุอุปกรณ์ ปัจจุบันอยู่ที่ยังคงให้บริการดัดแปลงมีเพียงอยู่ WPEV จังหวัดลำพูน ในขณะที่อื่น ๆ ส่วนใหญ่ได้ยกเลิกบริการหรือปิดกิจการ เนื่องจากมีต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูง งานวิจัยนี้ได้ออกแบบห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์ โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม ข้อมูลที่ใช้ประกอบการศึกษาได้จากผู้ดัดแปลง และศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้าใน 8 จังหวัดภาคเหนือ ผลการศึกษาพบว่าจุด GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเป็นศูนย์กลางการกระจายวัสดุอุปกรณ์ โดยค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 325.0 บาท เป็นค่าที่น้อยที่สุด การคำนวณในครั้งนี้ได้กำหนดค่าใช้จ่ายของศูนย์กระจายสินค้าเป็นค่าตัวเลขสังเคราะห์ โดยกำหนดไว้ที่ 10.0 บาท ทั้งนี้เพื่อใช้ในการจำลองและวิเคราะห์เบื้องต้นซึ่งในความเป็นจริง ค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจสูงถึงหลักหมื่นหรือหลักแสนบาท ขึ้นอยู่กับบริบทและสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบที่สามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์

คำสำคัญ: ห่วงโซ่อุปทาน, รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่, รถยนต์สันดาปภายใน, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม, ต้นทุนโลจิสติกส์

Abstract

This study aims to presents a supply chain model for converting internal combustion engine (ICE) vehicles into battery electric vehicles (BEVs) in Northern Thailand. Data were collected from conversion garages, EV service centers, and parts storage facilities. Currently, WPEV in Lamphun is the only remaining garage offering conversion services, as most others have ceased operations due to high logistics costs. This research proposed a centralized supply chain model utilizing a mathematical optimization

approach combined with a genetic algorithm to determine the optimal distribution center location. The data used in this study were collected from EV conversion garages and electric vehicle service centers in eight provinces of Northern Thailand. The findings indicate that GWM CCC Auto Chiang Mai is the most suitable location to serve as the central distribution hub for materials and equipment. The analysis yielded the lowest total cost of 325.0 Baht. The cost of setting up a distribution center is assigned a synthetic value of 10.0 Baht. This is done for the purpose of preliminary simulation and analysis. In reality, however, such costs may reach tens or even hundreds of thousands Baht, depending on the context and current economic conditions. It aligns with the design objective of minimizing logistics costs.

Keywords: Supply Chain, Battery Electric Vehicle, Internal Combustion Engine, Genetic Algorithm, Logistics Cost

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าประเภทแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีส่วนแบ่งตลาดมากกว่าครึ่งภายในปี ค.ศ. 2040 (PeerPower, 2022) การเปลี่ยนแปลงนี้ได้รับแรงผลักดันจากหลายปัจจัย เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SCB, 2023) การพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Katchwattana, 2023) และการสนับสนุนจากภาครัฐในด้านเงินอุดหนุนและสิทธิประโยชน์ด้านภาษีสำหรับผู้ใช้ EV (Prachachat Business, 2024)

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีจำนวนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) จำนวนมาก โดยมีรถยนต์ ICE จดทะเบียนกว่า 40 ล้านคัน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนหลักของภาคขนส่ง (Vasantiaupapokagorn et al., 2023) ในขณะเดียวกันราคาของรถยนต์ไฟฟ้าใหม่ยังมีราคาผันผวน ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจคือ EV Conversion หรือการดัดแปลงรถยนต์ใช้น้ำมันให้เป็นระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดขยะอุตสาหกรรมยานยนต์ และช่วยให้ผู้บริโภคสามารถเปลี่ยนมาใช้พลังงานสะอาดโดยไม่ต้องซื้อรถใหม่ (Katchwattana, 2023) อย่างไรก็ตาม การดัดแปลงรถยนต์ยังเผชิญกับข้อจำกัด เช่น วัสดุดัดแปลง EV คืออยู่ WPEV จังหวัดลำพูน มีความต้องการในการดัดแปลงประมาณ 10 คันต่อเดือน และยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุนที่สูงและแหล่งจัดหาชิ้นส่วน (Prachachat Business, 2024) ซึ่งเป็นอุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถดัดแปลงรถยนต์ได้ในวงกว้าง หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ จะส่งผลทำให้ต้นทุนที่ลดลง และจะช่วยให้การดัดแปลงได้รับความนิยมมากขึ้น (SCB, 2023) นอกจากนี้รถกระบะที่มีอายุเกิน 10 ปี มีจำนวนมากกว่า 4 ล้านคัน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายที่สามารถนำมาดัดแปลงเป็น EV ได้ หากสามารถดัดแปลงรถกระบะเพียงร้อยละ 10 หรือประมาณ 400,000 คัน จะสามารถสร้างเม็ดเงินหมุนเวียนในประเทศกว่า 120,000 ล้านบาท และช่วยกระตุ้นการพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่มีการจดทะเบียนรถกระบะเป็นอันดับสองรองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Transport Statistics Group, 2024)

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือต้นทุนการดัดแปลง รวมถึงการขาดศูนย์กระจายชิ้นส่วนที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ต้นทุนการดัดแปลงเป็นต้นทุนที่มีความซับซ้อนจากปัจจัยที่หลากหลายในกระบวนการปรับเปลี่ยนระบบภายในรถยนต์ ส่วนต้นทุนการกระจายชิ้นส่วนเป็นต้นทุนที่สามารถจัดการและลดลงได้ผ่านการวางแผนระบบโลจิสติกส์อย่างเหมาะสม การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอตัวแบบ ห่วงโซ่อุปทานของ EV Conversion ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับศูนย์กระจายชิ้นส่วนอุปกรณ์ ด้วยกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคเชิงประมาณค่าที่มีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับปัญหาที่มีข้อจำกัดหลายด้าน และโครงสร้างคำตอบที่ซับซ้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากร ลดต้นทุนโลจิสติกส์ และสนับสนุนการพัฒนาระบบการดัดแปลงยานยนต์ไฟฟ้าในระยะยาว ทั้งนี้ การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มีความเหมาะสมต่อปัญหาที่มีลักษณะซับซ้อนและมีพื้นที่คำตอบที่กว้าง เนื่องจาก GA เป็นเทคนิคการค้นหาแบบสุ่มเชิงวิวัฒนาการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ อีกทั้งยังสามารถจัดการกับข้อจำกัดได้หลากหลาย ซึ่งเหมาะกับปัญหาการจัดการโลจิสติกส์ที่มีความไม่แน่นอน เช่น ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเครือข่ายซัพพลายเชน (Kaur & Arora, 2021) ปัญหาการเลือกตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดในเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานจัดเป็นปัญหาการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (spatial decision-making problem) ที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ความต้องการของแต่ละจุดการเดินทาง และงบประมาณ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนเชิงคำนวณ (Computationally Complex Problem) และจัดอยู่ในกลุ่มปัญหา NP-hard (Murray & Church, 1996) จึงไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ด้วยวิธีการเชิงเส้นแบบทั่วไป (Linear Programming) ในเวลาจำกัด ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการแบบ Metaheuristic ที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากร แม้ในกรณีที่มีพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่และไม่เป็นเชิงเส้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายใน เป็นรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน และออกแบบห่วงโซ่อุปทานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.2 เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ ด้วยการหาตำแหน่งที่ตั้งสำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าให้เหมาะสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดขอบเขตของข้อมูล

การวิจัยนี้ศึกษาห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ไฟฟ้า และการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม สำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของแหล่งที่มาวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ดัดแปลง โดยมีองค์ประกอบของขอบเขตงานวิจัยคือ ระบบมีความสามารถในการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งกลุ่มประชากรในการวิจัยครั้งนี้คือ อู่ซ่อมรถยนต์ ที่ให้บริการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า BEV ในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 1

ประกอบไปด้วย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 2 ประกอบด้วย จังหวัดเชียงราย จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา และจังหวัดแพร่ รวมทั้งหมด 8 จังหวัด ที่อยู่ในประเทศไทยระยะเวลาดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2567 ถึงเดือนมีนาคม 2568

3.2 ศึกษาห่วงโซ่อุปทาน

ผู้วิจัยศึกษาห่วงโซ่อุปทาน โดยเริ่มจากการศึกษารูปแบบห่วงโซ่อุปทานของการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน สัมภาษณ์และเก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 5 อยู่ ประกอบไปด้วย WPEV อู่รถไฟฟ้าลำพูน ECU Shop เชียงใหม่ อู่ M เจริญยนต์ ลำปาง อู่รถไฟฟ้าแม่สาย เชียงราย และ JP EV Conversion เชียงใหม่คำถามที่ใช้ เช่น จำนวนการดัดแปลง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดัดแปลง ประเภทของรถที่นำมาดัดแปลง ระยะเวลาที่ใช้ในการดัดแปลง สัมภาษณ์เกี่ยวกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ที่ใช้ดัดแปลง และการใช้งานหลังการดัดแปลง

3.3 ออกแบบห่วงโซ่อุปทาน

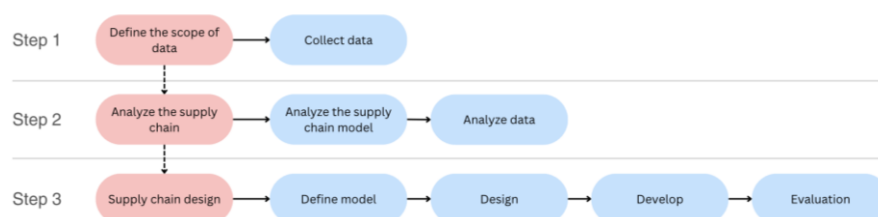
การออกแบบห่วงโซ่อุปทานของการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า โดยทำการกำหนดรูปแบบห่วงโซ่อุปทาน แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ออกแบบแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimization Model) โดยการออกแบบตาราง ระยะทางของอู่ดัดแปลงรถยนต์ และศูนย์กระจายสินค้า เป็นตารางของระยะทางที่ใช้ในโมเดล

2) พัฒนาระบบโมเดลการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์ตามเงื่อนไขที่ได้วิเคราะห์และรวบรวม

3) ดำเนินการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมผ่านตัวแก้ปัญหา (Optimization Solver) เพื่อแก้ปัญหาผ่านกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งช่วยค้นหาค่าที่ดีที่สุดโดยจำลองกระบวนการคัดเลือกและวิวัฒนาการทางพันธุกรรม เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Bajpai & Kumar, 2019) งานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากมีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในปัญหาที่ซับซ้อนและมีพื้นที่คำตอบกว้าง โดยไม่ต้องพึ่งการคำนวณแบบเชิงอนุพันธ์ นอกจากนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการจัดการกับข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาเชิงเพิ่มประสิทธิภาพที่ซับซ้อน

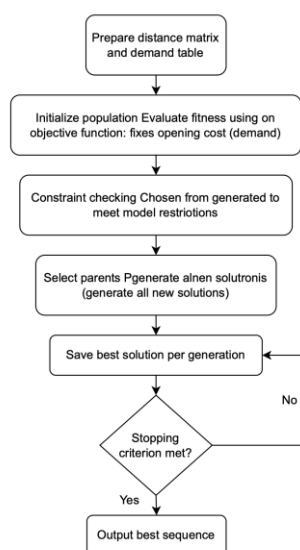
จากระเบียบวิธีวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิด (Conceptual Framework) สำหรับการทำวิจัยนี้ได้ทั้งหมด 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการกำหนดขอบเขตของข้อมูลและการเก็บข้อมูล ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการวิเคราะห์และเลือกใช้โมเดล และขั้นตอนที่ 3 เป็นกระบวนการออกแบบและพัฒนาโมเดล ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด (Conceptual Framework)

(3.1) ขั้นตอนการออกแบบวิธี (Algorithm)

ขั้นตอนเริ่มจากการกำหนดขนาดของประชากรและสร้างประชากรเริ่มต้นแบบสุ่ม จากนั้นทำการประเมินค่าความสามารถ (Fitness) ของแต่ละคำตอบ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการคำนวณต้นทุนรวมของระบบ ต่อมาทำการคัดเลือกพ่อแม่ที่มีค่าความสามารถสูงเพื่อนำมาผสมพันธุ์ (Crossover) และกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่กระบวนการจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงเกณฑ์หยุด เช่น จำนวนรอบสูงสุด หรือไม่มีการพัฒนาของคำตอบอีกต่อไป สุดท้ายจะแสดงผลลัพธ์ของลำดับคำตอบที่ให้ค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ซึ่งใช้ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังลำดับขั้นของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ใช้สำหรับหาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม

(3.2) การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GA โดยใช้ค่าเบื้องต้น ดังนี้

- จำนวนรุ่น (Generations): กำหนดเป็น 20 รุ่น ซึ่งพบว่าหลังจากการหาคำตอบ 20 รุ่น ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีแนวโน้มคงที่ โดยไม่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไป
- ขนาดประชากร: สุ่มเริ่มต้นจากผู้ให้ สามารถกำหนดจำนวนชุดตัวเลขได้โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 20 – 50 ลำดับ เพื่อให้มีความหลากหลายของคำตอบมากพอสำหรับการสำรวจพื้นที่คำตอบในปัญหาด้านโลจิสติกส์เชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม หากใช้ขนาดประชากรเพียง 20 ลำดับ อาจได้ผลลัพธ์เร็วเกินไปแต่มีแนวโน้มติดอยู่ในคำตอบเฉพาะจุด (local optimum) ขณะที่การเพิ่มขนาดประชากรเป็น 50 ลำดับ แม้จะเพิ่มความหลากหลาย แต่กลับใช้เวลาคำนวณนานกว่ามากจากการทดลองประมวลผลพบว่า ขนาดประชากรที่เหมาะสมกับลักษณะของปัญหานี้คือ 40 ลำดับ ซึ่งให้ความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและเวลาในการคำนวณ

- อัตราการสืบพันธุ์ (Reproduction): เลือก 10 ชุด ที่ดีที่สุดจาก 50 ชุด ในแต่ละรุ่น เพื่อให้แน่ใจว่าคำตอบที่มีประสิทธิภาพจะได้รับการถ่ายทอดต่อ ขณะเดียวกันยังคงไว้ซึ่งความหลากหลายในการสร้างประชากรรุ่นถัดไป

(3.3) วิธีการทำ Reproduction, Crossover และ Mutation

- Reproduction: ผู้วิจัยใช้การเลือก 10 ลำดับที่มีค่า Objective ต่ำสุดจากประชากรทั้งหมดในแต่ละรุ่นเพื่อเป็นพ่อแม่ สำหรับสร้างรุ่นถัดไป ซึ่งช่วยรักษาความได้เปรียบของโซลูชันที่ดีไว้ในกระบวนการวิวัฒนาการ

- Crossover: ใช้กระบวนการ Random Regeneration แทนการตัดและผสมลำดับแบบทั่วไป โดยระบบจะสุ่มสร้างชุดข้อมูลใหม่ทั้งหมดภายใต้ข้อจำกัดของแบบจำลอง ซึ่งเหมาะกับปัญหาที่ลำดับข้อมูลต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขเชิงโครงสร้าง เช่น ความต้องการรายวันหรือข้อจำกัดการจัดเส้นทาง

- Mutation: ดำเนินการโดยสุ่มเปลี่ยนตำแหน่งขององค์ประกอบภายในเมทริกซ์การเดินทาง โดยยังคงรักษาเงื่อนไขของแบบจำลองทั้งหมดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้โซลูชันติดอยู่ในค่าที่ไม่เหมาะสม (Local Optimum) และช่วยเพิ่มความหลากหลายของประชากร

(3.4) การตั้งโจทย์และสมมติฐานของปัญหา

กำหนดโจทย์ปัญหา: หาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้า 1 จุดจาก 5 จุดที่มีอยู่ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการกระจายสินค้าต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของระยะทางความต้องการและจำนวนวัน

(3.5) สมมติฐานของแบบจำลอง

1. มีศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงจุดเดียวในระบบ (X มีค่าได้แค่ 1 จาก 5)
2. ความต้องการในแต่ละวันถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า (กำหนดเป็น demand)
3. การเดินทางและการขนส่งสามารถคำนวณได้จากระยะ Euclidean ที่กำหนดไว้ในเมทริกซ์
4. ค่าใช้จ่ายในการเปิดศูนย์กระจายสินค้าเป็นค่าคงที่ 10 บาท

(3.6) ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ตัวอย่างที่มีจุดบริการทั้งหมด 5 จุด (V0 ถึง V4) และศูนย์กระจายสินค้า 5 จุด (W0 ถึง W4) ทดลองในช่วงเวลา 5 วัน ($t = 0$ ถึง 4) ทำให้ขนาดของลำดับข้อมูลคือ 110 ตัวต่อชุด

(3.7) พารามิเตอร์ของ GA

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของ GA

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนรุ่น (Generations)	20
จำนวนพ่อแม่ที่คัดเลือก	10
ขนาดประชากรที่สุ่มในแต่ละรอบ	40
ค่าใช้จ่ายในการเปิดคลัง	10
ความยาวของลำดับข้อมูล	110

(3.8) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาโปรแกรมและการประมวลผลทั้งหมดด้วยภาษา Python โดยใช้ไลบรารีพื้นฐานในการจัดการเมทริกซ์ การสุ่มข้อมูล และการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมถึงการบันทึกผลลัพธ์ในรูปแบบตารางสำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบในแต่ละรุ่นของการคำนวณ

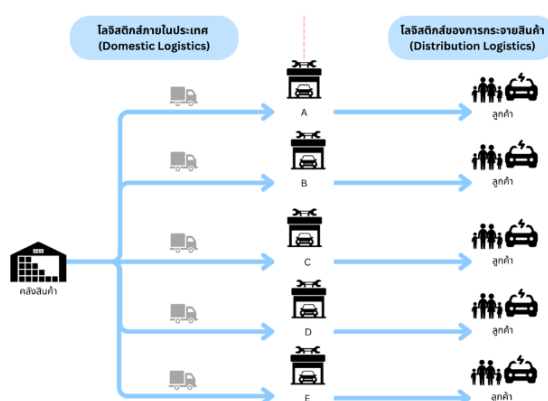
4. ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาห่วงโซ่อุปทาน

จากการเก็บข้อมูลพบว่าผู้ที่ให้บริการตัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าภายใน 8 จังหวัดภาคเหนือ ณ ปัจจุบันเหลือเพียง 1 แหล่งเท่านั้นคือ อู่ WPEV ลำพูน มีการกำหนดเป็นจุด A อื่น ๆ ที่ได้เก็บข้อมูลมานั้นจะเป็นกรณีที่ยกเลิกตัดแปลงแต่ยังสามารถที่จะรับซ่อมบำรุงอยู่มี 1 แหล่งคือ อู่ M เจริญยนต์ ลำปาง มีการกำหนดเป็นจุด B และบางอู่ก็ทำการปิดกิจการถาวรไปทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจที่จะเลือกผู้ที่ทำการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อมูลในการทำวิจัยด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นผู้วิจัยทำการหาข้อมูลของจำนวนศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้าในภาคเหนือ 8 จังหวัด พบว่าจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีจำนวนศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด จึงทำการเลือกมาเป็นอู่และศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 3 แหล่ง คือ BYD North Star Chiang Mai สำนักงานใหญ่มหิตล มีการกำหนด เป็นจุด C, Deepal เจริญอโต้เซลล์ เชียงใหม่ มีการกำหนดเป็นจุด D และ GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ มีการกำหนดเป็นจุด E

4.2 ออกแบบห่วงโซ่อุปทาน

ออกแบบห่วงโซ่อุปทานในรูปแบบใหม่เป็นรูปแบบการรวมศูนย์ (Centralized) โดยที่มีศูนย์กระจายสินค้าอยู่จุดใดจุดหนึ่ง เนื่องจากรูปแบบแบบรวมศูนย์สามารถลดต้นทุนรวมได้มากกว่ามีการใช้คลังกลางที่เหมาะสมเชิงพื้นที่ และลดจำนวนเที่ยวขนส่งที่เข้าซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการดำเนินงานในรูปแบบปัจจุบัน สำหรับการออกแบบวิธีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การออกแบบห่วงโซ่อุปทานในรูปแบบใหม่เป็นรูปแบบการรวมศูนย์ (Centralized)

1) ออกแบบแบบจำลองของการเพิ่มประสิทธิภาพ

(1.1) กำหนดอู่แทนด้วย V ซึ่ง V_0 แทนจุด A, V_1 แทนจุด B, V_2 แทนจุด C, V_3 แทนจุด D และ V_4 แทนจุด E

(1.2) กำหนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่เดียวกันกับอู่แทนด้วย W ซึ่ง $W_0 - W_4$ แทนด้วยจุด A – E ตามลำดับ

(1.3) ระยะทางระหว่างแต่ละสถานที่แทนด้วย X_{ij} โดย i และ j เป็นสถานที่ เช่น $X_{V_1W_1}$ แทนระยะทางจากอู่ V_1 ไปที่คลัง W_1 โดยแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1

(1.4) กำหนดความต้องการในการสั่งสินค้าในแต่ละครั้งแทนด้วย t และความต้องการของแต่ละอู่แทนด้วย V โดยแสดงตัวอย่างอยู่ในตารางที่ 2

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบรวมศูนย์ (Centralized) กับแบบไม่รวมศูนย์ (Decentralized) ผู้วิจัยได้คำนวณค่าใช้จ่ายรวมของระบบแบบไม่รวมศูนย์โดยใช้ข้อมูลระยะทางจริงจากตารางที่ 2 และความต้องการจากตารางที่ 3 (ช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 4$) ในระบบแบบไม่รวมศูนย์นี้ อู่ตัดแปลงแต่ละแห่ง (V_0-V_1) จะส่งวัสดุจากศูนย์บริการที่อยู่ใกล้ที่สุดในชุด W_0-W_4 ดังนี้

ตารางที่ 2 ระยะทางของอู่และศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดต่าง ๆ ที่ใช้ในโมเดล

Distance	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	W_0	W_1	W_2	W_3	W_4
V_0	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4
V_1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1
V_2	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4
V_3	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6
V_4	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0
W_0	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4
W_1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1
W_2	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4
W_3	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6
W_4	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการสั่งซื้อแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าตามความต้องการในแต่ละครั้ง โดยไม่ระบุว่าเป็นการสั่งซื้อชิ้นส่วนใด มีการกำหนด (0 : ไม่มีการสั่งซื้อ) และ (1 : มีการสั่งซื้อ) ของแต่ละอู่

Demand	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4
$t = 0$	1	0	0	1	1
$t = 1$	0	1	1	0	0
$t = 2$	1	1	0	1	0
$t = 3$	0	0	1	1	1
$t = 4$	1	0	1	0	1

- อู่ $V_0 \rightarrow W_4$ ระยะทางไป-กลับ = $41.4 \times 2 = 82.8$ กม.
- อู่ $V_1 \rightarrow W_0$ ระยะทางไป-กลับ = $59.0 \times 2 = 118.0$ กม.
- อู่ $V_2 \rightarrow W_3$ ระยะทางไป-กลับ = $1.7 \times 2 = 3.4$ กม.
- อู่ $V_3 \rightarrow W_2$ ระยะทางไป-กลับ = $1.7 \times 2 = 3.4$ กม.

- อยู่ V4 → W2 ระยะทางไป-กลับ = $13.4 \times 2 = 26.8$ กม.

โดยใช้ข้อมูล Demand จากตารางที่ 3 (ช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 4$) จะได้:

- V0 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 3, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 82.8 = 248.4$ บาท
- V1 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 1, 2$ รวม 2 วัน → $2 \times 118.0 = 236.0$ บาท
- V2 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 1, 3$ รวม 3 วัน → $3 \times 3.4 = 10.2$ บาท
- V3 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 2, 3, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 3.4 = 10.2$ บาท
- V4 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 2, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 26.8 = 80.4$ บาท

ต้นทุนขนส่งรวม = $248.4 + 236.0 + 10.2 + 10.2 + 80.4 = 585.2$ บาท

และค่าใช้จ่ายในการเปิดคลัง (Fixed Opening Cost) แห่งละ 10 บาท สำหรับศูนย์ที่ถูกใช้งานจริง ได้แก่ W0, W2, W3, W4 → $4 \times 10 = 40.0$ บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมของระบบแบบไม่รวมศูนย์คือ $585.2 + 40.0 = 625.2$ บาท

2) พัฒนาระบบเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์

(2.1) ขั้นตอนวิธี (Algorithm) อัลกอริทึมทางพันธุกรรมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ

Pseudocode: Genetic Algorithm for Optimization

Input: Population size N, Number of generations G, Distance Matrix D

Output: Best sequence with minimum objective value

1. Initialize population with N random sequences
2. FOR generation $g = 1$ TO G DO
3. Evaluate fitness for each sequence
4. Select top k sequences as parents
5. FOR each offspring DO
6. Perform crossover and mutation to generate a new sequence
7. Validate the new sequence against constraints
8. Calculate objective value if sequence is valid
9. END FOR
10. Replace the current population with the new population
11. END FOR
12. Return the sequence with the minimum objective value

อัลกอริทึมนี้ใช้ GA ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากร และใช้กระบวนการวิวัฒนาการ (Evolution) ได้แก่ การเลือกพ่อแม่ การสร้างลูก และการกลายพันธุ์ เพื่อปรับปรุงคำตอบในแต่ละรุ่นจนได้คำตอบที่ดีที่สุด ด้วยการใช้โครงสร้างลำดับชั้นของโค้ด ดังนี้

Pseudocode รูปแบบโครงสร้างลำดับชั้น (Structured Hierarchical Pseudo Code)

START

1. กำหนดค่า **Distance Matrix** (10x10) สำหรับใช้คำนวณระยะทาง
2. **Function:** generate_random_sequences()

- สร้างชุดตัวเลขแบบสุ่มตามจำนวนและโครงสร้างที่กำหนด
 - สุ่มค่า X และกำหนด Demand ตาม Time (t)
 - กำหนดค่าในเมทริกซ์ (V, W)
 - คำนวณเป็นลิสต์ของชุดตัวเลข
3. **Function:** validate_sequences()
- ตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ:
 - เงื่อนไข 1: $\sum_j V_{ij} + \sum_d W_{id} * X_d = Dt \quad \forall i$
 - เงื่อนไข 2-3: $\sum_i V_{ij} + \sum_d W_{dj} * X_d = Dt \quad \forall j$
 - เงื่อนไข 4: ไม่มี Subtour
 - คืนค่า **True** ถ้าผ่านทุกเงื่อนไข, **False** ถ้าไม่ผ่าน
4. **Function:** calculate_objective()
- คำนวณค่า Objective Function ตามสูตร:
 - Term 1: ค่าใช้จ่ายจากการเลือก X
 - Term 2: ค่าใช้จ่ายจาก V_{ijt}
 - Term 3: ค่าใช้จ่ายจาก W_{idt}
 - Term 4: ค่าใช้จ่ายจาก W_{dit}
 - คืนค่า **Objective Value**
5. **Function:** perform_genetic_algorithm()
- ใช้ Genetic Algorithm เพื่อหาชุดที่ดีที่สุด:
 - คัดเลือก 10 ชุดที่ดีที่สุดจาก Objective Value ต่ำสุด
 - สร้าง 40 ชุดใหม่โดยสุ่มและตรวจสอบเงื่อนไข
 - คัดเลือก 40 ชุดที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ
 - ทำซ้ำ **num_generations** ครั้ง
 - คืนค่าชุดที่ดีที่สุดจากทุก Generation
6. **Function:** save_results_to_csv()
- บันทึกชุดตัวเลขที่ผ่านเงื่อนไขลงไฟล์ CSV
7. **Main Program**
- รับค่าจำนวนชุดที่ต้องการสุ่มจากผู้ใช้
 - เรียกใช้ **generate_random_sequences()** เพื่อสร้างข้อมูล
 - ตรวจสอบแต่ละชุดด้วย **validate_sequences()**
 - คำนวณค่า Objective Function
 - ดำเนินการ **perform_genetic_algorithm()** เพื่อหาชุดที่ดีที่สุด
 - แสดงผลลัพธ์และบันทึกไฟล์ CSV
- END

จากโค้ดนี้ใช้ GA เพื่อสร้างและคัดเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยการสุ่มสร้างชุดตัวเลข ตรวจสอบความถูกต้อง คำนวณค่า Objective Value และปรับปรุงคำตอบในแต่ละรุ่นก่อนบันทึกผลลัพธ์

3) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

Objective Function ในบริบทของ GA ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของคำตอบ (sequence) แต่ละชุด โดยเป้าหมายของการ Optimization คือการลดค่า Objective Value ให้ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง โดยมีองค์ประกอบดังนี้

(3.1) ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables)

- X_d : ตัวแปร Binary ที่ระบุว่ามีการเลือกใช้อู่ d หรือไม่ ($X_d = 1$ หมายถึงเลือกใช้อู่, $X_d = 0$ หมายถึงไม่ได้เลือกใช้อู่)
- V_{ijt} : ปริมาณการเดินทางหรือเชื่อมต่อระหว่างอู่ i และ j ในช่วงเวลา t
- W_{idt} : ปริมาณการเดินทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d ในช่วงเวลา t
- W_{dit} : ปริมาณการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i ในช่วงเวลา t

(3.2) ค่าต้นทุน (Cost Parameters)

- C_d : ค่าใช้จ่ายคงที่ในการตั้งอู่ d
- C_{ij} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอู่ i และ j
- C_{id} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
- C_{di} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i

(3.3) Distance Matrix (D)

เป็นตารางหรือเมทริกซ์ที่ใช้เก็บระยะทางหรือค่าต้นทุนการเดินทางระหว่างทุกจุดในปัญหา เช่น อู่ (Depots) และศูนย์กระจายสินค้า (Warehouses)

- ระยะทาง C_{ij} แสดงระยะระหว่างอู่ i และ j
- ระยะทาง C_{id} แสดงระยะทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
- ระยะทาง C_{di} แสดงระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i

(3.4) สมการของ Objective Function

สามารถเขียนสมการของ Objective Function ได้ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวม} = \underbrace{\sum_d C_d \cdot X_d}_{\text{ค่าใช้จ่ายในการตั้งอู่}} + \underbrace{\sum_t \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot V_{ijt}}_{\text{ค่าเดินทางระหว่างอู่}} + \underbrace{\sum_t \sum_i \sum_d C_{id} \cdot W_{idt}}_{\text{ค่าเดินทางจากอู่ไปคลังสินค้า}} + \underbrace{\sum_t \sum_d \sum_i C_{di} \cdot W_{dit}}_{\text{ค่าเดินทางคลังสินค้าไปอู่}}$$

คำอธิบายแต่ละส่วนของสมการ

1. ค่าใช้จ่ายในการตั้งอู่ ($\sum_d C_d \cdot X_d$)
 - คำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการตั้งอู่แต่ละแห่ง
 - หากเลือกใช้อู่ ($X_d = 1$) ค่าใช้จ่ายของอู่ (C_d) จะถูกรวมในต้นทุนรวม
 - ถ้าไม่ได้เลือก ($X_d = 0$) ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะไม่นำมาคำนวณ
2. ค่าเดินทางระหว่างอู่ ($\sum_t \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot V_{ijt}$)
 - คำนวณค่าใช้จ่ายจากการเดินทางระหว่างอู่ i และ j
 - C_{ij} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอู่สองแห่ง

- V_{ijt} คือจำนวนครั้งหรือปริมาณการเดินทางระหว่างอยู่ i และ j ในช่วงเวลา t
- 3. ค่าเดินทางจากอยู่ไปศูนย์กระจายสินค้า ($\sum_t \sum_i \sum_d C_{id} \cdot W_{idt}$)
 - ค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าจากอยู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
 - C_{id} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอยู่และศูนย์กระจายสินค้า
 - W_{idt} คือปริมาณการขนส่งระหว่างจุดทั้งสอง ในช่วงเวลา t
- 4. ค่าเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปอยู่ ($\sum_t \sum_d \sum_i C_{di} \cdot W_{dit}$)
 - ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอยู่ i
 - C_{di} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและอยู่
 - W_{dit} คือปริมาณการขนส่งระหว่างจุดทั้งสอง ในช่วงเวลา t

เป้าหมายของ Objective Function คือใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นในระบบ โดยเป้าหมายคือ การเลือกอยู่และเส้นทางการขนส่งที่ลดต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ความต้องการสินค้า ระยะทาง และทรัพยากรที่มีอยู่

3) ตัวอย่างการแก้ปัญหา

เริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่ตั้งของอยู่ V จำนวน 5 จุด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า W จำนวน 3 จุด หลังจากนั้นมีการคำนวณเมตริกซ์ระยะทางแบบ Euclidean และได้กำหนดความต้องการสินค้าของแต่ละอยู่ V ในเวลา 5 วันคือ $t=0$ ถึง $t=4$ โดย t หรือ Time หมายถึงความต้องการ Demand ในแต่ละวัน ซึ่งมีการนำข้อมูลสังเคราะห์จากตารางที่ 2 มาใช้โดยที่ระบบต้องการหาจุดไหนควรที่จะตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า เพื่อลดต้นทุนรวมและตอบสนองความต้องการแต่ละวันหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วมีการแสดงผลผังภาพที่ 3

หลังจากที่ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่ได้คือ W_1 และการเดินทางของแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตาม Demand เช่น Demand Vector $t=0$: $[1, 0, 0, 1, 1]$ (V_0, V_3, V_4 มีความต้องการ) และ $t=1$: $[0, 1, 1, 0, 0]$ (V_1, V_2 มีความต้องการ) โดยมีเส้นทางดังนี้

- $t=0$: $W_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_0 \rightarrow W_1$
- $t=1$: $W_1 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow W_1$

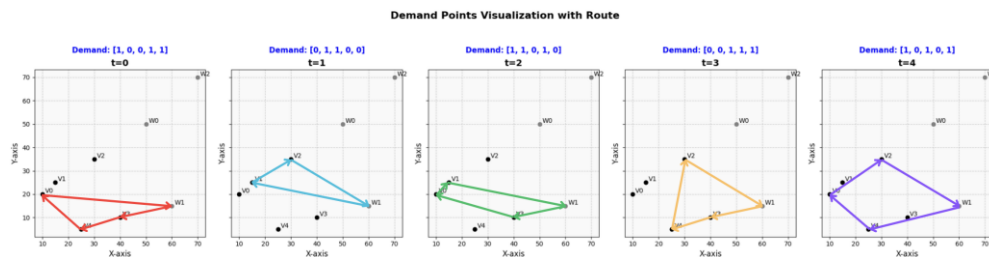
4) ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model

เริ่มจากการกำหนดระยะทางตำแหน่งที่ตั้งของอยู่และศูนย์กระจายสินค้าโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 1 ที่ตั้งของอยู่ V จำนวน 5 จุด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า W จำนวน 5 จุด หลังจากนั้นมีการกำหนดความต้องการสินค้าของแต่ละอยู่ V ในเวลา 5 วันคือ $t=0$ ถึง $t=4$ ซึ่งมีการนำข้อมูลสังเคราะห์จากตารางที่ 2 มาใช้โดยที่ระบบต้องการหาจุดไหนควรที่จะตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า หลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วมีการแสดงผลผังของค่าใช้จ่ายรวมดังตารางที่ 4 และแสดงผลผังของตำแหน่งที่ตั้งผังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละรอบของการคำนวณ (20 รุ่น) จะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในขั้นตอนเริ่มต้นของโปรแกรม หากกำหนดจำนวนชุดเริ่มต้นประมาณ 20 – 50 ชุด จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 – 15 วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายรวมและลำดับตัวเลขที่ได้จากการหาตำแหน่งที่ตั้งและค่าที่ดีที่สุดของแต่ละ Generation ในกระบวนการ GA โดยลำดับตัวเลขมีความยาว 110 ลำดับ

Type	Objective Value	Sequence
Overall Best	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Best Sequence Per Generation		
Generation 1	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 2	339.6	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 3	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 4	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
⋮	⋮	⋮
Generation 20	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]

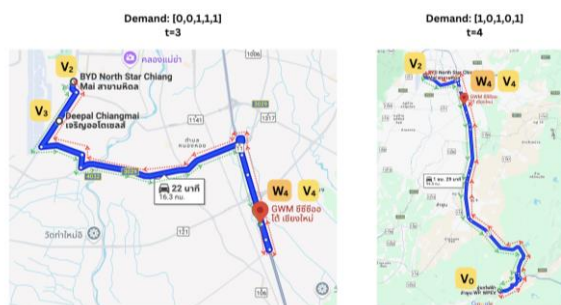
จากตารางที่ 4 พบว่าค่าใน Generation ที่ 2 เพิ่มขึ้นจากรุ่นก่อนหน้า สาเหตุเกิดจากลำดับที่สุ่มในรุ่นนั้นบางส่วนไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ หรือมีการกลายพันธุ์ในตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตาม ใน Generation ถัดมา ระบบสามารถกลับมาให้คำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ แสดงให้เห็นถึงลักษณะการแกว่งของคำตอบในกระบวนการเรียนรู้ของอัลกอริทึม โดยในแต่ละ Generation จะมีการเลือกลำดับที่ดีที่สุด 1 ลำดับ จากค่า Objective ที่ต่ำที่สุด และค่าที่ดีที่สุดที่ถูกเลือกใน Overall Best คือ 325.0



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการแก้ปัญหา



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model วันที่ 1 2 และ 3



ภาพที่ 6 ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model วันที่ 4 และ 5

หลังจากที่ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาผ่านระบบแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายรวม = 325.0 บาท เป็นค่าที่น้อยที่สุด แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ (Global Optimum) อย่างแน่นอน เนื่องจากอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีประมาณค่า และไม่มีการพิสูจน์เชิงวิเคราะห์ ดังนั้นคำตอบจึงถือเป็นคำตอบที่เหมาะสมมากที่สุดเท่าที่ระบบสามารถหาได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมจาก Sequence = [0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....] ทั้งหมด 110 ลำดับ โดย 5 ลำดับแรกเป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของการเปิดศูนย์กระจายสินค้าคือ W_4 และมีเส้นทางการเดินทางของแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตาม Demand ของแต่ละพื้นที่ การประมวลผลในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจำลองขนาดเล็กเพื่อทดสอบแนวคิดเบื้องต้น หากต้องการนำแบบจำลองไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ เช่น มีอยู่หรือศูนย์กระจายสินค้าหลายสิบแห่ง อาจต้องปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการปรับแก้สมการและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ GA และหรือการประยุกต์ใช้ GA รูปแบบต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบต้นทุนรวมของระบบแบบรวมศูนย์และแบบไม่รวมศูนย์ โดยแบบไม่รวมศูนย์กำหนดให้แต่ละอู่ตัดแปลงจับคู่กับศูนย์บริการที่อยู่ใกล้ที่สุด ผลการคำนวณพบว่าระบบแบบไม่รวมศูนย์มีค่าใช้จ่ายรวม 625.2 บาท ซึ่งสูงกว่าระบบแบบรวมศูนย์ที่มีค่าใช้จ่ายรวม 325.0 บาท แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของแนวทางแบบรวมศูนย์ ทั้งในด้านต้นทุนรวมและความเป็นระบบในการจัดการ ซึ่งผลการเปรียบเทียบนี้สนับสนุนความเหมาะสมของแนวทางที่ผู้วิจัยเลือกใช้เมื่อเทียบกับทางเลือกทั่วไปในบริบทปัจจุบัน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือ พบว่าอู่ที่ยังให้บริการตัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ไฟฟ้า EV Conversion มีเพียง 1 แห่ง ที่ยังดำเนินงาน คืออู่ WPEV จังหวัดลำพูน ขณะที่อู่หลายแห่งหยุดให้บริการหรือเปลี่ยนไปทำเฉพาะการซ่อมบำรุง ระบบห่วงโซ่อุปทานในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้าน ต้นทุน การเข้าถึงแหล่งชิ้นส่วน และความไม่แน่นอนของช่องทางจัดจำหน่าย จึงพัฒนาโมเดลที่มีประสิทธิภาพเพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรม EV Conversion

งานวิจัยได้ออกแบบ ห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากจุดที่เป็นไปได้ 5 แห่งในภาคเหนือ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ (W4) เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 325.0 บาท ซึ่งน้อยที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเปิดศูนย์กระจายสินค้า และค่าใช้จ่ายจากการเดินทางทั้งหมดภายในระบบ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดต้นทุนโลจิสติกส์และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งวัสดุ จากการทดลองเชิงตัวเลข พบว่าอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัยสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมลงได้ โดยการตั้งค่าที่ใช้คือ จำนวนรุ่น 20 รุ่น เลือกพ่อแม่ 10 ลำดับ และสุ่มประชากรใหม่ 40 ลำดับต่อรุ่น และใช้การสุ่มลำดับใหม่แบบสุ่มเต็มรูปแบบแทนการผสมพันธุ์แบบดั้งเดิม ทั้งนี้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ เนื่องจาก GA เป็นวิธีประมาณค่า โครงสร้างของโครโมโซมสามารถแปลความหมายได้เป็นตำแหน่งคลังที่ถูกเลือก ความต้องการรายวันและการจัดเส้นทางในแต่ละวัน

แนวทางการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมในการหาทำเลที่ตั้งและออกแบบเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับทิศทางของงานวิจัยร่วมสมัยหลายฉบับ เช่น การวางแผนเครือข่ายซัพพลายเชนของผลิตภัณฑ์เกษตรโดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งสามารถลดต้นทุนรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zhao & Xie, 2023) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแนวทางการจัดสรรสถานพยาบาลโดยใช้วิธีการสองขั้นตอนร่วมกับอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและความเท่าเทียมในการเข้าถึง (Salami et al., 2023) งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของการใช้แนวทางเชิงพันธุกรรมกับปัญหาเชิงพื้นที่และการจัดการโลจิสติกส์ที่ซับซ้อน

5.2 อภิปรายผลตามวัตถุประสงค์

แบบจำลองห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายวัสดุอุปกรณ์เพื่อการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะการวิเคราะห์หาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่สุด การใช้ GA ในการเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับทางวิชาการ โดยเฉพาะในบริบทของอุตสาหกรรมการผลิตและกระจายสินค้าอัจฉริยะ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของ GA ในการจัดการกับข้อจำกัดเชิงระบบและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนสูง (Tarigan et al., 2021) ขณะเดียวกัน แนวโน้มของอุตสาหกรรม EV ในประเทศไทยก็อยู่ในช่วงขยายตัว โดยมีทั้งการสนับสนุนจากภาครัฐและภาคเอกชน โดยเฉพาะในกลุ่มธุรกิจที่ดัดแปลงรถยนต์มือสองให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพบว่าได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่ต้องการเปลี่ยนผ่านสู่ยานยนต์สะอาดในราคาที่เข้าถึงได้ (Puchong et al., 2023) ค่าคำตอบต่ำสุดที่ได้จากแบบจำลองคือ 325.0 บาท ซึ่งเป็นค่า Objective ต่ำที่สุด จากการทดลองและถูกระบุเป็น ค่าที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Best) ตามข้อมูลในตารางที่ 4 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแนวทางที่เลือกใช้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบต้นทุนรวมระหว่างระบบแบบรวมศูนย์และแบบไม่รวมศูนย์พบว่าระบบแบบไม่รวมศูนย์มีค่าใช้จ่ายรวม 625.2 บาท ซึ่งสูงกว่าระบบแบบรวมศูนย์อย่างมีนัยสำคัญสะท้อนให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของแนวทางแบบรวมศูนย์ในบริบทของแบบจำลองนี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อยืนยันความมีประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนออย่างรอบด้าน ควรมีการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณอื่นเพิ่มเติมในอนาคต งานวิจัยฉบับนี้ยังไม่ได้ดำเนินการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีการอื่น ๆ แต่แนวทางนี้สามารถขยายผลได้ในอนาคต โดยการนำวิธีการอื่นมาเปรียบเทียบ เช่น การใช้ Linear Programming, Heuristic Methods หรือ Metaheuristic อื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนค่าธรรมเนียมนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มอบทุนสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Bajpai, P., & Kumar, M. (2019). Genetic Algorithm – an Approach to Solve Global Optimization Problems, *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 1(3), 199-206.
- Katchwattana, P. (2023). *EV Conversion Industry: An Opportunity for SMEs*. [Online],

- Available: <https://www.salika.co/2023/08/15/ev-conversion-industry-thai-sme-opportunity/>. access on October 22, 2023. (in Thai)
- Kaur, H., & Arora, A. (2021). *A Review of Genetic Algorithm Applications for Supply Chain Optimization Problems*. *Materials Today: Proceedings*, 46(9), 4403–4407. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.712>
- Murray, A. T., & Church, R. L. (1996). *An overview of location modeling research: Progress and prospects*. *The Professional Geographer*, 48(4), 489–499. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1996.00489.x>
- PeerPower. (2022). *5 Factors Influencing EV Trends & 5 Investment Opportunities*. [Online], Available: <https://www.peerpower.co.th/blog/ev-and-investment>. access on October 21, 2023. (in Thai)
- Prachachat Business. (2024). *Support for Converting Oil Vehicles to EVs, Pilot Program of 400,000 Vehicles, Assisting ‘Mechanics and Garages’ During the Transition Period*. [Online], Available: <https://www.prachachat.net/economy/news-1471282>. access on January 22, 2024. (in Thai)
- Puchong, P., & TISTR Research Team. (2023). *The Potential of Thailand in Advancing the Classic Car EV Conversion Industry: A Transition Strategy*. *World Electric Vehicle Journal*, 16(3), 122.
- Salami, A., Afshar-Nadjafi, B., & Amiri, M. (2023). *A Two-Stage Optimization Approach for Healthcare Facility Location-Allocation Problems With Service Delivering Based on Genetic Algorithm*. *International Journal of Public Health*, 68, 1605015.
- SCB. (2023). *Advantages of Electric Vehicles: A New Ideal Choice for Eco-Conscious Drivers*. [Online], Available: <https://www.scb.co.th/th/personal-banking/stories/home-car/electric-vehicle.html>. access on October 21, 2023. (in Thai)
- Tarigan, M., Gaol, F. L., Warnars, H. L. H. S., Soewito, B., & Matsuo, T. (2021). *Supply chain optimization using genetic algorithm in industry manufacture: A systematic literature review*. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(16), 4141–4152.
- Transport Statistics Group. (2024). *The Total Number of Registered Vehicles as of December 31, 2023*. [Online], Available: <https://web.dlt.go.th/statistics/>. access on January 22, 2024. (in Thai)
- Vasantiaupapokagorn, N., Chitwattanakorn, T., & Bunyapo, K. (2023). *The trend and legal of electric vehicle conversion business in Thailand*, *Journal of Social Science and Cultural*, 7(5), 199–210. (in Thai)
- Zhao, L., & Xie, J. (2023). *Optimization of the supply chain network planning problem using an improved genetic algorithm*. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 14, 6.