

การปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้างเพื่อประยุกต์การวิเคราะห์ปัญหา
การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะโดยวิธีเมต้าฮิวริสติก

พงศกร เชนะศิริ

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
All rights reserved
เมษายน 2556

การปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้างเพื่อประยุกต์การวิเคราะห์ปัญหา
การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะโดยวิธีเมต้าฮิวริสติก

พงศกร เชนะศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
All rights reserved
เมษายน 2556

การปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้างเพื่อประยุกต์การวิเคราะห์ปัญหา

การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะโดยวิธีเมตาสวิสติก

พงศกร เหมนะศิริ


วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง

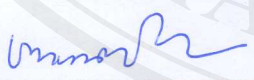
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุทธิ์ ชงไชย


.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปูน เทียงบุญธรรม


.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปูน เทียงบุญธรรม


.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยานนท์ หารรรษิณูโย


.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิทย์ แท้มทอง

26 เมษายน 2556

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปุ่น เทียงบุรณธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อนิรุทธิ์ ชงไชย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยานนท์ หารรรษิณูโย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิทย์ แด้มทอง ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ และอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้ จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ พี่ น้อง เพื่อนนักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่ช่วยกรุณาจัดพิมพ์ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี รวมทั้งญาติทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณพ่อ คุณแม่ คุณพี่และน้องๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ และที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาแก่ผู้เขียนในระดับปริญญาโท

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์บ้างไม่มากนักน้อยสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

พงศกร เขมนะศิริ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้างเพื่อประยุกต์
การวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ
โดยวิธีเมต้าฮิวริสติก

ผู้เขียน

นายพงศกร เชนนะศิริ

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร. ปุ่น เทียงบุญธรรม

บทคัดย่อ

จากสภาพการแข่งขันในปัจจุบันของอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงจำเป็นที่จะต้องลดต้นทุนลงเพื่อให้มีความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยได้มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการการทำงานก่อสร้าง ซึ่งในระบบงานก่อสร้างที่ใช้แนวความคิดแบบลีน (Lean Construction) ได้อธิบายถึงหลักการชุดหนึ่งในการระบุและกำจัดความสูญเปล่า (Waste/Muda) เพราะความสูญเปล่านั้น เป็นตัวทำให้ต้นทุนในงานก่อสร้างเพิ่มสูงขึ้น และ 1 ใน 7 ประการของความสูญเปล่า คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการขนส่ง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอ รูปแบบการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP) และวิธีเมต้าฮิวริสติก (Metaheuristic) เข้ามาประยุกต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในงานก่อสร้าง โดยการศึกษาจะได้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎีและปฐมภูมิ ถึงรูปแบบปัญหา VRP ที่มีอยู่จริงในงานก่อสร้าง เสนอเป็นบทสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหา ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ ปัญหาการขนส่งวัสดุก่อสร้างภายนอก (Outbound) และภายในสถานที่ก่อสร้าง (Inbound) ต่อมาได้ทำการเขียนโปรแกรมขึ้นโดยใช้ VBA เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยหาคำตอบ แล้วทดสอบเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Evolver จากนั้นนำมาใช้ กับโมเดลตัวอย่าง ซึ่งได้แก่ โมเดลตัวอย่างที่ 1 แก้ปัญหาการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากร้านวัสดุก่อสร้างไปยังสถานที่ก่อสร้างต่างๆ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่สามารถลดระยะทางของ

รถบรรทุกโดยรวมลงได้ ประมาณร้อยละ 2-12 คิดเป็นต้นทุนดำเนินการ 8,000 – 50,000 บาทต่อปี และโมเดลตัวอย่างที่ 2 แก้ปัญหาการจัดวางตำแหน่งทาวเวอร์เครน ซึ่งโมเดลตัวอย่างนี้สามารถระบุตำแหน่งของทาวเวอร์เครนให้สามารถทำงานครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้มากที่สุด จึงได้ออกแบบการทดลองไว้เพื่อลดความยาวบูมของทาวเวอร์เครนแต่ละตัวและการลดจำนวนทาวเวอร์เครน ซึ่งเมื่อปรับความยาวบูมเหลือ 45 เมตร ทั้ง 3 ตัว ผลลัพธ์ให้พื้นที่ที่ครอบคลุมลดลง ร้อยละ 7 แต่ต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนลด 1,530,000 บาทต่อโครงการ และเมื่อปรับลดจำนวนทาวเวอร์เครนจาก 3 ตัวเหลือ 2 ตัว ผลลัพธ์ให้พื้นที่ที่ครอบคลุมเท่าเดิม แต่ลดต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนลงได้ 3,150,000 บาทต่อโครงการต่อโครงการ

สรุปในงานวิจัยนี้ได้เห็นว่า รูปแบบปัญหา VRP มีอยู่จริงในงานก่อสร้างและมีความสำคัญ ได้เครื่องมือช่วยในการหาคำตอบที่มีคุณภาพ และสุดท้ายได้โมเดลตัวอย่าง ในการแก้ปัญหาทั้งภายนอกสถานที่ก่อสร้างและแก้ปัญหาภายในสถานที่ก่อสร้าง

Thesis Title	Productivity Improvement in Construction by Applying Vehicle Routing Problem Model and Metaheuristic Method
Author	Mr. Pongsakorn Chemanasiri
Degree	Master of Engineering (Construction Engineering and Management)
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dr. Poon Thiengburanathum

ABSTRACT

Of the current state of the construction industry is becoming more serious. Stakeholders of the construction industry have to reduce costs for a competitive advantage. By focusing on optimizing the construction process. The system constructions on the concept of lean describe a set of principles for identifying and eliminating waste/muda because this waste is the cost of construction increases. And 1 in 7 aspects of waste is the waste of the transport process. The purpose of this paper is to present an analytical model used vehicle routing problem (VRP) and Metaheuristic method. This was applied to improve efficiency the transport process in construction. This case study can be classified into two group problems. Subsequently conducted using VBA programming as a tool to help find the answer. Then tested against the Evolver software used. And design models that can be solved, the first model are solution to the problem of transportation from construction material store to the construction which can reduce the totals distance of the truck. Results that can reduce the total distance of the truck for about 2 to 12 percent, representing the cost from 8,000 to 50,000 per year. The second model is solution to the problem of tower crane position that has many limitations to the position which can cover the entire area in construction. Results of this study will be a tool to help decide on the transport

process in construction. The experiment was designed to reduce the long boom of the tower crane and tower crane reduction. Adjusting the boom length of 45 meters and the third the coverage results to a decrease of 7 percent, but reduce the rental costs Tower Residences 1,530,000 per project. And reduced number of Tower Cranes from 3 to 2, the results for the same coverage. But lower down the tower crane rental costs 3,150,000 per project.

In summary, this research suggests that a VRP problem exists in the construction and important. The tool helps to find the answer quality. Finally, the model example. To solve the problem outside the building and site construction.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	5
1.4 ขอบเขตการศึกษา	5
1.5 สมมุติฐาน	6
1.6 นิยามศัพท์	6
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ทฤษฎีดินและลื่นคอนสตรัคชัน	8
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP)	10
2.2.1 รูปแบบปัญหา VRP	11
2.2.2 ลักษณะรูปแบบของปัญหา VRP	13
2.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาแบบ VRP (NP-hard problem)	14
2.3 ทฤษฎีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics)	15
2.3.1 ปัญหาแบบ P, NP, NP-Completeness, NP-Hard, Strongly NP-Hard	15
2.3.2 วิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลของปัญหาเมตาฮิวริสติกส์	16
2.4 การหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ	20
2.4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)	24
2.4.3 สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function)	28
2.4.4 ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operation)	32
2.4.5 รหัสเทียมของวิธีการเชิงพันธุกรรม	47
2.5 เอกสารและผลงานที่เกี่ยวข้อง	48
2.5.1 ทฤษฎีลีนคอนสตันต์	48
2.5.2 ทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	49
2.5.3 ทฤษฎีเมตาฮิวริสติกโดยวิธีเชิงพันธุกรรม	52
บทที่ 3 กระบวนการดำเนินงานวิจัย	54
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	55
3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎี	57
3.3 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปฐมภูมิ	58
3.4 การทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ	59
3.5 สร้างโมเดลเพื่อแก้ปัญหการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง	66
3.6 สร้างโมเดลเพื่อแก้ปัญหการเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง	71
3.7 สรุปงานวิจัย	77
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	78
4.1 บทสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหาพร้อมเสนอแนวทางแก้ไขตามแต่ละโมเดล	78
4.2 การทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ	85
4.3 ผลลัพธ์ของโมเดลแก้ไขปัญหการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง (Outbound)	87
4.4 ผลลัพธ์ของโมเดลแก้ไขปัญหการขนส่งภายในสถานที่ก่อสร้าง	104

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	108
5.1 สรุปงานวิจัย	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบเครื่องมือ Evolver 5.5 และจาก VBA (Visual Basic for Application)	119
ภาคผนวก ข การเขียน MLO โดยโปรแกรมช่วยคำนวณตามวิธีเชิงพันธุกรรม โดย Visual Basic for Application (VBA)	129
ภาคผนวก ค ข้อมูลสำหรับโมเดล 1 และ 2	151
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือช่วยหาคำตอบ	181
ประวัติ	188
ผู้เขียน	

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	สรุปปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้างจากการทบทวนงานวิจัยและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ	2
2.1	รูปแบบปัญหา VRP	12
2.2	ปริมาณความต้องการของสินค้าชนิดหนึ่งทั้ง 7 สัปดาห์ ของตัวอย่าง 2.1	20
2.3	ค่าโครโมโซมของค่าความต้องการในตาราง 2.2	21
2.4	ค่าตารางการผลิตของค่าความต้องการในตาราง 2.2	21
2.5	ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ	21
2.6	ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมแบบใช้คำ/เครื่องหมายจริง	22
2.7	เวลาที่ใช้ในการผลิตของงาน 7 งานในตัวอย่าง 2.2	22
2.8	ตารางการผลิตของลำดับการผลิต B-E-D-G-F-A-C	22
2.9	ตารางการผลิตของโครโมโซม A-B-F-E-D-C-G	23
2.10	การสร้างประชากรเริ่มต้นของประชากรที่ 1	24
2.11	ผลการสร้างประชากรเริ่มต้นของประชากรที่ 2	25
2.12	ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมืองหน่วยเป็นกิโลเมตร	26
2.13	ค่าส่วนกลับของระยะทางในตาราง 2.12	27
2.14	ค่าความน่าจะเป็นสะสม หาดครั้งที่ 1	27
2.15	ค่าความน่าจะเป็นสะสม หาดครั้งที่ 2	28
2.16	ค่าความน่าจะเป็นสะสม หาดครั้งที่ 3	28
2.17	ระยะทางระหว่างเมืองต่าง หน่วยเป็นกิโลเมตร	29
2.18	ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-2-4-1-3-5	29
2.19	ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-1-4-1-3-5	30
2.20	ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-2-4-1-3-5	31
2.21	ส่วนกลับของ d_{ij}	32

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
2.22	รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมของโครโมโซม 7-2-3-4-5-6-1 และ 7-6-5-2-3-4-1	33
2.23	ค่าความน่าจะเป็นสะสมในการซ่อมแซมโครโมโซม 7-2-3-2-3-4-1	34
2.24	รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด	35
2.25	รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมของโครโมโซม 100100111 และ 01111000	35
2.26	รายละเอียดของยีนในโครโมโซมที่กำหนด	44
2.27	รายละเอียดการปรับเปลี่ยนยีนในตำแหน่งที่ 11 และ 17	44
3.1	รูปแบบของวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ (Crossover)	62
3.2	รูปแบบของวิธีการกลายพันธุ์ (Mutation)	64
3.3	แสดงการออกแบบโมเดลที่ 1 สำหรับแก้ปัญหา Outbound ทั้ง 3 กรณีศึกษา	67
3.4	แสดงกระบวนการดำเนินงานของโมเดลที่ 1	76
3.5	แสดงการออกแบบทดสอบโมเดลที่ 2 ในกรณีศึกษาการใช้งานโมเดลกับข้อมูลจริง	72
3.6	แสดงการออกแบบทดสอบโมเดล 2 กรณีศึกษา ปรับความยาวบวมของทาวเวอร์เครน	72
3.7	แสดงการออกแบบทดสอบโมเดล 2 กรณีศึกษา ปรับลดจำนวนทาวเวอร์เครน	73
3.8	แสดง กระบวนการดำเนินงานของโมเดลที่ 2	74
4.1	การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละโมเดล	80
4.2	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 220.0 กม.	87
4.3	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 215.5 กม.	88
4.4	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 215.5 กม.	89
4.5	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 375.1 กม.	89
4.6	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 355.7 กม.	90

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.7	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 355.7 กม.	91
4.8	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 231.2 กม.	91
4.9	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 224.6 กม.	92
4.10	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 224.6 กม.	93
4.11	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 222.1 กม.	93
4.12	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 217.7 กม.	94
4.13	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 217.7 กม.	95
4.14	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 256.2 กม.	96
4.15	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 225.1 กม.	96
4.16	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 225.1 กม.	97
4.17	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 210.4 กม.	97
4.18	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 196.2 กม.	98
4.19	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 196.2 กม.	98
4.20	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 130.4 กม.	99
4.21	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 121.8 กม.	100
4.22	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 121.8 กม.	100
4.23	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 183.5 กม.	101
4.24	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 161.9 กม.	101
4.25	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 161.9 กม.	102
4.26	ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 228.6 กม.	102
4.27	ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 216.2 กม.	103
4.28	ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 216.2 กม.	104
4.29	ตำแหน่งปัจจุบันของทาวเวอร์และพื้นที่ที่ครอบคลุม	104
4.30	ตำแหน่งของทาวเวอร์และพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษา ทางทาวเวอร์ 3 ตัว ความยาวมุม 60,60,35 เมตร	105

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.31	ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษา วางทาวเวอร์เครน 3 ตัว ความยาวบูม 45,45,45 เมตร	106
4.32	ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษา วางทาวเวอร์เครน 2 ตัว 60,60 เมตร	107
5.1	เปรียบเทียบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ	108
5.2	ผลลัพธ์ของโมเดลที่ 1	109

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	ความสัมพันธ์ของที่มาและปัญหาตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาในงานวิจัย	5
1.2	ขอบเขตปัญหาในงานวิจัย	6
2.1	ความสัมพันธ์ของ TSP และ VRP ประเภทต่างๆ	11
2.2	ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)	14
2.3	โครโมโซมพ่อแม่จากการเลือกเพื่อสร้างโครโมโซมลูก	36
2.4	ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อแม่ที่จะพัฒนาเป็นโครโมโซมลูกต่อไป	36
2.5	โครโมโซมลูกเริ่มต้น ก่อนแทรกด้วยยีนในโครโมโซมแม่	36
2.6	ตำแหน่งของโครโมโซมแม่ที่ถูกกำจัดออก	37
2.7	การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในโครโมโซมลูก	37
2.8	ตำแหน่ง 3-7 ของโครโมโซมแม่ที่จะพัฒนาเป็นโครโมโซมลูก	38
2.9	การแทรกยีนจากโครโมโซมพ่อเพื่อสร้างโครโมโซมลูก	38
2.10	ตำแหน่งในโครโมโซมพ่อที่ถูกเลือก	38
2.11	โครโมโซมลูกก่อนแทรกยีนด้วยโครโมโซมแม่	38
2.12	การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในโครโมโซมลูกตามตำแหน่งที่วางอยู่ในโครโมโซมลูก	39
2.13	การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมโดยใช้โครโมโซมแม่เป็นจุดเริ่มต้น	39
2.14	การวนรอบที่เริ่มจากเมืองในตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซมพ่อ	40
2.15	โครโมโซมลูกก่อนแทรกด้วยโครโมโซมแม่	41
2.16	การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในตำแหน่งที่ว่างในโครโมโซมลูก	41
2.17	การสร้างโครโมโซมลูกจากตำแหน่งการวนรอบโดยเริ่มจากเมือง 2 แต่ใช้โครโมโซมแม่เป็นจุดเริ่มต้น	41
2.18	ตำแหน่งการเลือกลำดับเมืองที่จะแลกเปลี่ยนโครโมโซม	42
2.19	การคัดลอกโครโมโซมลูกจากโครโมโซมพ่อแม่	42
2.20	การคัดลอกโครโมโซมลูกจากโครโมโซมพ่อแม่หลังการปรับเปลี่ยน	43

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
2.21	การปรับเปลี่ยนโครโมโซมแบบอินเวอร์ส	45
2.22	การเลือกตำแหน่งที่จะย้ายเพื่อแทรกที่ตำแหน่งอื่น (เมือง 3)	45
2.23	เส้นทางก่อนและหลังการแทรกเมือง 3 มาไว้ตำแหน่งระหว่างเมือง 5 และเมือง 1	45
2.24	การเลือกตำแหน่งที่จะย้ายเพื่อแทรกที่ตำแหน่งอื่น (เมือง 6 ถึง 7)	46
2.25	เส้นทางก่อนและหลังการย้ายเมือง 6-4-3-7 มาแทรกที่ตำแหน่งระหว่างเมือง 8 และเมือง 5	46
3.1	การดำเนินงานวิจัย	55
3.2	การสอบถามผู้ประกอบการร้านค้าวัสดุก่อสร้าง ทำให้ได้ปัญหาในการขนส่งจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้าง	58
3.3	การสอบถามวิศวกรในสถานที่ก่อสร้าง ทำให้ได้ปัญหาในการวางแผนเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้างเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง	59
3.4	จำนวนการวิวัฒนาการ (Trials) ที่ใช้ทดสอบเครื่องมือ	60
3.5	ขั้นตอนการถอดรหัสวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)	61
3.6	การเข้ารหัสโครโมโซม	62
3.7	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) ของโมเดล 1	63
3.8	โครโมโซมชุดใหม่ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	64
3.9	การกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Swap Mutation) ระหว่างโครโมโซมที่ 5 และ 9	65
3.10	การออกแบบการทดลองกับโมเดลตัวอย่างที่ 1	66
3.11	การทำงานของโมเดลที่ 1	67
3.12	แสดงการจัดเส้นทางเดินรถที่มีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง 1 แห่ง (กำหนด 0 แทนร้านค้า)	71
3.13	แสดงผลการจัดเส้นทางที่มีเส้นทางย่อยเกิดขึ้น (Sub-tour) (กำหนด 0 แทนร้านค้า)	71
3.14	แบบจำลองปัญหา และส่วนในการช่วยหาคำตอบสำหรับโมเดลที่ 2	74
3.15	แสดงพื้นที่ทำงานของทาวเวอร์เครน 1 ตัว	76

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป		หน้า
4.1	แสดงการแบ่งประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้าง	78
4.2	แสดงจำนวนปัญหาที่พบแบ่งตามกลุ่มปัญหา	79
4.3	แผนภูมิผลการหาคำตอบของ CVRP-Algorithm ตามจำนวนการวิวัฒนาการ (10 Trials)	85
4.4	แผนภูมิผลการหาคำตอบของ Evolver ตามจำนวนการวิวัฒนาการ (10 Trials)	86
4.5	การเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มของคำตอบกับเวลาเข้าหาคำตอบของ Evolver และ MLO	86
4.6	เปรียบเทียบคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ที่จำนวนรอบวิวัฒนาการ 20 และ 100	87

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากสภาพการแข่งขันในปัจจุบันของอุตสาหกรรมก่อสร้าง ทำให้การประมาณราคาก่อสร้างต้องทำจากพื้นฐานของอัตราผลผลิต (Productivity) ที่ผู้รับเหมาก่อสร้างสามารถทำได้ ซึ่งจะสะท้อนถึงต้นทุนและเวลางานก่อสร้างที่แท้จริง โดยผู้รับเหมาก่อสร้างที่สามารถทำงานด้วยอัตราผลผลิตที่สูงกว่าย่อมมีความได้เปรียบในการแข่งขันเหนือคู่แข่ง จากเหตุผลดังกล่าวการปรับปรุงด้านอัตราผลผลิตในงานก่อสร้างจึงเป็นเรื่องจำเป็นอย่างยิ่ง ต้องมีการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (วิสูตร 2546) อนึ่ง การปรับปรุงอัตราผลผลิตในประเทศไทยเป็นเรื่องปกติที่ทำกันในทุกภาคอุตสาหกรรมอยู่แล้ว แต่สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้นว่ายังไม่ค่อยมีการพัฒนาเท่าที่ควร เนื่องจากงานก่อสร้างมีความเฉพาะของปัญหาที่หลากหลาย มีความซับซ้อนของปัญหาสูง และเป็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไขด้วยการปรับปรุงกระบวนการทำงานอยู่เสมอ เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับแผนด้านการบริหารจัดการเป็นหลัก ซึ่งหากมีการนำเทคนิควิธีปรับปรุงอัตราผลผลิตไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ย่อมส่งผลดีต่อห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็น ด้านอัตราผลผลิตที่สูงขึ้น ต้นทุนงานก่อสร้างที่ต่ำลง รวมถึงการเพิ่มขีดความสามารถของผู้รับเหมาก่อสร้างในการแข่งขันในระดับสากลได้

เมื่อพิจารณาถึงปัญหาที่มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนของผู้ประกอบการ พบว่า ปัญหาด้านกระบวนการขนส่งวัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกสถานที่ก่อสร้าง (พอเจตน์ 2552, กิตติโชติ 2551, ยศศิริ 2549, ชนเศ 2543) และปัญหาการเลือกใช้เครื่องมือหรือยานพาหนะที่มีความเหมาะสมรวมไปถึงปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างชั่วคราวหรือเครื่องจักร (Mawdesley et. al., 2002) เป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างมากที่สุด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า หากมีการจัดการสถานที่ก่อสร้างให้เอื้อต่อการเคลื่อนย้ายจะเป็นการช่วยลดความสูญเปล่าในกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนและการใช้เวลาน้อยที่สุด สำหรับเคลื่อนย้ายหรือการโยกย้ายวัสดุก่อสร้างภายในสถานที่ก่อสร้าง หรือการจัดการ

เคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของทรัพยากรต่างๆ และให้ผลลัพธ์ที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ (ธรีนิ 2552)

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทำการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในจังหวัดเชียงใหม่ ได้ทราบถึงปัญหาหลักที่พบที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุน สามารถสรุปปัญหาในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ดังนี้

ตาราง 1.1 สรุปปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้างจากการทบทวนงานวิจัยและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ

ปัญหา	การทบทวนงานวิจัย	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ
1) ขาดการวางแผนที่ดีในการเคลื่อนย้ายวัสดุ	- (สถาพร 2553) การขาดการวางแผนที่ดีในการเคลื่อนย้ายวัสดุทำให้เกิดความล่าช้า และต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มสูงขึ้น - (ยศศิริ 2549) การขาดการวางแผนที่ดีในการเคลื่อนย้ายวัสดุทำให้เกิดการเดินรถเที่ยวเปล่า เป็นการสูญเสียต้นทุนการขนส่งอย่างเห็นได้ชัด	- มีเครื่องมือที่ช่วยในการติดตามรถ เช่น GPS และมีการจัดเก็บข้อมูลการขนส่งประจำปี แต่ยังไม่ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวางแผนการขนส่งในอนาคต - มีการเดินรถเที่ยวเปล่าจากกลับ เนื่องจากไม่มีการบริหารจัดการเดินรถให้นำสินค้าอื่น กลับมายังบริษัทได้
2) ขาดระบบการตัดสินใจในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ทำให้การตัดสินใจขึ้นกับความชำนาญของพนักงาน/คนงานเป็นหลัก	- (พอเจตน์ 2552) การขาดระบบการตัดสินใจในการเคลื่อนย้ายวัสดุทำให้ไม่สามารถควบคุมต้นทุนการขนส่งได้ ทำให้ไม่สามารถชี้วัดประสิทธิภาพได้ ทำให้ควบคุมเวลาการดำเนินงานได้ยาก และไม่ได้ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด	- ขาดเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในระบบการบริหารจัดการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ชัดเจนระหว่างผู้บริหารกับพนักงาน ทำให้พนักงานมักจะทำงานไปตามความชำนาญของแต่ละบุคคล
3) ไม่มีโมเดลการตัดสินใจที่ชัดเจนมากพอ เมื่อมีจุดรับส่งและกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น	- (พัฒน์พงษ์ 2552) โมเดลการตัดสินใจไม่มีความชัดเจนส่งผลให้ใช้เวลาในการตัดสินใจนานขึ้น และหาทางเลือกที่ดีที่สุดจึงทำได้ค่อนข้างยากมาก	- เมื่อจำนวนงานหรือจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น ความซับซ้อนของการวางแผนงานมีมากขึ้น แต่ระยะเวลาการตัดสินใจมีจำกัด ทำให้คุณภาพในการตัดสินใจลดลง

ตาราง 1.1 สรุปปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้างจากการทบทวนงานวิจัยและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ (ต่อ)

ปัญหา	การทบทวนงานวิจัย	การสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ
4) ผู้ประกอบการมีความสนใจในการบริหารจัดการต้นทุนโลจิสติกส์เกี่ยวกับงานก่อสร้าง แต่ยังขาดความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้อง ในการบริหารจัดการ	- (ปิยาภรณ์ 2553) ปัญหาสำคัญของการบริหารงานก่อสร้างคือ ผู้ประกอบการขาดความรู้ความเข้าใจในการบริหารจัดการต้นทุนโลจิสติกส์ ทำให้มี คัดค้านส่งเพิ่มหรือบวกรวมไว้ในราคาของสินค้าในอัตราที่ไม่เหมาะสม และไม่ทราบต้นทุนค่าดำเนินการที่แท้จริง ขาดการพัฒนา	- การกำหนดค่าขนส่งในแต่ละครั้งยังคงอ้างอิงค่าขนส่งโดยการประมาณแบบเดิมที่เคยใช้ โดยไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่แท้จริงที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ ราคาน้ำมัน ระยะทางขนส่ง เป็นต้น -การกำหนดราคาสินค้า ผู้ประกอบการจะทำการบวกต้นทุนการขนส่งเข้าไปในสินค้าแต่ละชนิด โดยไม่ได้มีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยสินค้าที่แท้จริง
5) คุณภาพในการตัดสินใจยังไม่ดีพอต่อการบริหารการใช้ทรัพยากรให้มีความเหมาะสม	- (พอเจตน์ 2552) ไม่มีการวางแผนระบบการขนส่งและวางแผนการใช้ งานอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่เหมาะสม ทำให้การใช้ยานพาหนะมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น จนต้นทุนการดำเนินงานเพิ่มสูงขึ้น และสิ้นเปลืองทรัพยากร	- มีการใช้ยานพาหนะ และเครื่องมืออำนวยความสะดวกมากหรือน้อยเกินไป
6) การสื่อสารในการทำงานไม่ชัดเจน ทำให้เกิดความผิดพลาด	- (ปิยาภรณ์ 2553) การสื่อสารในการทำงานไม่ชัดเจน ทำให้เกิดความผิดพลาดทำให้ ส่งผิดที่หรือไม่สามารถขนส่งสินค้าลงจากยานพาหนะได้ เสียเวลา	- เกิดการส่งของผิดพลาด - เกิดความผิดพลาดในการทำงาน - บางครั้งรถขนส่งสินค้าไม่สามารถเข้าถึงหน้างานได้ด้วยความจำกัดในด้านลักษณะพื้นที่

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทำการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมก่อสร้างในจังหวัดเชียงใหม่พบว่า อุตสาหกรรมก่อสร้างมีความสูญเสียเปล่าเกิดขึ้นในกระบวนการขนส่ง เช่น ขาดเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในระบบการบริหารจัดการเคลื่อนย้ายวัสดุที่ชัดเจน เกิดการขนส่งผิดพลาดเนื่องจากปัญหาการสื่อสาร เกิดการวิ่งรถเที่ยวเปล่า ไม่มีโมเดลการบริหารจัดการที่ยืดหยุ่นเพื่อการบริหารจัดการขนส่งในแต่ละกรณี และไม่มีการวางแผนการบริหารการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสม เนื่องจากยังไม่มี การคำนึงถึงการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ (Utilization) จากการใช้

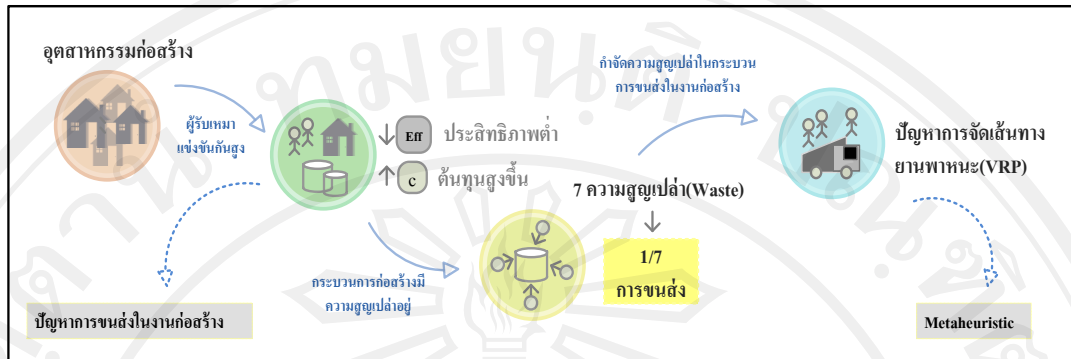
เครื่องมือหรือยานพาหนะ รวมไปถึงปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างชั่วคราวหรือจุดวางเครื่องจักรขนาดใหญ่ อาทิเช่น จุดวางของชั่วคราว หรือทาวเวอร์เครน (Tower Crane) เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ปัญหาการตัดสินใจในการบริหารการขนส่งเพื่อลดต้นทุนการขนส่งในงานก่อสร้าง คือ ปัญหาที่มีความสำคัญในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยจำแนกปัญหาออกเป็น 2 แบบคือ

- 1) ปัญหาในด้านการขนส่งสินค้าจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้างซึ่งพบว่าต้นทุนส่วนใหญ่อยู่ที่การขนส่งเป็นหลัก
- 2) ปัญหาในด้านการวางเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้างเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างพบว่าคุณภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรยังไม่มีเหมาะสม

ในระบบงานก่อสร้างที่ใช้แนวความคิดแบบลีน (Lean Construction) เป็นระบบการบริหารจัดการต้นทุนแบบหนึ่งที่ยิมนำเข้ามาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารงานก่อสร้าง (พาสิตี และกมลวัลย์, 2542) ซึ่งความเกี่ยวข้องในหลักการของลีนกับงานก่อสร้างนั้น ได้ถูกคิดแปลงมาจากแนวความคิดกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตที่เรียกว่า Lean Manufacturing ซึ่งหมายถึง การใช้หลักการชุดหนึ่งในการระบุและกำจัดความสูญเปล่า เพื่อส่งมอบสินค้าที่ลูกค้าต้องการได้อย่างถูกต้องและทันเวลา หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ลีน (Lean) คือ ประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งถือว่าความสูญเปล่าเป็นตัวทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตยาวนานขึ้น และควรมีการนำเทคนิคต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดความสูญเปล่าออกไป โดยมุ่งเน้นกำจัดความสูญเสียนั้น (Waste/Muda) ทั้ง 7 ประการ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ได้แก่ 1) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น 2) การรอคอย 3) กระบวนการที่ขาดประสิทธิผล 4) การผลิตของเสียและแก้ไขงานเสีย 5) การผลิตมากเกินไป 6) การเก็บวัตถุดิบคงคลังที่ไม่จำเป็น และ 7) การขนส่ง

ซึ่งงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ปัญหาด้านกระบวนการขนส่งวัสดุก่อสร้างและสร้างโมเดลช่วยตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะและการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาตามรูปแบบปัญหาในการขนส่งวัสดุก่อสร้างทั้งภายในและภายนอกสถานที่ก่อสร้าง โดยผู้วิจัยจะทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ด้วยวิธี Meta-heuristic โดยเน้นการใช้ Genetic Algorithm (GA) ในการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาต่อไป ดังรูป 1.1



รูป 1.1 ความสัมพันธ์ของที่มาและปัญหาตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาในงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

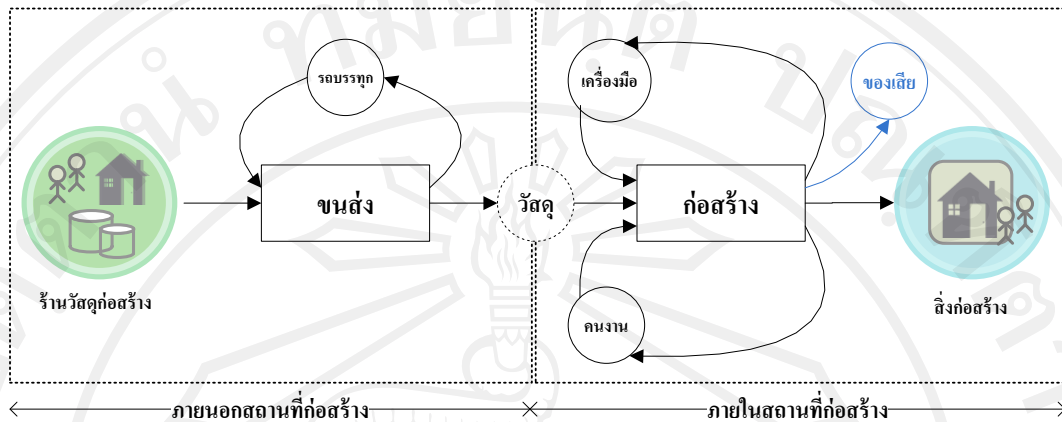
- 1) เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้าง และสร้างโมเดลโดยการประยุกต์การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP)

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับการจัดการวัสดุก่อสร้างในงานก่อสร้างได้ โดยสามารถลดระยะทางการขนส่ง ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลง
- 2) สามารถประยุกต์การวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างในงานก่อสร้าง
- 3) ได้โมเดลในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมให้กับผู้ประกอบการและสถานที่ก่อสร้าง ให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้าง และสามารถเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อพัฒนาโมเดลต่อไป

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1) งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและแก้ไขปัญหา CVRP ของงานก่อสร้างเท่านั้น โดยจะทำการวิเคราะห์กิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง และการขนส่งโดยไม่ศึกษาเงื่อนไขของเวลา แต่เน้นที่การศึกษาเงื่อนไขของระยะทางที่ใช้เท่านั้น



รูป 1.2 ขอบเขตปัญหาในงานวิจัย

2) การวิเคราะห์กิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างภายในสถานที่ก่อสร้าง จะศึกษา กับอุปกรณ์ทาวเวอร์เครน (Tower crane) เท่านั้น

1.5 สมมุติฐาน

ปัญหาที่มีอยู่ในงานก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนมีอยู่หลายตัวด้วยกัน ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ ปัญหาการขนส่งวัสดุก่อสร้าง งานวิจัยชิ้นนี้จึงนำทฤษฎีการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) มาประยุกต์แก้ไขด้วยวิธี Meta-heuristic โดยเน้นการใช้ Genetic Algorithm (GA) ทำการสร้างโมเดลเพื่อแก้ปัญหา มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

- 1) โมเดลที่ 1 สามารถแก้ปัญหาในด้านการขนส่งสินค้าจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้างสามารถหาเส้นทางขนส่งที่มีระยะทางขนส่งรวมสั้นที่สุดได้
- 2) โมเดลที่ 2 สามารถแก้ปัญหาในด้านการวางแผนเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้างเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างให้ได้ตำแหน่งมีความเหมาะสมที่สุด

1.6 นิยามศัพท์

Lean คือ ปรัชญาในการผลิต ซึ่งถือว่าความสูญเปล่าเป็นตัวทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตยาวนานขึ้น และควรมีการนำเทคนิคต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดความสูญเปล่าออกไป โดยมุ่งเน้นกำจัดความสูญเสียน (Waste/Muda) ทั้ง 7 ประการ

Inbound คือ การบริหารการเคลื่อนไหวมูลค่าภายในพื้นที่ทำงาน

Outbound คือ การบริหารการเคลื่อนไหวสินค้าภายนอกพื้นที่ทำงาน

Vehicle Routing Problem:VRP (ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ) คือ รูปแบบของปัญหาการขนส่งและกระบวนการแก้ไขปัญหามาเพื่อให้ต้นทุนลดลง

Metaheuristic (เมตาฮีริสติก) หรือ วิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุมีผล คือ วิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ ได้คำตอบที่มีคุณภาพดีเพียงพอต่อการวางแผนต่าง ๆ และช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแก้ได้ยาก

Genetic Algorithm (วิธีเชิงพันธุกรรม) คือ วิธีการหาคำตอบที่อาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยทำการเลียนแบบวิธีการผสมทางพันธุกรรมที่เรียกว่า การคัดเลือกตามธรรมชาติ นั่นคือ สายพันธุ์ที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่รอดต่อไป มีการปรับเปลี่ยนสายพันธุ์เพื่อให้เหมาะกับการดำรงอยู่ยิ่งขึ้น และส่งต่อวิวัฒนาการนั้นจากรุ่นสู่รุ่น

บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมหลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งจากภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวคิดอ้างอิงในการปรับปรุงประสิทธิภาพงานก่อสร้างโดยได้มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) เข้ามาช่วยวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาการบริหารงานก่อสร้างในส่วนของการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งนอกจากการนำหลักการของ VRP เข้ามาใช้แล้ว ยังมีหลักการอื่นๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพในงานก่อสร้างโดยใช้แนวความคิดแบบลีน และการแก้ปัญหาคัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง

โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพงานก่อสร้างเพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

- ทฤษฎีลีนคอนสตรัคชัน (Lean Construction)
- ทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP)
- ทฤษฎีเมตาฮิวริสติก (Meta Heuristic) โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

2.1 ทฤษฎีลีนและลีนคอนสตรัคชัน

ลีน (Lean) ความหมายตามพจนานุกรม หมายถึง “พอม” หรือ “ปราศจากส่วนเกิน” ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทผลิตรถยนต์ขนาดใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น ที่ต้องการบริหารจัดการและดำเนินการตั้งแต่ การออกแบบ การจัดการกระบวนการ ระบบ ทรัพยากร และมาตรฐานต่างๆ อย่างเหมาะสม โดยพยายามกำจัดความสูญเปล่า (Waste) หรือส่วนเกินที่ไม่จำเป็นให้มัน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการกำจัดความสูญเปล่าเหล่านั้นทีละขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) ในช่วงแรกเทคนิคลีนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต (Lean Manufacturing) และต่อมาได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งในธุรกิจก่อสร้างเองได้ประยุกต์เอาเทคนิคลีนเข้ามาช่วยในการกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการก่อสร้างเช่นกัน

ลีน คอนสตรัคชั่น (Lean Construction) เป็นการประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อมาปรับใช้กับธุรกิจก่อสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ต้องการปรับปรุงเทคนิคงานก่อสร้างและวิธีการบริหารโครงการเพื่อให้ได้สิ่งปลูกสร้างที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าและมีผลตอบแทนให้แก่ธุรกิจอย่างเหมาะสม โดยในการประยุกต์ใช้แนวความคิดแบบลีนในงานก่อสร้างนั้น สามารถทำได้ในทุกขั้นตอนของงานก่อสร้าง ดังนี้

- **ขั้นตอนการออกแบบโครงการก่อสร้าง** ในการประยุกต์เทคนิคลีนในขั้นตอนการออกแบบ ต้องมีความชัดเจนในคุณลักษณะที่ลูกค้าต้องการเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงภายหลัง ซึ่งนับเป็นการสูญเสียประการหนึ่ง โดยอาจประยุกต์ใช้ เทคนิคการแสดงผลต่างๆ เช่น ภาพเสมือนจริง (Virtual Reality) หรือแบบสามมิติ (3D CAD) ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) เพื่อทำความเข้าใจในแบบและออกแบบโดยเน้นไปที่คุณค่าของแต่ละฟังก์ชันการใช้งาน และผู้รับเหมาผู้จัดหารวมทั้งผู้จำหน่ายวัสดุ ควรมีส่วนเกี่ยวข้องในการเข้ามามีส่วนร่วมในขั้นตอนการออกแบบ และสนับสนุนการทำงานร่วมกัน โดยมีการยึดมาตรฐานการออกแบบการประกอบติดตั้ง (Pre-assembly) ให้เป็นที่เข้าใจกันเพื่อควบคุมคุณภาพ ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายได้ดียิ่งขึ้น

- **ขั้นตอนการจัดเตรียมทรัพยากร** เนื่องจากในการจัดหาวัสดุอุปกรณ์เป็นขั้นตอนที่ละเอียดและใช้เวลามาก จึงมักเกิดปัญหาไม่สามารถจัดเตรียมทรัพยากรที่ต้องการได้ทันทำให้ต้องซื้อวัสดุที่ไม่จำเป็นไว้ก่อน ซึ่งหากนำหลักการของลีนเข้ามาประยุกต์ใช้ จะต้องเก็บเฉพาะวัสดุที่ต้องการใช้ในช่วงเวลาระหว่างขั้นตอนการดำเนินงานเท่านั้น โยจะต้องมีการซื้อหาวัสดุจากผู้รับเหมาที่เชื่อถือได้เพื่อให้มีการจัดหาวัสดุให้ตรงตามความต้องการ ต้องจัดการวัสดุแบบ JIT (Just In Time) และต้องมีความชัดเจนของค่าใช้จ่ายในสินค้าแต่ละประเภท เพื่อให้สามารถประกันการตัดสินใจบนพื้นฐานความต้องการของลูกค้าได้

- **ขั้นตอนการวางแผนงานก่อสร้าง** เป็นการบริหารโครงการให้มีประสิทธิภาพ มีกำหนดเสร็จเป็นไปตามแผนงานและงานมีคุณภาพ โดยแผนงานที่ดีจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านทรัพยากร กฎข้อบังคับ และสภาพหน้างาน โดยต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการทำงาน (Benchmarking) เพื่อกำหนดแนวทางในการทำงาน ต้องระบุสายงานวิกฤติอย่างชัดเจนซึ่งจะเป็นหลักประกันให้งานเสร็จทันเวลา

- **ขั้นตอนการก่อสร้าง** เป็นการใช้ทรัพยากรที่จัดเตรียมไว้เพื่อทำการก่อสร้าง ต้องมีการประยุกต์ใช้เทคนิคลีนเพื่อใช้ในการสื่อสารให้มีความชัดเจน และเข้าใจตรงกัน หากมีการสื่อสารที่ไม่ชัดเจนจะนำมาซึ่งการสูญเสียเนื่องเกิดการทำงานซ้ำ รายงานประจำวันควรมีการนำเสนอประมวลผลได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้สามารถตัดสินใจเรื่องอื่น ๆ ต่อไปได้อย่างรวดเร็ว บุคลากรควรมี

การอบรมความเชี่ยวชาญในงานที่ทำจึงจะสามารถทำงานร่วมกันเป็นทีมเพื่อไปสู่เป้าหมายเดียวกันได้

จะเห็นได้ว่า หลักการของลีนนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้ตลอดกระบวนการตั้งแต่ ขั้นตอนการออกแบบไปจนถึงขั้นตอนการก่อสร้าง แต่ในขั้นตอนของการจัดเตรียมทรัพยากรนั้นนับเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการทำงานก่อสร้าง ดังนั้นหากสามารถกำจัดความสูญเปล่าที่มีอยู่ออกไปก็สามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออกไปได้ย่อมส่งผลดีต่อการลงทุนขยายฐานธุรกิจเพิ่มเติมเพียงเพื่อให้ได้ผลกำไรมากขึ้น (พาสีร์และกมลวัลย์, 2542) ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเทคนิคลีน เข้าไปช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่ไม่จำเป็นออก โดยจะพิจารณาการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังสถานที่ก่อสร้างและการขนย้ายวัสดุก่อสร้างภายในสถานที่ก่อสร้างในขั้นตอนการนำ Lean เข้าไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างจะอธิบายในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP)

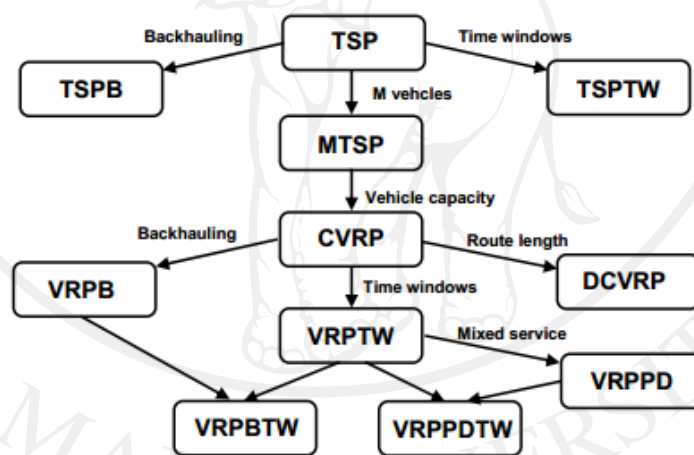
ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) เป็นปัญหาที่รู้จักกันดีซึ่งพบมากในหมวดหมู่ของปัญหาด้านโลจิสติกส์ ซึ่งอาจจะหมายถึง การขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิต (Supplier หรือ Vendor) ไปยังโรงงานที่ผลิตสินค้า (Factory plant) หรือ การขนส่งสินค้าไปยังคลังเก็บสินค้า (Warehouse) หรือลูกค้า (Customer) บริษัทต้องการหาวิธีการขนส่งสินค้าและการกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของบริษัท การลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานนั้นอาจจะประกอบไปด้วย การใช้ยานพาหนะที่มีจำนวนน้อยลง การใช้ระยะทางในการขนส่งที่น้อยลง การลดระยะเวลาความล่าช้าในการขนส่งสินค้า และการเพิ่มระดับการให้บริการในการขนส่ง เป็นต้น (ณกร, 2548)

แต่ในอีกความหมายหนึ่ง VRP ได้ถูกนิยามไว้ว่า“ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization) และปัญหาการตัดสินใจที่ตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม (Integer Programming Problem) จากจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการโดยยานพาหนะ VRP เป็นปัญหาที่สำคัญในด้านการขนส่ง การกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ โดยบริบทส่วนใหญ่จะเป็นการที่จัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่ได้สั่งสินค้านั้นไว้ และแน่นอนที่สุดเป้าหมายก็เพื่อลดค่าใช้จ่ายของการกระจายสินค้า ซึ่งมีวิธีแก้ไขปัญหามากมายที่ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการที่ดีที่สุด แต่วิธีการทั้งหมดนั้นก็ยังไม่สามารถหาคำตอบที่น้อยที่สุดสำหรับฟังก์ชันต้นทุน เพราะความยากและความซับซ้อนในการคำตอบสำหรับปัญหาการตัดสินใจ (Computationally Complex)

จึงสามารถสรุปได้ว่า VRP คือ รูปแบบของปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะ เป็นปัญหาในการตัดสินใจในการขนส่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยต้องตัดสินใจเพื่อเลือกยานพาหนะและเส้นทางต้นทุนที่น้อยที่สุดหรือจะเรียกว่า VRP คือ “ชุดเครื่องมือในการแก้ปัญหาการขนส่ง” ซึ่งจะประกอบไปด้วยการระบุปัญหาที่เกิดขึ้น ออกแบบการแก้ไขปัญหา และวิธีการที่นำมาแก้ไข

2.2.1 รูปแบบปัญหาของ VRP

รูปแบบของปัญหา VRP นั้น มีความหลากหลายทั้งตัวแปรและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ซึ่งการจะแก้ปัญหา VRP ในแต่ละกรณีนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผลลัพธ์ที่ต้องการเป็นสำคัญ โดยปัญหา VRP จัดเป็นปัญหาทั่วไปของการเดินทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem, TSP) และเป็นปัญหาที่สำคัญ (Combinatorial Optimization Problem, COP) จากงานวิจัยของ Toth and Vigo (2001) ได้แสดงความสัมพันธ์ของปัญหาแต่ละประเภทดัง



รูป 2.1 ความสัมพันธ์ของ TSP และ VRP ประเภทต่างๆ

จากแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของปัญหา TSP และ VRP จะเห็นได้ว่า ปัญหา VRP นั้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหา TSP โดยในการจำแนกปัญหา VRP นั้นจะมีเงื่อนไขการจำแนกเปลี่ยนไปตามตัวแปรและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน สามารถสรุปการจำแนกรูปแบบปัญหา VRP ไว้ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 รูปแบบปัญหา VRP

รูปแบบปัญหา	ชื่อย่อ	ความหมาย
VRP with Capacity Restriction	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า
VRP with Time Window	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลา
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
VRPB with Time Window	VRPBTW	VRPB แบบมีกรอบเวลา
VRP Pickup and Delivery	VRPPD	VRP แบบมีการรับและส่งสินค้า
VRPPD with Time Window	VRPPDTW	VRPPD แบบมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Stochastic VRP	SVRP	VRP แบบมีความไม่แน่นอน

จากรูปแบบปัญหา VRP จะเห็นได้ว่ารูปแบบปัญหา VRP นั้นมีความหลากหลาย ส่วนปัญหา VRP ที่เป็นที่สนใจศึกษาอย่างกว้างขวางและได้ถูกประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาในอีกหลายสายงาน คือ VRP แบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า (Capacitated Vehicle Routing Problem, (CVRP)) VRP แบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows, (VRPTW)) และ VRP แบบมีการรับและส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivery, (VRPPD)) โดยรูปแบบการแก้ปัญหาของ VRP ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) **Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)** เป็นการแก้ปัญหา VRP แบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า สมการเป้าหมาย (Objective Function) คือ การหาระยะทางที่ใช้ในการขนส่งน้อยที่สุดและมีข้อจำกัด (Constraints) คือ จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนรถ, มีเที่ยวรถบรรทุกคันเดียวที่ส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ดีที่สุดและไม่สามารถบรรทุก

2) **Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)** เป็นการแก้ปัญหา VRP แบบมีขอบข่ายเวลาในการรับส่งสินค้า สมการเป้าหมาย (Objective Function) คือ การหาระยะเวลาที่น้อยที่สุด มีข้อจำกัด (Constraints) คือ จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนรถบรรทุก, จำนวนรถหนึ่งคันต้องรับสินค้าจากลูกค้าและเดินทางกลับมายังคลังสินค้าเดิมเมื่อส่งสินค้าครบทั้งหมด, ต้องป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Sub-Tour), ไม่บรรทุกเกินกำหนด, เวลาที่รถบรรทุกแต่ละคันใช้ไม่เกินเวลาที่มากที่สุด

3) **Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivery (VRPPD)** เป็นการแก้ปัญหา VRP แบบมีการรับและส่งสินค้าของรถขนส่ง สมการเป้าหมาย (Objective Function)

คือ การหาระยะทางขนส่งที่สั้นที่สุด มีข้อจำกัด (Constraints) คือ ความจุสินค้าต้องไม่เกินความจุของคลังสินค้า, รถบรรทุกเดินทางไปยังลูกค้าแต่ละรายได้เพียงครั้งเดียวหรือเพียง 1 คันเท่านั้น, จำนวนพาหนะเท่ากับจำนวนลูกค้า (เส้นทาง), การรับ-ส่งสินค้าเท่ากับจำนวนสินค้าที่ลูกค้าต้องการให้รับ-ส่งเท่านั้น และจำนวนสินค้าที่รับมารวมกับจำนวนสินค้าที่เหลือบนรถในแต่ละจุดต้องไม่เกินความจุรถ

2.2.2 ลักษณะรูปแบบปัญหาของ VRP

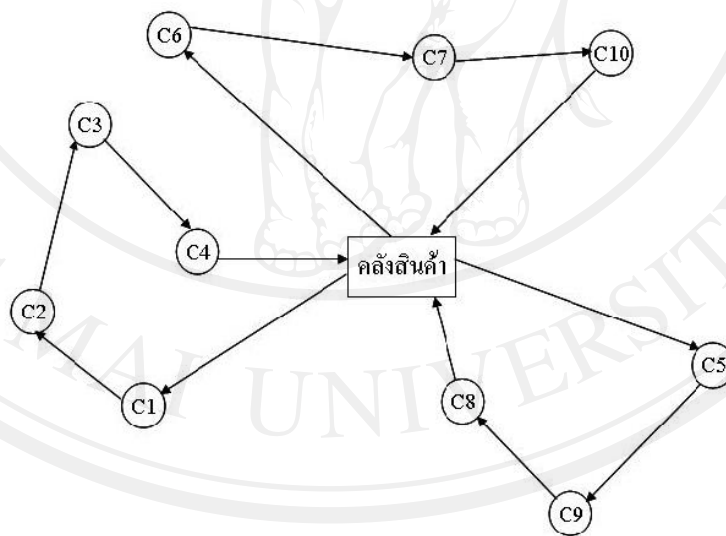
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของความยากง่ายของลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหา บางปัญหาจะมีจำนวนของตัวแปรมากขึ้น หากมากเกินไปอาจจะทำให้ระยะเวลาในการคำนวณตามลำดับการคำนวณนั้นใช้เวลานานเป็นระยะเวลาหลายปี หรืออาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้หากใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ PC ธรรมดา ปัญหา NP-Hard (Non-Polynomial-Hard) ได้แก่ ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาการหาเส้นทางเดินทางของพนักงานขาย และปัญหาการจัดลำดับการผลิต ส่วน ลำดับการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่มีความซับซ้อนหรือความยาก (Complexity) เป็นแบบ โพลิโนเมียล (Polynomial) หมายความว่า เมื่อจำนวนมากขึ้นความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณก็จะมากขึ้น แต่จะมากขึ้นแบบโพลิโนเมียล เช่น เมื่อขนาดของปัญหาวัดอย่างเป็น n และวิธีการคำนวณใดๆ ที่มีระยะเวลาในการคำนวณเป็น n^2 จะเรียกว่า Polynomial Algorithm ในขณะที่หากความซับซ้อนทางเวลาที่ใช้ในการคำนวณตามลำดับขั้นใดๆ เพิ่มขึ้นแบบอื่นๆ ที่มีลักษณะการเพิ่มอย่างรวดเร็ว เช่น 2^n จะเรียกลำดับการคำนวณนี้ว่า Non- Polynomial Algorithm เช่นลำดับการแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้เพื่อหาลำดับการผลิตสินค้า 10 ชนิด หากวิธีการดังกล่าวเป็น Polynomial Algorithm จะมีความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณเป็น 10^2 หรือ 100 แต่หากวิธีการเป็นแบบ Non-Polynomial Algorithm จะมีระยะเวลาในการคำนวณเป็น 2^{10} มีค่า 1024 ซึ่งมีความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณมากกว่าแบบแรกอยู่ถึง 10 เท่า

ปัญหาใดที่ยังไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทางเวลาเป็น Polynomial Time จะเรียกปัญหานี้ว่า NP-Problem หรือปัญหาเอ็นพีในบรรดาปัญหา NP เอง สามารถแยกย่อยเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ NP-Complete, NP-Hard, Strongly NP-Hard หากสามารถเดาคำตอบของปัญหาใดปัญหาหนึ่งไว้ แล้วถามว่าคำตอบนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้น ๆ หรือไม่ วิธีการหาคำตอบนี้จะถูกเรียกว่า ปัญหาการตัดสินใจ (Decision Problem) หากวิธีการตรวจสอบคำตอบนั้นว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ โดยวิธีการตรวจสอบนี้มีความซับซ้อนทางเวลาเป็นแบบโพลิโนเมียล และวิธีการนั้นสามารถใช้ตรวจสอบปัญหา NP-Complete อื่น ๆ ได้ในระดับ Time Complexity เดียวกันปัญหาการตัดสินใจนั้นจะถูกเรียกว่า NP-Complete หากเป็นปัญหาที่ยังไม่มีวิธีการตรวจสอบคำตอบที่เป็นโพลิโนเมียล แต่สามารถระบุขอบเขตของคำตอบได้ ปัญหานี้จะถูก

เรียกว่า NP-Hard และหากปัญหาใดที่แม้จะมีขอบเขตของคำตอบให้แต่ยังไม่มีวิธีการตรวจสอบว่าคำตอบที่เดานั้นถูกหรือไม่ ปัญหานั้นจะถูกจัดเป็นประเภท Strongly NP-Hard

2.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาแบบ VRP (NP-hard problem)

สำหรับปัญหา VRP จะประกอบด้วยรถขนส่งจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทางหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า VRP ประกอบด้วย TSP ที่มีความเป็นอิสระต่อกันจำนวนหลายเส้นทางเพราะฉะนั้น VRP จึงถูกจัดเป็นปัญหาแบบเอ็นพี-สมบูรณ์โดยมีต้องมีการพิสูจน์ทางทฤษฎีตัวอย่างปัญหาจริงที่สามารถจัดเป็น VRP ได้แก่การจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียนการส่งไปรษณีย์การส่งหนังสือพิมพ์การขนส่งน้ำมันหรือการขนส่งสินค้าทั่วไปโดยมีเงื่อนไขสำคัญคือรถขนส่งทุกคันต้องออกจากคลังสินค้าเพื่อบริการลูกค้าให้ครบทุกจุดและกลับมายังคลังสินค้าเดิมทุกครั้งโดยจะต้องส่งสินค้าให้ครบตามจำนวนความต้องการของลูกค้าภายใต้ขีดจำกัดความสามารถในการบรรทุกสินค้าโดยทั่วไปลักษณะของปัญหา VRP จะแสดงในรูปแบบของทิศทางการเดินรถจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า ณ จุดต่าง ๆ แสดงตัวอย่างดังรูป 2.2



รูป 2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับทางานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)

โครงสร้างของรูปแบบปัญหาแทนด้วย $G = (V, A)$ โดยที่ $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ แทนเซตของปม (Nodes) v_1 แทนคลังสินค้าและ v อื่น ๆ แทนตำแหน่งของลูกค้าแต่ละรายและ A แทนเส้นเชื่อม (Arc) ระหว่างคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละจุดและระหว่างลูกค้า v_i ไปยังลูกค้า v_j โดยที่ $i \neq j$

2.3 ทฤษฎีเมตาฮีริสติก (Metaheuristics)

ปัญหาการตัดสินใจ (Decision Making Problem) คือ ปัญหาที่ต้องทำการตัดสินใจในทางการวิจัยและดำเนินการแล้ว ปัญหาการตัดสินใจประกอบไปด้วย คำจำกัดความทั่วไปของตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ในปัญหา (Variables and Parameters) และคุณสมบัติของคำตอบที่ต้องการจากปัญหานั้น เช่น ปัญหาการวางแผนการผลิต ปัญหาการขนส่ง ปัญหาด้านโลจิสติกส์ เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหามาตรฐานที่ใช้ในการพัฒนาวิธีการหาคำตอบใหม่ ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันเวลาที่ใช้ในการคำตอบลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีของวิธีเมตาฮีริสติกนั้นก็สามารถวัดได้จากคุณภาพของคำตอบและความสามารถในการหาคำตอบภายในระยะเวลาอันสั้น

2.3.1 ปัญหาแบบ P, NP, NP-Completeness, NP-Hard, Strongly NP-Hard

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของความยากง่ายของลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหา บางปัญหาจะมีจำนวนของตัวแปรมากขึ้น หากมากเกินไปอาจจะทำให้ระยะเวลาในการคำนวณตามลำดับการคำนวณนั้นใช้เวลานานเป็นระยะเวลาหลายปี หรืออาจจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้หากใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ PC ธรรมดา ปัญหา NP-Hard (Non-Polynomial-Hard) ได้แก่ ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาการหาเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย และปัญหาการจัดลำดับการผลิต ส่วน ลำดับการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่มีความซับซ้อนหรือความยากหรือ Complexity เป็นแบบ โพลีโนเมียล (Polynomial) หมายความว่า เมื่อจำนวนมากขึ้นความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณก็จะมากขึ้น แต่จะมากขึ้นแบบ โพลีโนเมียล เช่น เมื่อขนาดของปัญหาวัดอย่างเป็น n และวิธีการคำนวณใดๆ ที่มีระยะเวลาในการคำนวณเป็น n^2 จะเรียกว่า Polynomial Algorithm ในขณะที่หากความซับซ้อนทางเวลาที่ใช้ในการคำนวณตามลำดับขั้นใดๆ เพิ่มขึ้นแบบอื่นๆ ที่มีลักษณะการเพิ่มอย่างรวดเร็ว เช่น 2^n จะเรียกลำดับการคำนวณนี้ว่า Non- Polynomial Algorithm เช่น ลำดับการแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้เพื่อหาลำดับการผลิตสินค้า 10 ชนิด หากวิธีการดังกล่าวเป็น Polynomial Algorithm จะมีความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณเป็น 10^2 หรือ 100 แต่หากวิธีการเป็นแบบ Non-Polynomial Algorithm จะมีระยะเวลาในการคำนวณเป็น 2^{10} มีค่า 1024 ซึ่งมีความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณมากกว่าแบบแรกอยู่ถึง 10 เท่า

ปัญหาใดที่ยังไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทางเวลาเป็น Polynomial Time จะเรียกปัญหานั้นว่า NP-Problem หรือปัญหาเอ็นพีในบรรดาปัญหา NP เอง สามารถแยกย่อยเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ NP-Complete, NP-Hard, Strongly NP-Hard หากสามารถเดาคำตอบของปัญหาใดปัญหาหนึ่งไว้ แล้วถามว่าคำตอบนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้นๆ หรือไม่ วิธีการหาคำตอบนี้จะถูกเรียกว่า ปัญหาการตัดสินใจ (Decision Problem) หากวิธีการตรวจสอบคำตอบนั้นว่า

เป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ โดยวิธีการตรวจสอบนี้มีความซับซ้อนทางเวลาเป็นแบบโพลิโนเมียล และวิธีการนั้นสามารถใช้ตรวจสอบปัญหา NP-Complete อื่นๆ ได้ในระดับ Time Complexity เดียวกัน ปัญหาการตัดสินใจนั้นจะถูกเรียกว่า NP-Complete หากเป็นปัญหาที่ยังไม่มีวิธีการตรวจสอบคำตอบที่เป็นโพลิโนเมียล แต่สามารถระบุขอบเขตของคำตอบได้ ปัญหานี้จะถูกเรียกว่า NP-Hard และหากปัญหาใดที่แม้จะมีขอบเขตของคำตอบให้แต่ยังไม่มีวิธีการตรวจสอบว่าคำตอบที่เดานั้นถูกหรือไม่ ปัญหานี้จะถูกจัดเป็นประเภท Strongly NP-Hard

ในปัจจุบันนี้ วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Methods) ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อย่างแพร่หลายทั้งทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operational Research) วิทยาการจัดการ (Management Science) การจัดการอุตสาหกรรม (Industrial Management) และการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design) อย่างไรก็ตาม พบว่าการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาหลายแบบในเชิงอุตสาหกรรม หรือการออกแบบทางวิศวกรรมนั้น มักมีข้อจำกัดต่างๆ เกิดขึ้น กล่าวคือ ผลลัพธ์หรือคำตอบที่ดีที่สุดไม่สอดคล้องกับเวลาที่สูญเสียไปในการหาคำตอบ สืบเนื่องจากระบบที่สนใจพิจารณามักจะมีขนาดใหญ่และมีสลับซับซ้อนมากขึ้น เช่น การจัดลำดับและตารางการผลิต (Sequencing and Scheduling Problems) หรือเป็นปัญหาซึ่งไม่สามารถกำหนดตัวแบบที่เป็นตัวแทนได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังประกอบไปด้วยสิ่งรบกวนตามธรรมชาติ (Noise) ที่เหนือความคาดหมายที่จะต้องนำเข้ามาวิเคราะห์รวมในระบบเพื่อช่วยให้เกิดสภาพใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด อันส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดข้อผิดพลาดและไม่สามารถควบคุมได้ โดยพบได้ทั่วไปในปัญหาทางด้านพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Problems)

2.3.2 วิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลของปัญหาเมตาฮิวริสติกส์

วิธีเมตาฮิวริสติกส์จัดเป็นวิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ ได้คำตอบที่มีคุณภาพดีเพียงพอต่อการวางแผนต่างๆ และช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และแก้ปัญหาก็ยากวิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลของวิธีเมตาฮิวริสติกส์นั้นมีหลากหลายวิธี ได้แก่ วิธีทาบู (Tabu Search) วิธีซิมูเลตเต็ดแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing, SA) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) และวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ซึ่งแต่ละวิธีมีกระบวนการและแนวคิดที่แตกต่างกัน และวิธีการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาก็มีความแตกต่างกันด้วย

1) วิธีทาบู (Tabu Search)

วิธีค้นหาแบบทาบูประยุกต์มาจากวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากวิธีการค้นหาแบบทาบูสามารถหลีกเลี่ยง

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) และดำเนินการค้นหาคำตอบต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั่วไป (Global Optimum) วิธีการประกอบไปด้วยรูปแบบการค้นหาคำตอบ 2 รูปแบบที่สำคัญคือ การค้นหาคำตอบโดยการใช้หน่วยความจำระยะสั้น (Short Term Memory) และการค้นหาคำตอบโดยการใช้หน่วยความจำระยะยาว (Long Term Memory) ซึ่งการค้นหาคำตอบโดยการใช้หน่วยความจำระยะสั้นถือเป็นหน่วยความจำตามเวลา (Recency Base Memory) หรือการค้นหาที่จดจำอดีตหรือประสบการณ์การค้นหาที่ผ่านมาเพียงระยะสั้น ในทางตรงกันข้าม การค้นหาคำตอบโดยการใช้หน่วยความจำระยะยาวซึ่งถือเป็นหน่วยความจำตามความถี่ (Frequency Base Memory) หมายถึงการค้นหาที่ต้องจดจำอดีตหรือประสบการณ์ที่ผ่านมาเพื่อช่วยให้การค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กระบวนการทำงานของวิธีทาบูเริ่มจากกำหนดให้คำตอบที่มีอยู่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด สร้างเซตของคำตอบข้างเคียง ต่อไปก็ทำการตรวจสอบรายการทาบูโดยหากเกินเวลาที่กำหนดให้ยกเลิกการเป็นทาบู (Tabu) ดำเนินการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยคำตอบนั้นต้องไม่เป็นทาบู แล้วก็ตรวจสอบคำตอบที่เป็นทาบูว่าสามารถให้คำตอบที่ดีได้โดย ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนหรือไม่ หากได้คำตอบก็ทำการปรับปรุงรายการทาบูและข้อมูลความถี่ต่อไป เมื่อครบจำนวนแล้วก็จบการทำงานได้ ถ้าไม่ครบจำนวนต้องกลับไปเริ่มขั้นตอนแรกใหม่ และหากไม่ได้คำตอบก็ให้ใช้ข้อมูลปรับโทษในการหาคำตอบเริ่มใหม่ก่อนถึงจะทำการปรับปรุงรายการทาบูและข้อมูลความถี่ได้ เมื่อครบจำนวนแล้วก็จบการทำงาน

2) การจำลองแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing, SA)

วิธีซิมูเลตเต็ดแอนนีลิ่งได้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่และมีความสลับซับซ้อน โดยทำการจำลองมาจากกลศาสตร์สถิติ (Statistical Mechanics) ซึ่งเป็นการศึกษามีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพโดยรวมของสสารโดยมีอะตอมประกอบอยู่เป็นจำนวนถึง 10^{23} หน่วยต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งลักษณะพฤติกรรมต่าง ๆ จะแสดงออกมาตามแรงกระตุ้นและการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ได้รับ จึงเปรียบเสมือนเป็นการหาค่าเฉลี่ยของผลที่เกิดขึ้นจากทุกๆ อะตอมในระบบโดยรวมจากค่าสถิติที่เกิดขึ้นนั่นเอง ปัญหากลศาสตร์สถิติในขั้นตอนสุดท้ายจะมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อระบบ ขณะที่อุณหภูมิเข้าสู่สถานะพื้นฐาน (Ground State) ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานของระบบมีค่าต่ำที่สุด

วิธีซิมูเลตเต็ดแอนนีลิ่งเป็นวิธีการหาคำตอบโดยประมาณ ซึ่งเกิดจากการนำสองทฤษฎีมาเชื่อมกันระหว่างทฤษฎีทางกายภาพในการอบอุ่นของวัสดุแข็ง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และทฤษฎีทางการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบการรวม (Combinatorial Optimization) โดยวิธีซิมูเลตเต็ดแอนนีลิ่งจะเริ่มต้นจากการหลอมระบบในครั้งแรกด้วยอุณหภูมิที่สูง จากนั้นจะ

ทำการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งผ่านจุดเยือกแข็ง และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ขึ้นอีกภายในระบบ ในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ กระบวนการจะต้องจัดสรรเวลาที่นานพอที่จะทำให้ระบบเกิดสถานะเสถียร ซึ่งลักษณะการเกิดสถานะเสถียรของสสารจะประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบการรวม กล่าวคือ ระบบจะจัดเรียงรูปแบบใหม่จนกระทั่งพบว่าการจัดเรียงใหม่มีการพัฒนาที่ดีขึ้น และระบบก็จะนำการจัดเรียงใหม่ที่ได้มาเป็นจุดเริ่มต้นในการดำเนินการรอบใหม่ ซึ่งระบบจะดำเนินการอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งพบว่าไม่มีการพัฒนาผลลัพธ์ที่ได้แล้วระบบก็จะหยุดตัวลง

3) วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นเมตาฮิวริสติกชนิดที่สาม ซึ่งแตกต่างจากสองชนิดแรกเป็นกระบวนการค้นหาคำตอบแบบหลายทิศทางโดยใช้หลักของการรักษาประชากรของคำตอบที่ดีไว้ซึ่งได้ใช้พื้นฐานการคัดเลือกสายพันธุ์และการสืบสายพันธุ์ตามธรรมชาติโดยสายพันธุ์ที่ดีกว่าจะมีโอกาสสืบสายพันธุ์ในรุ่นต่อไปได้มากกว่าสายพันธุ์ที่ด้อยกว่า

วิธีการคัดเลือกสายพันธุ์จะเริ่มจากความน่าจะเป็นของคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยวิธีการสุ่ม โดยเรียกสมาชิกในประชากรปัจจุบันว่า “ฟิตเนส (Fitness)” และขั้นตอนการทำซ้ำจะใช้กระบวนการสุ่มเพื่อฟิตสมาชิกที่มีอยู่ของประชากรปัจจุบันในการเลือกสมาชิกเพื่อเป็นพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ และคู่พ่อแม่ที่ได้จากการสุ่ม จะให้กำเนิดลูก 2 คน และรักษาเด็กไว้ให้เพียงพอของสมาชิกที่ดีที่สุดของประชากรปัจจุบันในการฟอร์มประชากรขึ้นมาใหม่ที่มีขนาดเดียวกันในการทำซ้ำขั้นต่อไปโดยเรียกสมาชิกใหม่ (ลูก) ของประชากรใหม่นี้ว่า “ฟิตเนส (Fitness)” การหยุดกระบวนการจะใช้ได้หลากหลายข้อกำหนด คือ การกำหนดการทำซ้ำ กำหนดเวลา หรือกำหนดจำนวนซ้ำที่ติดต่อกันโดยไม่มีการปรับปรุงหากพบวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดที่อยู่ใกล้ๆ โดยคำตอบของปัญหานั้นอยู่กับโครงสร้างที่เฉพาะเจาะจงของปัญหา

4) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization)

เป็นการจำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของมดนำเสนอไว้โดย Dorigo และคณะ (1996) ซึ่งเป็นเมตาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดแบบยากที่เริ่มต้นมาจากปัญหา TSP โดยขั้นตอนวิธีการนี้เป็นการสังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหารซึ่งมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน (Pheromone) โดยมดจะทำสัญลักษณ์ตามเส้นทางที่เดินผ่านด้วยฟีโรโมนนี้ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบโดยมดตัวอื่นๆจะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุดจาก

พฤติกรรมของมดดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาเชิงการจัดเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดในการจำลองพฤติกรรมนี้มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสถานะแวดล้อมในการค้นหาพื้นที่ของผลเฉลยวัตถุประสงค์คือค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและคัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยมดเทียมนี้สร้างขึ้นจากฟังก์ชันฮิวริสติกส์เฉพาะที่เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาเขตผลเฉลยที่เป็นไปได้ต่อไป

โดยสรุปแล้ว ปัญหาบางชนิดที่มีความซับซ้อนซึ่งไม่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีที่โดดเด่นที่สุดในเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีง่าย ๆ ทั่ว ๆ ไป สามารถค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ดีได้ (A good feasible solution) ซึ่งมีโครงสร้างและใช้กลยุทธ์นำไปสู่การออกแบบที่เฉพาะลงไปจากวิธีฮิวริสติกให้สามารถเจาะจงรูปแบบปัญหาได้ชัดเจนขึ้น โดยวิธีหาจะย้ายจากวิธีแก้ปัญหาในปัจจุบันให้เป็นวิธีแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงในแต่ละรอบการทำซ้ำ คล้ายกับขั้นตอนการแก้ไขทั่วไป วิธีชิมูเลตเต็ดแอนนีลิ่งจะย้ายวิธีแก้ปัญหาในปัจจุบันให้เป็นวิธีที่ใกล้เคียงเพียงครั้งคราว อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงจะได้มาจากการวิเคราะห์และการคำนวณ ส่วนชนิดที่สามเป็นวิธีเชิงพันธุกรรม โดยนำเอาการเพิ่มขึ้นของประชากรจากการผสมพันธุ์ระหว่างโครโมโซมของพ่อและแม่มาประยุกต์ใช้ เมื่อได้ลูกที่เกิดใหม่ก็จะนำไปแทนที่ตัวเก่าที่ได้เลือกแล้วว่าควรจะคัดออกเป็นลำดับแรก และวิธีการอาณานิคมมดจะทำการค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและคัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยมดเทียมนี้สร้างขึ้นจากฟังก์ชันฮิวริสติกส์เฉพาะที่เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาเขตผลเฉลยที่เป็นไปได้

2.4 การหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

การเลียนแบบวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และวิวัฒนาการที่ได้รับแรงบันดาลใจจาก GA เช่น วิธีการลอกแบบหรือเมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm : MA) แต่ละวิธีจะเหมือนและแตกต่างกันในหลายประเด็น เช่น วิธีการพัฒนาเพื่อให้ได้กลุ่มประชากรใหม่ การมีหรือไม่มีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) วิธีการแปลงสมการเป้าหมายเป็นเป้าหมายในตัววิธีการ เป็นต้น

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ปกติโครโมโซมในร่างกายมนุษย์หรือสิ่งที่มีชีวิตทั้งหลาย จะมีวิวัฒนาการและมีการสืบทอดสายพันธุ์ตลอดเวลา มนุษย์แต่ละคนจะมีโครโมโซมไม่เหมือนกัน ซึ่งส่งผลให้มนุษย์มีหน้าตา รูปร่าง ผิวพรรณ ลักษณะนิสัยไม่เหมือนกัน และโครโมโซมของบิดา-มารดาจะผสมกันออกมาเป็นโครโมโซมของบุตร-ธิดา ยีนเด่น-ด้อยของบิดามารดาจะถูกเก็บไว้หรือกำจัดทิ้งแล้วแต่

วิธีการผสมทางพันธุกรรม เรียกว่า การคัดเลือกสายพันธุ์ สิ่งเหล่านี้เป็นวิธีการขั้นตอนทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกที่จำลองการสืบพันธุ์กรรมของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือกคำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการพัฒนาวิธีการทางเมตาฮิวริสติก โดยองค์ประกอบหลักๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรม มีดังนี้

- (1) การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ
- (2) ประชากรเริ่มต้น
- (3) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- (4) วิธีการถ่ายทอดพันธุกรรม (Genetic Operator) ยกตัวอย่างเช่น การเลือกสายพันธุ์ (Selection) การผสมข้ามโครโมโซม (Crossover) การปรับตัวของโครโมโซม (Mutation)

2.4.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (Chromosome Encoding)

การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (Chromosome Encoding) เป็นขั้นตอนออกแบบโครโมโซม เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาจริงที่ต้องการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วย GA วิธีการออกแบบโครโมโซมเพื่อแทนคำตอบมีหลายวิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี (Binary Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่แทนด้วย 0 หรือ 1 เท่านั้น เช่น ในตัวอย่าง 2.1

ตัวอย่าง 2.1 ปัญหาการหาขนาดการผลิตของสินค้าชนิดหนึ่งซึ่งมีตารางความต้องการในแต่ละสัปดาห์ดังนี้

สินค้าชนิดนี้หากมีการสั่งซื้อ 1 ครั้ง จะต้องเสียค่าใช้จ่าย 250 บาท (Set up Cost) หากเก็บไว้เพื่อใช้ในสัปดาห์ถัดไปต้องเสียค่าใช้จ่าย 3 บาท ต่อชิ้นต่อสัปดาห์ ดังนั้นคำตอบจะมีได้ 2 อย่าง คือ ผลิตในสัปดาห์ที่มีความต้องการ (มี Set up Cost เกิดขึ้น) หรือไม่ผลิตในสัปดาห์นั้น ๆ แต่ผลิตล่วงหน้าไว้ก่อน (มีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ) สมมุติว่าแทนค่า 1 ในสัปดาห์ที่มีการผลิตและ 0 สำหรับสัปดาห์ที่ไม่มีการผลิต ตัวอย่างการแสดงค่าโครโมโซมแบบไบนารีของตารางการผลิตสามารถแสดงได้ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ปริมาณความต้องการของสินค้าชนิดหนึ่งทั้ง 7 สัปดาห์ ของตัวอย่าง 2.1

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7
ความต้องการ	20	100	50	200	150	30	80

ตาราง 2.3 ค่าโครโมโซมของค่าความต้องการในตาราง 2.2

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7
โครโมโซม	1	1	0	1	1	0	1

จากตารางที่ 2.3 โครโมโซมที่ได้คือ 1 1 0 1 1 0 1 โดยที่แต่ละส่วนประกอบในโครโมโซมจะถูกเรียกว่ายีน (Gene) เช่น ยีนที่ 1 มีค่า 1 ยีนที่ 2 มีค่า 1 ส่วนยีนที่ 3 มีค่า 0 เป็นต้น จากยีนทั้งหมดในโครโมโซมสามารถตีความหมายได้ว่าในสัปดาห์ที่ 1 มีการผลิตทั้งสิ้น 20 ชิ้น (มีความต้องการ 20 ชิ้น และสัปดาห์ถัดไปยังคงมีการผลิตที่เกิดขึ้น เพราะค่ายีนในโครโมโซมในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าเป็น 1) สัปดาห์ที่ 2 มีการผลิต 150 ชิ้น เนื่องจากมีความต้องการ 100 ชิ้น และสัปดาห์ที่ 3 ไม่มีการผลิตเนื่องจากยีนที่ 3 มีค่าเป็น 0 สัปดาห์ที่ 4 และ 5 มีการผลิต 200 และ 180 ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 6 ไม่มีการผลิตเนื่องจากค่ายีนเป็น 0 และได้ผลิตล่วงหน้าไปแล้วในสัปดาห์ที่ 5 ในสัปดาห์ที่ 7 มีการผลิต 80 ชิ้น ตามปริมาณความต้องการ หรืออาจจะสรุปเป็นตารางการผลิตตามโครโมโซม 1 1 0 1 1 0 1 ได้ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ค่าตารางการผลิตของค่าความต้องการในตาราง 2.2

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7
ตารางการผลิต	20	150	0	200	180	0	80

2) การออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ (Permutation Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เป็นตัวเลขไปได้ เช่น ตัวเลข 1-100 หรือมากกว่าซึ่งตัวเลขแต่ละตัวบอกถึงลำดับขั้นในการทำงานหรือเส้นทาง เช่น ปัญหาการจัดลำดับการผลิต หรือ ปัญหา TSP ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา TSP ที่มีเมืองที่ต้องเดินทางให้ครบทุกเมืองในเส้นทางเดียวทั้งหมด 7 เมือง โดยแถวแรกเป็นลำดับของการเดินทาง แถวที่ 2 เป็นโครโมโซมที่แทนคำตอบ

ตาราง 2.5 ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7
โครโมโซม	7	4	2	1	5	6	3

จากตาราง 2.5 แสดงให้เห็นว่ามีเมืองที่ต้องเดินทางไปทั้งหมด 7 เมือง เมืองที่เดินทางผ่านเป็นลำดับแรกคือเมืองที่ 7 ถัดจากนั้นเดินทางไปเมืองที่ 4 2 1 5 6 และ 3 ตามลำดับ

3) การออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า/เครื่องหมายจริง (Value Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เลขจำนวนจริงหรือใช้อักษรที่เป็นตัวแทนของคำตอบจริง ๆ มาใช้ในการแทนค่าในโครโมโซม เช่น ปัญหาในการวางแผนการผลิตตามตัวอย่างที่ 2.1 สามารถออกแบบโครโมโซมตามแสดงในตาราง 2.6

ตาราง 2.6 ตัวอย่างการออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า/เครื่องหมายจริง

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7
โครโมโซม	20	150	0	200	180	0	80

โครโมโซมจะสามารถแทนค่าจริงของขนาดการผลิตได้เลย โดยที่ไม่ต้องแปลงจากไบนารีให้เป็นขนาดการผลิต แต่ละหน่วยของโครโมโซมอาจจะใช้จำนวนหน่วยความจำมากกว่า เพราะไบนารีใช้เพียง 1 ไบต์เท่านั้น หากแทนด้วยค่าจำนวนจริงอาจจะต้องใช้ 10,100,1000 หรือมากกว่าตามขนาดของเลขจำนวนจริง หรือแม้แต่การออกแบบโครโมโซมที่แทนด้วยอักษร คำ หรือสัญลักษณ์อื่นใดก็สามารถทำได้ดังแสดงในตัวอย่าง 2.2

ตัวอย่าง 2.2 มีงานที่ต้องจัดลำดับการผลิต 7 งาน เพื่อให้ได้ตารางการผลิตที่ให้เวลาเสร็จเฉลี่ย (Mean Completion Time) ต่ำที่สุด แต่ละงานต้องผ่านเครื่องจักรหนึ่งเครื่องโดยมีเวลาไม่เท่ากัน เวลาของแต่ละงานในเครื่องจักรแสดงในตาราง 2.7

ตาราง 2.7 เวลาที่ใช้ในการผลิตของงาน 7 งานในตัวอย่าง 2.2

งาน	B	E	D	G	F	A	C
เวลาในการผลิต	3	5	6	9	3	2	7

สมมุติว่ามีการจัดลำดับการผลิตโดยเรียงลำดับงาน ดังลำดับต่อไปนี้ B-E-D-G-F-A-C ซึ่งก็คือค่าโครโมโซมแบบใช้ค่าจริง (Value Encoding) และจะได้ตารางการผลิตดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 ตารางการผลิตของลำดับการผลิต B-E-D-G-F-A-C

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
B	0	3
E	3	8
D	8	14

ตาราง 2.1 ตารางการผลิตของลำดับการผลิต B-E-D-G-F-A-C (ต่อ)

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
G	14	23
F	23	26
A	26	28
C	28	35

งาน B จะเริ่มการผลิตในเครื่องจักรเครื่องนี้ในเวลาที 0 และใช้เวลาทำงานทั้งสิ้น 3 หน่วย เพราะฉะนั้นงานจะเสร็จในเวลาที 3 และงาน E สามารถเริ่มต้นทีเวลาที 3 ได้เลย และเสร็จสิ้นในเวลาที 8 เวลาเสร็จสิ้นของ B และ E ทีเป็น 3 และ 8 คือเวลาเสร็จหรือ Completion Time ของงาน ซึ่งต้องหาค่าเฉลี่ยจากงานทุกงาน เวลาเสร็จของงานทุกงานในเครื่องจักรนี้เรียงลำดับ B-E-D-G-F-A-C คือ 3 8 16 25 28 35 ตามลำดับ ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเป็น 19.57

สมมุติว่ามีการสร้างโครโมโซมที 2 ได้ลำดับการผลิตดังนี้ A-B-F-E-D-C-G ได้ตารางการผลิต ดังแสดงในตาราง 2.9

ตาราง 2.9 ตารางการผลิตของโครโมโซม A-B-F-E-D-C-G

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
A	0	2
B	2	5
F	5	8
E	8	13
D	13	19
C	19	26
G	26	35

เวลาเสร็จของงานสุดท้ายจะมีค่าเท่ากับ 35 เท่ากัน ค่านี้เรียกว่า เวลาเสร็จของงานทั้งหมด (Makespan) ส่วนค่าเวลาเสร็จเฉลี่ยของแต่ละงานมีค่าเป็น 15.43

$$\frac{(2+5+8+13+19+26+35)}{7} = 15.43$$

การออกแบบโครโมโซมจะมีผลกับความเร็วของวิธีการและค่าคำตอบ รวมถึงวิธีการสืบทอดพันธุกรรม เช่น การข้ามโครโมโซม (Crossover) การปรับตัวของโครโมโซม (Mutation) และการคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) ซึ่งจะส่งผลกับคำตอบสุดท้ายที่ผู้พัฒนาวิธีการต้องการ การออกแบบโครโมโซมจึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมาก และหากผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้ดีจะทำให้ได้คำตอบที่ดีในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากการออกแบบโครโมโซมที่เหมาะสมกับปัญหาแล้ว GA ยังมีขั้นตอนอื่นๆ อีกมากมายที่ช่วยในการทำให้คุณภาพของคำตอบที่ได้เป็นไปตามความต้องการของผู้ออกแบบวิธีการ ดังจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

2.4.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

การสร้างประชากรเริ่มต้น เป็นการสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของ GA โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดอาจเกิดจากการสุ่มหรือการกระทำใดๆ เพื่อให้ได้ประชากรต้นแบบจำนวนหนึ่ง อาจใช้วิธีการเดียวกันหรือต่างกันได้ก็ได้ โดยจำนวนของประชากรต้นแบบที่สร้างขึ้นมาเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องตั้งขึ้นมาก่อนที่จะเริ่มกระบวนการของ GA วิธีการหาประชากรเริ่มต้นมีหลากหลายวิธี เช่น

- การสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นเท่ากันทุกกรณี (Random) เช่น ในตัวอย่าง 2.1 ปัญหาการหาขนาดการผลิตในแต่ละสัปดาห์ที่จะตัดสินใจว่าผลิต (ยีนเป็น 1) หรือไม่ผลิต (ยีนเป็น 0) สามารถดำเนินการได้ดังนี้

ในสัปดาห์ที่ 1 ยีนที่เป็นไปได้มี 2 ค่า คือ 0 กับ 1 มีความน่าจะเป็นเท่ากัน คือ 0.5 กับ 0.5 หากใช้วิธีความน่าจะเป็นจะเป็นสะสมหรือวงกลมรูเลต จะดำเนินการได้ดังนี้ หากสุ่มตัวเลขมา 1 ตัว และได้ตัวเลขที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 จะเลือกผลิต หากตัวเลขที่ได้สูงกว่า 0.5 จะเลือกไม่ผลิต สมมุติตัวเลขสุ่มเป็น 0.120198714 ในสัปดาห์ที่ 1 จะเลือกที่จะผลิต ผลการสุ่มตัวเลขและผลการเลือกของโครโมโซมที่ 1 หรือประชากรที่ 1 ในสัปดาห์อื่น ๆ แสดงดังในตาราง 2.10

ตาราง 2.10 การสร้างประชากรเริ่มต้นของประชากรที่ 1

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
1	0.120198714	1
2	0.146850081	1
3	0.700286062	0
4	0.173094225	1

ตาราง 2.10 การสร้างประชากรเริ่มต้นของประชากรที่ 1 (ต่อ)

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
5	0.696629434	0
6	0.475024162	1
7	0.920198714	0

ประชากรคนถัดไปดำเนินการสุ่มในลักษณะเดียวกัน เช่น ประชากรคนที่ 2 สุ่มได้ผลดังตาราง 2.11

ตาราง 2.11 ผลการสร้างประชากรเริ่มต้นของประชากรที่ 2

งาน	เวลาเริ่มทำงาน	เวลาเสร็จงาน
1	0.784175827	0
2	0.48989191	1
3	0.419046718	1
4	0.496280081	1
5	0.417374639	1
6	0.791648775	0
7	0.841671496	0

จากตาราง 2.9 และ 2.10 จะสังเกตว่าตารางการผลิต/ไม่ผลิตของประชากรทั้งสองจะมีความแตกต่างกัน แต่โดยปกติประชากรแต่ละรายที่สร้างขึ้นมานี้อาจจะเหมือนหรือต่างกันได้ ถ้าสังเกตให้ดีจะพบว่าประชากรรายที่ 2 ในสัปดาห์ที่ 1 จะไม่ผลิตทุกๆ ที่จำเป็นต้องมีสินค้าส่งให้ลูกค้า ดังนั้นหากไม่ผลิตจะไม่มีสินค้าส่งให้กับลูกค้า ซึ่งเป็นคำตอบหรือโคโมโซมหรือประชากรที่ผิดวัตถุประสงค์ของการหาขนาดการผลิต แต่ GA จะอนุญาตให้มีกลไกให้โคโมโซมนี้อยู่ในประชากรหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบวิธีการ

ผู้ออกแบบอาจจะอนุญาตให้โคโมโซมนี้สามารถอยู่ได้ หรืออาจจะกำจัดทิ้งด้วยการให้ค่าลงโทษ (Penalty) ในขั้นต่อไปก็ได้แล้วแต่กรณี หากเปรียบเทียบกับพันธุกรรมจริงของสิ่งมีชีวิต เช่น พ่อแม่ที่พิการตาบอดอาจจะมียูทที่เป็นอันตรายได้ หมายความว่า คำตอบที่ไม่ถูกต้องเมื่อผ่านกระบวนการทาง GA แล้วอาจจะได้คำตอบที่ดีมากก็ได้

• การสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน (Greedy Random) ในการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นเท่ากัน ทุกทางเลือกจะมีความน่าจะเป็นเท่ากัน ส่วนในการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากันหรือที่เรียกว่า Greedy Random แต่ละทางเลือกจะมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรบางตัวในปัญหานั้น ๆ เช่น ในปัญหา TSP พนักงาน พนักงานขายต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมือง และย้อนกลับมาที่เมืองเริ่มต้น สมมุติว่าพนักงานขายคนหนึ่งต้องเดินทางไปขายสินค้าในเมืองทั้งสิ้น 5 เมือง ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมืองแสดงได้ดังตาราง 2.12

ตาราง 2.12 ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมืองหน่วยเป็นกิโลเมตร

	1	2	3	4	5
1	0	10	15	8	4
2	10	0	12	5	8
3	15	12	0	14	20
4	8	5	14	0	15
5	4	8	15	15	0

จากตาราง 2.12 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมืองที่หนึ่ง มีระยะห่างจากเมืองที่สอง 10 กิโลเมตร และห่างจากเมืองที่สาม 15 กิโลเมตรตามลำดับ เป็นเช่นเดียวกันนี้สำหรับทุก ๆ คู่ของระยะห่าง โครโมโซมที่ต้องการจะเป็นแบบลำดับเช่น 1-2-3-4-5 หมายความว่าหากพนักงานขายเดินทางตามโครโมโซมนี้จะเริ่มต้นทางเดินจากเมืองที่ 1 ต่อด้วยเมืองที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับสุดท้ายจะกลับมาที่เมือง 1 ถือว่าครบรอบเป็นปัญหา TSP ถ้าสมมุติว่าเราใช้วิธีการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นเท่ากัน สุ่มเลือกเมืองเมืองหนึ่งที่จะเดินทางเป็นเมืองแรกด้วยความน่าจะเป็น ดังนี้

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)} \quad \text{สมการ (2.1)1}$$

เมื่อ d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างเมือง i กับเมือง j และ N คือ จำนวนเมืองที่ต้องเดินทางทั้งหมดส่วนเมืองที่ต้องเดินทางเป็นลำดับถัดไปให้ใช้สมการดังนี้

$$P_i = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{j \in S} \left(\frac{1}{d_{ij}}\right)}$$

สมการ(2.2)2

เมื่อ S คือ ชุดของเมืองที่ยังไม่ถูกเลือก เพื่อให้เป็นไปตามสมการทั้งสอง ในการหาเมืองที่จะใช้เป็นจุดเริ่มต้น โดยการหาส่วนกลับของระยะทางในตาราง 2.12 และผลรวมในแต่ละแถวของเมือง i แสดงในตาราง 2.13

ตาราง 2.13 ค่าส่วนกลับของระยะทางในตาราง 2.12

	1	2	3	4	5	ผลรวม
1	0.00	0.10	0.07	0.13	0.25	0.54
2	0.10	0.00	0.08	0.20	0.13	0.51
3	0.07	0.08	0.00	0.07	0.05	0.27
4	0.13	0.20	0.07	0.00	0.07	0.46
5	0.25	0.13	0.05	0.07	0.00	0.49

ส่วนกลับของเมือง 1-1 หรือ 2-2 หรือคู่อื่นๆ ที่เป็นเมืองเดียวกันจะให้ค่าเป็น 0 เนื่องจากไม่สามารถเดินทางได้ จะไม่ครบวงจร (สมมุติให้เป็นโครโมโซมที่ต้องเป็นตัวแทนคำตอบจริงได้) ผลรวมด้านแถวของแต่ละแถวได้ 0.54 0.51 0.27 0.46 และ 0.49 ตามลำดับ และผลรวมทั้งหมดได้ 2.28 ความน่าจะเป็นของเมืองที่ 1 ตามสมการที่ 4.1 ได้ $0.54/2.28 = 0.24$ ความน่าจะเป็นของเมืองที่ 2 3 4 และ 5 เป็น 0.22 0.12 0.20 0.22 ตามลำดับ หากสุ่มตัวเลขแบบวงกลมรูเล็ตทำได้โดยหาความน่าจะเป็นสะสม เช่น ความน่าจะเป็นสะสมของเมืองที่ 1 คือ 0.24 ความน่าจะเป็นของเมืองที่ 2 คือ $0.24 + 0.22 = 0.46$ และสรุปความน่าจะเป็นสะสมของทุกเมืองได้ดังตาราง 2.14

ตาราง 2.14 ค่าความน่าจะเป็นสะสม หากครั้งที่ 1

เมือง	1	2	3	4	5
ความน่าจะเป็นสะสม	0.237971	0.461297	0.580544	0.783996	1

สมมุติตัวเลขสุ่มที่ได้คือ 0.951 เมืองที่จะต้องเริ่มต้นคือเมืองที่ 5 เนื่องจากค่าที่สุ่มได้อยู่มากกว่า 0.78 และต่ำกว่า 1 หาเมืองที่ต้องเดินทางต่อจากเมืองที่ 5 โดยใช้สมการ(2.2) ซึ่งตอนนี้

เหลือเมืองที่ไม่ถูกเลือกคือ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้นความน่าจะเป็นของเมืองที่ 5 ที่จะเดินทางไปเมือง 1 คือ $0.25/0.49 = 0.51$ ความน่าจะเป็นของการเดินทางจากเมือง 5 ไปเมือง 2 3 และ 4 เป็น 0.25 0.10 และ 0.14 ตามลำดับ และค่าความน่าจะเป็นสะสมแสดงดังตาราง 2.15

ตาราง 2.15 ค่าความน่าจะเป็นสะสม หาดครั้งที่ 2

เมือง	1	2	3	4
ความน่าจะเป็นสะสม	0.508475	0.762712	0.864407	1

สมมุติตัวเลขสุ่มที่ได้คือ 0.63 เลือกเดินทางไปเมืองที่ 2 เป็นลำดับถัดไป จากเมืองที่ 2 ต้องเดินทางไปหนึ่งในสามเมืองนี้คือ 1 3 และ 4 ทำเช่นเดียวกันกับรอบที่ผ่านมา ได้ความน่าจะเป็นในการเดินทางจากเมืองที่ 2 ไปเมืองที่ 1 ดังนี้ $0.1/(0.1+0.08+0.2) = 0.26$ ความน่าจะเป็นในการเดินทางจากเมืองที่ 2 ไปเมืองที่ 3 และ 4 เป็น 0.21 และ 0.53 ตามลำดับ ดังนั้นความน่าจะเป็นสะสมแสดงดังตาราง 2.16

ตาราง 2.16 ค่าความน่าจะเป็นสะสม หาดครั้งที่ 3

เมือง	1	3	4
ความน่าจะเป็นสะสม	0.26	0.47	1.00

สมมุติตัวเลขสุ่มเป็น 0.91 ดังนั้นเลือกเดินทางไปเมือง 4 ลำดับถัดจากเมือง 3 จะกระทำเช่นเดียวกัน สมมุติได้โครโมโซมคำตอบครบทุกยีนดังนี้ 5-2-4-1-3 แต่สุดท้ายต้องเดินทางกลับไปเมืองที่ 5 ดังนั้นโครโมโซมจริงจะเป็น 5-2-4-1-3-5 เป็นต้น เราจะใช้วิธีการเดียวกันนี้สำหรับการหาโครโมโซมจนครบตามจำนวนประชากรที่ต้องการ

2.4.3 สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function)

การหาสมการแทนค่าคำตอบ คือ การหาฟังก์ชันที่ใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนคำตอบต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมนี้อาจจะเป็นคำตอบของปัญหาที่ต้องการแก้ปัญหาโดยตรงหรือเป็นฟังก์ชันอื่นๆ ที่ใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมเท่านั้น เช่น ในปัญหา TSP พนักงานขายต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองและย้อนกลับมาที่เมืองเริ่มต้น สมมุติว่าพนักงานขายคนหนึ่งต้องเดินทางไปขายสินค้าในเมืองทั้งสิ้น 5 เมือง ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมืองแสดงได้ในตาราง 2.17

ตาราง 2.17 ระยะทางระหว่างเมืองต่าง หน่วยเป็นกิโลเมตร

	1	2	3	4	5
1	0	10	15	8	4
2	10	0	12	5	8
3	15	12	0	14	20
4	8	5	14	0	15
5	4	8	15	15	0

สมมติให้ฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness Function) ในการประเมินความเหมาะสมของคำตอบคำนวณได้ดังสมการ 2.3

$$F(x) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} d_{ij} \quad \text{สมการ 2.33}$$

ถ้า $X_{ij} = 1$ ถ้ามีการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j
 0 ในกรณีอื่นๆ

และ d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างเมือง i และ j

i, j คือ จำนวนเมืองทั้งหมดที่ต้องเดินทางผ่าน

จากตัวอย่างข้างต้น ถ้าเดินทางตามเส้นทางดังนี้ 5-2-4-1-3-5 ค่า X_{ij} มีค่าดังแสดงในตาราง 2.18

ตาราง 2.18 ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-2-4-1-3-5

	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	0
2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0

ดังนั้นค่า $F(x) = (0 \times 0) + (10 \times 0) + (15 \times 1) + \dots + (10 \times 0) + \dots + (5 \times 1) + \dots + (20 \times 1) + \dots + (8 \times 1) + \dots + (20 \times 0) + (15 \times 0) + (0 \times 0) = 56$ กิโลเมตร

ฟิตเนสฟังก์ชันนี้คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จริงของปัญหา TSP แต่ในการออกแบบอัลกอริทึม GA สามารถแทนฟิตเนสฟังก์ชันด้วยฟังก์ชันอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยอาจจะทำให้ค้นหาคำตอบจากหลากหลายพื้นที่มากขึ้น หรือเพื่อให้คำตอบต้นแบบนี้มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อผลของคำตอบสุดท้ายที่ดี ซึ่งสามารถยกตัวอย่างฟิตเนสฟังก์ชันในลักษณะต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ฟิตเนสฟังก์ชันแบบมีการลงโทษ (Penalty) ฟิตเนสฟังก์ชันแบบนี้ส่วนมากจะใช้ในกรณีที่คำตอบที่ได้มาไม่สามารถใช้เป็นคำตอบของปัญหาที่ต้องการได้ แต่อาจจะสามารถยอมรับให้เป็นโครโมโซมต้นแบบเพื่อการเดินทางไปสู่พื้นที่คำตอบใหม่ๆ หรือเพื่อการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่เพื่อให้ได้คำตอบสุดท้ายที่ดีขึ้นเช่น ปัญหา TSP คำตอบที่เป็นไปได้คือ เส้นทางการเดินทางต้องผ่านเมืองทุกเมืองและผ่านเมืองละ 1 ครั้งเท่านั้น สมมุติคำตอบที่ได้เป็นดังนี้ 5-1-4-1-3-5 ซึ่งมีเมืองที่เดินทางซ้ำ คือ เมืองที่ 1 ที่เดินทางจากเมืองที่ 5 ไปเมืองที่ 1 และจากเมืองที่ 4 ไปเมืองที่ 1 (เมืองที่ 5 เป็นเมืองเริ่มต้นสามารถปรากฏอยู่ในเส้นทางได้ 2 ครั้งแต่โดยรวมแล้วเป็นการเดินทางเข้าและออกอย่างละ 1 ครั้งเท่านั้น เมืองที่ 1 จะมีการเดินทางเข้า 2 ครั้งคือ เดินทางเข้าจากเมืองที่ 5 และ 4 และเดินทางออก 2 ครั้ง คือเดินทางออกไปเมืองที่ 4 และ 3) สมมุติฟิตเนสฟังก์ชันเป็นดังสมการ 2.4

$$F(x) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} d_{ij} + K \left(\frac{1}{NP} \right) \quad \text{สมการ(2.4)}$$

เมื่อ NP คือ จำนวนเมืองที่เดินทางผ่านทั้งหมด หากค่า NP มากจะทำให้ค่าฟิตเนสฟังก์ชัน มีค่าน้อย ซึ่งเป็นผลดีกับคำตอบของปัญหาจริงที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด สมมุติให้ค่า K มีค่าเท่ากับ 120 จะได้ฟิตเนสฟังก์ชันจากเส้นทาง 5-1-4-1-3-5 ซึ่งมีค่า X_{ij} ดังตาราง 2.19

ตาราง 2.19 ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-1-4-1-3-5

	1	2	3	4	5
1	0	0	1	1	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0

และเมื่อค่า X_{ij} ไปคูณกับค่า d_{ij} จะมีค่าเท่ากับ 55 กิโลเมตร และหากค่า K เท่ากับ 120 และค่า NP หรือจำนวนเมืองที่เดินผ่านคือ 4 เมือง ดังนั้นจะได้ค่า $K(\frac{1}{NP}) = 120(\frac{1}{4}) = 30$ ซึ่งทำให้ได้ค่าพิตเนสฟังก์ชันเท่ากับ $55 + 30 = 85$ เป็นต้น จะเห็นว่าหากมีการลงโทษ (Penalty) ค่าตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ยังมีโอกาสถูกเลือกเป็นโครโมโซมต้นแบบได้ แต่อาจจะมีโอกาสถูกเลือกน้อยกว่าโครโมโซมที่เป็นจริง (Feasible Solution)

- พิตเนสฟังก์ชันที่มีการปรับเปลี่ยนจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จริง พิตเนสฟังก์ชันแบบนี้อาจมีการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากหรือน้อยก็ได้ เพื่อประโยชน์ในการค้นหาในพื้นที่ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายมากขึ้น โดยในการปรับเปลี่ยนนี้ พิตเนสฟังก์ชันอาจมีความสอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือไม่สอดคล้องเลยก็ได้ แต่ส่วนมากแล้ว พิตเนสฟังก์ชันจะไม่ได้เปลี่ยนไปจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหามากนัก แต่อาจจะมีการปรับเปลี่ยนในบางจังหวะหรือบางรอบการวนซ้ำเพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ปกติแล้วฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในปัญหา TSP แสดงได้ดังสมการ 2.5

$$F(x) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} d_{ij} \quad \text{สมการ(2.5)}$$

อาจมีการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสมการ 2.6

$$F(x) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} (\frac{1}{d_{ij}}) \quad \text{สมการ(2.6)}$$

ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเทียบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดิม ยกตัวอย่างเช่น ปัญหา TSP เดิมตามตัวอย่าง และได้เส้นทางเป็น 5-2-4-1-3-5 จะได้ค่า X_{ij} ดังแสดงในตาราง 2.20 และได้ส่วนกลับขอ d_{ij} แสดงได้ดังตาราง 2.21

ตาราง 2.20 ค่า X_{ij} ของเส้นโครโมโซม 5-2-4-1-3-5

	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	0
2	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0

ตาราง 2.21 ส่วนกลับของ d_{ij}

	1	2	3	4	5
1	0.00	0.10	0.07	0.13	0.25
2	0.10	0.00	0.08	0.20	0.13
3	0.07	0.08	0.00	0.07	0.05
4	0.13	0.20	0.07	0.00	0.07
5	0.25	0.05	0.05	0.07	0.00

ดังนั้นจะได้ค่าฟิตเนสฟังก์ชันดังนี้ $(0 \times 0) + (0 \times 0.1) + \dots + (0 \times 0) = 0.6167$ เป็นต้น ฟิตเนสฟังก์ชันแบบนี้มีความแตกต่างจากวัตถุประสงค์จริงค่อนข้างน้อย แต่หากฟิตเนสฟังก์ชันเป็น ดังสมการที่ 2.7 อาจจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก

$$F(x) = NP$$

สมการ(2.7)

ในกรณีนี้มีการเปลี่ยนแปลงจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดิมอย่างมาก เพราะฟิตเนสฟังก์ชันตามสมการที่ 2.7 พิจารณาเพียงแค่จำนวนเมืองที่ผ่าน และหากเมืองที่ผ่านมีน้อย ฟิตเนสฟังก์ชันจะน้อยซึ่งเป็นผลดีกับฟิตเนสฟังก์ชัน แต่จะให้คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible) ซึ่งจะไม่เป็นผลดีกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จริง แต่ก็สามารถสร้างฟิตเนสฟังก์ชันแบบนี้ได้ หากต้องการคำตอบที่หลากหลายมากขึ้นเช่น ในเส้นทาง 5-2-4-1-3-5 จะได้ NP มีค่าเท่ากับ 5 ส่วนในคำตอบ 5-1-4-1-3-5 จะได้ NP เท่ากับ 4 แต่ในที่สุด ฟิตเนสฟังก์ชันนี้ก็ต้องถูกแปลงเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จริงเมื่อสิ้นสุดการหาคำตอบจาก GA เช่น หากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะได้ 56 และ 55 ตามลำดับของเส้นทางที่ได้กล่าวไปแล้วทั้งสองคำตอบ

2.4.4 ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม คือ ตัวดำเนินการต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการถ่ายทอดจากประชากรรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งไม่ว่าจะเป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) การแลกเปลี่ยน ยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซม (Mutation) นอกจากวิธีการทั้งสามแล้วการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับวิธีการทั้งสามนี้ก็มีผลกับคำตอบเช่นเดียวกัน พารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการดำเนินการต่าง ๆ ทางพันธุกรรม เช่น ขนาดของประชากรในแต่ละรุ่น

ความน่าจะเป็นในการเลือกใช้วิธีการถ่ายทอดพันธุกรรมมีสามแบบ เป็นต้น รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถอธิบายได้ตามลำดับต่อไปนี้

1) ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover Probability) คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นในการเกิดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมมีค่าประมาณ 60-95% ทั้งนี้แล้วแต่ผู้ออกแบบอัลกอริทึมจะทดสอบหาค่าใดเหมาะกับปัญหาประเภทใด และในกรณีที่ ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม โครโมโซมรุ่นลูก (Offspring) จะมีโครโมโซมเหมือนกับโครโมโซมรุ่นพ่อ-แม่ (Parent) ทุกประการ ยกตัวอย่างการใช้งาน เช่น กำหนดให้ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมมีค่าเป็น 85% จากนั้นสุ่มเลือกตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม สมมุติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1-100 ได้เท่ากับ 45 จะเห็นว่าตัวเลขที่ได้นี้มีค่าน้อยกว่า 85 ซึ่งจะยอมให้มีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมเกิดขึ้น คำถามที่จะพบต่อไปคือ จะทำการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมอย่างไร ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมหลากหลายวิธี อาจจะยกตัวอย่างวิธีการแลกเปลี่ยนยีนโครโมโซมง่ายๆ ได้ดังนี้

ก. การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) สมมุติว่าโครโมโซมพ่อแม่ของปัญหา TSP เป็นดังนี้โครโมโซมพ่อ (1) 7-2-3-4-5-6-1 (มาจากโครโมโซม 7-2-3-4-5-6-1 โดยจะไม่ร่วมการเดินทางกลับไปเมืองที่ 7 แต่เมื่อเดินทางผ่านเมืองสุดท้ายแล้วจะต้องเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น) โครโมโซมแม่ คือ 7-6-5-2-3-4-1 จากนั้นสุ่มเพื่อเลือกตำแหน่งที่จะแลกเปลี่ยนโครโมโซม เช่น สุ่มได้ตำแหน่งที่ 3 หมายความว่า จะแลกเปลี่ยนโครโมโซมในตำแหน่งที่ 3 เป็นต้นไป ดังนั้นโครโมโซมลูกโครโมโซมแรกจะใช้อยู่ 3 ตำแหน่งแรกจากโครโมโซมพ่อ และ 4 ตำแหน่งหลังจากโครโมโซมแม่ และโครโมโซมลูกรายที่ 2 จะได้ยืน 3 ตำแหน่งแรกจากโครโมโซมแม่ และ 4 ตำแหน่งสุดท้ายจากโครโมโซมพ่อ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2.22

ตาราง 2.22 รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมของโครโมโซม 7-2-3-4-5-6-1 และ 7-6-5-2-3-4-1

พ่อ	7234561
แม่	7652341
ลูก 1	7232341
ลูก 2	7654561

จะเห็นว่าโครโมโซมลูกทั้งสองมีค่าเป็น 7-2-3-2-3-4-1 และ 7-6-5-4-5-6-1 ซึ่งโครโมโซมทั้งสองเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากมีเมืองที่เดินทางเข้า-ออกมากกว่า 1 ครั้ง อาจจะแก้ปัญหานี้ได้ด้วยการซ่อมแซมคำตอบ (Repair) หรือตั้งฟิตเนสฟังก์ชันที่มีค่าการลงโทษ วิธีการตั้งค่าฟิตเนสฟังก์ชันที่มีค่าการลงโทษนั้นได้อธิบายไปแล้ว ในลำดับนี้จะอธิบายวิธีการง่าย ๆ ในการซ่อมแซมคำตอบ (วิธีการซ่อมแซมสามารถออกแบบใหม่ได้ ตัวอย่างที่จะอธิบายต่อไปนี้เป็นเพียงวิธีการง่ายที่สามารถใช้ได้กับปัญหา TSP)

สมมติว่าจะซ่อมแซมคำตอบ 7-2-3-2-3-4-1 สามารถดำเนินการได้ดังนี้ จากคำตอบจะเห็นว่าเมืองที่เดินทางซ้ำซ้อนคือเมือง 2 และ 3 ส่วนอีกสองเมืองที่ยังไม่ได้เดินทางผ่านคือ 5 และ ตำแหน่งที่ 5 และ 6 สามารถแทนที่ได้คือ ตำแหน่งที่ 2 3 4 และ 5 ซึ่งปัจจุบันคือ ตำแหน่งของเมือง 2-3-2-3 นั่นเอง หากเลือกจะแทรกเมืองที่ 5 ก่อน สามารถประยุกต์ใช้วิธีวงกลมรูเลต์ได้ โดยให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกแทรกลงตำแหน่ง 2 3 4 และ 5 เท่ากันคือ 0.25 จะได้ช่วงในการเลือกตำแหน่งต่าง ๆ ดังตาราง 2.23

ตาราง 2.23 ค่าความน่าจะเป็นสะสมในการซ่อมแซมโครโมโซม 7-2-3-2-3-4-1

ตำแหน่งที่แทรก	ช่วงในการเลือก
2	≤ 0.25
3	$0.25 < x \leq 0.5$
4	$0.5 < x \leq 0.75$
5	> 0.75

จากนั้นสุ่มตัวเลขที่มีค่า 0-1 สมมติว่าสุ่มตัวเลขได้ 0.54 จะเลือกแทรกเมืองที่ 5 ลงในตำแหน่งที่ 4 จะได้โครโมโซมใหม่เป็น 7-2-3-5-3-4-1 ในขณะนี้เหลือตำแหน่งซ้ำอยู่ 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 3 และ 5 สมมติให้มีความน่าจะเป็นเท่ากันคือ 0.5 สุ่มตัวเลขใหม่ขึ้นมาหนึ่งตัว หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 จะแทรกเมืองที่ 6 ลงในตำแหน่งที่ 3 หากมีค่ามากกว่า 0.5 จะทำการแทรกในตำแหน่งที่ 5 สมมติค่าตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าเป็น 0.87 จะแทรกลงในตำแหน่งที่ 5 ได้โครโมโซมที่ซ่อมแซมแล้วดังนี้ 7-2-2-5-6-4-1 หรือโครโมโซมแบบมีการเดินทางกลับไปเมืองเริ่มต้นได้ดังนี้ 7-2-3-5-6-4-1-7 การซ่อมแซมโครโมโซมสามารถทำได้หลากหลายแบบ หรืออาจจะมีการซ่อมแซมเพียงบางโครโมโซมก็ได้ เพื่อความหลากหลายของคำตอบในแต่ละรุ่น

ข. การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด (Two Points Crossover)
สมมติว่าโครโมโซมพ่อแม่ของปัญหา TSP เป็นดังนี้ โครโมโซมพ่อ (1) 7-2-3-4-5-6-14 โครโมโซม

แม่ คือ 7-2-3-1-4-5-6 จากนั้นทำการสุ่มเพื่อเลือกตำแหน่งที่จะแลกเปลี่ยนโครโมโซมขึ้นมาสองจุด เช่น สุ่มได้ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 5 จะได้ว่าโครโมโซมลูกลำดับแรก จะใช้ชิ้น 2 ตำแหน่งแรกจากโครโมโซมพ่อ 3 ตำแหน่งถัดมาจากโครโมโซมแม่ และ 2 ชิ้นสุดท้ายจากโครโมโซมพ่อเช่นเดิม ส่วนโครโมโซมลูกที่ 2 จะได้ชิ้น 2 ตำแหน่งแรกจากโครโมโซมแม่ 3 ตำแหน่งถัดมาจากโครโมโซมพ่อ และ 2 ตำแหน่งสุดท้ายจากชิ้นของโครโมโซมแม่ ดังนั้นจะได้โครโมโซมใหม่ดังตาราง 2.24

ตาราง 2.24 รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด

พ่อ	7234561
แม่	7652341
ลูก 1	7252361
ลูก 2	7634541

จากนั้นดำเนินการซ่อมแซมโครโมโซมตามวิธีการที่ได้อธิบายไปแล้ว นอกจากการสลับตำแหน่งแบบหนึ่งจุดหรือสองจุดแล้วสามารถมีการสลับกันมากกว่า 2 จุดก็ได้ หรือจะออกแบบวิธีอื่น ๆ เช่น การประยุกต์ใช้การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) จำพวก 2-opt, 3-opt หรือ k-opt เป็นเครื่องมือในการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมก็ได้ หรือการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมที่ไม่ต้องมีการซ่อมแซม เช่น หากมีโครโมโซมเป็นแบบไบนารี มีโครโมโซมพ่อแม่เป็น 100100111 และ 011110001 สมมุติว่าแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุดคือ จุดที่ 2 และ 5 จะได้โครโมโซมรุ่นลูก ดังแสดงในตาราง 2.25

ตาราง 2.25 รายละเอียดการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมของโครโมโซม 100100111 และ

01111000

พ่อ	7234561
แม่	7652341
ลูก 1	7252361
ลูก 2	7634541

ในการใช้ตัวดำเนินการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) หากมีการสร้างตัวแปรแบบใช้ลำดับจริงในการสร้างโครโมโซม เช่น 1-2-3-4-5-6-7-8 เป็นลำดับการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) และหากมีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม ส่วนมากจะต้องซ่อมแซมตามที่ได้อธิบายไปแล้ว จึงมีงานวิจัยที่ได้นำเสนอวิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมพร้อมการซ่อมแซมภายในขั้นตอนเดียว ซึ่งวิธีการที่เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายมีดังต่อไปนี้

ค. การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบตามลำดับ (Order Crossover : OX) มีวิธีการดังนี้

(1) เลือกโครโมโซมพ่อแม่ สมมุติว่าเลือกพ่อแม่ได้ผลดังแสดงรูป 2.3

พ่อ	4	2	5	6	1	3	7	9	8
แม่	8	5	1	3	4	7	6	2	9

รูป 2.3 โครโมโซมพ่อแม่จากการเลือกเพื่อสร้างโครโมโซมลูก

(2) เลือกการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบสองจุด เช่น เลือกตำแหน่งโครโมโซมพ่อเป็นตำแหน่งที่ 3 และ 7 ดังนั้นยีนที่ถูกเลือกคือ 6-1-3-7 ดังแสดงได้ในรูป 2.4 จากนั้นดำเนินการ จะได้โครโมโซมลูกแล้วจึงแทรกด้วยโครโมโซม และจะได้โครโมโซมลูกเริ่มต้นดังรูป 2.5

4	2	5	6	1	3	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.4 ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อที่จะพัฒนาเป็นโครโมโซมลูกต่อไป

			6	1	3	7		
--	--	--	---	---	---	---	--	--

รูป 2.5 โครโมโซมลูกเริ่มต้น ก่อนแทรกด้วยยีนในโครโมโซมแม่

(3) ตรวจสอบว่ายีนในโครโมโซมลูกตำแหน่งใดบ้างที่ซ้ำกับโครโมโซมแม่ เช่น เมืองที่ 6 ในโครโมโซมลูก (ยีนตำแหน่งที่ 4) จะซ้ำกับยีนตำแหน่งที่ 7 ของ

โครโมโซมแม่ จึงกำจัดโครโมโซมนี้ออกจากโครโมโซมแม่ และดำเนินการเช่นเดียวกันนี้กับเมืองที่ 1 3 และ 7 ซึ่งซ้ำกับตำแหน่งที่ 3 4 และ 6 ในโครโมโซมแม่ จะได้ผลการกำจัดขึ้นดังกล่าวในโครโมโซมแม่ดังแสดงในรูปที่ 2.6

8	5	1	3	4	7	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.6 ตำแหน่งของโครโมโซมแม่ที่ถูกกำจัดออก

(4) แทรกโครโมโซมแม่ที่เหลือในตำแหน่งที่เหลือของโครโมโซม

ลูกตามลำดับ ดังในรูป 2.7

ลูก	8	5	4	6	1	3	7	2	9
แม่	8	5	1	3	4	7	6	2	9

รูป 2.7 การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในโครโมโซมลูก

จากรูปที่ 2.7 จะแทรกเมือง 8 ซึ่งอยู่ในลำดับแรกของโครโมโซมแม่ในตำแหน่งแรกของโครโมโซมลูก ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 จากนั้นแทรกโครโมโซม 5 4 2 และ 9 ในตำแหน่งที่ 2 3 8 และ 9 ของโครโมโซมลูกตามลำดับ

จากการดำเนินการ (ก) ถึง (ง) จะได้โครโมโซมลูก 1 โครโมโซมซึ่งเกิดจากการเลือกตำแหน่งในโครโมโซมพ่อเพื่อพัฒนาเป็นโครโมโซมลูก หากใช้ตำแหน่งที่เลือกเดียวกันนี้ (ตำแหน่งที่ 3 ถึง 7) ในโครโมโซมแม่ และแทรกตำแหน่งว่างของโครโมโซมลูกซึ่งเกิดจากการพัฒนาโครโมโซมแม่ด้วยโครโมโซมพ่อจะได้ผลดังแสดงตามรูป 2.8 และ 2.9

จากรูป 2.8 ตำแหน่งที่ 3 ถึง 7 ซึ่งได้แก่ เมืองที่ 3 ถึง 6 ในโครโมโซมแม่ (ตำแหน่งเดียวกับที่เลือกในลำดับที่ (ข) ของวิธีการ OX) จากนั้นลบเมือง 3 4 7 และ 6 จากโครโมโซมพ่อซึ่งอยู่ในยีนตำแหน่งที่ 6 1 7 และ 4 ของโครโมโซมพ่อและแทรกโครโมโซมที่เหลือในโครโมโซมลูกได้ผลดังแสดงในรูป 2.9

แม่

8	5	1	3	4	7	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.8 ตำแหน่ง 3-7 ของโครโมโซมแม่ที่จะพัฒนาเป็นโครโมโซมลูก

ลูก

2	5	1	3	4	7	6	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

พ่อ

4	2	5	6	1	3	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.9 การแทรกยีนจากโครโมโซมพ่อเพื่อสร้างโครโมโซมลูก

ง. การแลกเปลี่ยนชิ้นข้ามโครโมโซมแบบยึดตำแหน่งเป็นหลัก (Position Based Crossover : PBO) มีวิธีการดังนี้

(1) เลือกโครโมโซมพ่อ แม่ สมมุติว่าเลือกโครโมโซมเช่นเดียวกับข้อ (ก) ในหัวข้อ (3) แสดงโครโมโซมที่ถูกเลือกในรูป

(2) เลือกตำแหน่งใน โครโมโซมพ่อ สมมุติว่าเลือกทั้งหมด 4 ตำแหน่ง (จำนวนตำแหน่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและพัฒนาวิธีการว่าต้องการให้มีการเลือกกี่ตำแหน่ง) โดยสมมุติให้ตำแหน่งที่ 2 4 6 และ 7 เป็นตำแหน่งที่ถูกเลือก โดยเมืองที่ถูกเลือกคือเมืองที่ 2 6 3 และ 7 ตามลำดับ ดังในรูป 2.10

พ่อ

4	2	5	6	1	3	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.10 ตำแหน่งในโครโมโซมพ่อที่ถูกเลือก

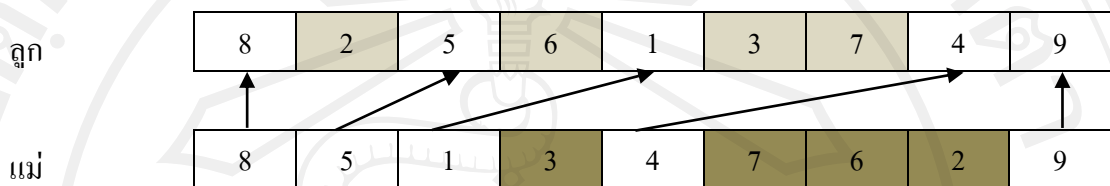
(3) สร้างโครโมโซมลูก โดยให้เมืองที่อยู่ในตำแหน่งที่ถูกเลือกในโครโมโซมพ่อเป็นชิ้นเริ่มต้นในโครโมโซมลูกซึ่งได้แก่ตำแหน่งที่ 2 4 6 และ 7 ซึ่งได้แก่เมือง 2 6 3 และ 7 ตามลำดับ ดังรูป 2.11

ลูก

	2		6		3	7		
--	---	--	---	--	---	---	--	--

รูป 2.11 โครโมโซมลูกก่อนแทรกยีนด้วยโครโมโซมแม่

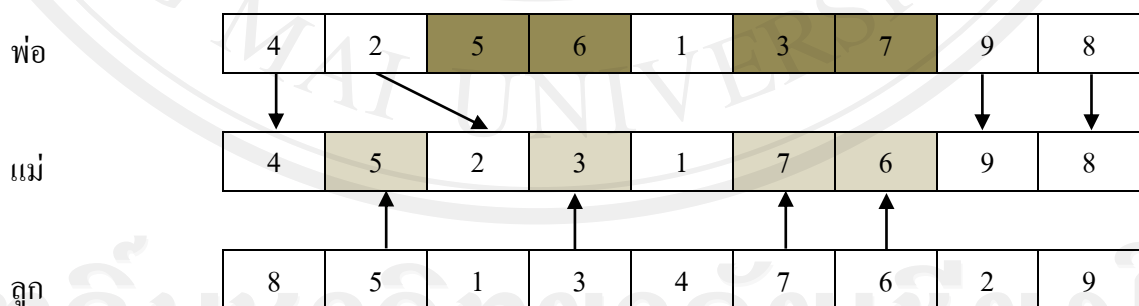
(4) ตรวจสอบความซ้ำของโครโมโซมลูกกับโครโมโซมแม่ เช่น เมืองที่ 2 ที่อยู่ในตำแหน่งที่ 8 ของโครโมโซมแม่ จะถูกลบออกจากโครโมโซมแม่ก่อนแทรกในโครโมโซมลูก เช่นเดียวกับเมืองที่ 6 3 และ 7 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ 7 4 และ 6 ในโครโมโซมแม่ ตามลำดับ เมื่อลบแล้วจึงแทรกเมืองที่เหลือของโครโมโซมแม่ลงในโครโมโซมลูกตามตำแหน่งที่เหลือ ดังแสดงในรูป 2.12



รูป 2.12 การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในโครโมโซมลูกตามตำแหน่งที่วางอยู่ในโครโมโซมลูก

จากรูป 2.12 ยีนตำแหน่งที่ 1 คือเมืองที่ 8 ในโครโมโซมแม่จะถูกแทรกไว้ในตำแหน่งที่ 1 ในโครโมโซมลูก จากนั้นยีนลำดับที่ 2 คือเมืองที่ 5 ในโครโมโซมแม่จะถูกแทรกไว้ในตำแหน่งที่ 3 ในโครโมโซมลูก และแทรกเมืองที่ 1 4 และ 9 ในตำแหน่งที่ 5 8 และ 9 ในโครโมโซมลูกตามลำดับ

หากใช้ตำแหน่งเดียวกันในการใช้โครโมโซมแม่เป็นโครโมโซมเริ่มต้นจะได้ผลการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมดังแสดงในรูป 2.13



รูป 2.13 การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมโดยใช้โครโมโซมแม่เป็นจุดเริ่มต้น

จากรูป 2.13 ตำแหน่งที่ถูกเลือกคือตำแหน่งที่ 2 4 6 และ 7 โดยเมืองที่ถูกเลือกจากโครโมโซมแม่เพื่อนำไปเป็นยีนเริ่มต้นในโครโมโซมลูกคือ เมือง 5 3 7 และ 6 จากนั้นลบเมืองที่ซ้ำระหว่างโครโมโซมลูกและโครโมโซมพ่อ ตำแหน่งในโครโมโซมพ่อที่ถูกลบคือยีนตำแหน่งที่ 3 4

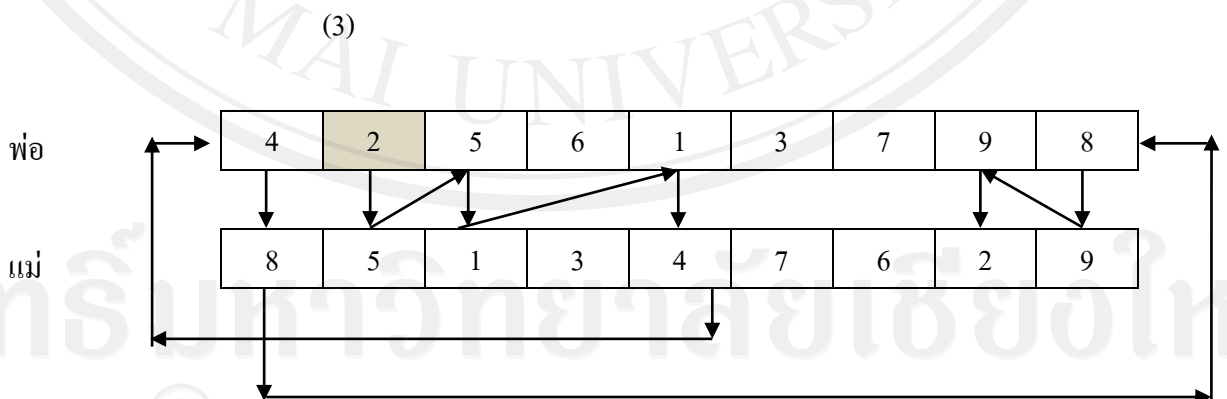
6 และ 7 ซึ่งซ้ำกับเมือง 5 6 3 และ 7 ตามลำดับ จากนั้นแทรกยีนที่เหลือของโครโมโซมพ่อในโครโมโซมลูกในตำแหน่งที่ว่างตามลำดับ เช่น เมืองแรกในโครโมโซมพ่อคือ เมืองที่ 4 ถูกแทรกในยีนที่ 1 ของโครโมโซมลูก จากนั้นแทรกเมือง 2 1 9 และ 8 ในตำแหน่งที่ 3 5 8 และ 9 ของโครโมโซมลูก จะได้โครโมโซมลูกที่สมบูรณ์ดังแสดงในรูป 2.13

จ. การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบวนรอบ (Cycle Crossover : CX)

มีวิธีการดังนี้

(1) เลือกโครโมโซมพ่อแม่เพื่อแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม สมมติเลือกโครโมโซมเช่นเดียวกับหัวข้อ ค. ดังแสดงในรูป 2.3

(2) เลือกตำแหน่งเริ่มต้นของการวนรอบเพื่อสร้างโครโมโซมลูก สมมติเลือกตำแหน่งที่ 2 ในโครโมโซมพ่อเป็นจุดเริ่มต้น จะเห็นว่าเมืองที่ 2 ในโครโมโซมพ่อจะมีตำแหน่งในโครโมโซมตรงกับเมืองที่ 5 ในโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 5 อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ในโครโมโซมพ่อ ซึ่งตำแหน่งที่ 3 ของโครโมโซมพ่อจะตรงกับเมืองที่ 1 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ 3 ของโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 1 จะอยู่ในตำแหน่งที่ 5 ของโครโมโซมพ่อ ซึ่งตรงกับเมืองที่ 4 ของโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 4 ในโครโมโซมพ่อจะอยู่ในตำแหน่งที่ 1 และจะตรงกับตำแหน่งที่ 1 ในโครโมโซมแม่ซึ่งได้แก่เมืองที่ 8 และเมือง 8 จะอยู่ลำดับสุดท้ายในโครโมโซมพ่อ ซึ่งตรงกับเมืองที่ 9 ในโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 9 จะอยู่ในตำแหน่งที่ 8 ในโครโมโซมพ่อ ซึ่งจะตรงกับเมืองที่ 2 ในโครโมโซมแม่ ซึ่งจะวนครบรอบมาเริ่มต้นที่เมืองที่ 2 อีกครั้ง ถือว่าเป็นการหยุดการวนรอบ ดังแสดงรายละเอียดในรูป 2.14



รูป 2.14 การวนรอบที่เริ่มจากเมืองในตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซมพ่อ

(4) สร้างโครโมโซมลูกโดยยึดโครโมโซมพ่อเป็นหลัก โดยให้ตำแหน่งของเมืองที่วนรอบผ่านในโครโมโซมพ่อเป็นหลักเป็นจุดเริ่มต้นของโครโมโซมลูก เช่น

ให้เมืองที่ 4 2 5 1 9 และ 8 อยู่ในตำแหน่งที่ 1 2 3 5 8 และ 9 ของโครโมโซมลูก และตำแหน่งที่เหลือให้ว่างไว้ก่อนดังแสดงในรูปที่ 2.15

ลูก

4	2	5		1			9	8
---	---	---	--	---	--	--	---	---

รูป 2.15 โครโมโซมลูกก่อนแทรกด้วยโครโมโซมแม่

จากนั้นแทรกตำแหน่งที่ว่างไว้ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่งที่ 4 6 และ 7 ในโครโมโซมลูกด้วยเมืองที่อยู่ในตำแหน่งที่ 4 6 และ 7 ในโครโมโซมแม่ ซึ่งได้แก่เมือง 3 7 และ 6 ดังแสดงในรูป 2.16

ลูก

4	2	5	3	1	7	6	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

แม่

8	5	1	3	4	7	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.16 การแทรกยีนจากโครโมโซมแม่ในตำแหน่งที่ว่างในโครโมโซมลูก

หากต้องการสร้างโครโมโซมลูกที่ 2 โดยเริ่มจากโครโมโซมแม่ จะได้ผลดังแสดงใน

รูป 2.17

พ่อ

4	2	5	6	1	3	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

แม่

8	5	1	6	4	3	7	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ลูก

8	5	1	3	4	7	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.17 การสร้างโครโมโซมลูกจากตำแหน่งการวนรอบโดยเริ่มจากเมือง 2 แต่ใช้โครโมโซมแม่เป็นจุดเริ่มต้น

จากรูป 2.17 เมืองที่ 8 5 1 4 2 และ 9 จะถูกคัดลอกมาจากโครโมโซมแม่และวางไว้ในตำแหน่งที่การวนรอบผ่าน (ใช้การวนรอบเดียวกันกับที่แสดงในรูป 2.14) จากนั้นแทรกเมืองจาก

โครโมโซมพ่อในตำแหน่งที่ว่างในโครโมโซมลูก ซึ่งเมืองที่ถูกแทรก ได้แก่เมือง 6 3 และ 7 ซึ่งจะได้โครโมโซมลูกดังแสดงในรูป 2.17

จ. การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบการจับคู่ปรับบางส่วน (Partial Mapped Crossover : PMX) มีวิธีการดังนี้

(1) เลือกลำดับเมืองที่จะแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม เช่น จากรูปที่ 2.17 เลือกโครโมโซมพ่อและแม่ จากนั้นเลือกเมืองในลำดับที่ 3 ถึง 6 ได้แก่ ลำดับเมืองที่จะถูกแลกเปลี่ยนจากโครโมโซมพ่อคือ 5-6-1-3 และจากโครโมโซมแม่คือ 1-3-4-7 ดังแสดงในรูปที่ 2.18

พ่อ

4	2	5	6	1	3	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

แม่

8	5	1	3	4	7	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.18 ตำแหน่งการเลือกลำดับเมืองที่จะแลกเปลี่ยนโครโมโซม

(2) หาความสัมพันธ์ระหว่างลำดับเมืองที่ย้ายจากโครโมโซมพ่อและแม่ (Mapping) เช่น เมืองที่ 5 ในโครโมโซมพ่ออยู่ลำดับเดียวกับเมืองที่ 1 ในโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 1 ในโครโมโซมพ่อจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับเมืองที่ 4 ในโครโมโซมแม่ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของลำดับเมือง 5-1-4 เป็น $5 \Leftrightarrow 1 \Leftrightarrow 4$

เมืองที่ 6 ในโครโมโซมพ่อจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับเมืองที่ 3 ในโครโมโซมแม่ และเมืองที่ 3 ในโครโมโซมพ่อจะอยู่ตำแหน่งเดียวกับเมืองที่ 7 ในโครโมโซมแม่ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์เป็น $6 \Leftrightarrow 3 \Leftrightarrow 7$

(3) สร้างโครโมโซมลูก โดยโครโมโซมลูกที่ 1 ให้ใช้โครโมโซมพ่อเป็นโครโมโซมเริ่มต้น โดยให้คัดลอกลำดับเมืองที่เลือกไว้ในข้อ (1) จากโครโมโซมแม่ไปแทนที่ในตำแหน่งที่เลือกไว้ในโครโมโซมพ่อและในโครโมโซมลูกที่ 2 ให้ใช้โครโมโซมแม่เป็นจุดเริ่มต้น โดยคัดลอกลำดับที่เลือกไว้ในโครโมโซมพ่อมาไว้ในตำแหน่งที่เลือกไว้ในโครโมโซมแม่ (แลกเปลี่ยนลำดับที่เลือกไว้ระหว่างโครโมโซมพ่อและแม่) จะได้ผลดังรูป 2.19

ลูก 1

4	2	1	3	4	7	7	9	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---

ลูก 2

8	5	5	6	1	3	6	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.19 การคัดลอกโครโมโซมลูกจากโครโมโซมพ่อแม่

จากรูป 2.19 ตำแหน่งที่ 1 ในโครโมโซมลูกที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 เดิมคือเมือง 4 จากนั้นตรวจสอบความสัมพันธ์ เมืองที่ 4 จะมีความสัมพันธ์กับเมืองที่ 5 และ 1 แต่เมืองที่ 1 อยู่ในลำดับที่ ถูกเลือกแล้วดังนั้นจะแทนตำแหน่งที่ 4 ด้วยเมืองที่ 5 ในลำดับที่ 1 จะได้ลำดับปัจจุบันเป็น 5-2-1-3-4-7-7-9-8 เมืองที่ 2 ไม่อยู่ในความสัมพันธ์ที่ระบุไว้ในหัวข้อ (2) ดังนั้นโครโมโซมลูกที่ 1 จะไม่ปรับเปลี่ยนอะไรในตำแหน่งที่ 2 และจะไม่ดำเนินการใดๆ ในลำดับที่คัดลอกมาจากโครโมโซมแม่ ลำดับที่จะปรับเปลี่ยนต่อไปคือลำดับที่ 7 คือเมืองที่ 7 ซึ่งเมือง 7 จะมีความสัมพันธ์กับเมืองที่ 3 และ 6 ดังนั้นเมืองที่จะปรับแทนเมือง 7 คือเมือง 6 และเมือง 9 ไม่อยู่ในความสัมพันธ์ในข้อ (2) ดังนั้นจะคงเมืองที่ 9 ไว้ในลำดับที่ 8 เช่นเดียวกับเมืองที่ 8 ซึ่งไม่อยู่ในความสัมพันธ์ในข้อ (2) จึงคงที่ไว้ในลำดับที่ 9 เช่นเดียวกัน

เช่นเดียวกันกับโครโมโซมลูกที่ 1 ในโครโมโซมลูกที่ 2 ให้คงตำแหน่งที่ 3 ถึง 6 ไว้โดยไม่เปลี่ยนแปลงอะไร ให้ปรับลำดับที่ 1 5 7 8 และ 9 ซึ่งได้แก่ เมือง 8 5 6 2 และ 9 ตามความสัมพันธ์ในข้อ (2) ซึ่งจากการตรวจสอบจะแทนที่เมือง 5 ด้วยเมือง 4 เมือง 6 ด้วยเมือง 7 ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ให้คงที่ไว้เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์ตามแสดงในข้อ (2) และผลการการดำเนินการปรับเปลี่ยนโครโมโซมสามารถแสดงได้ในรูป 2.20

ลูก 1	5	2	1	3	4	7	6	9	8
ลูก 2	8	4	5	6	1	3	7	2	9

รูป 2.20 การคัดลอกโครโมโซมลูกจากโครโมโซมพ่อแม่หลังการปรับเปลี่ยน

2) ความน่าจะเป็นการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation Probability) คือความน่าจะเป็นของการเกิดการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมเพื่อให้เกิดโครโมโซมใหม่ในรุ่นลูก (Off-spring) หรือเกิดการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม ซึ่งค่าความน่าจะเป็นนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0-100 โดยทั่วไปค่าความน่าจะเป็นของการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม จะถูกกำหนดไว้ให้อยู่ในช่วง 0-1% ของจำนวนตำแหน่งภายในโครโมโซม เช่น มียีนในโครโมโซมหนึ่ง 100 ยีน ความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีน 10% หมายความว่าจำนวนตำแหน่งที่ยีนในโครโมโซมจะถูกเปลี่ยนแปลงจากเดิมเป็นจำนวน 10 ตำแหน่ง ในกรณีที่ไม่มี การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม นั้นหมายความว่ามีการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมเกิดขึ้นเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าเกิดการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม 100% จะทำให้ทุกตำแหน่งใน

โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งปกติแล้วใน GA อาจเกิดกรณีแบบนี้ขึ้นได้แต่ไม่บ่อยนัก เพราะจะทำให้การค้นหาใน GA กลายเป็นการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) ตัวอย่าง การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมสามารถดำเนินการได้ตามลำดับดังนี้

(1) สมมติว่าโครโมโซมหนึ่งมียีนดังแสดงในตาราง 2.26

ตาราง 2.2 รายละเอียดของยีนในโครโมโซมที่กำหนด

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1

(2) สุ่มความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีน สมมติความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนเป็น 10% มียีนทั้งสิ้น 18 ตำแหน่ง 10% ของ 18 มีค่าเท่ากับ 1.8 ปรับเป็น 2 ตำแหน่ง ดังนั้นจะมียีน 2 ตำแหน่งที่ถูกปรับเปลี่ยน

(3) สุ่มตำแหน่งของการปรับเปลี่ยนยีน สมมติว่าสุ่มมาสองตำแหน่งได้ ตำแหน่งที่ 11 และ 17 ค่าเดิมของยีนตำแหน่งที่ 11 คือ 0 ดังนั้นถูกปรับเป็น 1 ค่าเดิมของยีนที่ 17 เป็น 1 จะถูกเปลี่ยนเป็น 0 โดยสรุปจะได้โครโมโซมใหม่หลังการปรับเปลี่ยนยีนดังแสดงในตารางที่ 2.27

ตาราง 2.3 รายละเอียดการปรับเปลี่ยนยีนในตำแหน่งที่ 11 และ 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1

ในการสร้างโครโมโซมแบบใช้ลำดับจริง เช่น ในปัญหา TSP นั้นสามารถปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมได้หลายวิธีเช่นเดียวกัน แสดงได้ดังนี้

(1) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบอินเวอร์ส (Inversion Mutation)

สามารถดำเนินการได้ตามลำดับดังนี้

- เลือกตำแหน่งที่จะสลับ สมมติว่าโครโมโซมที่จะปรับเปลี่ยนคือ

โครโมโซมถูกดังแสดงในรูป 2.17 และสมมติว่าตำแหน่งที่เลือกสลับคือตำแหน่งที่ 4 ซึ่งอยู่ระหว่างเมืองที่ 6 และ 4 จากนั้นเลือกจำนวนเมืองที่ต้องการปรับเปลี่ยน (ตามความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยน) สมมติว่าจะปรับเปลี่ยน 4 ตำแหน่งแสดงว่าเมืองจากจุดกลางที่เลือกด้านละ 2 เมืองจะถูกปรับเปลี่ยน (หากจำนวนเมืองที่ปรับเปลี่ยนคือ 2 เมือง เมืองที่ถูกเลือกในการปรับจะห่างจากจุด

ปรับเปลี่ยนด้านละ 1 เมืองเท่านั้น) ในที่นี้จะปรับเปลี่ยน 4 ตำแหน่ง ดังนั้นเมืองที่จะถูกปรับและสลับกันได้แก่ เมือง 1, 6 และ 4, 3 และหลังจากการอินเวอร์สจะได้เส้นทางใหม่ดังแสดงในรูป 2.21

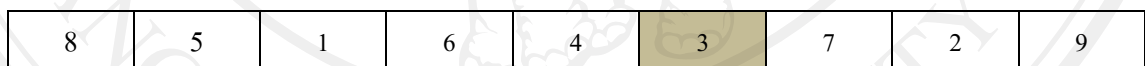


รูป 2.21 การปรับเปลี่ยนโคโมโซมแบบอินเวอร์ส

(2) การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมด้วยการแทรก (Insertion Mutation)

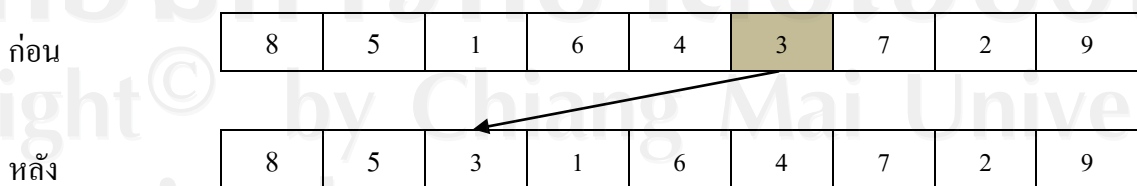
สามารถดำเนินการได้ตามลำดับดังนี้

(ก) เลือกเมืองที่จะย้ายเพื่อจะนำไปแทรกในตำแหน่งอื่น เช่น จากรูป 2.18 ลำดับ การเดินทางเป็น 8-5-1-6-4-3-7-2-9 สมมติว่าเมืองที่ถูกเลือกอยู่ในลำดับที่ 6 คือเมืองที่ 3 ดังแสดงในรูป 2.22



รูป 2.22 การเลือกตำแหน่งที่จะย้ายเพื่อแทรกที่ตำแหน่งอื่น (เมือง 3)

(ข) เลือกตำแหน่งที่ต้องการจะแทรก เช่น สมมติว่าตำแหน่งที่ถูกเลือกคือตำแหน่งที่อยู่ระหว่างเมือง 5 และ 1 ย้ายเมืองที่ 3 มาไว้ในตำแหน่งดังกล่าว จะได้เส้นทางใหม่เป็น 8-5-3-1-6-4-7-2-9 ดังแสดงได้ในรูป 2.23



รูป 2.23 เส้นทางก่อนและหลังการแทรกเมือง 3 มาไว้ตำแหน่งระหว่างเมือง 5 และ เมือง 1

นอกจากการย้ายและแทรกที่ละเมืองแบบในหัวข้อ (2) ในลำดับที่ (ก) และ (ข) นี้แล้ว การย้ายไปแทรกสามารถดำเนินการที่ละหลายๆ เมืองได้ตามลำดับดังนี้

(ก) เลือกเมืองที่จะย้ายเพื่อนำไปแทรกในตำแหน่งอื่น เช่น จากรูป 2.15 ลำดับการเดินทางเป็น 8-5-1-6-4-3-7-2-9 สมมติว่าเมืองที่เลือกอยู่ในลำดับที่ 4 ถึง 7 จากรูป 2.18 เมืองที่ถูกเลือกไว้คือเมืองที่ 6-4-3-7 ดังแสดงในรูป 2.24

8	5	1	6	4	3	7	2	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

รูป 2.24 การเลือกตำแหน่งที่จะย้ายเพื่อแทรกที่ตำแหน่งอื่น (เมือง 6 ถึง 7)

(ข) เลือกตำแหน่งที่ต้องการจะแทรก เช่น สมมติว่าตำแหน่งที่ถูกเลือกคือตำแหน่งที่อยู่ระหว่างเมือง 8 และ 5 จากนั้นย้ายลำดับเมืองที่เลือกไว้คือ 6-4-3-7 มาไว้ในตำแหน่งดังกล่าว จะได้เส้นทางใหม่เป็น 8-6-4-3-7-5-1-2-9 ดังแสดงในรูป 2.25

ก่อน	8	5	1	6	4	3	7	2	9
หลัง	8	6	4	3	7	5	1	2	9

รูป 2.25 เส้นทางก่อนและหลังการย้ายเมือง 6-4-3-7 มาแทรกที่ตำแหน่งระหว่างเมือง 8 และเมือง 5

(3) ขนาดของประชากรในแต่ละรุ่น (Population Size) จำนวนประชากรในแต่ละรุ่นเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดขึ้นมาก่อน เพื่อสร้างกลไกในการสร้างคำตอบให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ หากมีประชากรในแต่ละรุ่นมากจะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายมากขึ้น แต่หากมีจำนวนมากเกินไปจะทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมาก ส่งผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ช้าลง แต่หากน้อยเกินไปคำตอบที่ได้จะมีจำนวนน้อยและค้นหาคำตอบที่ดีได้น้อย โดยปกติจำนวนประชากรจะขึ้นอยู่กับจำนวนหรือองค์ประกอบของคำตอบเช่น ในการเดินทางของปัญหา TSP ที่ต้องเดินทางผ่านเมือง 5 เมือง หรือ ค่า $N = 5$ ค่าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นอาจจะเป็น 5 (N) โครโมโซม, 10 ($2N$) โครโมโซม หรือตัวเลขอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับ N เมื่อ N คือจำนวนหน่วยของปัญหาที่ต้องการตัดสินใจ เช่น ในปัญหา TSP ค่า N หมายถึง จำนวนเมืองที่จะต้องเดินทางเพื่อไปส่งของ ในปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม N หมายถึง จำนวน

คาบเวลาที่ต้องวางแผนการผลิต ขณะที่ในปัญหาการจัดลำดับและตารางการผลิต N คือจำนวนงานที่ต้องการจัดลำดับและตารางการผลิต ซึ่งหากจำนวน N มีค่ามาก ๆ ค่า N ที่นำมาใช้ในวิธีการ GA อาจมีค่าเป็น $N/2$, $N/4$ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วของวิธีการที่พัฒนาขึ้น

2.4.5 รหัสเทียมของวิธีการเชิงพันธุกรรม

รหัสเทียม (Pseudo Code) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนาวิธีการด้านเมตาฮิวริสติก รหัสเทียมอย่างง่ายของวิธีการ GA สามารถแสดงได้ในรูป 2.26

1. [เริ่มต้น] สร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยการสุ่มจำนวน N โครโมโซม
2. [คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชัน] คำนวณหาค่าฟิตเนสฟังก์ชันของคำตอบเริ่มต้น
3. [สร้างคำตอบรุ่นลูก] สร้างโครโมโซมรุ่นลูกจนกว่าจะได้จำนวนรุ่นลูกเท่ากับค่า N จากลำดับขั้นต่อไป
 - (1) [เลือกโครโมโซมต้นแบบ] เลือกโครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซม จาก N โครโมโซม (พ่อ-แม่) โดยใช้ความน่าจะเป็นโดยพิจารณาจากค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (โครโมโซมที่มีค่าฟิตเนสฟังก์ชันดีกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า)
 - (2) [แลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม] การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน 0.7 หรือ 70%
 - (3) [ปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม] การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นในการปรับเปลี่ยนยีนภายใน 10%
4. [แทนที่] แทนที่โครโมโซมรุ่นพ่อ – แม่ ด้วยโครโมโซมรุ่นลูก
5. [ทดสอบการแทนที่คำตอบใหม่ที่ดีที่สุด] หากพบคำตอบที่ดีกว่าให้บันทึกไว้และให้วนซ้ำขั้นตอน 2-5 ใหม่ จนกว่าจะครบ 5 รอบ หรือครบเงื่อนไขอื่น ๆ ในการหยุดทำงาน

รูป 2.1 ตัวอย่างรหัสเทียมอย่างง่ายของ GA

สำหรับเงื่อนไขในการหยุดการทำงานหรือ Stop Condition นั้น สามารถกำหนดได้

หลากหลายรูปแบบเช่น

- ครอบรอบการทำงานที่ได้กำหนดไว้ เช่น กำหนดให้มีการวนซ้ำ 100 รอบ
- จำดำเนินการทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 2-5 จำนวน 100 รอบ เมื่อครบแล้วจะหยุดการทำงาน ดังเช่นแสดงในรหัสเทียมของ GA

- พบเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการ เช่น การกำหนดว่าหากคำตอบได้มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดให้หยุดการทำงาน
- การกำหนดเวลา เช่น กำหนดให้วนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบ 30 นาที หรือ 1 ชั่วโมง หลังจากหยุดวนซ้ำ คำตอบที่ดีที่สุดที่จะพบจะถูกนำมารายงานให้ทราบ

จากหลักการและ ทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีลีนคอนสตรัคชัน (Lean Construction) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ปัญหาในงานก่อสร้าง และนำทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) และทฤษฎีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เข้ามาช่วยแก้ไขปัญห โดยใช่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการหาคำตอบ รายละเอียดของขั้นตอนและวิธีการในการแก้ไขปัญหานั้นจะนำเสนอในบทที่ 3 ต่อไป

2.5 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีลีนคอนสตรัคชัน (Lean Construction) เข้ามาวิเคราะห์ปัญหาในงานก่อสร้าง ทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) ทฤษฎีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เข้ามาแก้ไขปัญหในงานก่อสร้าง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพงานก่อสร้าง โดยเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้อธิบายดังต่อไปนี้

2.5.1 ทฤษฎีลีนคอนสตรัคชัน

ทฤษฎีลีนคอนสตรัคชันสามารถนำไปประยุกต์ใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพงานก่อสร้างได้ทั้งระบบ ซึ่งในขั้นตอนของการจัดเตรียมทรัพยากรถือเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในงานก่อสร้าง (พาลิทธิและกมลวัลย์ 2542) ซึ่งจากงานวิจัยของ Hisham and Khaled (2011) เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดซื้อวัสดุและการจัดเก็บในสถานที่ก่อสร้างได้ระบุถึงปัญหาในงานก่อสร้างไว้ว่า การขาดแคลนวัสดุจนทำให้งานล่าช้า มีสาเหตุมาจากการขาดการวางแผนจัดซื้อที่ดี (Michael, 2002) โดยมีการสั่งซื้อวัสดุก่อสร้างแบบเร่งด่วนบ่อย ๆ แม้จะเป็นการสร้างความยืดหยุ่นในการจัดซื้อและลดพื้นที่จัดเก็บ แต่ก็ส่งผลถึงต้นทุนการขนส่งและการดำเนินการที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการตัดสินใจเพื่อจัดซื้อวัสดุก่อสร้างและการจัดเก็บวัสดุก่อสร้างไว้ในสถานที่ก่อสร้าง โดยนำวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (GA) เข้าประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุน และประเมินผลกระทบการขาดแคลนวัสดุ ด้วยการพัฒนาอัลกอริทึมที่ช่วยในการตัดสินใจจึงส่งผลทำให้สามารถตัดสินใจควบคุมการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Sobotka และ Czarnigowska (2005) ยังได้สนับสนุนแนวคิดการวางแผนขนส่งวัสดุก่อสร้างว่า เป็นส่วนสำคัญของธุรกิจก่อสร้างที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพในการบริหารโครงการ โดยอธิบายถึง การพัฒนารูปแบบระบบโลจิสติกส์เพื่อใช้ในการวางแผนงานก่อสร้างเพื่อเป้าหมายหลักคือการลดต้นทุนในงานก่อสร้างและในผลงานวิจัยที่อธิบายถึงโลจิสติกส์ของโครงการในงานก่อสร้าง ยังได้อธิบายถึงการประสานระบบโลจิสติกส์ไปยังผู้มีส่วนได้เสียในทุกภาคส่วนจะทำให้ การขนส่งสามารถทำได้แบบ JIT ช่วยตัดการถือครองวัสดุที่ไม่จำเป็นในปริมาณมากเกินไปทั้งในคลังสินค้าและในไซต์ก่อสร้าง

จากความสำคัญของปัญหาในด้านประสิทธิภาพการขนส่งวัสดุก่อสร้างที่เกิดจากการบริหารงานก่อสร้าง ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการบริหารงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้าง และสร้างโมเดลเพื่อประยุกต์เข้าไปแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

2.5.2 ทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ทฤษฎี VRP เป็นปัญหาที่รู้จักกันดีในงานวิจัยที่เกี่ยวกับงานดำเนินการ (Operation Research, OR) เมื่อลูกค้าทราบความต้องการสินค้าของตนและต้องการได้สินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งหรือหลายแห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาชุดเส้นทางที่มีต้นทุนรวมน้อยที่สุดและตรงตามเงื่อนไขหรือข้อจำกัดบางอย่าง VRP ได้สร้างความสนใจให้กับนักวิจัยเป็นอย่างมากตลอดทศวรรษที่ผ่านมาเนื่องจากมีบทบาทที่สำคัญกับการวางแผนของระบบการกระจายสินค้าและโลจิสติกส์ในหลายภาคส่วน (Liong 2008)

ปัญหา VRP ได้ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 โดย Dantzig and Ramser ซึ่งได้อธิบายว่าปัญหา VRP นั้นจัดเป็นปัญหาทั่วไปของการเดินทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem, TSP) โดยปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) เป็นปัญหาของการหาเส้นทางที่ดีที่สุดของการจัดส่งหรือจัดเก็บ จากหนึ่งหรือหลายสถานีไปยังลูกค้าตามที่ต่างๆ ตามข้อจำกัดบางอย่างซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการขนส่งได้ ในการศึกษางานวิจัยของ Toth and Vigo (2002) โดยใช้คอมพิวเตอร์ในกระบวนการกระจายสินค้าได้ผลลัพธ์คือ สามารถลดต้นทุนขนส่งได้ 5-20%

อุตสาหกรรมก่อสร้างมีห่วงโซ่อุปทานขนาดใหญ่และมีมูลค่าสูง ซึ่งในห่วงโซ่อุปทานนั้นประกอบไปด้วยการเคลื่อนไหวของข้อมูลและวัสดุ (John and Hans 1999) ซึ่งปัจจัยหลักแห่งความสำเร็จในอุตสาหกรรมก่อสร้างนั้นจะขึ้นอยู่กับจัดการห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบ กล่าวคือต้องเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพภายในห่วงโซ่ (Jae G.Jeong 2006) ซึ่งในอุตสาหกรรม

อื่นๆ ได้มีการเพิ่มประสิทธิภาพภายในห่วงโซ่โดยการปรับปรุงในขั้นตอนการขนส่งสินค้า เช่น สินค้าเครื่องดื่ม (อดิธร 2553) สารเคมี (ทวิพันธ์ 2552) น้ำตาล (นาวิ 2550) พนักงาน (ฉัตรชัย 2551) และปูนถุง (พีรพัฒน์ และคณะ 2551) เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้เหมือนกัน คือ สามารถลดต้นทุนค่าดำเนินการและลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ได้ลงได้ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้เป็นการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยมีวิธีการแก้ไขที่แตกต่างกันดังนั้น ทำให้เข้าใจความสำคัญในการแก้ไขปัญหาการขนส่งที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงอุตสาหกรรมก่อสร้าง สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้โดยมุ่งเน้นไปในเรื่องของการขนส่ง และประยุกต์ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) เข้ามาใช้โดยวิธีการแก้ไขต่าง ๆ

ดังที่กล่าวไว้ในหลักการและทฤษฎีที่ใช้ มีวิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP ซึ่งแบ่งได้ 3 วิธีการด้วยกัน ได้แก่ วิธีแม่นยำตรง (Exact Method) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic Method) โดยวิธีแม่นยำตรง (Exact Method) และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย งานวิจัยของ (ยศศิริ 2549) ใช้เพื่อปัญหาการเดินทางที่ขยับเปลา โดยการจัดเส้นทางให้เกิดการขนส่งอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะใช้วิธีการแก้ปัญหา 2 รูปแบบ คือ วิธีการแบบแม่นยำตรง (Exact Column-generation-based Branch-and-bound Algorithm) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic) ผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดระยะทางการเดินทางที่ขยับเปลาได้ ร้อยละ 30-42 เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี แสดงความต่างเพียงเล็กน้อยของค่าใช้จ่ายที่ลดลง แต่วิธีการแบบแม่นยำตรงให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงผลเฉลยที่ดีที่สุดมากกว่าวิธีฮิวริสติกส์ แต่ใช้เวลาแก้ไขนานกว่าเมื่อเห็นว่าคุณค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าสนใจ จึงสนใจวิธีฮิวริสติกส์มากกว่า เพราะต้องการตัดสินใจที่รวดเร็ว งานวิจัยของ (ฉัตรชัย 2551) ได้ใช้วิธีฮิวริสติกส์เข้ามามีการจัดวิธีรับส่งพนักงาน โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 2 ขั้นตอน คือ ใช้วิธี Saving ที่ Clarke and Wright ได้เสนอไว้ในปี 1964 หาเส้นทางเดินรถคู่แต่ละคัน ขั้นที่สอง ปรับปรุงคำตอบโดยใช้ Local Search สามารถลดต้นทุนรวมได้ร้อยละ 60 ซึ่งเป็นต้นทุนค่าเช่ารถตู้ร้อยละ 56.5 และต้นทุนการเดินทางรวมของรถตู้ ร้อยละ 3.5 (พัฒพงษ์ 2552) ใช้วิธีการฮิวริสติก แบบ (GRASP) Greedy Randomized Adaptive Search Procedure ในการหาคำตอบเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงผลลัพธ์จากการประมวลผล พบว่า ใช้วิธีการฮิวริสติก GRASP ได้ให้คำตอบในการจัดเส้นทางเดินรถระดับที่ยอมรับได้ ลดระยะได้จาก 7,452 กม. ต่อวัน เหลือ 3,723 กม. ต่อวัน หรือลดลงไปร้อยละ 50.04

นอกจากนี้งานวิจัยของ (ธนศ 2543) ยังได้พัฒนาระบบการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีการฮิวริสติกส์ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถและเขตการส่ง ระบบการจัดเส้นทางที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีที่ถูกพัฒนาโดยการศึกษาที่ผ่านเล็กน้อย แต่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจัดเส้นทางเดินรถด้วยพนักงาน จึงเป็นแนวความคิดเพื่อพัฒนาต่อยอดในงานวิจัยขั้นนี้

ประกอบกับ (พอเจตน์ 2552) ได้เสนอการปรับปรุงเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมเอ็กเซลโซลเวอร์ (Excel Solver) ผลลัพธ์จากการประมวลผล พบว่า สามารถลดการใช้จำนวนรถลงเป็น 13 คันต่อเดือน ค่าใช้จ่ายลดลงเป็นจำนวน 14,560 บาทต่อเดือน หรือลดลงไปร้อยละ 14.94 ทำให้ทราบเครื่องมือที่สามารถจะนำเข้ามาใช้ในงานวิจัยนี้ได้ แต่วิธีการฮิวริสติกส์เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหาเท่านั้น ซึ่งหมายความว่า ไม่สามารถนำวิธีการฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาหนึ่งไปใช้หาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาคำตอบของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น เราจึงสนใจวิธีการฮิวริสติกส์ที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถถูกดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ คือ วิธีเมตะฮิวริสติกส์

โดย งานวิจัยของ (ณกร 2548) และ Laporte และคณะ (2000) ได้เสนอบทความในการจัดเส้นทางด้วยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกในแบบต่าง ๆ เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางแบบคลาสสิก (Classical heuristics) โดยได้ข้อสรุปวิธีการที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางคือการหาค่าการประหยัด พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางด้วย Meta heuristic ในอีกรูปแบบ ดังเช่นงานวิจัยที่ใช้วิธี Tabu Search ของ Barbarosoglu and Ozgur (1999) ได้เสนอแนวทางการออกแบบการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบใหม่ (Modern heuristics) ในประเทศตุรกีโดยจัดเส้นทางด้วยวิธี Tabu Search โดยกำหนดให้ออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยเริ่มต้นสร้างเส้นทางที่เรียกว่า Non-Tabu แล้วจึงปรับปรุงเส้นทางระหว่างกัน ซึ่งผลการศึกษาช่วยให้ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในแต่ละวันดีขึ้น งานวิจัยของ Weigel and Cao (1999) กล่าวถึงบริษัทขนส่งสินค้าจำพวก สินค้าเฟอร์นิเจอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ส่งถึงบ้านแห่งหนึ่ง โดยต้องการให้ระบบการจัดเส้นทางสามารถส่งสินค้าถึงมือลูกค้าในเวลาที่เหมาะสม สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และช่วยให้พนักงานขับรถพึงพอใจกับงาน จึงได้ออกแบบระบบสำหรับปัญหาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ (VRPTW) โดยใช้เวลาซึ่งประกอบด้วย เวลาในการเดินทาง เวลาคอย และเวลาที่ล่าช้า เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยใช้ซอฟต์แวร์ GIS ArcInfo ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของถนนสายต่าง ๆ และสร้างอัลกอริทึมแบบ Cluster-First Routesecond และหา OD Matrix ซึ่งให้ผู้ใช้งานส่งผ่านข้อมูลทางระบบ WAN ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลดลงปีละ 42 ล้านดอลลาร์ แต่ยังมีอีกวิธีการแก้ไขหนึ่ง ซึ่งถูกเสนอในปี 1975 โดย John Holland ได้เสนอไว้ คือ วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (GA) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและมีความยืดหยุ่นมาก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ได้

ทันทีหรือเพียงแค่ดัดแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ฉกร 2548) โดยจะได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (GA) ที่ประยุกต์ในงานก่อสร้างในส่วนต่อไป

จะเห็นได้ว่าวิธี VRP เป็นวิธีการแก้ไขปัญหามานานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่ง ภายใต้ปัจจัยและข้อจำกัดที่แตกต่างกันเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการลดต้นทุนการขนส่ง และลดระยะเวลาการขนส่งให้มีความเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงเลือกการแก้ไขปัญหามาแบบ VRP เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในการบริหารทรัพยากรในงานก่อสร้าง โดยได้ประยุกต์ใช้วิธี GA ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการหาคำตอบเข้ามาช่วยในการหาคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด

2.5.3 ทฤษฎีเมตาฮิวริสติกโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นวิธีการประมาณคำตอบวิธีหนึ่งที่ได้คำตอบที่มีคุณภาพดีเพียงพอต่อการวางแผนต่างๆ และช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแก้ปัญหายาก วิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลของวิธีเมตาฮิวริสติกส์นั้นมีหลากหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เนื่องจากเป็นเครื่องมือหาคำตอบที่เหมาะสมกับโมเดลของงานวิจัยนี้และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย รวมทั้งในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ใช้ GA เพื่อหาคำตอบมากมาย ทำให้การนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้กับกิจการของตนได้สะดวก

วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมสามารถประยุกต์ใช้กับงานหลากหลายประเภท งานวิจัยของ (ปณิธ 2549) ที่ต้องการแก้ปัญหาวางผังโรงงานในรูปแบบพลวัตในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ซึ่งใช้หาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมเข้ามาช่วยปรับปรุงคำตอบ งานวิจัยปรับปรุงกระบวนการหาคำตอบสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำของ (จักรพงษ์ 2547) ได้นำหลักการหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมเข้ามาปรับปรุงกระบวนการหาคำตอบ โดยใช้วิธีการทดสอบการเข้ารหัสโครโมโซมแบบตัวเลขจำนวนจริงแทนการเข้ารหัสแบบไบนารีบิตสตริง ใช้กระบวนการคัดเลือกโครโมโซมแบบทัวร์นาเมนต์ ใช้กระบวนการเปลี่ยนถ่ายพันธุกรรมแบบยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ และใช้กระบวนการกลายพันธุ์แบบโมดิฟายยูนิฟอร์มมิวเตชัน ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการปรับปรุงสามารถทำให้การเข้าสู่ของคำตอบเร็วขึ้นกว่าเดิมมาก โดยใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าการใช้การเข้ารหัสโครโมโซมแบบไบนารีบิตสตริง ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จากจำนวนรุ่นที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดขณะเข้าสู่หาคำตอบลดลงเหลือ 100-200 รุ่น ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของโครโมโซมสั้นกว่า และขนาดของประชากรที่จำเป็นใช้น้อยกว่าคือเพียง 30-40 ชุดเท่านั้น และจากงานวิจัยของ (พัทธวัชร 2551) ที่ทำการจัดตารางการผลิตของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วย GA เพื่อหาลำดับการผลิตที่เหมาะสม โดยใช้ GA ใน

การทำให้สายการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดปริมาณงานระหว่างทำงานได้ โดยผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สายการผลิตเฉลี่ยจาก 68.1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75.2 เปอร์เซ็นต์และลดปริมาณงานระหว่างทำโดยเฉลี่ยจาก 376 เป็น 176 ชั่วโมง

วิธีเชิงพันธุกรรมจึงจัดเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีความยืดหยุ่นมากวิธีหนึ่ง นอกจากนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมเพื่อจัดวางแผนผังโรงงานแล้ว ยังได้มีการประยุกต์ใช้ GA ช่วยในงานด้านโลจิสติกส์ ดังเช่น งานวิจัยของ (อดุลย์ 2551) ที่ทำการจัดตารางการทำงานให้กับเครนในท่าเรือโดยประยุกต์ใช้ GA มาพัฒนาเพื่อหาคำตอบร่วมกับวิธี Local Search ซึ่งในช่วงแรกได้ทำการลดตัวแปรที่ไม่จำเป็นออก แล้วทำการประมวลผลใหม่สามารถทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าเดิม จากนั้นจึงนำมาทดลองกับปัญหามหาศาลแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผล ผลจากการประมวลผล ด้วย GA และ GA ร่วมกับ Local Search พบว่าสามารถหาค่าเมคสแปนต่ำสุดของการจัดตารางการทำงานของเครนได้ดี

ในอุตสาหกรรมก่อสร้างก็ได้มีการประยุกต์ใช้ GA เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเช่นกัน จากงานวิจัยของ (ลัดดาและอรรณพ 2553) ในการทำโปรแกรมตารางการจัดส่งคอนกรีตที่เหมาะสม ได้ประยุกต์ใช้ GA เข้ามาสร้างแบบจำลองเพื่อค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาอันรวดเร็วและเหมาะสมกับการใช้งาน ร่วมกับการจำลองสถานการณ์การขนส่ง เนื่องจากในงานจัดส่งคอนกรีตผสมเสร็จเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในระบบขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานอันจะทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ผลจากการใช้แบบจำลองพบว่าสามารถลดระยะเวลาการรอคอยให้สั้นลงและใช้จำนวนรถขนส่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตารางการจัดส่งโดยพนักงานที่มีประสบการณ์ ข้อสรุปดังกล่าวแสดงถึงตัวแบบที่สามารถแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถรับคำสั่งซื้อได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีระยะเวลาการรอน้อยกว่าการใช้พนักงาน และส่งผลต่อรายจ่ายค่าน้ำมันที่ลดลงอีกด้วย

จากทฤษฎีและการทบทวนงานวิจัยข้างต้น จะนำสิ่งที่ได้จากการทบทวนในบทนี้ไปเป็นแนวคิดในการดำเนินการวิจัยในการปรับปรุงประสิทธิภาพงานก่อสร้างโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการดำเนินการวิจัยต่อไป

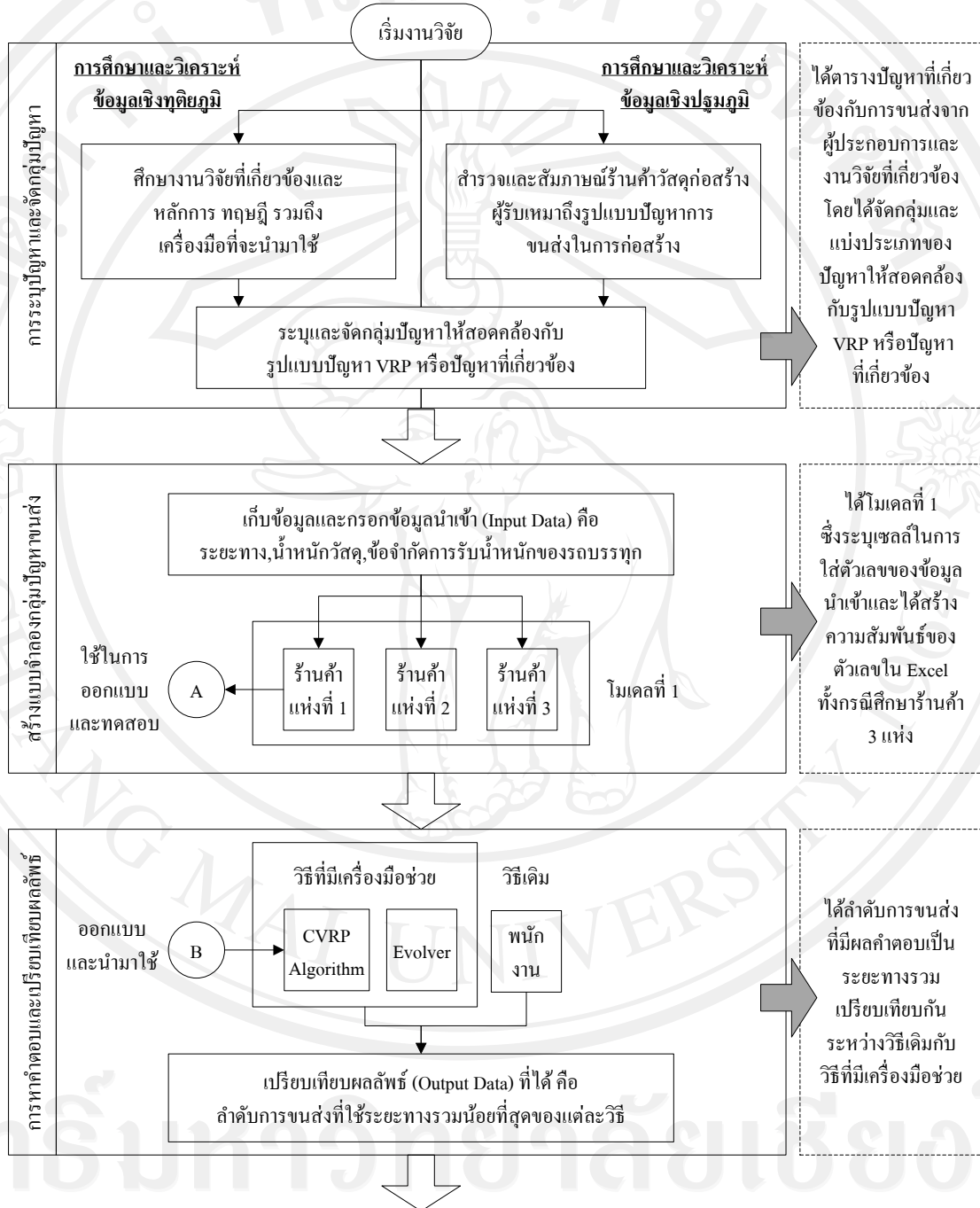
บทที่ 3

กระบวนการดำเนินงานวิจัย

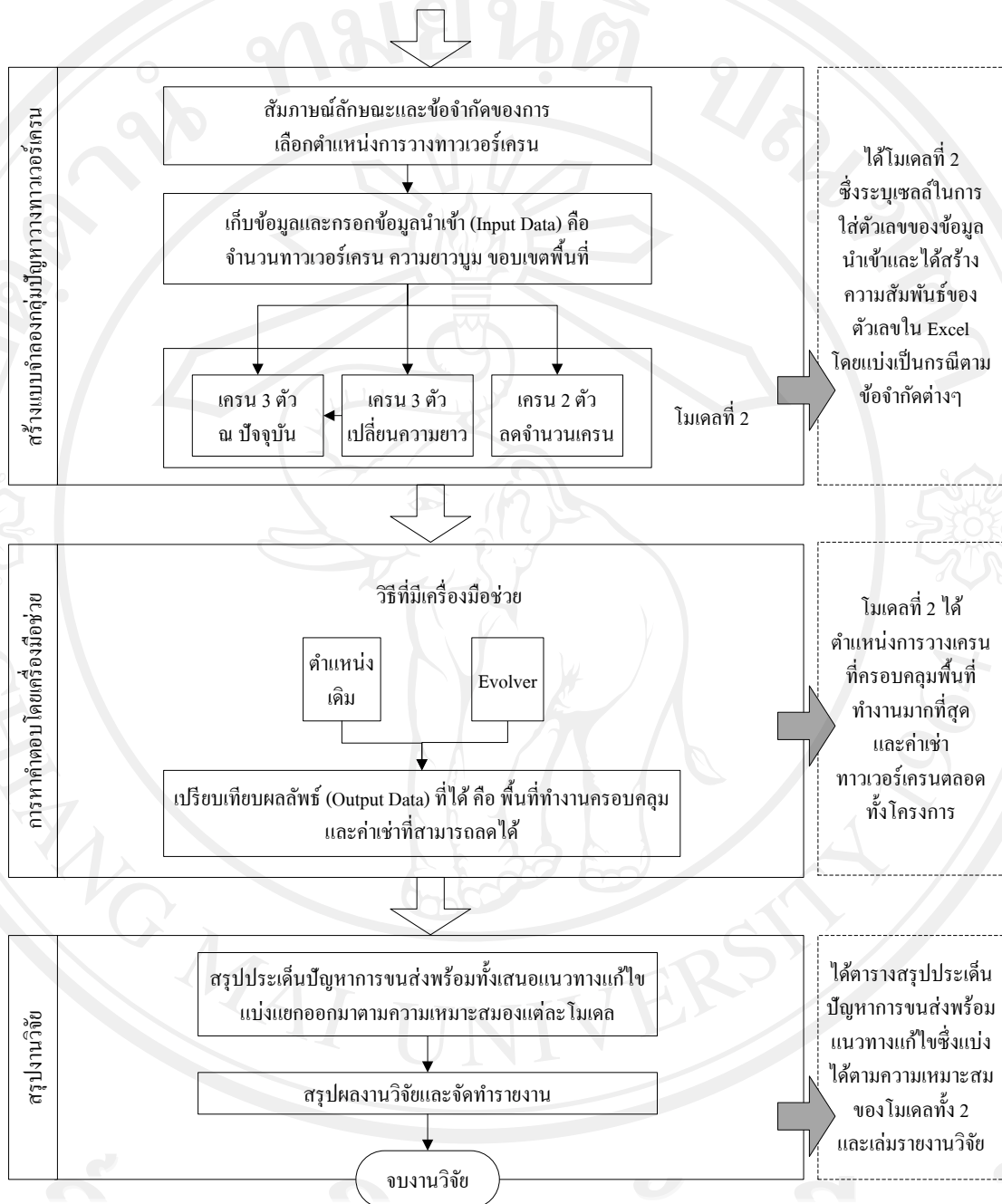
จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีรวมถึงได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ทำให้ทราบถึงแนวคิดและหลักการทางทฤษฎีต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ โดยกระบวนการดำเนินการวิจัยจะต้องเริ่มจากการกำหนดกรอบงานวิจัยที่ชัดเจน สรุปประเด็นปัญหาของงานและสร้างรูปแบบการวิจัย เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งได้แบ่งกรอบงานวิจัยออกเป็น 6 กรอบงานวิจัย ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งได้แก่

1. การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎี
2. การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์
3. การสร้างและทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ
4. การสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาคารขณส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง
5. การสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาคารเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง
6. สรุปงานวิจัย

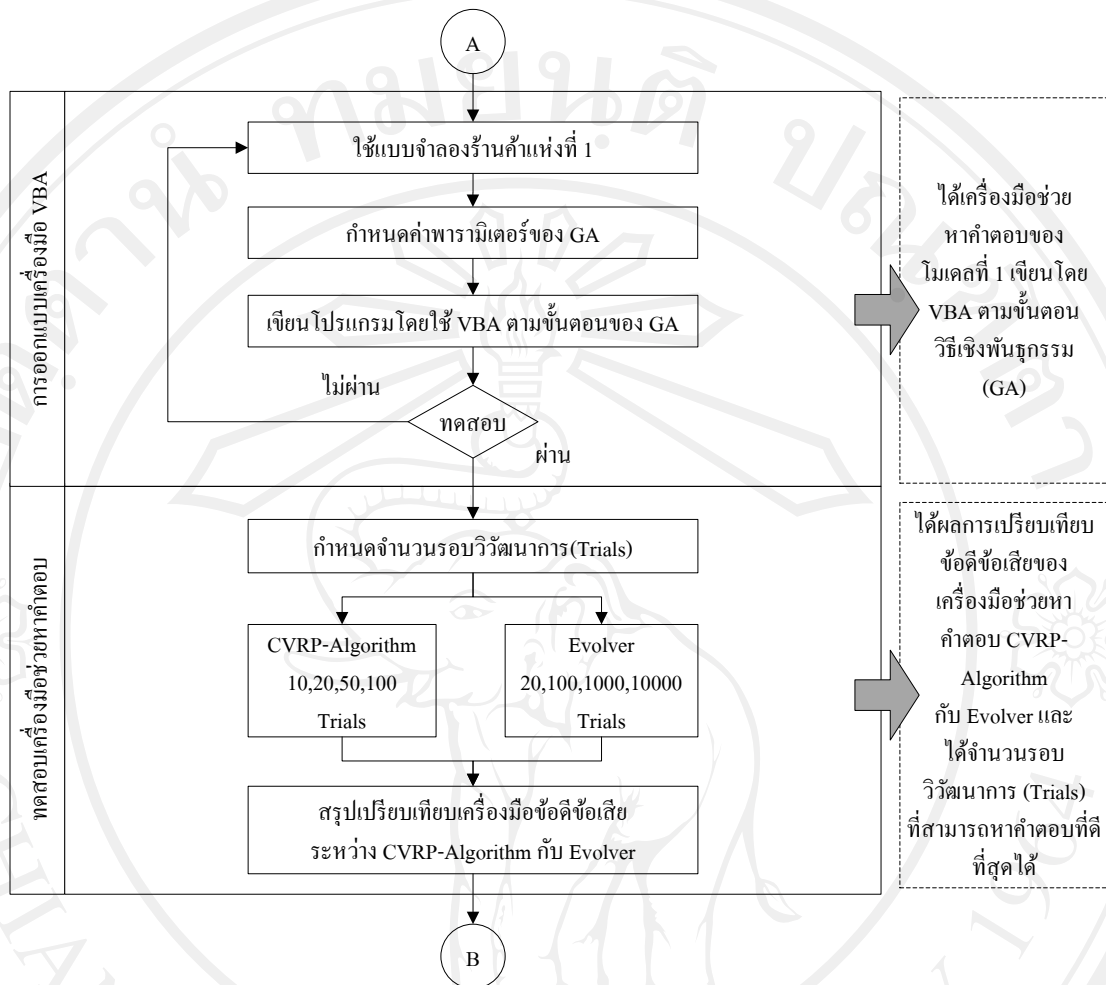
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูป 3.1 การดำเนินงานวิจัย



รูป 3.1 การดำเนินงานวิจัย (ต่อ)



รูป 3.1 การดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎี

เป็นการเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ โดยได้ศึกษาถึงความสำคัญของการขนส่งที่มีอยู่ในหลายภาคอุตสาหกรรม รวมถึงภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง ซึ่งต่างก็มีปัญหาในเรื่องเดียวกันคือ การขนส่งสินค้า แต่ต่างกันตรงที่เงื่อนไขของแต่ละบุคคลที่ได้พบเจอ ดังนั้นจึงได้นำเอาทฤษฎีลิ้นคอนสตรัคชัน (Lean Construction) เข้ามาอธิบายถึงความสำคัญของการปรับปรุงประสิทธิภาพของงานโดยขจัดความสูญเปล่าออกไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ระบุไว้คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งและมีรูปแบบของปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะทั้งตัวปัญหาและวิธีแก้ไข โดยจะได้นำทฤษฎีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) เข้ามาอธิบายถึงลักษณะของปัญหาและทฤษฎีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เข้ามาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา โดยได้เสนอวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เข้ามาช่วยในการหาคำตอบ ขณะที่ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จะได้นำลักษณะของปัญหาที่ได้อัปของแต่ละบุคคลนำมาจัดกลุ่มเรียบเรียงพร้อมกับการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์ เพื่อนำไปจัดกลุ่มและประเภทของปัญหาให้สอดคล้องกับ รูปแบบ ปัญหา VRP หรือปัญหาที่เกี่ยวข้อง

และในขั้นตอนนี้ยังได้สรุปวิธีการที่นำมาใช้แก้ปัญหาและเลือกเครื่องมือที่จะช่วยหาคำตอบ ซึ่งเครื่องมือที่เข้ามาช่วย ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูปที่จำลองวิธีเชิงพันธุกรรมไว้ (Genetic algorithm) คือ Palisade Evolver 5.5 และการเขียนขึ้นเอง (Coding) โดย Visual Basic for Application (VBA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อยู่บน Microsoft Excel เป็นภาษาของโปรแกรมที่สามารถเขียนขึ้นมาเพื่อแสดงถึงวิธีเชิงพันธุกรรมได้ โดยเรียกว่า CVPR-Algorithm

3.3 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์

การสำรวจและสัมภาษณ์ร้านค้าวัสดุก่อสร้าง ผู้รับเหมาถึงรูปแบบปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้างในธุรกิจก่อสร้างดังแสดง รูปที่ 3.2 และ 3.3 ทำให้ได้ทราบปัญหาที่แท้จริงที่เกิดความสูญเสียจากการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างและปัญหาการเลือกที่ตั้งสำหรับสิ่งปลูกสร้างชั่วคราวหรือตำแหน่งในการวางเครื่องจักรขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นกลุ่มปัญหาได้ 2 กลุ่ม คือ

- (1) ปัญหาในด้านการขนส่งสินค้าจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งพบว่าต้นทุนส่วนใหญ่อยู่ที่การขนส่งเป็นหลัก
- (2) ปัญหาในด้านการวางเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้างเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างพบว่าคุณภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรยังไม่มีเหมาะสม



รูป 3.2 การสอบถามผู้ประกอบการร้านค้าวัสดุก่อสร้าง ทำให้ได้ปัญหาในด้านการขนส่งจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้าง

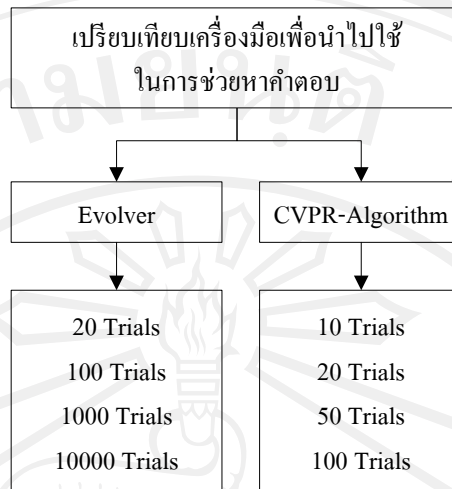


รูป 3.3 การสอบถามวิศวกรในสถานที่ก่อสร้าง ทำให้ได้ปัญหาในการวางแผนเครื่องจักรในสถานที่ก่อสร้างเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง

ขั้นตอนนี้เป็น การแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาในการก่อสร้างที่อยู่ในเรื่องของการขนส่ง การเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง องค์ประกอบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรหรือยานพาหนะที่ต้องใช้ในการเคลื่อนย้าย ปัจจัยเรื่องระยะเวลา ปัจจัยเรื่องระยะทาง ความยากลำบากในการขนวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องตัดสินใจอยู่ตลอดเวลาในการก่อสร้างจนบางที ปัญหาเรื่องการขนส่งได้ถูกละเลยไป ดังนั้นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้จะได้นำไปรวมกับผลของขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎี เพื่อนำไปจัดกลุ่มและประเภทของปัญหาให้สอดคล้องกับ รูปแบบปัญหา VRP หรือปัญหาที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลบางส่วนจะได้นำไปใช้ออกแบบ เพื่อสร้างเป็นโมเดลในการแก้ไขปัญหาก็ได้พบในงานวิจัยนี้

3.4 การสร้างและทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ

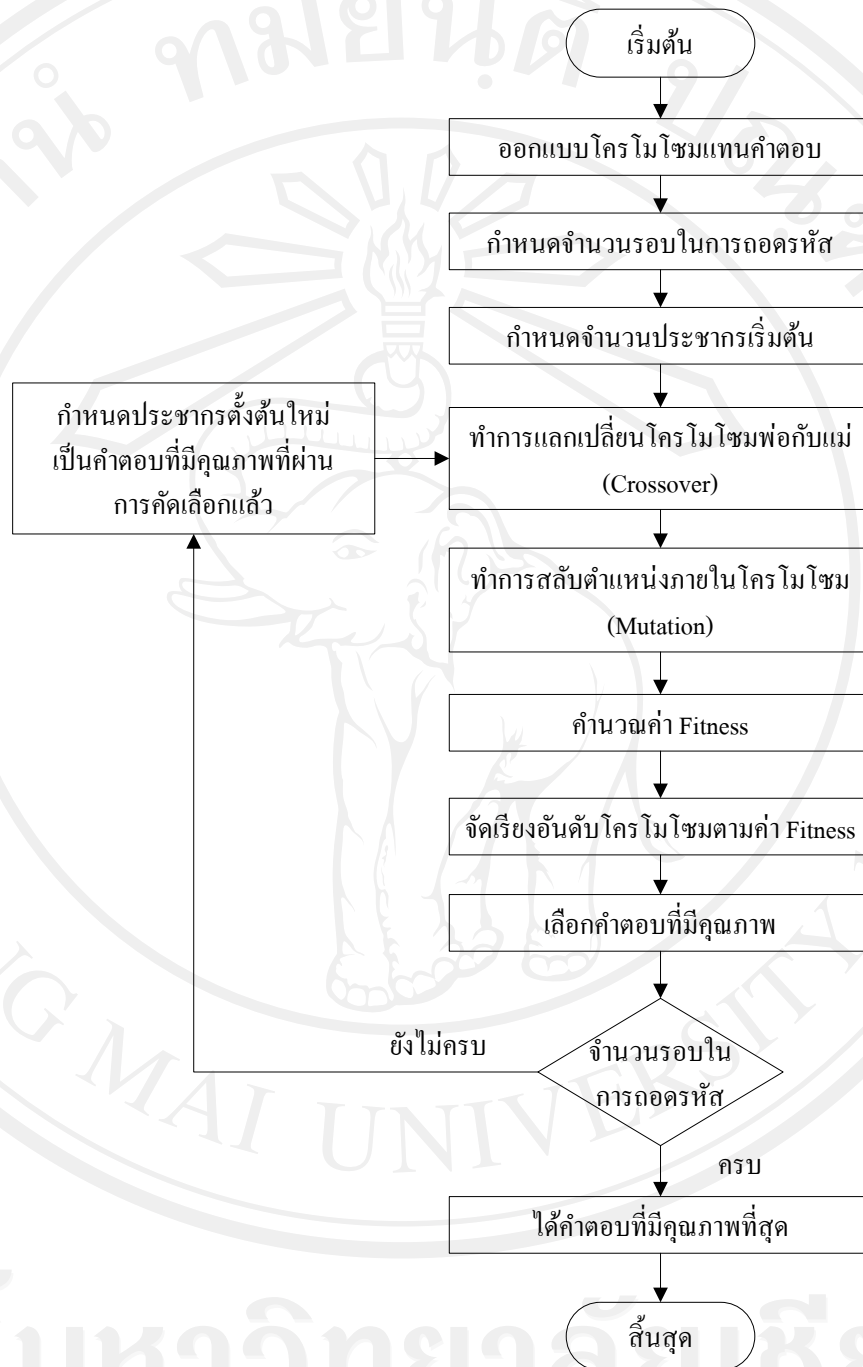
เครื่องมือที่ได้นำเข้ามาช่วยหาคำตอบมีพื้นฐานของวิธีการเชิงพันธุกรรม GA คือโปรแกรมสำเร็จรูป Palisade Evolver 5.5 และ CVPR-Algorithm จากการเขียนขึ้นเอง (Coding) โดย Visual Basic for Application (VBA) ทำการทดสอบโดยกำหนด จำนวนการวิวัฒนาการ (Trials) และพิจารณาระยะเวลาการเข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของทั้ง เครื่องมือ 2 ตัวนี้ การจำนวนการวิวัฒนาการ (Trials) ตามรูปที่ 3.4 จะได้ทำการทดสอบอย่างละ 10 ครั้งต่อจำนวนการวิวัฒนาการ โดยใช้ข้อมูลจากกรณีตัวอย่างของร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1)



รูป 3.4 จำนวนการวิวัฒนาการ (Trials) ที่ใช้ทดสอบเครื่องมือ

Evolver เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการหาคำตอบตามขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นโปรแกรมเพิ่ม (Add-In) เข้ามาสำหรับใช้งานบน Microsoft Excel ซึ่งจะนำมาใช้กับโมเดลที่ 1 เปรียบเทียบกับ CVPR-Algorithm จากการเขียนขึ้นมาเองโดย VBA ซึ่ง VBA คือภาษาในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่งที่อยู่บน Microsoft Excel สามารถเขียนขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้เช่นกัน โดยการเขียนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถเขียนและทำงานได้ ตามรูป 3.5 เมื่อทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือแล้วจะได้นำแนวทางและเครื่องมือที่มีความเหมาะสมมาช่วยหาคำตอบในการแก้ปัญหาต่อไป

การเขียน VBA (ภาคผนวก ข) ตามขั้นตอนการถอดรหัสวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)



รูป 3.5 ขั้นตอนการถอดรหัสวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

ในการหาคำตอบแบบมีเหตุผลด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) เพื่อแก้ปัญหาการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างนี้ ได้แบ่งขั้นตอนการถอดรหัสได้ 11 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบหรือเรียกว่าการเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Coding and Initial Population) เป็นการกำหนดจำนวนตัวแปรตั้งต้นเพื่อที่จะหาคำตอบ (Design variable) ในการเข้ารหัสสำหรับแก้ปัญหาแสดงในรูป 3.6

โมเดลที่ 1 จุดส่งวัสดุก่อสร้างตามสถานที่ก่อสร้างต่างๆ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

รูป 3.6 การเข้ารหัสโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 2 การจำนวนประชากรในการถอดรหัสตั้งต้น (Population) เป็นกำหนดปริมาณคำตอบที่จะทำการถอดรหัส

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดจำนวนรอบในการถอดรหัส (Trails) เป็นการกำหนดปริมาณการถอดรหัสเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อกับแม่ (Crossover) กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นการสร้างประชากรใหม่ โดยนำเอาลักษณะจากโครโมโซมที่พ่อและแม่ มาเพื่อสร้างประชากรใหม่โดยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำคุณลักษณะที่ดีจากพ่อและแม่มารวมกันเพื่อให้ได้ประชากรรุ่นใหม่ที่มีแข็งแรงขึ้น โดยโอกาสที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนพันธุ์จะถูกกำหนดไว้ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (P_c , Crossover Probability) จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซม มีผู้ศึกษาและนำมาทดสอบมากมาย ดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 รูปแบบของวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover)

ลำดับ	รูปแบบของ Crossover	อ้างอิงจาก
1	one point , single point	Murata , Ishibuchi and Tanaka (1996)
2	two point แบบที่ 1	Murata et al. (1996)
3	two point แบบที่ 2	Murata et al. (1996)
4	maximal preservation	Muhlebein , Gorges-Schleuter , Kramer (1992)
5	linear order	Falkenauer and Bouffoix (1991)

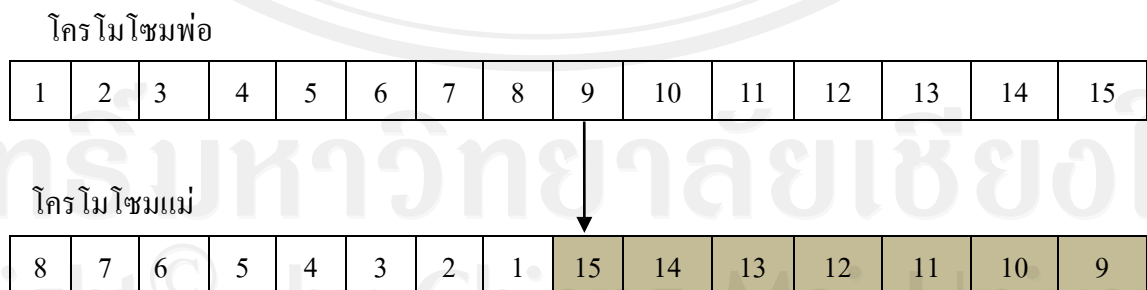
ตาราง 3.1 รูปแบบของวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) (ต่อ)

ลำดับ	รูปแบบของ Crossover	อ้างอิงจาก
6	enhanced edge recombination	Starkweather et al. (1991)
7	position based	Syswerda (1991)
8	edge recombination	Whitley Starkweather and Fuquay (1989)
9	cycling	Oliver , Smith and Holland (1987)
10	partially mapped	Goldberg and Lingle (1895)
11	alternating edgea	Grefffenstette et al. (1985)
12	sub tour chunk	Grefffenstette et al. (1985)
13	order crossover	Davis et al. (1985)
14	partial mapped crossover ; PMX	Goldberg and Lingle (1895)

ที่มา : จีรศักดิ์ 2545

ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใหม่และนิยมใช้ในปัจจุบัน โดยมีวิธีการดังนี้

เริ่มต้นจากการนำโครโมโซมพ่อและแม่มาร่วมกันเพื่อหาความสัมพันธ์โดยเริ่มจากการสุ่มค่าตำแหน่งเริ่มต้นจากโครโมโซมพ่อ ย้ายไปยังโครโมโซมแม่ ดังแสดงในรูป 3.7 แสดงตัวอย่างการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) ของโมเดลที่ 1



รูป 3.7 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบหนึ่งจุด (Single Point Crossover) ของโมเดล 1

โครโมโซมลูก

8	7	6	5	4	3	2	1	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

รูป 3.8 โครโมโซมชุดใหม่ที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

เมื่อได้ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อกับแม่ แล้วจะได้โครโมโซมลูกที่มีลักษณะของทั้งพ่อและแม่ ดังแสดงในรูป 3.8

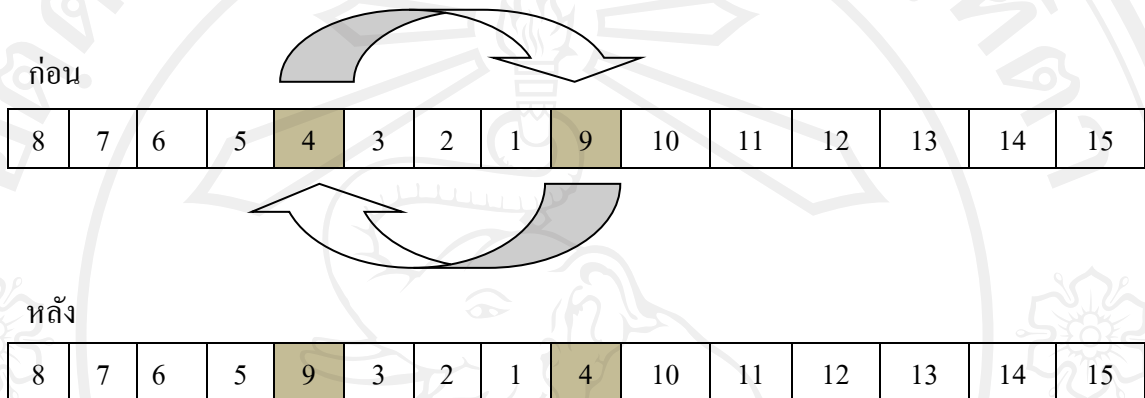
ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งในวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อให้ได้คำตอบที่มีลักษณะแบบใหม่เกิดขึ้นมา ซึ่งอาจเป็นการนำไปสู่การหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดยิ่งขึ้น หรืออาจทำให้ได้คำตอบที่แย่ลงเป็นไปได้ ทั้งนี้ก็เพื่อให้ไม่ติดกับปัญหาที่เรียกว่า Local search มีขอบเขตการหาพื้นที่ของคำตอบเพิ่มมากขึ้นหรือใกล้คำตอบมากยิ่งขึ้น จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบวิธีการกลายพันธุ์ภายในโครโมโซม มีผู้ศึกษาและนำมาทดสอบมากมาย ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 รูปแบบของวิธีการกลายพันธุ์ (Mutation)

ลำดับ	รูปแบบของ Mutation	อ้างอิงจาก
1	center inverse	Tralle (2000)
2	enhanced two genes random swap	Tralle (2000)
3	arbitrary two genes change	Murata et al. (1996)
4	adjacent two genes change	Murata et al. (1996)
5	shift change	Murata et al. (1996)
6	three genes adjacent swap	Murata and Ishibuchi (1994)
7	three genes random swap	Murata and Ishibuchi (1994)
8	inversion mutation	Goldberg (1989)
9	reciprocal exchange mutation	Goldberg (1989)
10	insertion mutation	Goldberg (1989)

ซึ่งในการทดลองนี้ได้นำการกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Arbitrary two genes change) หรือที่เรียก (Swap Mutation) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใหม่และนิยมใช้ในปัจจุบัน โดยมีวิธีการดังนี้

เริ่มต้นจากการสุ่มค่าตำแหน่งภายในโครโมโซมลูก และทำการสลับตำแหน่งกัน ดังแสดงในรูป 3.9 แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Swap Mutation) ระหว่างตำแหน่งโครโมโซมที่ 5 และ 9



รูป 3.9 การกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Swap Mutation) ระหว่างโครโมโซมที่ 5 และ 9

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณค่า Fitness ก็คือ การหาคำตอบที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ตาม รูปแบบของปัญหา VRP ซึ่งเป็นแบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า (CVRP) โดยโมเดล 1 คือ ระยะทางในการขนส่ง และโมเดล 2 คือ พื้นที่ครอบคลุม

ขั้นตอนที่ 7 การจัดเรียงอันดับโครโมโซมค่า Fitness เป็นการเตรียมพร้อมเพื่อหาที่จะตัดคำตอบที่คุณภาพแย่ออกไป

ขั้นตอนที่ 8 การเลือกคำตอบที่มีคุณภาพ (Selection) ในโมเดล 1 คือ ระยะทางในการขนส่งรวมสั้นที่สุด และโมเดล 2 คือ พื้นที่ครอบคลุมมากที่สุด โดยตัดคำตอบที่มีคุณภาพแย่ออกเพื่อให้เหลือจำนวนเท่ากับจำนวนประชากรเริ่มต้น เป็นประชากรเริ่มต้นใหม่ที่มีคุณภาพของคำตอบที่ดีขึ้น

ขั้นตอนที่ 9 การเช็คจำนวนรอบการถอดรหัส ว่าตรงตามที่กำหนดหรือยัง ถ้าหากยังไม่ครบให้นำไปผ่านกระบวนการเชิงพันธุกรรมใหม่ แต่หากครบเรียบร้อยแล้ว ก็จะออกจากกระบวนการซึ่งค่าสุดท้ายที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

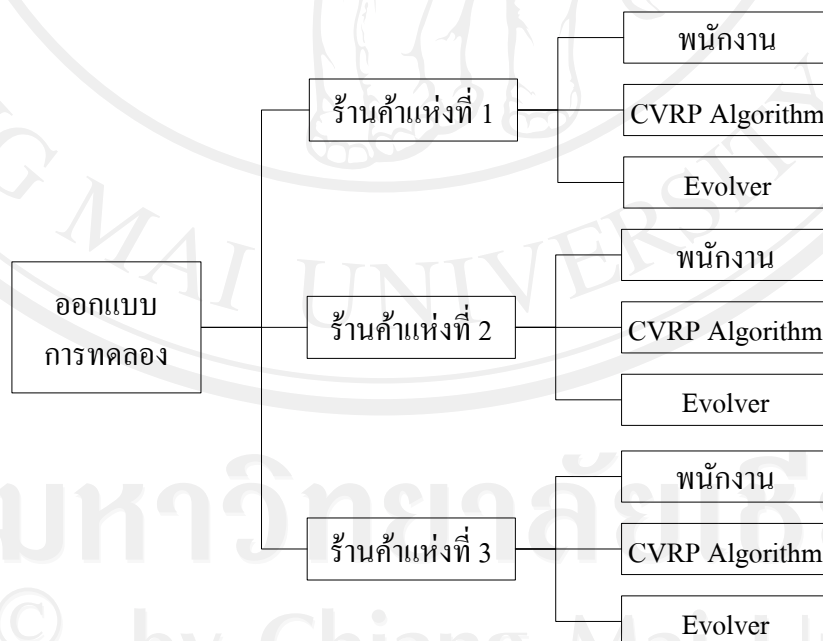
ขั้นตอนที่ 10 กำหนดประชากรตั้งต้นใหม่เป็นประชากรที่มีคุณภาพซึ่งได้ผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว และพร้อมเข้าสู่ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) เพื่อหาคำตอบที่มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น ตามกำหนดของจำนวนรอบในการถอดรหัส

ขั้นตอนที่ 11 ได้คำตอบที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดตามข้อกำหนดต่างๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรม ก็คือ ระยะทางในการขนส่งรวมสั้นที่สุดในโมเดล 1 และพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุดในโมเดล 2 นั่นเอง

3.5 การสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง

ทำการสร้างโมเดลที่เหมาะสมกับรูปแบบของปัญหา ซึ่งปัญหาเป็น VRP ที่แบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า (CVRP) สร้างโมเดล 1 เพื่อแก้ปัญหาระยะทางการขนส่งวัสดุก่อสร้างโดยมีผลลัพธ์คือระยะทางการขนส่งที่ลดลงได้ สร้างใน Microsoft Excel โดยมีวัตถุประสงค์ของโมเดล (Objective Function) คือ ระยะทางการขนส่งรวมที่สั้นที่สุด และคำตอบของโมเดล (Design variable) คือ การหาลำดับการขนส่งวัสดุก่อสร้าง ดังตาราง 3.3

การออกแบบการทดลองสำหรับโมเดลที่ 1 แสดงดังรูป 3.10 เก็บข้อมูลร้านค้าวัสดุก่อสร้าง 3 แห่งในตัวเมืองเชียงใหม่ แห่งละ 3 กรณีศึกษา และทำการทดลองโดยใช้วิธีหาคำตอบของโมเดล 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีเดิมคือให้พนักงานเป็นคนกำหนดเส้นทาง วิธีใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบโดยใช้ CVRP Algorithm และ Evolver

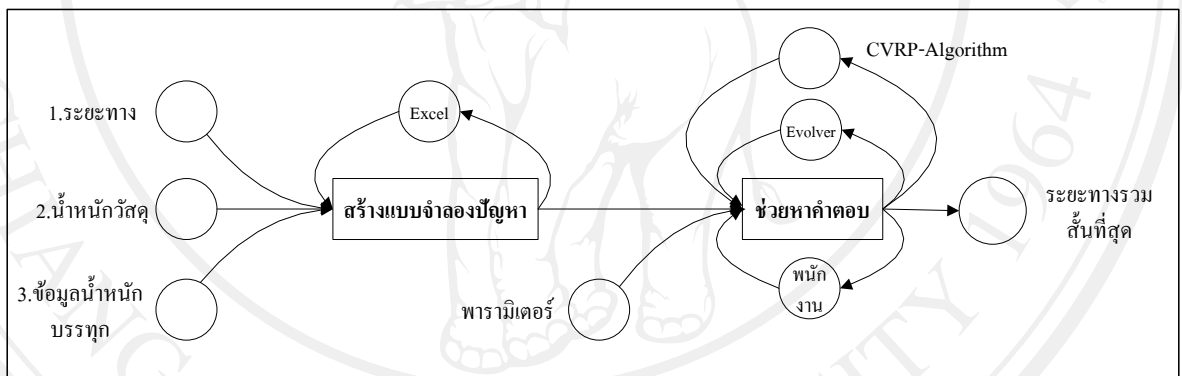


รูป 3.10 การออกแบบการทดลองกับโมเดลตัวอย่างที่ 1

ตาราง 3.3 แสดงการออกแบบโมเดลที่ 1 สำหรับแก้ปัญหา Outbound ทั้ง 3 กรณีศึกษา

Model	Objective Function	Design variable	Constraints
1	ระยะทางขนส่งรวม ที่สั้นที่สุด	ลำดับการขนส่งวัสดุ ก่อสร้าง (เส้นทาง)	น้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก ระยะห่างระหว่างลูกค้า ระยะห่างของร้านค้ากับลูกค้า ความต้องการของลูกค้า จำนวนลูกค้า

การทำงานของโมเดลที่ 1 ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากร้านค้า วัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้างต่างๆ จะประกอบไปด้วยกิจกรรมอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วน การสร้างแบบจำลองปัญหา และส่วนในการหาคำตอบ ดังรูป 3.11 และแสดงกระบวนการ ดำเนินงาน ดังตารางที่ 3.4



รูป 3.11 การทำงานของโมเดลที่ 1

ตาราง 3.4 แสดง กระบวนการดำเนินงานของโมเดลที่ 1

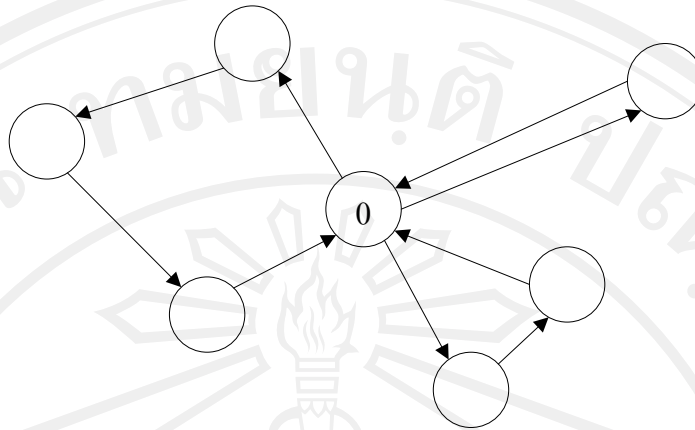
Input	Process	Output	Outcome
1.น้ำหนักบรรทุก	สร้างแบบจำลอง ปัญหา (Excel) การหาคำตอบ (พนักงาน, CVRP- Algorithm , Evolver)	เส้นทาง (Routing) หรือ ลำดับการขนส่ง วัสดุก่อสร้าง	ลดระยะทางใน การขนส่งวัสดุ ก่อสร้างลูกค้า ทำให้ต้นทุนค่า ดำเนินการลดลง
2.ระยะห่างระหว่างลูกค้าแต่ละ ราย			
3.ระยะห่างของร้านค้ากับ ลูกค้า แต่ละราย			
4.ความต้องการของลูกค้า (น้ำหนักสินค้าที่ต้องส่งให้)			

การสร้างแบบจำลองปัญหา สามารถสร้างได้โดยใช้หลักการของปัญหาการจัดยานพาหนะแบบมีเงื่อนไขด้านน้ำหนักบรรทุก (CVRP) และการสังเกตการทำงานของร้านค้าวัสดุก่อสร้าง ซึ่งได้ใช้เครื่องมือ Microsoft Excel ในการจำลองปัญหาและในการนำเข้า ข้อมูล (Input Data) จะประกอบไปด้วย 4 ส่วนด้วยกัน (ภาคผนวก ค และภาคผนวก ง) ได้แก่

1. ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกที่สามารถบรรทุกได้ ใช้หน่วยเป็นตัน (เช่น 5 ตัน 9 ตัน เป็นต้น)
2. ข้อมูลน้ำหนักสินค้าที่บรรทุก ใช้หน่วยเป็นตัน คำนวณได้จาก = น้ำหนักสินค้า x จำนวนทั้งหมดที่บรรทุก (เช่น ปูน 50 ถุงหนักถุงละ 50 กก. ทั้งหมดหนัก 2,500 กก. หรือ 2.5 ตัน)
3. ข้อมูลระยะทาง ใช้หน่วยเป็นกิโลเมตร หาได้จาก Google Earth โดยเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดจากทางเลือกของ Google Earth (เป็นเส้นทางจากถนนจริง ไม่ได้ใช้ระยะกระจัด)
4. ส่วนการใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ มีการกำหนดพารามิเตอร์ ได้แก่ ขนาดของประชากรเริ่มต้น ขนาดของประชากร อัตราการข้ามสายพันธุ์ (Crossover = 0.5) อัตราการกลายพันธุ์ (Mutation = 0.1) และจำนวนการวิวัฒนาการ (Trials = 100 สำหรับ CVRP Algorithm และ 10,000 สำหรับ Evolver)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาคำถามขนส่งวัสดุก่อสร้างจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าตามสถานที่ก่อสร้างโดยมีเงื่อนไขสำคัญ คือ รถขนส่งทุกคันต้องออกจากร้านค้าเพื่อบริการลูกค้าให้ครบทุกจุดและกลับมายังร้านค้าเดิมทุกครั้ง โดยจะต้องส่งสินค้าให้ครบตามจำนวนความต้องการของลูกค้าภายใต้ขีดจำกัดความสามารถในการบรรทุกสินค้าโดยทั่วไปลักษณะของปัญหา VRP จะแสดงในรูปแบบของทิศทางการเดินทางจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า ณ จุดต่างๆ ดังรูป 3.11



รูป 3.12 แสดงการจัดเส้นทางเดินรถที่มีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง 1 แห่ง (กำหนด 0 แทนร้านค้า)

กำหนดตัวแปร

X_{ijk} 1 ถ้ายานพาหนะ k ขนส่งสินค้าของลูกค้า i และ j
0 ในกรณีอื่นๆ

กำหนดพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

K แทน จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด
 N แทน จำนวนลูกค้าทั้งหมด
 D_{ij} แทน ระยะทางในการขนส่งระหว่างลูกค้า i และ j
 Q_j แทน ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า j
 L_k แทน ขนาดบรรทุกของรถคันที่ k ที่สามารถบรรทุกสินค้าได้
 U แทน จุดอ้างอิงใดๆที่ใช้ในการคำนวณ
 P แทน จำนวนจุดที่สามารถวิ่งไปใดสูงสุดต่อเส้นทางโดยไม่รวมจุดเริ่มต้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เป้าหมาย คือ ระยะทางรวมทั้งหมดน้อยที่สุดและมีรายละเอียดข้อจำกัดด้านน้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะเรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีน้ำหนักบรรทุกจำกัด (CVRP) รูปแบบพื้นฐานของปัญหามีเพียงร้านค้าวัสดุก่อสร้างเพียง 1 แห่ง สามารถอธิบายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยแทนจุด 0 เป็นร้านค้าวัสดุก่อสร้างได้ดังนี้

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{K-1} D_{ij} X_{ijk} \quad \text{สมการ (3.1)}$$

$$\sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j=2}^N X_{ijk} = K \quad i = 1 \quad \text{สมการ (3.2)}$$

$$\sum_{k=1}^{K-1} \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq i}}^K X_{ijk} = 1 \quad i = 2, 3, \dots, N \quad \text{สมการ (3.3)}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq h}}^N X_{ihk} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^N X_{ijk} = 0 \quad \forall h \in [1, N]; k \in [1, K-1] \quad \text{สมการ (3.4)}$$

จากสมการสามารถสรุปความหมายได้ดังนี้

สมการที่ (3.1) เป็นเป้าหมายเพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุด

สมการที่ (3.2) แสดงถึงการประกันว่าจำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับจำนวนรถขนส่ง

สมการที่ (3.3) (3.4) แสดงถึงการมีจำนวนรถขนส่งเพียง 1 คันเท่านั้น ที่ไปรับสินค้าจากลูกค้าและเดินทางกลับยังคลังสินค้าเดิม เมื่อให้บริการลูกค้าในเส้นทางจนครบ

Golden, Magnauti and Nguyen (1977) ได้เสนอการจัดเส้นทางการเดินทางของรถที่เริ่มต้นจากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังจุดอื่นๆ โดยแต่ละจุดมีความต้องการที่แตกต่างกันและรถบรรทุกมีความจุที่แน่นอน โดยอธิบายรูปแบบปัญหารูปแบบนี้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีการเพิ่มข้อจำกัดเข้าไปในรูปแบบพื้นฐาน ดังนี้

$$\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N Q_i X_{ijk} \leq L_k \quad \forall k \in [1, K-1] \quad \text{สมการ (3.5)}$$

สมการที่ (3.5) แสดงถึงน้ำหนักของสินค้ารวมต้องไม่หนักเกินน้ำหนักบรรทุกของรถคันที่ k

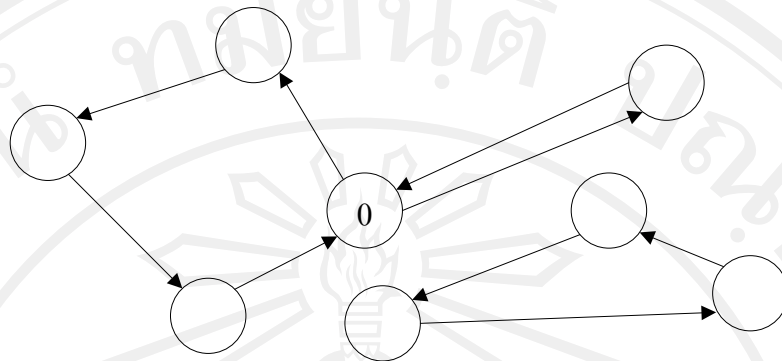
การแก้ปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะจะมีปัญหาทางเทคนิคที่พบได้บ่อย คือ ปัญหาเส้นทางย่อย (Sub Tour) รูปแบบเส้นทางที่เกิดเส้นทางย่อย ดังภาพที่ ซึ่งในการแก้ปัญหถึงแม้ว่าจะเขียนเงื่อนไขบังคับให้กำหนดจุดที่ทำการวิ่งออกและต้องวิ่งกลับแล้วก็ตาม ก็อาจเกิดปัญหานี้ขึ้นในการคำนวณ ซึ่งการกำจัดหรือป้องกันการเกิดเส้นทางย่อยได้ถูกนำเสนอโดย Miller, Tucker and Zemlin (1960) ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$U_i + nX_{ij} \leq U_j + (N-1) \quad \text{สมการ (3.6)}$$

$$2 \leq U_i \leq P \quad i = 0, \dots, n \quad \text{สมการ (3.7)}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, n$$

สมการที่ (3.6) (3.7) ประกันไม่ให้มี Sub-tour เกิดขึ้นในคำตอบ



รูป 3.13 แสดงผลการจัดเส้นทางที่มีเส้นทางย่อยเกิดขึ้น (Sub-tour) (กำหนด 0 แทนร้านค้า)

3.6 การสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาการเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง

ปัญหาในกลุ่มนี้จะพิจารณาองค์ประกอบที่เกิดกับกิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้าง การย้ายวัสดุที่มีน้ำหนักมากภายในสถานที่ก่อสร้างจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรช่วยยกและเคลื่อนย้าย ดังนั้นการกำหนดจุดในการวางหรือตำแหน่งที่เครื่องจักรจะสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุดจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งถูกจัดเป็นรูปแบบของปัญหา Facility Location ซึ่งเป็นปัญหาเกี่ยวกับข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง

การออกแบบการทดลองสำหรับ โมเดลที่ 2 ได้คำนึงถึงลักษณะเฉพาะของรูปแบบสถานที่ก่อสร้าง เช่น แบบอาคารที่มีลักษณะแตกต่างกัน พื้นที่ใช้สอย เทคนิคการก่อสร้าง ปริมาณเครื่องจักร และข้อจำกัดอื่นอีกมากมาย จากการสัมภาษณ์ผู้ที่มีหน้าที่ตัดสินใจจุดวางทาวเวอร์เครน จึงได้สรุปและออกแบบโมเดลที่ 2 เพื่อให้สามารถหาจุดวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัวที่ทำให้มีพื้นที่ครอบคลุมงานมากที่สุด

ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการศึกษาเพื่อนำโมเดลที่ 2 ไปใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนค่าดำเนินการเช่าทาวเวอร์เครนลง กำหนดแนวทางไว้ 2 แนวทางด้วยกัน คือ

1. ปรับความยาวบูมของทาวเวอร์เครนแต่ละตัว โดยกำหนดให้มีจำนวนทาวเวอร์เครนเท่าเดิม คือ ทาวเวอร์เครน 3 ตัว ออกแบบได้ ดังตารางที่ 3.6
2. ปรับลดจำนวนทาวเวอร์เครน จาก 3 ตัว เหลือ 2 ตัว ออกแบบได้ ดังตารางที่ 3.7

จากแนวทางการลดต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนทั้ง 2 จึงได้ออกแบบการทดลองโดยแบ่งเป็นกรณีศึกษาได้ 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่

กรณีศึกษาที่ 1 กำหนดพื้นที่ทำงานของทาวเวอร์เครนในสถานที่จริง นำมาทดลองใช้กับโมเดลที่ 2 คือ พื้นที่ทำงานทั้งหมด $0 < X < 144$ และ $0 < Y < 119$ เมตร กำหนดขอบเขตทาวเวอร์เครน A ให้สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 81$ และ $56 < Y < 91$ เมตร ทาวเวอร์เครน B ให้สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 90$ และ $21 < Y < 56$ เมตร และทาวเวอร์เครน C ให้สามารถวางในพื้นที่ $99 < X < 126$ และ $14 < Y < 84$ เมตร

ตาราง 3.5 แสดงการออกแบบทดสอบโมเดลที่ 2 ในกรณีศึกษาการใช้งานโมเดลกับข้อมูลจริง

Model	Objective Function	Design variable	Constraints
2	ครอบคลุมพื้นที่ทำงานมากที่สุด	พิกัดการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว	1. จำนวนทาวเวอร์เครน 3 ตัว 2. ความยาวบูม 60,60,35 เมตร 3. ขนาดพื้นที่ภายในสถานที่ก่อสร้าง $144 \times 119 = 17,136$ ตรม. 4. ข้อมูลพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว

กรณีศึกษาที่ 2 เปลี่ยนความยาวบูม เป็น 45 เมตรทั้งหมด 3 ตัวโดยอยู่ในพื้นที่ทำงาน $0 < X < 144$ และ $0 < Y < 119$ เมตร กำหนดขอบเขตทาวเวอร์เครน A ให้สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 81$ และ $56 < Y < 91$ เมตร ทาวเวอร์เครน B สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 90$ และ $21 < Y < 56$ เมตร ทาวเวอร์เครน C สามารถวางในพื้นที่ $99 < X < 126$ และ $14 < Y < 84$ เมตร

และนำไปคำนวณค่าเช่าทาวเวอร์เครนตามที่ได้อ้างอิงจากผู้ประกอบการ เปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1

ตาราง 3.6 แสดงการออกแบบทดสอบโมเดล 2 กรณีศึกษา ปรับความยาวบูมของทาวเวอร์เครน

Model	Objective Function	Design variable	Constraints
2	ต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนรวมต่ำที่สุด	ความยาวบูมของทาวเวอร์เครนแต่ละตัว	1. จำนวนทาวเวอร์เครน 3 ตัว 2. ความยาวบูม 45,45,45 เมตร 3. ขนาดพื้นที่ภายในสถานที่ก่อสร้าง $144 \times 119 = 17,136$ ตรม. 4. อายุโครงการ 18 เดือน

ตาราง 3.6 แสดงการออกแบบทดสอบโมเดล 2 กรณีศึกษา ปรับความยาวของทาวเวอร์เครน(ต่อ)

Model	Objective Function	Design variable	Constraints
			5. อัตราค่าเช่าทาวเวอร์เครนตามความยาว 6. ข้อมูลพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว

กรณีศึกษาที่ 3 เสนอการลดเครื่องจักร โดยใช้ทาวเวอร์เครนเพียง 2 ตัว พิจารณาพื้นที่ครอบคลุมการทำงานของทาวเวอร์เครนโดยหาคำตอบจาก Evolver พื้นที่ของอาคารร่วมกับพื้นที่ทำงาน $0 < X < 144$ เมตรและ $0 < Y < 119$ เมตร

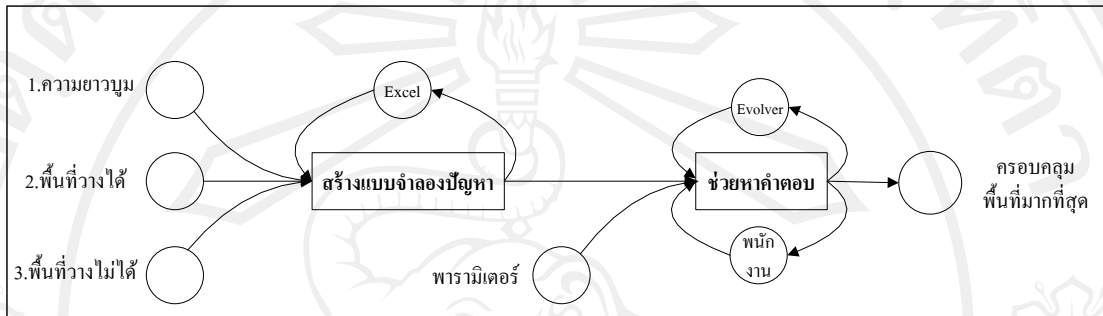
และนำไปคำนวณค่าเช่าทาวเวอร์เครนตามที่ได้อ้างอิงจากผู้ประกอบการ เปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่ 1

ตาราง 3.7 แสดงการออกแบบทดสอบโมเดล 2 กรณีศึกษา ปรับลดจำนวนทาวเวอร์เครน

Model	Objective Function	Design variable	Constraints
2	ต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนรวมต่ำที่สุด	จำนวนทาวเวอร์เครน	1. ขนาดพื้นที่ภายในสถานที่ก่อสร้าง $144 \times 119 = 17,136$ ตรม. 2. ความยาว 60,60 เมตร 3. อายุโครงการ 18 เดือน 4. อัตราค่าเช่าทาวเวอร์เครนตามความยาว 5. ข้อมูลพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว

การออกแบบการทดลองในปัญหาการเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง ได้ออกแบบไว้ 2 แบบด้วยกัน โดยโมเดลที่ 2 นี้จะทำงานโดยมีข้อกำหนด ดังตารางที่ 3.5-3.6 โมเดลนี้จะเป็นการหาพิถีพิถันการวางทาวเวอร์เครนภายในสถานที่ก่อสร้าง เพื่อให้ทาวเวอร์เครนทั้งหมดสามารถทำงานได้ครอบคลุมพื้นที่ภายในสถานที่ก่อสร้างได้มากที่สุด

การทำงานของโมเดลที่ 2 ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการวางตำแหน่งทาวเวอร์เครนเพื่อการเคลื่อนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ไปยังตำแหน่งต่าง ภายในสถานที่ก่อสร้าง การสร้างโมเดลที่ 2 นี้ จะประกอบไปด้วยกิจกรรมอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนการสร้างแบบจำลองปัญหา และส่วนในการช่วยหาคำตอบ ดังรูป 3.14



รูป 3.14 แบบจำลองปัญหา และส่วนในการช่วยหาคำตอบสำหรับโมเดลที่ 2

ตาราง 3.8 แสดง กระบวนการดำเนินงานของโมเดลที่ 2

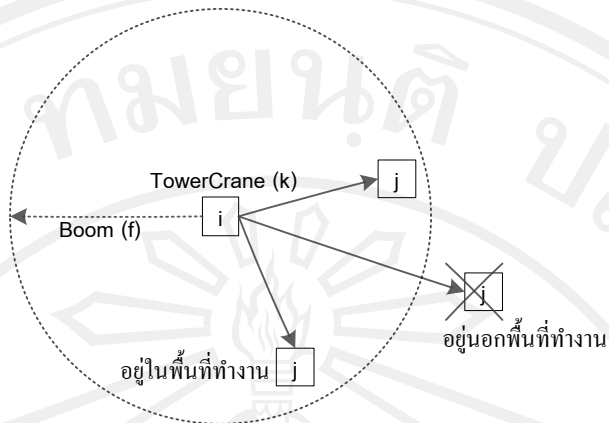
Input	Process	Output	Outcome
1.ความยาวขาม ทาวเวอร์เครนแต่ละตัว	สร้างแบบจำลอง	ตำแหน่ง	ต้นทุนค่า
2.ขอบเขตพื้นที่ทำงาน 144x119และพื้นที่ การวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว (A:18<x<90,56<y<91)(B:18<x<90,21<y<56) (C:99<x<126,14<y<77)	ปัญหา (Excel)	การวาง	เช่า
3. ค่าเช่าทาวเวอร์เครน (บาทต่อเดือน)	การหาคำตอบ (พนักงาน, CVRP-Algorithm, Evolver)	ทาวเวอร์ เครนที่ ครอบคลุม พื้นที่ ทำงาน	ทาวเวอร์ เครนถูก ที่สุด

การสร้างโมเดล 2 ก็เพื่อแก้ปัญหาการวางตำแหน่งเครื่องจักรภายในสถานที่ก่อสร้าง โดยผลลัพธ์คือตำแหน่งที่ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด มีวัตถุประสงค์ของโมเดล (Objective Function) คือ พื้นที่การทำงานของทาวเวอร์เครนครอบคลุมพื้นที่ภายในสถานที่ก่อสร้างมากที่สุด และคำตอบของโมเดล (Design variable) คือ ตำแหน่งการจัดวางทาวเวอร์เครน ใช้กรณีศึกษาสถานที่ก่อสร้างห้างสรรพสินค้า 8 ชั้น ที่ใช้ทาวเวอร์เครน 3 ตัวในการเคลื่อนย้ายวัสดุก่อสร้างภายในสถานที่ก่อสร้าง ข้อมูล (Input Data) จะประกอบไปด้วย 5 ส่วนด้วยกัน (ภาคผนวก ก และภาคผนวก ง) ได้แก่

1. ข้อมูลทาวเวอร์เครน ระยะทำงานหรือความยาวบูม (Boom) ใช้หน่วยเป็นเมตร (เช่น ทาวเวอร์เครน A ระยะทำงาน = 60 เมตร)
2. แบ่งพื้นที่อาคารออกเป็นช่องๆ กำหนดให้แต่ละช่องมีขนาดพื้นที่ 63 ตรม.
 $X=9, Y=7$ ม.
3. ข้อมูลพื้นที่ทำงานหรือขอบเขตของอาคาร กำหนดเป็น พิกัด X,Y (เช่น อาคารมีพื้นที่ 10,800 ตรม. = ระยะตามแนวตามแกน X 90 ม. และระยะตามแนวตามแกน Y 120 ม.)
4. ข้อมูลพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครน เริ่มกำหนดจากพื้นที่ที่ไม่สามารถวางทาวเวอร์เครนได้แล้วจึงแบ่งพื้นที่ที่เหลือออกเป็นขอบเขตของพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว (เช่น ทาวเวอร์เครน A สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 90$ ม. และ $27 < Y < 60$ ม. ส่วนทาวเวอร์เครน B สามารถวางในพื้นที่ $54 < X < 90$ ม. และ $12 < Y < 60$ ม. เป็นต้น)
5. ส่วนการใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ มีการกำหนดพารามิเตอร์ ได้แก่ ขนาดของประชากรเริ่มต้น ขนาดของประชากร อัตราการข้ามสายพันธุ์ (Crossover = 0.5) อัตราการกลายพันธุ์ (Mutation = 0.1) และจำนวนการวิวัฒนาการ (Trials = 10,000 สำหรับ Evolver)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

โมเดลที่ 2 ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาการวางตำแหน่งทาวเวอร์เครนภายในสถานที่ก่อสร้างโดยได้กำหนดพื้นที่อาคารออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ เพื่อจะได้นำมาคำนวณว่าพื้นที่ใด อยู่ในเขตการทำงานของทาวเวอร์เครนตัวนั้น โดยมีแนวคิดที่ว่า วัสดุหรืออุปกรณ์ จะเคลื่อนที่จากจุด i ไปยังจุด j ซึ่งจุด i คือจุดที่วางทาวเวอร์เครน และจุด j คือพื้นที่ที่จะต้องวางวัสดุนั้นๆ ดังรูป 3.15



รูป 3.15 แสดงพื้นที่ทำงานของทาวเวอร์เครน 1 ตัว

กำหนดตัวแปร

X_{ijk} 1 ถ้าทาวเวอร์เครน k สามารถเคลื่อนย้ายวัสดุจากตำแหน่ง i ไปยัง j ได้
0 ในกรณีอื่นๆ

กำหนดพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

K แทน จำนวนทาวเวอร์เครนทั้งหมด
 N แทน จำนวนตำแหน่งที่สามารถวางได้ทั้งหมด
 A_{ij} แทน พื้นที่อาคารที่ทาวเวอร์เครนทำงานครอบคลุม
 D_{ij} แทน ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของทาวเวอร์เครน i ถึงพื้นที่อาคารตำแหน่ง j
 f_k แทน ความยาวของแขนทาวเวอร์เครนตัวที่ k
 x_i แทน ตำแหน่งพิกัด i บนแกน x
 x_j แทน ตำแหน่งพิกัด j บนแกน x
 y_i แทน ตำแหน่งพิกัด i บนแกน y
 y_j แทน ตำแหน่งพิกัด j บนแกน y

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ระยะห่างของจุดต่างๆ ในพื้นที่อาคารกับจุดวางทาวเวอร์เครนมีความสำคัญ ส่งผลต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างเป็นอย่างยิ่ง รายละเอียดข้อจำกัดในการวางทาวเวอร์เครนมีหลากหลายปัจจัยมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงการนั้นๆ ในการเลือกตำแหน่งการวางจึงจำเป็นต้องตัดสินใจอย่างรอบคอบ ซึ่งจะเรียกว่า การวางตำแหน่งสิ่งปลูกสร้างชั่วคราวหรือ

เครื่องมืออำนวยความสะดวก (Facility Location) สามารถอธิบายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\max \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N \sum_{k=1}^K A_{ij} X_{ijk} \quad \text{สมการ (3.8)}$$

$$A_{ij} = D_{ij} \leq f_k \quad ; \forall i, j, k \quad \text{สมการ (3.9)}$$

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad ; \forall i, j \quad \text{สมการ (3.10)}$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j; i \neq j$$

จากสมการสามารถสรุปความหมายได้ดังนี้

สมการที่ (3.8) เป็นเป้าหมายเพื่อให้ได้พื้นที่อาคารที่มากที่สุด

สมการที่ (3.9) แสดงถึงพื้นที่อาคารที่ถูกเลือกด้วยอยู่ภายในความยาวของแขนทาว

เวอร์เคอร์นตัวที่ k

สมการที่ (3.10) แสดงถึงระยะห่างของพื้นที่อาคารกับทาวเวอร์เคอร์นตัวที่ k

3.7 สรุปงานวิจัย

การสรุปผลงานวิจัยจะได้ผลลัพธ์ทั้งหมด 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ผลลัพธ์ที่เกิดจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎีกับข้อมูลเชิงปฐมภูมิ ผลลัพธ์ของการทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบของเครื่องมือ CVRP-Algorithm และ Evolver ผลลัพธ์ของการสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้างและผลลัพธ์ของการสร้างโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาการเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง

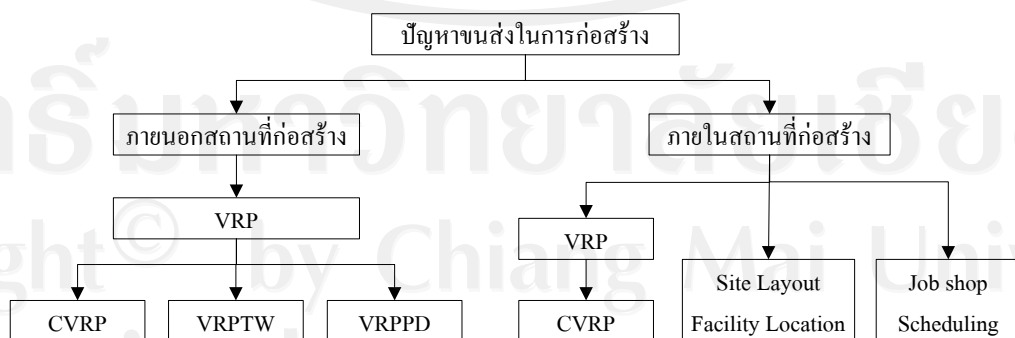
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะได้แสดงการผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีอยู่ 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ผลลัพธ์ที่เกิดจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎีกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ได้เป็นตารางสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหาพร้อมเสนอแนวทางแก้ไขตามแต่ละโมเดล ส่วนที่ 2 คือ การทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือ CVRP-Algorithm และ Evolver ส่วนที่ 3 คือ การสร้างโมเดลแก้ไขปัญหาการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง ได้เส้นทางการขนส่งและการเปรียบเทียบระยะทางรวมที่ได้คำตอบตามแต่ละวิธี ส่วนที่ 4 คือ การสร้างโมเดลแก้ไขปัญหาการเคลื่อนย้ายภายในสถานที่ก่อสร้าง ได้ตำแหน่งการวางทาวเวอร์เครนในกรณีต่าง ๆ

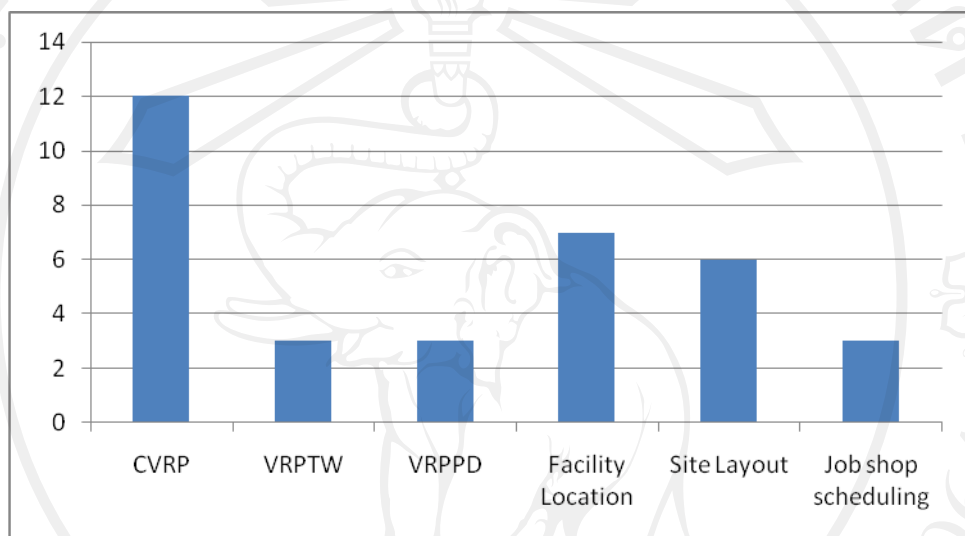
4.1 บทสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหาพร้อมเสนอแนวทางแก้ไขตามแต่ละโมเดล

ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎี ได้ทำให้ทราบถึงลักษณะของปัญหาแนวทางวิธีการแก้ไขและเครื่องมือต่างๆ ประกอบกับการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้เข้าไปสัมผัสกับผู้ที่เกี่ยวข้อง เจ้าของธุรกิจ ผู้รับผิดชอบการขนส่ง ยิ่งทำให้เข้าใจถึงปัญหาการขนส่งในการก่อสร้าง ที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอย่างดี และได้แสดงผลที่ออกมาในรูปแบบของตารางการสรุปประเด็นปัญหาการขนส่ง พร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไข ดังตาราง 4.1



รูป 4.1 แสดง การแบ่งประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้าง

พบปัญหาการขนส่งทั้งหมด 36 ปัญหา ซึ่งได้จัดกลุ่มแบ่ง ตามจำนวนปัญหาการขนส่งที่ได้จาก ข้อมูลทฤษฎีและปฐมภูมิ สามารถสรุปได้ดังนี้ กลุ่มปัญหา CVRP พบ 12 ปัญหา กลุ่มปัญหา VRPTW พบ 3 ปัญหา กลุ่มปัญหา VRPPD พบ 3 ปัญหา กลุ่มปัญหา Facility Location พบ 7 ปัญหา กลุ่มปัญหา Site Layout พบ 6 ปัญหา และ Job shop scheduling พบ 3 ปัญหา ดังรูป 4.2 และต่อไป จะได้นำเสนอการออกแบบโมเดลที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาลำนี้ได้



รูป 4.2 แสดงจำนวนปัญหาที่พบแบ่งตามกลุ่มปัญหา

จากการสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งที่พบเจอ ชี้ให้เห็นถึงรูปแบบที่แตกต่างกัน ออกไป ปัญหา ทำให้การหาแนวคิดและวิธีการแก้ไขแตกต่างกันออกไปเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึง จะได้นำเสนอโมเดลทั้งหมด 2 โมเดล เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจแก้ปัญหากลุ่มของ CVRP ออกแบบเป็นโมเดลที่ 1 และ Facility Location ออกแบบเป็น โมเดลที่ 2 ซึ่งเป็นลักษณะ ปัญหาเกี่ยวกับการขนส่งที่พบมากที่สุดในการก่อสร้าง

ตาราง 4.1 การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละ โมเดล

รายละเอียดการศึกษา	ลำดับ	ปัญหาการขนส่งที่พบเจอ	ลักษณะปัญหา การตัดสินใจ	จัดกลุ่ม ปัญหา	แก้ไขปัญหา โดยโมเดลที่
ข้อมูลปฐมภูมิ (การศึกษภาคธุรกิจ)					
<u>ร้านขายอิฐ</u> มีรถบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 4 คัน สำหรับใช้ขนส่ง และรวมค่าขนส่งไว้ ในราคาสินค้าแล้ว	1	ขนส่งได้น้อยรอบ ไม่สามารถทำรอบได้	VRPTW	Outbound	-
	2	ข้อจำกัดของน้ำหนักบรรทุก ทำให้ต้องส่งหลายรอบ	CVRP	Outbound	1
	3	วิ่งไปรับสินค้าเองจากผู้ผลิตและไปส่งต่อให้ลูกค้า	VRPPD	Outbound	-
<u>ร้านวัสดุก่อสร้างขนาดใหญ่</u> มีรถบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 5 คัน รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 4 คัน รถกระบะจำนวน 1 คันสำหรับใช้ขนส่ง	4	การเลือกรถบรรทุกและเส้นทางในการขนส่งขึ้นอยู่กับ ประสบการณ์การวางแผนของพนักงาน	CVRP	Outbound	1
	5	รถบรรทุก 1 คันต้องวิ่งส่งหลายที่ตามน้ำหนักที่รถรับได้	CVRP	Outbound	1
<u>เจ้าของโครงการบ้านจัดสรรและร้านค้าวัสดุ</u> โครงการบ้านจัดสรรอยู่บริเวณเดียวกันกับ ร้านวัสดุก่อสร้างใช้รถกระบะในการส่ง วัสดุไปหน้างาน	6	ใช้กระบะส่งวัสดุไปยังหน้างานหลายจุดหลายรอบ เพราะ ขาดแผนการส่ง	TSP	Inbound	1
	7	รถบรรทุกไม่เพียงพอต้องสินค้าที่ถูกจัดส่ง จำต้องเช่าเพิ่ม	CVRP	Outbound	1
	8	วางแผนการใช้รถบรรทุกได้ยาก เพราะต้องแวะไปรับ สินค้าจากร้านอื่นๆ ถึงจะไปส่งให้ลูกค้า	VRPPD	Outbound	-

ตาราง 4.1 การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละโมเดล (ต่อ)

รายละเอียดการศึกษา	ลำดับ	ปัญหาการขนส่งที่พบเจอ	ลักษณะปัญหา การตัดสินใจ	จัดกลุ่ม ปัญหา	แก้ไขปัญหา โดยโมเดลที่
<u>ร้านวัสดุก่อสร้างขนาดเล็ก</u> มีรถบรรทุก 4 ล้อ จำนวน 1 คัน รถกระบะจำนวน 1 คันสำหรับใช้ขนส่ง	9	รถบรรทุกไม่เต็มคันรถ	CVRP	Outbound	1
	10	รถ 2 คันต้องวิ่งส่งหลายที่ตามน้ำหนักที่รถแต่ละคันรับได้	CVRP	Outbound	1
<u>ที่ปรึกษาโครงการบ้านจัดสรร</u> วางแผนการก่อสร้างของโครงการและจ้าง ผู้รับเหมาเข้ามาก่อสร้างบ้านแต่ละหลัง	11	การหาจุดวางวัสดุก่อสร้างของผู้รับเหมาแต่ละราย	Facility Location	Inbound	2
	12	การวางแผนโครงการเลือกจุดก่อสร้างต่างๆ เพื่อให้พื้นที่ใน โครงการถูกใช้งานได้มากที่สุด	Site Layout	Inbound	-
	13	รถติดขัดภายในโครงการ เพราะผู้รับเหมาต่างมีรถขนส่งวัสดุ ก่อสร้างของตัวเอง รถมีมากและขาดการจัดการที่ดี	CVRP	Inbound	1
<u>ผู้รับเหมาสร้างอาคารสูง</u> สร้างอาคารห้างสรรพสินค้าซึ่งต้องใช้ เครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ในการเคลื่อนย้าย	14	การใช้งานทาวเวอร์เครนมีการซ้อนทับกัน ทำให้เครน บางตัวต้องหยุดทำงานเพื่อให้เครนอีกตัวได้ทำงาน	Job shop scheduling	Inbound	-
	15	การเลือกตำแหน่งในการวางทาวเวอร์เครน	Facility Location	Inbound	2
	16	การเคลื่อนย้ายไม้แบบ นั่งร้านและกองเหล็กจากจุดหนึ่งไปยัง อีกจุดหนึ่ง เพราะต้องกระจายน้ำหนักในการวาง	Job shop scheduling	Inbound	-

ตาราง 4.1 การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละโมเดล (ต่อ)

รายละเอียดการศึกษา	ลำดับ	ปัญหาการขนส่งที่พบเจอ	ลักษณะปัญหา การตัดสินใจ	จัดกลุ่ม ปัญหา	แก้ไขปัญหา โดยโมเดลที่
	17	การวางแผนการเคลื่อนที่ของปั่นจั่น	Site Layout	Inbound	-
<u>ผู้รับเหมาสร้างทั่วไป</u> รับสร้างหอพัก อาคารโรงพยาบาล อาคารเรียน มีรถกระบะเพื่อคอยขนคนงาน เครื่องมือ ไม้แบบ วัสดุก่อสร้าง ฯลฯ	18	การวางแผนจุดดินและจุดวางดินที่ขุดออก	Site Layout	Inbound	-
	19	รถคอนกรีตผสมเสร็จมาไม่ตรงเวลา	VRPTW	Outbound	-
	20	ของหมดต้องไปขนมาเองตามน้ำหนักบรรทุกของรถที่ได้รับได้	CVRP	Outbound	1
	21	การแบ่งทรัพยากรไปแต่ละสถานที่ก่อสร้าง โดยต้องย้ายจากอีกที่ไปยังอีกสลับไปมา ตามน้ำหนักบรรทุกของรถ ทำให้ไม่สามารถควบคุมต้นทุนทางด้านน้ำมันได้	CVRP	Outbound	1
ข้อมูลสถิติ (งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)					
พัฒพงษ์ 2552, สถาพร 2553, ทวีพันธ์ 2552, รจนาฎ 2550, ปิยาภรณ์ 2553	22	ขาดการวางแผนในการขนส่งทำให้เกิดความล่าช้า และมีต้นทุนค่าดำเนินการเพิ่มสูงขึ้น	CVRP	Outbound	1
ชนศ 2543, อุบลรัตน์ 2551	23	การขนส่งทางถนนโดยรถบรรทุกมีต้นทุนที่สูง	CVRP	Outbound	1

ตาราง 4.1 การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละโมเดล (ต่อ)

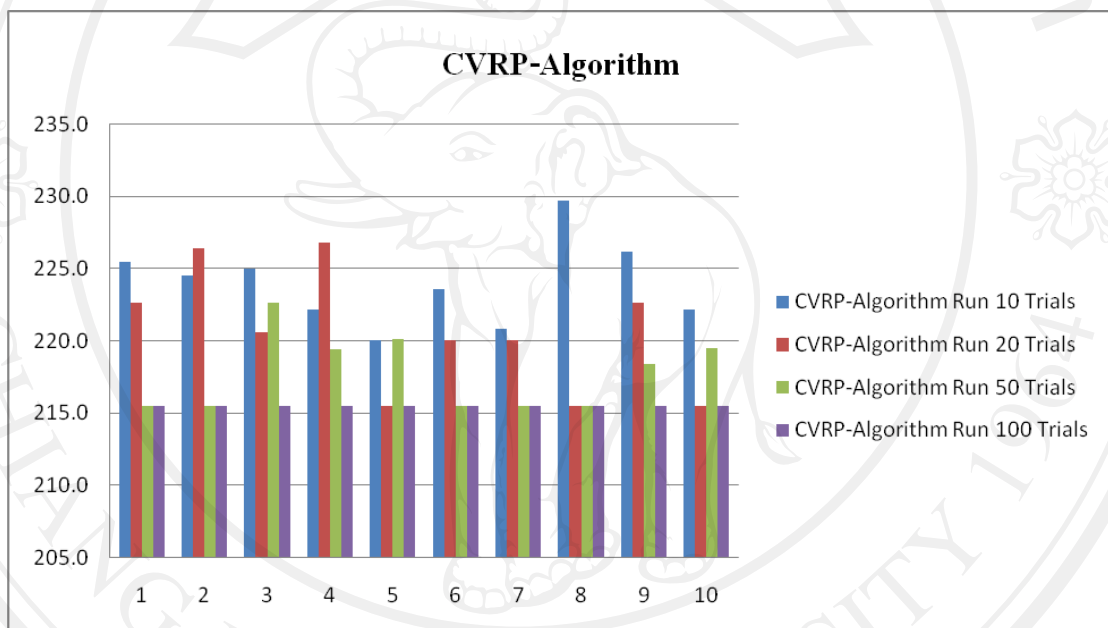
รายละเอียดการศึกษา	ลำดับ	ปัญหาการขนส่งที่พบเจอ	ลักษณะปัญหา การตัดสินใจ	จัดกลุ่ม ปัญหา	แก้ไขปัญหา โดยโมเดลที่
ขศศิริ 2549, กิตติโชติ 2551	24	เดินรถเที่ยวเปล่าหรือขนส่งไม่เต็มคันรถ ถือว่าเป็นต้นทุนที่สิ้นเปลือง	VRPPD	Outbound	-
พอเจตน์ 2552	25	ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีจำนวนมากเกินไป ส่งผลต่อ ต้นทุนการขนส่งโดยรวม	CVRP	Outbound	1
ธรีณี 2552	26	ความซับซ้อนในการหาเส้นทางแบบมีกรอบเวลา ซึ่งเกิด จากความไม่แน่นอนของสิ่งต่างๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ อุบัติเหตุ สภาพจราจรติดขัด ฯลฯ	VRPTW	Outbound	-
ลัดดา 2553	27	การจัดตารางขนส่งคอนกรีตผสมเสร็จ ขึ้นอยู่กับการคาด- คะเนหรือประสบการณ์ของพนักงาน ทำให้เกิดช่องว่างหรือ ข้อผิดพลาดที่อาจทำให้สูญเสียกำไร	VRPTW	Outbound	-
อดุลย์ 2551	28	ลำดับการทำงานของเครน ส่งผลต่อประสิทธิภาพ การผลิตและเป็นต้นทุนในการผลิต	Job shop scheduling	Inbound	-
ชนะ 2541, ชัยพร 2545	29	การวางแผนผังที่ดีจะส่งผลให้ระบบผลิตมีประสิทธิภาพสูง แต่ไม่สามารถหาแผนผังที่ดีที่สุดได้ เพราะมีปัจจัยมากมาย	Site Layout	Inbound	-
ชัยพร 2545	30	การวางตำแหน่งเครื่องจักรส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต	Facility Location	Inbound	2

ตาราง 4.1 การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขแบ่งแยกออกมาตามแต่ละโมเดล (ต่อ)

รายละเอียดการศึกษา	ลำดับ	ปัญหาการขนส่งที่พบเจอ	ลักษณะปัญหา การตัดสินใจ	จัดกลุ่ม ปัญหา	แก้ไขปัญหา โดยโมเดลที่
Hisham Said and Khaled El-Rayes 2011	31	การจัดซื้อวัสดุก่อสร้างและการวางตำแหน่งของพื้นที่จัดเก็บ จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการก่อสร้าง	Site Layout	Inbound	-
Heng Li 1998	32	การวางตำแหน่งสิ่งปลูกสร้างภายในสถานที่ก่อสร้าง ส่งผลกระทบต่อเวลาของโครงการและต้นทุนต่างๆ	Site Layout	Inbound	-
P.P.Zouein 2002, Emad Elbeltagi 2004 C.M.Tam 2001	33	ปัญหาข้อจำกัดของพื้นที่สำหรับการวางตำแหน่งสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งน้อยที่สุด	Facility Location	Inbound	2
Said M. Easa and K.M.A. Hossain 2008	34	แผนผังการวางสิ่งปลูกสร้างชั่วคราว มีความสำคัญต่อแผนกิจกรรมของโครงการ เพราะในพื้นที่ก่อสร้างคือปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งต้องการเครื่องมือเข้ามาช่วยวิเคราะห์	Facility Location	Inbound	2
Fubin Qian 2012	35	ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด จากทุกที่ที่ต้องใช้ประโยชน์จากสิ่งอำนวยความสะดวก	Facility Location	Inbound	2
Mask S.Daskin 2003	36	ปัญหาในการตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก เนื่องจากต้องคำนึงหลายปัจจัยเพื่อจะส่งผลตลอดทั้งโครงการ	Facility Location	Inbound	2

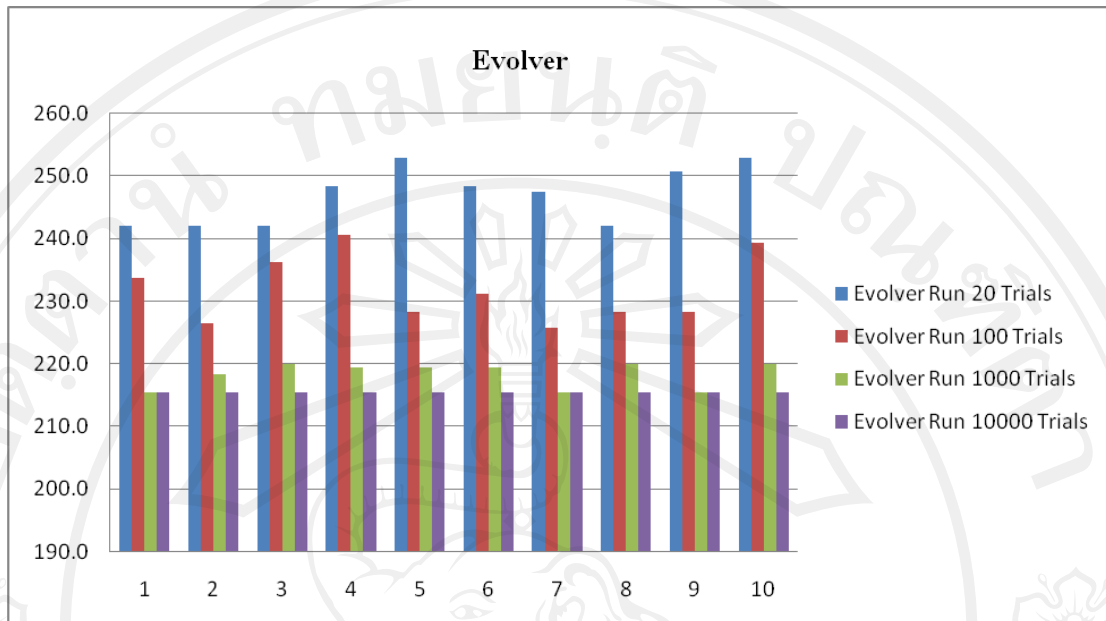
4.2 การทดสอบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ

ผลการทดสอบเครื่องมือทั้ง Evolver และ CVRP-Algorithm กับกรณีตัวอย่าง ร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1) ทำการทดสอบอย่างละ 10 ครั้งต่อจำนวนการวิวัฒนาการ (Trials) พารามิเตอร์สำหรับการทดสอบ ได้แก่ ขนาดของประชากรเริ่มต้น (Population Size) = 50 ขนาดของประชากรหรือจำนวนลูกค้า (Size) = 15 อัตราการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) = 0.5 อัตราการกลายพันธุ์ (Mutation) = 0.1 ได้ผลตามรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 โดยรายละเอียดการหาคำตอบจะอยู่ในภาคผนวก ก.



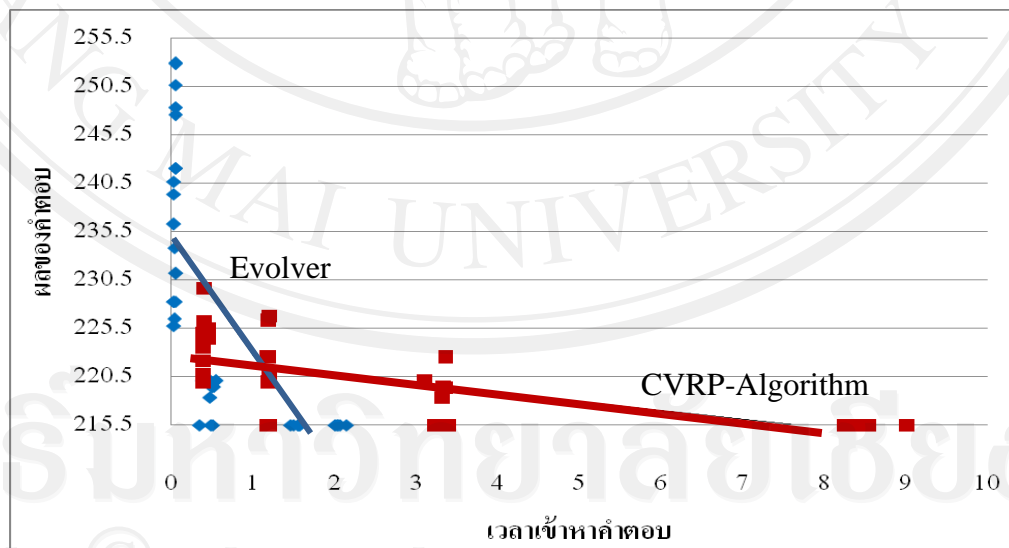
รูป 4.3 แผนภูมิผลการหาคำตอบของ CVRP-Algorithm ตามจำนวนการวิวัฒนาการ (10 Trials)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาระยะทางรวมที่สั้นที่สุด ของกรณีศึกษา ร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1) คือ ระยะทางรวมของการขนส่ง 215.5 กิโลเมตร โดยเครื่องมือ CVRP-Algorithm สามารถเข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด ตั้งแต่จำนวนรอบวิวัฒนาการ เพียง 100 Trials ก็สามารถเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุดทั้งหมด 10 ครั้งการทดสอบ แต่ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยทุกครั้งอยู่ที่ 8-9 นาที ส่วนเครื่องมือ Evolver สามารถเข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่จำนวนรอบวิวัฒนาการ 10,000 Trials ได้เข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุดทั้งหมด 10 ครั้งการทดสอบ แต่กับใช้ระยะเวลาเฉลี่ยทุกครั้งอยู่ที่ 2-3 นาที ซึ่งเร็วกว่าการเข้าถึงคำตอบของ CVRP-Algorithm



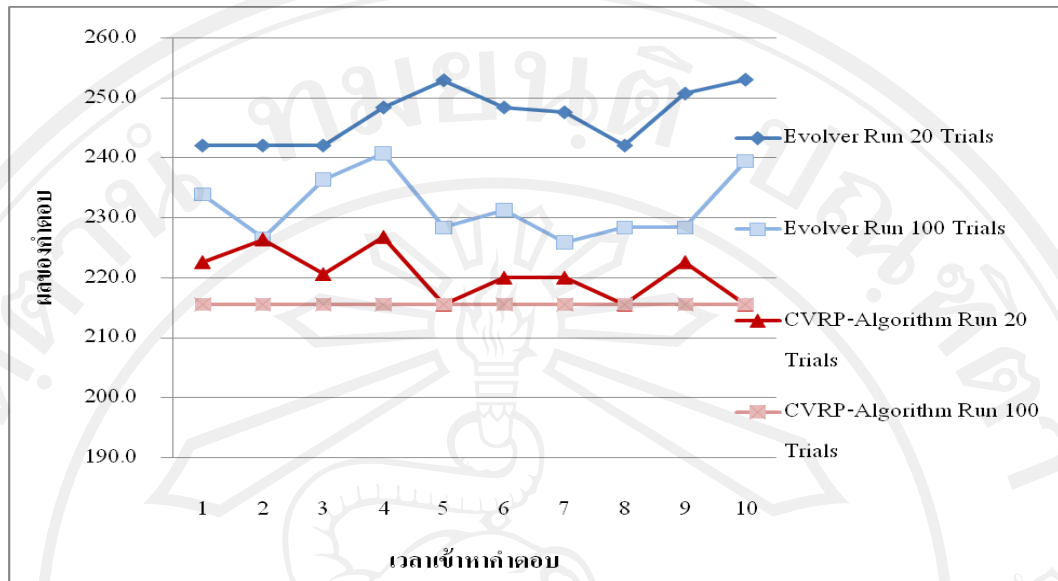
รูป 4.4 แผนภูมิผลการหาคำตอบของ Evolver ตามจำนวนการวิวัฒนาการ (10 Trials)

เมื่อนำคุณภาพของคำตอบมาเปรียบเทียบกันในรอบของเวลา จะเห็นได้ว่าเครื่องมือทั้ง 2 ตัวสุดท้ายแล้วก็สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่ Evolver ใช้เวลาน้อยกว่า CVRP-Algorithm ดังรูป 4.5



รูป 4.5 การเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มของคำตอบกับเวลาเข้าหาคำตอบของ Evolver และ MLO

แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบวิวัฒนาการที่เท่ากัน คือ 20 และ 100 รอบ (Trials) CVRP-Algorithm สามารถให้คำตอบที่มีคุณภาพมากกว่า Evolver ดังรูป 4.6



รูป 4.6 เปรียบเทียบคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ที่จำนวนรอบวิวัฒนาการ 20 และ 100

ดังนั้น สำหรับการช่วยหาคำตอบในโมเดลที่ 1 กรณีศึกษาร้านค้าทั้ง 3 แห่ง จะได้กำหนดให้ CVRP-Algorithm มีจำนวนรอบวิวัฒนาการ 100 Trials และ Evolver มีจำนวนรอบวิวัฒนาการ 10,000 Trials เพื่อหาคำตอบเปรียบกับการหาคำตอบของพนักงานต่อไป ส่วนโมเดลที่ 2 จะได้เลือกใช้เครื่องมือตามความเหมาะสมตามแต่กรณีไป

4.3 ผลลัพธ์ของโมเดลแก้ไขปัญหาการขนส่งภายนอกสถานที่ก่อสร้าง

ผลลัพธ์ที่ได้ของกรณีร้านค้าแห่งที่ 1 จะจำหน่ายอิฐเป็นหลัก โดยมีรถบรรทุก 4 ล้อขนส่งเป็นหลัก มีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 5 ตัน ส่งวัสดุก่อสร้างให้ลูกค้า 15 แห่งตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

ทดลองครั้งที่ 1 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.2 - 4.4

ตาราง 4.2 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 220.0 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 15 - 3 - 0	4.4	30.00
2	0 - 2 - 0	4.9	15.2
3	0 - 10 - 9 - 0	3.6	18.1
4	0 - 5 - 0	4.1	23.2

ตาราง 4.2 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 220.0 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
5	0 - 8 - 0	3.2	15.8
6	0 - 7 - 0	4.9	46.8
7	0 - 14 - 4 - 0	4.5	16.2
8	0 - 1 - 6 - 0	4.5	29.1
9	0 - 13 - 0	2.7	7.4
10	0 - 12 - 11 - 0	4.8	18.2

220.00

ตาราง 4.3 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 215.5 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 10 - 8 - 0	4.9	18.4
2	0 - 5 - 0	4.1	23.2
3	0 - 13 - 9 - 0	4.7	18.3
4	0 - 7 - 0	4.9	46.8
5	0 - 11 - 12 - 0	4.8	18.2
6	0 - 1 - 6 - 0	4.5	29.1
7	0 - 15 - 3 - 0	4.4	30.0
8	0 - 2 - 0	4.9	15.2
9	0 - 4 - 14 - 0	4.5	16.3

215.5

ตาราง 4.4 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 215.5 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 6 - 0	4.5	29.1
2	0 - 13 - 9 - 0	4.7	18.3
3	0 - 11 - 12 - 0	4.8	18.2
4	0 - 15 - 3 - 0	4.4	30.0
5	0 - 10 - 8 - 0	4.9	18.4
6	0 - 7 - 0	4.9	46.8
7	0 - 5 - 0	4.1	23.2
8	0 - 2 - 0	4.9	15.2
9	0 - 4 - 14 - 0	4.5	16.3

 215.5

ทดลองครั้งที่ 2 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ MLO ตาราง 4.5 - 4.7

ตาราง 4.5 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 375.1 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 0	4.1	25.2
2	0 - 11 - 0	3.6	45.4
3	0 - 4 - 0	3.0	20.8
4	0 - 12 - 0	3.0	44.6
5	0 - 5 - 0	3.0	17.4
6	0 - 3 - 0	2.0	20.8
7	0 - 2 - 0	4.5	21.4
8	0 - 7 - 0	4.9	10.0

ตาราง 4.5 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 375.1 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
9	0 - 15 - 14 - 0	4.8	49.7
10	0 - 9 - 6 - 0	4.1	34.6
11	0 - 8 - 0	3.2	22.6
12	0 - 13 - 0	4.8	31.4
13	0 - 10 - 0	1.8	31.2
			375.1

ตาราง 4.6 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 355.7 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 0	4.1	25.2
2	0 - 11 - 0	3.6	45.4
3	0 - 2 - 0	4.5	21.4
4	0 - 3 - 0	2.0	23.8
5	0 - 4 - 0	3.0	20.8
6	0 - 7 - 0	4.9	10.0
7	0 - 15 - 14 - 0	4.8	49.7
8	0 - 8 - 9 - 0	4.9	33.7
9	0 - 12 - 10 - 0	4.8	64.5
10	0 - 5 - 0	3.0	17.4
11	0 - 6 - 0	2.4	12.4
12	0 - 13 - 0	4.8	31.4
			355.7

ตาราง 4.7 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 355.7 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 3 - 0	2.0	23.8
2	0 - 1 - 0	4.1	25.2
3	0 - 10 - 12 - 0	4.8	64.5
4	0 - 2 - 0	4.9	21.4
5	0 - 4 - 0	3.0	20.8
6	0 - 15 - 14 - 0	4.8	49.7
7	0 - 7 - 0	4.5	10.0
8	0 - 11 - 0	3.6	45.4
9	0 - 6 - 0	2.4	12.4
10	0 - 13 - 0	4.8	31.4
11	0 - 5 - 0	3.0	17.4
12	0 - 8 - 9 - 0	4.9	33.7
			355.7

ทดลองครั้งที่ 3 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.8 - 4.10

ตาราง 4.8 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 231.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 12 - 0	4.8	13.2
2	0 - 11 - 0	3.6	31.6
3	0 - 9 - 10 - 0	3.2	27.7
4	0 - 15 - 0	3.0	20.4
5	0 - 1 - 0	4.9	3.2
6	0 - 13 - 0	3.0	14.0

ตาราง 4.8 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 231.2 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
7	0 - 14 - 8 - 0	3.7	25.0
8	0 - 3 - 0	3.2	25.8
9	0 - 2 - 0	2.4	8.0
10	0 - 7 - 0	4.9	16.4
11	0 - 4 - 6 - 0	4.9	22.3
12	0 - 5 - 0	3.2	23.6

 231.2

ตาราง 4.9 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 224.6 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 0	4.9	3.2
2	0 - 3 - 8 - 0	4.9	28.3
3	0 - 13 - 0	3.0	14.0
4	0 - 6 - 4 - 0	4.9	22.3
5	0 - 5 - 0	3.2	23.6
6	0 - 11 - 0	3.6	31.6
7	0 - 10 - 9 - 0	3.2	27.7
8	0 - 7 - 0	4.9	16.4
9	0 - 2 - 14 - 0	4.5	23.9
10	0 - 12 - 0	4.8	13.2
11	0 - 15 - 0	3.0	20.4

 224.6

ตาราง 4.10 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 224.6 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 5 - 0	3.2	23.6
2	0 - 11 - 0	3.6	31.6
3	0 - 10 - 9 - 0	3.2	27.7
4	0 - 7 - 0	4.9	16.4
5	0 - 6 - 4 - 0	4.9	22.3
6	0 - 13 - 0	3.0	14.0
7	0 - 1 - 0	4.9	3.2
8	0 - 3 - 8 - 0	4.9	28.3
9	0 - 2 - 14 - 0	4.5	23.9
10	0 - 12 - 0	4.8	13.2
11	0 - 15 - 0	3.0	20.4
			224.6

ผลลัพธ์ที่ได้ของกรณีร้านค้าแห่งที่ 2 จะจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป โดยมีรถบรรทุก 6 ล้อขนส่งเป็นหลัก มีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 9 ตัน ส่งวัสดุก่อสร้างให้ลูกค้า 15 แห่งตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

ทดลองครั้งที่ 1 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.11 - 4.13

ตาราง 4.11 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 222.1 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 10 - 0	3.6	27.8
2	0 - 5 - 0	7	22.8
3	0 - 4 - 0	3.5	16.0
4	0 - 14 - 0	6.8	9.2

ตาราง 4.11 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 222.1 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
5	0 - 1 - 0	5.0	7.6
6	0 - 2 - 0	9.0	4.8
7	0 - 3 - 0	6	3.0
8	0 - 15 - 0	5.2	18.2
9	0 - 12 - 0	7.4	14.2
10	0 - 14 - 0	6.8	9.2
11	0 - 13 - 0	4.8	15.4
12	0 - 8 - 0	7.2	18.8
13	0 - 9 - 0	4.8	16.6
14	0 - 6 - 7 - 0	7.4	38.5
			222.1

ตาราง 4.12 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 217.7 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 3 - 0	6	3.0
2	0 - 5 - 0	7	22.8
3	0 - 10 - 15 - 0	8.8	35.8
4	0 - 1 - 4 - 0	8.5	16.6
5	0 - 6 - 7 - 0	7.4	38.5
6	0 - 13 - 0	4.8	15.2
7	0 - 8 - 0	7.2	18.8
8	0 - 9 - 0	4.8	16.6
9	0 - 2 - 0	9	4.8
10	0 - 11 - 0	6.4	22.2

ตาราง 4.12 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 217.7 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
11	0 - 14 - 0	6.8	9.2
12	0 - 12 - 0	7.4	14.2
			217.7

ตาราง 4.13 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 217.7 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 14 - 0	6.8	9.2
2	0 - 3 - 0	6	3.0
3	0 - 2 - 0	9	4.8
4	0 - 10 - 15 - 0	8.8	35.8
5	0 - 6 - 7 - 0	7.4	38.5
6	0 - 13 - 0	4.8	15.2
7	0 - 8 - 0	7.2	18.8
8	0 - 9 - 0	4.8	16.6
9	0 - 1 - 4 - 0	8.5	16.6
10	0 - 11 - 0	6.4	22.2
11	0 - 12 - 0	7.4	14.2
12	0 - 5 - 0	7	22.8
			217.7

ทดลองครั้งที่ 2 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver
และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.14 - 4.16

ตาราง 4.14 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 256.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 15 - 1 - 0	8.2	27.5
2	0 - 10 - 4 - 0	6.1	30.8
3	0 - 3 - 0	6.0	13.8
4	0 - 5 - 0	4.2	21.2
5	0 - 2 - 0	7.0	8.2
6	0 - 9 - 8 - 6 - 0	8.8	39.2
7	0 - 14 - 7 - 0	6.4	40.7
8	0 - 12 - 0	6.3	27.6
9	0 - 11 - 0	7.0	10.6
10	0 - 13 - 0	5.5	36.6
			256.2

ตาราง 4.15 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 225.1 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 7 - 13 - 0	8.3	39.4
2	0 - 4 - 10 - 0	6.1	30.8
3	0 - 1 - 3 - 0	9	13.8
4	0 - 11 - 0	7.0	10.6
5	0 - 2 - 0	7.0	8.2
6	0 - 9 - 6 - 14 - 0	8.1	49.8
7	0 - 15 - 0	5.2	25.2
8	0 - 12 - 0	6.3	27.6
9	0 - 5 - 8 - 0	8.5	19.7
			225.1

ตาราง 4.16 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 225.1 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 3 - 0	9	13.8
2	0 - 4 - 10 - 0	6.1	30.8
3	0 - 5 - 8 - 0	8.5	19.7
4	0 - 11 - 0	7.0	10.6
5	0 - 2 - 0	7.0	8.2
6	0 - 9 - 6 - 14 - 0	8.1	49.8
7	0 - 7 - 13 - 0	8.3	39.4
8	0 - 12 - 0	6.3	27.6
9	0 - 15 - 0	5.2	25.2

 225.1

ทดลองครั้งที่ 3 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver

และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.17 - 4.19

ตาราง 4.17 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 210.4 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 12 - 11 - 0	7.9	23.4
2	0 - 1 - 0	6.0	7.0
3	0 - 10 - 0	6.5	26.8
4	0 - 9 - 2 - 0	7.8	24.7
5	0 - 3 - 6 - 0	6.4	29.3
6	0 - 4 - 0	7.0	12.2
7	0 - 5 - 0	6.0	13.8
8	0 - 7 - 15 - 0	6.8	41.8
9	0 - 13 - 8 - 0	6.0	23.0

ตาราง 4.17 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 210.4 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
10	0 - 14 - 0	4.5	8.4
			210.4

ตาราง 4.18 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 196.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 2 - 3 - 0	8.0	15.6
2	0 - 1 - 0	6.0	7.0
3	0 - 11 - 0	5.5	12.4
4	0 - 14 - 0	4.5	8.4
5	0 - 5 - 13 - 0	9.0	18.8
6	0 - 8 - 15 - 9 - 0	9.0	51.4
7	0 - 10 - 12 - 0	8.9	37.5
8	0 - 4 - 0	7.0	12.2
9	0 - 7 - 6 - 0	7.0	32.9
			196.2

ตาราง 4.19 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 196.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 2 - 3 - 0	8.0	15.6
2	0 - 1 - 0	6.0	7.0
3	0 - 11 - 0	5.5	12.4
4	0 - 14 - 0	4.5	8.4
5	0 - 5 - 13 - 0	9.0	18.8
6	0 - 8 - 15 - 9 - 0	9.0	51.4

ตาราง 4.19 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 196.2 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
7	0 - 10 - 12 - 0	8.9	37.5
8	0 - 4 - 0	7.0	12.2
9	0 - 7 - 6 - 0	7.0	32.9
			196.2

ผลลัพธ์ที่ได้ของกรณีร้านค้าแห่งที่ 3 จะจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป โดยมีรถบรรทุก 6 ล้อขนส่งเป็นหลัก มีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 9 ตัน ส่งวัสดุก่อสร้างให้ลูกค้า 15 แห่งตามความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

ทดลองครั้งที่ 1 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.20 - 4.22

ตาราง 4.20 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 130.4 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 4 - 0	6.8	10.6
2	0 - 14 - 0	7.4	17.2
3	0 - 3 - 2 - 0	7.4	7.1
4	0 - 13 - 0	6.8	18.8
5	0 - 12 - 0	5.6	22.2
6	0 - 7 - 0	4.7	8.6
7	0 - 8 - 0	6.3	14.2
8	0 - 9 - 10 - 0	8.4	7.4
9	0 - 11 - 0	3.2	6.2
10	0 - 5 - 0	7.5	3.8
11	0 - 15 - 6 - 0	6.9	14.3
			130.4

ตาราง 4.21 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 121.8 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 1 - 0	4.5	0.4
2	0 - 13 - 0	4.8	18.8
3	0 - 3 - 4 - 0	4.4	10.6
4	0 - 15 - 6 - 0	4.9	14.3
5	0 - 9 - 10 - 0	4.5	7.4
6	0 - 5 - 0	4.9	3.8
7	0 - 11 - 7 - 0	4.1	12.9
8	0 - 8 - 0	4.7	14.2
9	0 - 14 - 0	4.9	17.2
10	0 - 2 - 12 - 0	5.9	22.2
			121.8

ตาราง 4.22 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 121.8 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 11 - 7 - 0	4.1	12.9
2	0 - 15 - 6 - 0	4.9	14.3
3	0 - 3 - 4 - 0	4.4	10.6
4	0 - 14 - 0	4.9	17.2
5	0 - 2 - 12 - 0	5.9	22.2
6	0 - 5 - 0	4.9	3.8
7	0 - 13 - 0	4.8	18.8
8	0 - 8 - 0	4.7	14.2
9	0 - 9 - 10 - 0	4.5	7.4
10	0 - 1 - 0	4.5	0.4
			121.8

ทดลองครั้งที่ 2 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.23 - 4.25

ตาราง 4.23 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 183.5 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 7 - 2 - 0	7.7	23.7
2	0 - 6 - 15 - 0	7.9	18.0
3	0 - 5 - 14 - 0	8.1	21.9
4	0 - 8 - 0	6.0	21.4
5	0 - 9 - 0	5.0	23.2
6	0 - 10 - 0	6.0	9.6
7	0 - 11 - 0	6	17.0
8	0 - 12 - 13 - 0	5.9	22.4
9	0 - 4 - 0	6	13.6
10	0 - 1 - 3 - 0	8.6	12.7

183.5

ตาราง 4.24 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 161.9 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 6 - 7 - 0	7.9	27.6
2	0 - 10 - 0	6.0	9.6
3	0 - 8 - 0	6.0	21.4
4	0 - 4 - 0	6.0	13.6
5	0 - 11 - 13 - 0	8.5	20.7
6	0 - 2 - 1 - 0	8.0	7.0
7	0 - 15 - 5 - 0	8.8	14.4

ตาราง 4.24 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 161.9 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
8	0 - 9 - 14 - 0	8.6	27.2
9	0 - 12 - 3 - 0	7.4	20.4
			161.9

ตาราง 4.25 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 161.9 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 2 - 1 - 0	8.0	7.0
2	0 - 12 - 3 - 0	7.4	20.4
3	0 - 8 - 0	6.0	21.4
4	0 - 4 - 0	6.0	13.6
5	0 - 11 - 13 - 0	8.5	20.7
6	0 - 6 - 7 - 0	7.9	27.6
7	0 - 15 - 5 - 0	8.8	14.4
8	0 - 9 - 14 - 0	8.6	27.2
9	0 - 10 - 0	6.0	9.6
			161.9

ทดลองครั้งที่ 3 โดยให้พนักงานวางแผนการขนส่ง ใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm ตาราง 4.26 - 4.28

ตาราง 4.26 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 228.6 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 2 - 5 - 0	5.5	35.1
2	0 - 13 - 0	6.0	16.8
3	0 - 10 - 12 - 0	7.5	28.4

ตาราง 4.26 ผลการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ได้ระยะทางรวม 228.6 กม. (ต่อ)

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
4	0 - 6 - 7 - 0	8.8	41.8
5	0 - 9 - 1 - 0	8.6	20.1
6	0 - 3 - 0	6.0	15.6
7	0 - 11 - 0	6.2	21.8
8	0 - 4 - 15 - 0	8.2	24.8
9	0 - 14 - 0	5.4	16.4
10	0 - 8 - 0	5.0	7.8
			228.6

ตาราง 4.27 ผลการจัดเส้นทางโดย CVRP-Algorithm ได้ระยะทางรวม 216.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม (ตัน)	ระยะทาง (กม.)
1	0 - 5 - 8 - 0	8.5	30.0
2	0 - 3 - 0	6.0	15.6
3	0 - 10 - 12 - 0	7.5	28.4
4	0 - 6 - 7 - 0	8.8	41.8
5	0 - 9 - 1 - 0	8.6	20.1
6	0 - 13 - 0	6.0	16.8
7	0 - 11 - 0	6.2	21.8
8	0 - 4 - 15 - 0	8.2	24.8
9	0 - 14 - 2 - 0	7.4	16.9
			216.2

ตาราง 4.28 ผลการจัดเส้นทางโดย Evolver ได้ระยะทางรวม 216.2 กม.

เส้นทางที่	รายละเอียดเส้นทาง	น้ำหนักรวม(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
1	0 - 14 - 2 - 0	7.4	16.9
2	0 - 13 - 0	6.0	16.8
3	0 - 10 - 12 - 0	7.5	28.4
4	0 - 6 - 7 - 0	8.8	41.8
5	0 - 9 - 1 - 0	8.6	20.1
6	0 - 3 - 0	6.0	15.6
7	0 - 11 - 0	6.2	21.8
8	0 - 4 - 15 - 0	8.2	24.8
9	0 - 5 - 8 - 0	8.5	30.0

 216.2

4.4 ผลลัพธ์ของโมเดลตัวอย่างแก้ไขปัญหาการขนส่งภายในสถานที่ก่อสร้าง

การแสดงผลลัพธ์ของโมเดลที่ 2 จะมีอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนที่ตั้งอยู่ปัจจุบัน ตำแหน่งที่ได้จากเครื่องมือช่วย Evolver

กรณีที่ 1 เปรียบเทียบครอบคลุมพื้นที่ทำงานของทาวเวอร์เครนในสถานที่จริง กับโมเดลที่หาคำตอบโดย Evolver แบบมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ ดังตารางที่ 4.29 และ 4.30

ตาราง 4.29 ตำแหน่งปัจจุบันของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุม

ทดสอบครั้งที่	ทาวเวอร์เครน						พื้นที่ที่ครอบคลุม (ตรม.)
	เครื่อง A		เครื่อง B		เครื่อง C		
	X	Y	X	Y	X	Y	
1	36	70	104	90	108	49	15,057
2	36	70	108	91	108	49	15,057
3	31	68	103	89	103	47	15,309
4	28	67	102	86	103	47	15,309

ตาราง 4.29 ตำแหน่งปัจจุบันของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุม (ต่อ)

ทดสอบ ครั้งที่	ทาวเวอร์เครน						พื้นที่ที่ ครอบคลุม (ตรม.)
	เครื่อง A		เครื่อง B		เครื่อง C		
	X	Y	X	Y	X	Y	
5	29	66	101	87	101	45	15,435
6	36	65	107	85	108	45	15,687
7	27	63	99	84	99	42	15,750
8	30	64	100	85	100	43	15,750
9	33	65	106	87	106	45	15,813
10	36	63	108	89	108	42	16,002

ตาราง 4.30 ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษาทางทาวเวอร์เครน 3 ตัว ความยาวบูม 60,60,35 เมตร

ทดสอบ ครั้งที่	ทาวเวอร์เครน						พื้นที่ที่ ครอบคลุม (ตรม.)
	เครื่อง A		เครื่อง B		เครื่อง C		
	X	Y	X	Y	X	Y	
1	80	91	39	56	120	32	16,191
2	43	70	90	28	126	84	16,191
3	45	73	90	24	126	84	16,191
4	81	88	39*	56	117	27	16,128
5	81	88	30	56	113	21	15,939
6	81	91	60	36	35	25	16,128
7	81	87	39	56	120	31	16,128
8	79	85	43	50	126	33	15,939
9	79	91	43	51	126	33	16,128
10	46	73	89	28	126	84	16,191

กรณีที่ 2 เปลี่ยนความยาวมุมเป็น 45 เมตร พื้นที่ทำงานของทาวเวอร์เครนในโมเดลที่
หาคำตอบโดย Evolver ดังตารางที่ 4.31

ตาราง 4.31 ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษาวางทาว
เวอร์เครน 3 ตัว ความยาวมุม 45,45,45 เมตร

ทดสอบ ครั้งที่	ทาวเวอร์เครน						พื้นที่ที่ ครอบคลุม (ตรม.)
	เครื่อง A		เครื่อง B		เครื่อง C		
	X	Y	X	Y	X	Y	
1	48	91	43	36	117	48	14,994
2	48	91	42	33	121	49	14,994
3	43	91	50	25	119	78	15,057
4	34	85	48	21	110	78	14,931
5	47	90	49	25	119	77	14,994
6	44	91	47	30	119	79	14,994
7	49	89	43	29	119	47	14,931
8	49	89	40	31	116	50	14,868
9	49	88	39	37	122	49	14,868
10	447	84	48	21	115	76	14,931

กรณีที่ 3 เสนอการลดเครื่องจักรโดยใช้ทาวเวอร์เครนเพียง 2 ตัว พิจารณาพื้นที่
ครอบคลุมการทำงานของทาวเวอร์เครนโดยหาคำตอบจาก Evolver ดังตารางที่ 4.32

ตาราง 4.32 ตำแหน่งของทาวเวอร์เครนและพื้นที่ที่ครอบคลุมที่ได้จาก Evolver กรณีศึกษาวางทาว
เวอร์เครน 2 ตัว 60,60 เมตร

ทดสอบ ครั้งที่	ทาวเวอร์เครน				พื้นที่ที่ ครอบคลุม (ตรม.)
	เครื่อง A		เครื่อง B		
	X	Y	X	Y	
1	110	63	41	62	16,380
2	113	64	39	63	16,380
3	114	62	40	62	16,380
4	111	63	38	63	16,380
5	114	61	40	62	16,380
6	124	63	49	62	16,254
7	112	62	39	63	16,380
8	38	63	107	66	16,317
9	39	63	117	60	16,317
10	113	63	40	62	16,380

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปงานวิจัย

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ คือ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการขนส่งในงานก่อสร้าง และสร้างโมเดลโดยการประยุกต์การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) จากการดำเนินงานวิจัยสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้โดยมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้ คือ

1. ได้ทราบถึงรูปแบบปัญหา VRP ที่มีอยู่จริงในงานก่อสร้าง จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงทฤษฎีและปฐมภูมิ ได้เสนอเป็นบทสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหาพร้อมเสนอแนวทางแก้ไขตามแต่ละโมเดล ซึ่งได้พบปัญหาจำนวน 36 ปัญหา ได้เสนอแนวทางแก้ไขไว้ในโมเดลที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็น 19 ปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ คิดเป็นร้อยละ 53 ของปัญหาที่พบเจอ
2. ได้เครื่องมือ ช่วยหาคำตอบ คือ CVRP-Algorithm และ Evolver ซึ่ง CVRP-Algorithm สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับ Evolver แต่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมเพิ่มเติมเหมือนกับ Evolver และจากการทดสอบเครื่องมือได้ผลว่า CVRP-Algorithm สามารถเข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดได้โดยใช้จำนวนรอบวิวัฒนาการเพียง 100 Trials ส่วน Evolver ใช้จำนวนรอบวิวัฒนาการถึง 10,000 Trials แสดงให้เห็นว่า CVRP-Algorithm สามารถเข้าถึงคำตอบที่ดีที่สุดได้ดีกว่า แต่ในทางกลับกัน Evolver ใช้เวลาในการเข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้เร็วกว่าทั้งที่มีจำนวนรอบวิวัฒนาการมากกว่า ดังตาราง 5.1

ตาราง 5. 1 เปรียบเทียบเครื่องมือช่วยหาคำตอบ

วิธีการหาคำตอบ	CVRP-Algorithm	Evolver
จำนวนรอบวิวัฒนาการ	ต่ำ	สูง
คุณภาพของคำตอบ	ได้คำตอบที่ดีที่สุด	ได้คำตอบที่ดีที่สุด
ระยะเวลาเข้าสู่คำตอบ	ช้า	เร็ว
ต้นทุน	ไม่มีค่าใช้จ่าย	มีค่าโปรแกรม
การใช้งาน	เขียนบน Excel	Add - in Excel

3. ผลของโมเดลที่ 1 เป็นโมเดลที่เหมาะสมกับร้านวัสดุก่อสร้าง จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาภายนอกสถานที่ก่อสร้าง ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาคารขนส่งวัสดุ หาลำดับการขนส่งวัสดุก่อสร้าง ซึ่งให้ผลลัพธ์คือระยะทางรวมของการขนส่งที่สั้นที่สุด

ตาราง 5. 2 ผลลัพธ์ของโมเดลที่ 1

กรณีศึกษา	ระยะทางที่ถูกจัดโดย (กม.)		ระยะทางที่สามารถลดได้ (กม.)	ร้อยละ	ลดต้นทุนน้ำมัน (บาท/ปี)
	พนักงาน	เครื่องมือ			
ร้านค้าแห่งที่ 1					
ครั้งที่ 1	220.0	215.5	4.5	2.0	8,212.50
ครั้งที่ 2	375.1	355.7	19.4	5.2	35,405.00
ครั้งที่ 3	231.2	224.6	6.6	2.8	12,045.00
ร้านค้าแห่งที่ 2					
ครั้งที่ 1	222.1	217.7	4.4	2.0	8,030.00
ครั้งที่ 2	256.2	225.1	31.1	12.1	56,757.50
ครั้งที่ 3	210.4	196.2	14.2	6.7	25,915.00
ร้านค้าแห่งที่ 3					
ครั้งที่ 1	130.4	121.8	8.6	6.6	15,695.00
ครั้งที่ 2	183.5	161.9	21.6	11.8	39,420.00
ครั้งที่ 3	228.6	216.2	12.4	5.4	22,630.00

หมายเหตุ : คิดต้นทุนค่าน้ำมันเฉลี่ย กิโลเมตรละ 5 บาท

จากกรณีตัวอย่างเครื่องมือนี้สามารถช่วยหาคำตอบ เป็นระยะทางที่สั้นที่สุด ลดลงจากเดิมร้อยละ 2-12 และคิดเป็นต้นทุนค่าดำเนินการ สามารถลดได้ 8,000-50,000 บาทต่อปี

3. ผลของโมเดลที่ 2 เป็นโมเดลที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในสถานที่ก่อสร้าง จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาภายในสถานที่ก่อสร้าง ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาคารวางตำแหน่งเครื่องจักรภายในสถานที่ก่อสร้างหาตำแหน่งการวางทาวเวอร์เครน ซึ่งให้ผลลัพธ์คือ ครอบคลุมพื้นที่ทำงานมากที่สุด

กรณีที่ 1 ใช้ทาวเวอร์เครนจำนวน 3 ตัว โดยทาวเวอร์เครน A และ B มีความยาวบูม 60 เมตร ส่วนทาวเวอร์เครน C มียาวบูม 35 เมตร พิกัดที่ดีที่สุดในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว คือ ทาวเวอร์เครน A อยู่บนแกน $X=43$, $Y=70$ เมตร ทาวเวอร์เครน B อยู่บนแกน $X=90$,

Y=28 เมตร ทาวเวอร์เครน C อยู่บนแกน X=126 , Y=84 เมตร การทำงานของทาวเวอร์เครนทั้ง 3 ตัว ครอบคลุมพื้นที่ 16,191 ตรม. คิดเป็นร้อยละ 96 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนอยู่ที่ 13,950,000 บาทต่อโครงการ

กรณีที่ 2 ใช้ทาวเวอร์เครนจำนวน 3 ตัว โดยทาวเวอร์เครน A B และ C มีความยาวบูม 45 เมตร พิกัดที่ดีที่สุดในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว คือ ทาวเวอร์เครน A อยู่บนแกน X=48 , Y=91 เมตร ทาวเวอร์เครน B อยู่บนแกน X=42 , Y=28 เมตร ทาวเวอร์เครน C อยู่บนแกน X=119 , Y=48 เมตร การทำงานของทาวเวอร์เครนทั้ง 3 ตัว ครอบคลุมพื้นที่ 14,994 ตรม. คิดเป็นร้อยละ 89 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนอยู่ที่ 12,420,000 บาทต่อโครงการ

กรณีที่ 3 ลดการใช้ทาวเวอร์เครนเหลือจำนวน 2 ตัว โดยทาวเวอร์เครน A B มีความยาวบูม 60 เมตร พิกัดที่ดีที่สุดในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว คือ ทาวเวอร์เครน A อยู่บนแกน X=38 , Y=63 เมตร ทาวเวอร์เครน B อยู่บนแกน X=109 , Y=66 เมตร การทำงานของทาวเวอร์เครนทั้ง 2 ตัว ครอบคลุมพื้นที่ 16,380 ตรม. คิดเป็นร้อยละ 96 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีต้นทุนค่าเช่าทาวเวอร์เครนอยู่ที่ 10,800,000 บาทต่อโครงการ

เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ 2 กับกรณีที่ 1 จะช่วยลดต้นทุนค่าดำเนินการเช่าทาวเวอร์เครนลงได้ 1,530,000 บาท แต่จะได้ตำแหน่งวางทาวเวอร์เครนที่ทำงานครอบคลุมพื้นที่ ร้อยละ 89 ซึ่งลดลงจากกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งทาวเวอร์เครนที่ใช้งานอยู่ปัจจุบัน และเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 1 จะช่วยลดต้นทุนค่าดำเนินการเช่าทาวเวอร์เครนลงได้ 3,150,000 บาท และได้ตำแหน่งวางทาวเวอร์เครนที่ทำงานครอบคลุมพื้นที่ เท่ากับกรณีที่ 1 จึงจะเห็นได้ว่าโมเดลที่ 2 นี้ได้สร้างทางเลือกเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางทาวเวอร์เครนภายในสถานที่ก่อสร้าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการแก้ปัญหาการขนส่งวัสดุก่อสร้างในการเป็นหลัก การสรุปประเด็นปัญหาการขนส่งในการก่อสร้างแยกเป็นกลุ่มปัญหาพร้อมเสนอแนวทางแก้ไขตามแต่ละโมเดล เป็นเพียงการรวบรวมและจัดเรียงปัญหาให้เข้าใจได้ง่าย และเป็นความพยายามในการแก้ปัญหาในส่วนของงานก่อสร้างต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับผู้ประกอบการ โดยการประยุกต์วิธีการแก้ปัญหาในศาสตร์ของโลจิสติกส์ เพื่อจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการศึกษาต่อไป

การออกแบบโมเดลต่างๆ จะมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป โมเดลที่ได้สร้างขึ้นมาในงานวิจัยนี้เป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ใช้ โดยโมเดลต่างๆ ที่ได้เสนอไปนั้น

ไม่ได้สร้างมาเพื่อธุรกิจใดธุรกิจหนึ่ง เครื่องมือที่ได้สร้างขึ้นได้ใช้เครื่องพื้นฐาน อย่าง เช่น Excel , VBA , Google Earth ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ สามารถใช้ได้กับทุกๆ คนที่สนใจ

ในการใช้โมเดล 1 ไม่ได้กำหนดจำนวนยานพาหนะไว้ กำหนดเพียงน้ำหนักบรรทุก เพราะผู้ประกอบการแต่ละรายมียานพาหนะไม่เท่ากัน ยี่ห้อต่างกัน อัตราสิ้นเปลืองก็ต่างกัน การบริหารจัดการจึงขึ้นอยู่กับผู้มีอำนาจในการตัดสินใจขององค์กรนั้นๆ เครื่องมือโมเดลที่ 1 จึงไม่ได้คำนึงถึงจำนวนยานพาหนะ เพราะผู้ประกอบการเมื่อรู้เส้นทางที่สั้นที่สุดแล้วก็จะสามารถบริหารยานพาหนะของตนเองได้

ในการใช้โมเดล 2 ข้อจำกัดของสถานที่ก่อสร้างเป็นลักษณะที่มีความเฉพาะ แต่ละที่จึงมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ในโมเดลจึงพยายามออกแบบพื้นที่การทำงานให้มีความเหมาะสมที่สุด โดยได้เพิ่มพื้นที่นอกสถานที่ก่อสร้างออกไปอีก เพื่อให้โมเดลนี้มีความครอบคลุมมากที่สุด อีกทั้งในส่วนการเลือกพื้นที่วางทาวเวอร์เครนเป็นปัญหาสำคัญมีการประชุมเพื่อเลือกตำแหน่งหลายต่อหลายครั้ง ทำให้จุดวางทาวเวอร์เครนมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้น ในการต่อยอดความรู้หรือนำไปใช้ จึงต้องทำการออกแบบให้เหมาะกับพื้นที่นั้นๆ

การพัฒนาเครื่องมือที่เขียนขึ้น (VBA) สามารถเพิ่มความเร็วในการหาคำตอบได้โดยการเขียนคำสั่ง ให้สามารถรับค่าข้อมูลเป็นแบบชุด ให้ทำการคำนวณเป็นแบบชุดข้อมูล หรือเลือกใช้ภาษาเขียนที่มีความทันสมัยมากขึ้น เพื่อให้สามารถอ่านค่าและประมวลผลในขั้นตอนที่สั้นลง ซึ่งจะทำให้เครื่องมือช่วยหาคำตอบสามารถหาคำตอบให้เร็วขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

Aarts, E. and J.K. Lenstra. 1997. "Local Search in Combinatorial Optimization." Wiley and Sons, Inc.

Agarwal, Y., K. Mathur and H.M. Salkin. 1989. "A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem." *Networks* 19 (7): 731-749.

Barbarosoglu and Ozgur 1999. "A Tabu search algorithm for the vehicle routing problem." *Computers and Operation Research*. Vol.26. 255-270.

Clarke, G. and J. Wright. 1964. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points." *Operations Research* 12 (4): 568-581.

Christofides, N. 1985. Vehicle routing, pp. 431-448. "In The traveling salesman problem, Lawler.", Lenstra, R. Kan and Shmoys, eds. A Guided Tour of Combinatorial Optimization. John Wiley.

_____, A. Mingozzi and P. Toth. 1981. "State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems." *Networks* 11 : 145-164.

_____, N. and Eilon, S. 1969. "An algorithm for the vehicle dispatching problem." *Computer and Operation Research*. Vol.20(3). : 309.

Clarke, G. and Wright, J. 1964. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points." *Operation Research*. Vol.12. : 568-581.

Fisher, M.L. 1993. "Vehicle routing." pp. 1-33. In M.O. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma and G.L. Nemhauser, eds. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Elsevier Science.

_____, and R. Jaikumar. 1981. "A generalized assignment heuristic for vehicle routing."

Networks 11 (2): 109-124.

Jae G. Jeong, Makarand Hastak and Matt Syal, 2006. "Supply Chain Analysis and Modeling for the Manufactured Housing Industry" *Journal of Urban Planning and Development*, ASCE 132:1 (1).

John Taylor and Hans Bjornsson 1999. "Construction Supply Chain Improvements through Internet Pooled Procurement" *Proceedings IGLC-7*, 26-28 July 1999, University of California, Berkeley, CA, USA

Gillett, B. and L. Miller. 1974. "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem." *Operations Research* 22 (2): 340-349.

Glover, F. 1989. "Tabu Search-Part I." *ORSA Journal on Computing* 1 (3): 190-206.

Golden, B.L., Magnaut, T.L. and Nguyen, H.Q. ,1977. "Implement Vehicle Routing Algorithms Networks." *Networks An International Journal*. 7(2)(1977):113-148

Golden, B.L., A.A. Assad and M.O. Ball. 1983. "Routing and scheduling of vehicles and crews." *Computer and Operations Research* 10 (2): 63-211

Hall, R.W. and Partyka, J.G. "On the Road to Efficiency." *OR/MS Today*. Vol.24. (June 1997) : 26-35.

Hisham Said and Khaled El-Rayes, 2011. "Optimizing Material Procurement and Storage on Construction Sites" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 137, No. 6.

Larporte, G., et al. 2000. "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem." *Intl. Trans. In Op. Res.* Vol.7. : 285-300.

_____, F.V. Louveaux and H. Mecure. 1992. The vehicle routing problem with stochastic travel times. *Transportation Science* 26 (3): 161-170

Lee, T.-R. and Ueng, J.-H. "A study of vehicle routing problems with load-balancing." *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. Vol.29(10). (1999) : 646-658.

- Metropolis, N., A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller and E. Teller. 1953. "Equations of state calculations by fast computing machine." *Journal of Chemical Physics* 21 (6): 1087-1092.
- Michael J. Mawdesley, Saad H. Al-jibouri and Hongbo Yang, 2002. "Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning" *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 128, No. 5
- Miller, C.E.,Tucker, A.W. and Zemlin, R.A. ,1960. " Integer Programming Formulation and Travelling Saleman Problem." *Journal of the ACM(JACM)*.7(4)(1960) : 326-329
- Muhlenbein, H. 1997. "Genetic algorithm", pp. 137-172. In E. Aarts and J.K. Lenstra, eds. *Local Search in Combinatorial Optimization*. Wiley and Sons, Inc.
- Paletta, P. 2002. "The period traveling salesman problem: A new heuristic algorithm." *Computer and Operations Research* 29 (10): 1343-1352.
- Potvin, J.Y. and J.M. Rousseau. 1995. "An exchange heuristic for routing problems with time windows." *Journal of the Operations Research Society* 46 (12): 1433–1446.
- Solomon, M.M. 1987. "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints." *Operations Research* 35 (2): 254–265.
- Thangiah, S.R., I.H. Osman, R. Vinayagamoorthy and T. Sun. 1995. "Algorithms for the vehicle routing problems with deadlines." *American Journal of Mathematical and Management Science* 13 (3-4): 323-355.
- Weigel and Cao 1999. "Applying GIS and OR techniques to solve Sears technician-dispatching and home-delivery problems." *Interfaces*. Vol.29(1). 112-130.
- ณกร อินทร์พวง. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์. ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- วิสูตร จิระคำแก้ง, 2546. การปรับปรุงผลผลิตงานก่อสร้าง. ครั้งที่ 1. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- พาสีทธิ หล่อธีรพงศ์ และกมลวัลย์ ลือประเสริฐ, 2542. บทความเรื่อง : Lean Construction.

สถาพร อมรสวัสดิ์วัฒนา, 2553. บทความเรื่อง : โลจิสติกส์แบบ Just In Time ในอุตสาหกรรมวัสดุ
ก่อสร้าง ที่มา : logisticsdigest ,(logisticscorner.com)

กิตติโชติ ตันภินา, 2551. “แบบจำลองและวิธีค้นหาเฉพาะแห่งใหญ่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง
ขนส่งสินค้าที่มีกรอบเวลา” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิรศักดิ์ ชัยสุวรรณ, 2545. “การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและการจำลองปัญหาเพื่อการจัดวางผัง
เครื่องจักรแบบหลายแถว” สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ.

จตุรวิทย์ ศศิธรานนท์, 2551. “การประยุกต์วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดการขนส่ง
สินค้า กรณีมีข้อจำกัดด้านเวลา”เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจ
ิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 8, 20-22 พฤศจิกายน 2551

ฉัตรชัย ไม้อุดม, 2551. “การจัดเส้นทางเดินรถรับ-ส่งพนักงาน” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมระบบผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ทวันันท์ สิมะจารีก, ศรินยา ศรีศลักษณ์, สุนทรี ภัทรพูนสิน และประจวบ กล่อมจิตร, 2552.
“การลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง กรณีศึกษา โรงงานเคมีภัณฑ์” เอกสารการ
ประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9, 19-21
พฤศจิกายน 2552, บทความเลขที่ P007

ธเนศ ทักษิณวราร, 2543. “การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า”
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธรีณี มณีศรี, 2552. “ขั้นตอนวิธีการสำหรับการหาผลเฉลี่ยเชิงทันทานของปัญหาการจัดเส้นทางเดิน
รถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและเวลาเดินทางไม่แน่นอน” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎี
บัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์, 2553. “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุกงคลัง” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 ก.ย.-ธ.ค. 2553
- นาวิ เจียดำรงและเรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย, 2550. “โครงการการบริหารจัดการโกดังสินค้าและคลังกระจายสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล” ชุดโครงการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
- นิรันดร์ สมมุติ, 2551. “วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีโรงงานน้ำดื่มธารทิพย์” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- ปิยาภรณ์ อาสาทรงธรรม, 2553. การบริหารต้นทุน โลจิสติกส์กับผู้ประกอบการ SMEs. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ Executive Journal p.37-43
- ปริดา วันธนาภรณ์, 2549. “การศึกษาปัจจัยการตัดสินใจในการเลือกใช้ทาวเวอร์เครนในการก่อสร้างโครงการ” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- พิชิตพล สวัสดิมงคล, 2552. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเข้าดำเนินการทาวเวอร์เครน : มุมมองของผู้รับเหมา” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างและการจัดการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พอเจตน์ จิตติพัฒน์พงศ์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล, 2552. “การใช้โปรแกรม เอ็กเซลโซลเวอร์ เพื่อปรับปรุงการจัดรถขนส่งสินค้า” เอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9, 19-21 พฤศจิกายน 2552, บทความเลขที่ P002
- พัฒน์พงษ์ สุหุยานาง, 2552. “การจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าที่เหมาะสมในระบบมัลติคัน” สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิรพัฒน์ สิทธิยานุรักษ์, ธาตรี เมธาคิตติพันธ์, ชัยวิทย์ ต้นสุขโกศล และวเรศรา วีระวัฒน์, 2551. “แบบจำลองเส้นทางรถขนส่งปูนถุง: กรณีศึกษาโรงงานปูนซีเมนต์นครหลวง” เอกสารการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 20-22 ตุลาคม 2551.

ยศศิริ อดุลยศักดิ์, 2549. “แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อดิธร ศรีประเสริฐ, 2553. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโดยวิธีมูลค่าประหยัด” วิทยานิพนธ์ ครุศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์เชิงยุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบเครื่องมือ Evolver 5.5 และจาก
VBA (Visual Basic for Application)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

MLO Run 10 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาทีก)	0.45	0.45	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.4	0.4	0.38
ลำดับการขนส่ง	10	9	8	2	1	11	12	10	5	6
	8	15	10	5	6	12	11	4	12	1
	13	1	5	8	13	2	13	3	11	2
	3	6	15	6	5	5	7	15	4	10
	12	12	3	1	3	15	14	2	2	9
	4	2	6	14	15	13	4	9	9	12
	14	3	9	4	2	4	6	1	10	3
	7	13	2	10	12	14	1	13	6	15
	6	11	4	9	11	9	15	7	1	5
	1	7	14	12	4	3	3	14	13	14
	5	8	1	3	14	10	10	6	7	4
	2	10	7	15	9	8	8	5	3	11
	15	4	13	11	10	7	9	11	15	13
	9	14	12	13	8	1	2	12	14	7
	11	5	11	7	7	6	5	8	8	8
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	225.5	224.5	225.0	222.2	220.0	223.6	220.8	229.7	226.2	222.2

MLO Run 20 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาทีก)	1.19	1.19	1.2	1.2	1.18	1.18	1.2	1.2	1.17	1.17
ลำดับการขนส่ง	15	6	2	7	6	2	13	7	15	1
	11	3	9	5	1	8	5	12	11	6
	4	5	15	12	15	13	9	11	14	12
	14	12	7	4	3	4	10	8	4	11
	1	11	8	9	12	14	12	10	7	4
	6	4	10	6	11	10	11	15	6	14
	7	14	12	15	2	9	2	3	1	5
	8	9	11	3	7	3	14	14	10	13
	10	15	1	2	5	15	4	4	8	9
	2	2	6	10	4	7	15	1	12	10
	3	10	3	8	14	1	3	6	2	8
	9	8	13	11	10	6	8	5	5	15
	5	7	5	13	8	12	6	2	9	3
	12	13	4	1	9	11	1	9	3	7
	13	1	14	14	13	5	7	13	13	2
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	222.6	226.4	220.6	226.8	215.5	220.0	220.0	215.5	222.6	215.5

MLO Run 50 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาท)	3.33	3.4	3.36	3.36	3.1	3.23	3.25	3.25	3.32	3.33
ลำดับการขนส่ง	5	2	15	5	1	1	6	6	4	12
	14	3	11	1	6	6	1	1	14	6
	4	15	14	6	13	7	7	2	12	1
	15	7	4	7	12	9	14	5	11	9
	3	12	13	12	11	13	4	14	8	13
	10	11	5	2	10	11	2	4	10	7
	8	8	10	9	9	12	5	12	6	14
	2	10	8	13	14	5	13	11	9	4
	12	1	2	3	4	3	9	9	1	8
	11	6	6	15	8	15	10	13	13	10
	7	5	1	11	7	8	8	15	2	11
	6	9	7	8	5	10	11	3	15	2
	1	13	12	10	3	14	12	7	3	15
	9	4	3	4	15	4	3	10	5	3
	13	14	9	14	2	2	15	8	7	5
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	215.5	215.5	222.6	219.4	220.1	215.5	215.5	215.5	218.4	219.5

MLO Run 100 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาท)	8.33	8.45	9.01	8.55	8.55	8.42	8.5	8.55	8.25	8.27
ลำดับการขนส่ง	1	2	10	7	5	1	5	6	4	11
	6	6	8	12	1	6	4	1	14	12
	14	1	5	11	6	7	14	13	5	5
	4	11	13	8	7	8	6	9	7	2
	10	12	9	10	12	10	1	2	6	15
	8	8	7	2	11	11	10	5	1	3
	9	10	11	5	9	12	8	3	2	7
	13	9	12	6	13	2	3	15	9	4
	7	13	1	1	10	4	15	8	13	14
	5	7	6	14	8	14	11	10	15	1
	3	4	15	4	2	15	12	11	3	6
	15	14	3	3	4	3	2	12	10	13
	12	3	2	15	14	13	9	7	8	9
	11	15	4	9	15	9	13	4	11	8
	2	5	14	13	3	5	7	14	12	10
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5

Evolver Run 20 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาทีก)	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03
ลำดับการขนส่ง	5	1	1	1	1	1	1	5	1	1
	2	6	6	2	2	2	2	2	10	2
	3	3	3	14	11	3	3	3	7	3
	4	4	4	4	4	14	15	4	4	4
	1	5	5	5	5	5	5	1	5	15
	6	2	2	6	12	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	3	7
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	10	10	10	10	10	10	10	10	2	10
	11	11	11	11	3	11	11	11	11	11
	12	12	12	12	6	12	12	12	12	12
	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	14	14	14	3	14	4	14	14	14	14
	15	15	15	15	15	15	4	15	15	5
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	242.1	242.1	242.1	248.4	252.9	248.4	247.6	242.1	250.7	253.0

Evolver Run 100 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาทีก)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ลำดับการขนส่ง	3	2	1	7	5	4	2	7	7	1
	13	3	2	13	2	14	5	2	15	2
	12	13	3	3	3	15	6	3	3	7
	6	14	15	4	15	6	7	15	8	4
	5	4	5	5	1	5	3	5	5	14
	10	7	10	6	6	7	15	6	6	8
	8	8	8	1	7	10	10	1	1	15
	7	10	6	8	8	8	8	8	4	3
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	1	1	4	10	10	1	1	10	10	10
	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	2	5	7	2	13	13	4	13	13	13
	4	6	14	14	14	2	14	14	14	6
	14	15	13	15	4	3	13	4	2	5
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	233.9	226.5	236.3	240.7	228.3	231.2	225.8	228.3	228.3	239.4

Evolver Run 1000 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาทีก)	0.35	0.48	0.39	0.5	0.52	0.5	0.51	0.55	0.49	0.47
ลำดับการขนส่ง	1	1	7	1	15	5	2	13	2	15
	6	13	8	6	3	7	15	2	1	3
	5	3	2	4	2	3	3	3	6	2
	4	15	6	14	12	15	5	15	5	7
	14	4	1	7	13	1	1	9	15	1
	7	14	10	5	9	6	6	10	3	6
	9	9	9	3	10	11	9	1	7	9
	13	6	12	15	8	8	13	6	13	10
	8	8	11	12	6	10	7	12	9	8
	10	10	13	9	1	4	8	11	8	12
	11	7	5	13	7	14	10	7	10	11
	12	2	14	8	4	2	11	8	11	5
	2	11	4	10	14	12	12	5	12	14
	15	12	3	2	11	13	14	14	14	4
	3	5	15	11	5	9	4	4	4	13
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	215.5	218.4	220.1	219.5	219.5	219.5	215.5	220.1	215.5	220.1

Evolver Run 10000 Trials										
ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาเข้าถึงคำตอบ (นาท)	2.01	1.47	1.5	2.15	2.04	1.55	2.07	2.05	1.57	1.58
ลำดับการขนส่ง	6	2	2	3	1	13	4	2	2	2
	1	1	6	15	6	9	14	9	3	1
	9	6	1	1	7	10	6	13	15	6
	13	11	7	6	3	8	1	5	7	11
	12	12	3	9	15	6	7	3	9	12
	11	14	15	13	8	1	13	15	13	14
	3	4	4	7	10	4	9	1	8	4
	15	3	14	8	2	14	3	6	10	3
	10	15	8	10	5	2	15	7	1	15
	8	5	10	12	11	15	11	10	6	5
	7	9	5	11	12	3	12	8	4	9
	5	13	9	5	14	7	10	12	14	13
	2	8	13	2	4	11	8	11	12	8
	4	10	12	4	9	12	2	4	11	10
	14	7	11	14	13	5	5	14	5	7
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5	215.5

ทดสอบ	MLO (Trials)				Evolver (Trials)			
ครั้งที่	10	20	50	100	20	100	1,000	10,000
1	225.5	222.6	215.5	215.5	242.1	233.9	215.5	215.5
2	224.5	226.4	215.5	215.5	242.1	226.5	218.4	215.5
3	225.0	220.6	222.6	215.5	242.1	236.3	220.1	215.5
4	222.2	226.8	219.4	215.5	248.4	240.7	219.5	215.5
5	220.0	215.5	220.1	215.5	252.9	228.3	219.5	215.5
6	223.6	220.0	215.5	215.5	248.4	231.2	219.5	215.5
7	220.8	220.0	215.5	215.5	247.6	225.8	215.5	215.5
8	229.7	215.5	215.5	215.5	242.1	228.3	220.1	215.5
9	226.2	222.6	218.4	215.5	250.7	228.3	215.5	215.5
10	222.2	215.5	219.5	215.5	253.0	239.4	220.1	215.5
ค่าที่ดีที่สุด	220.0	215.5	215.5	215.5	242.1	225.8	215.5	215.5



ภาคผนวก ข.

การเขียน MLO โดยโปรแกรมช่วยคำนวณตามวิธีเชิงพันธุกรรม

โดย Visual Basic for Application (VBA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

MLO Model 1(VBA)

```

Sub main()
    Dim i As Integer
    Dim row As Integer
    Dim size As Integer
    Dim sample_size As Integer
    Dim mutation_ratio As Integer
    Dim total_generation As Integer
    size = 15
    sample_size = 50
    mutation_ratio = 15
    row = 1
    total_generation = 50
    Dim father_chromosome As New Collection
    Dim mother_chromosome As New Collection
    Dim all_chromosome As New Collection
    Dim randomed_chromosome() As String
    Do While row < sample_size / 2
        randomed_chromosome = random_chromosome(size)
        If is_contain(all_chromosome, randomed_chromosome) = False Then
            father_chromosome.Add randomed_chromosome
            all_chromosome.Add randomed_chromosome
            row = row + 1
        End If
    Loop
    row = 1
    Do While row <= sample_size / 2
        randomed_chromosome = random_chromosome(size)
        If is_contain(all_chromosome, randomed_chromosome) = False Then

```

```

        mother_chromosome.Add random_chromosome(size)
        all_chromosome.Add random_chromosome
        row = row + 1
    End If
Loop
Dim numbers() As String
For i = 0 To size - 1
    ReDim Preserve numbers(i) As String
    numbers(i) = Sheet2.Cells(6 + i, 3).Value
Next
father_chromosome.Add numbers
Sheet6.Cells.Clear
Sheet7.Cells.Clear
Sheet8.Cells.Clear
Sheet9.Cells.Clear

Call generate_generation(father_chromosome, mother_chromosome, size, sample_size,
mutation_ratio, total_generation, total_generation)
End Sub

Public Function is_contain(chromosomes As Object, assert() As String) As Boolean
    Dim i As Integer
    Dim is_same As Boolean
    For i = 1 To chromosomes.Count
        Dim chromosome() As String
        chromosome = chromosomes.Item(i)
        Dim j As Integer
        is_same = True
        For j = 0 To UBound(chromosome)
            If chromosome(j) <> assert(j) Then
                is_same = False
            End If
        Next j
    Next i
    Return is_same
End Function

```

```

Exit For
End If
Next j
If is_same Then
Exit For
End If
Next i
is_contain = is_same
End Function

Public Sub generate_generation(father_chromosome As Object, mother_chromosome As
Object, size As Integer, sample_size As Integer, mutation_ratio As Integer, generation As
Integer, total_generation)

Dim all_chromosome As New Collection
Dim all_chromosome_result As New Collection
Dim limit As Integer
Dim selection_counter As Integer
selection_counter = 1
limit = father_chromosome.Count

Do While selection_counter <= limit
Dim father() As String
father = father_chromosome.Item(selection_counter)

Dim mother() As String
mother = mother_chromosome.Item(selection_counter)
Dim product() As String
product = crossover(father, mother)

If generation = 1 Then
For i = 0 To size - 1

```

```

Dim column As Integer
column = i + 1
Sheet6.Cells(row + 1, 1) = row
Sheet6.Cells(row + 1, column + 1) = father(i)
Sheet6.Cells(row + 1, column + 1 + (size + 1)) = mother(i)
Sheet6.Cells(row + 1, column + 1 + ((size * 2) + 2)) = product(i)

Next i
End If
all_chromosome.Add father
all_chromosome.Add mother
all_chromosome.Add product
selection_counter = selection_counter + 1
Loop

Dim mutation_size As Double
mutation_size = CInt((CDBl(mutation_ratio) / 100) * CDBl(size))
Dim mutation_index As Integer
For i = 1 To mutation_size
    Randomize
    mutation_index = Int((all_chromosome.Count - 1) * Rnd + 1)
    Dim sequence As Variant
    sequence = all_chromosome.Item(mutation_index)
    all_chromosome.Add mutation(sequence)
Next i

Dim chromosomes As New Collection
For i = 1 To all_chromosome.Count
    Dim chromosome_item() As String

```

```

Dim chromosome As CChromosome
Set chromosome = New CChromosome
chromosome_item = all_chromosome.Item(i)
chromosome.sequence = ArrayToDelimited(chromosome_item, " ")
For row = 0 To size - 1
    Sheet2.Cells(row + 6, 3) = chromosome_item(row)
Next row
chromosome.Fitness = Sheet2.Cells(2, 3)
chromosomes.Add chromosome
Next i
For i = 1 To chromosomes.Count
    Dim chrom As CChromosome
    Set chrom = chromosomes.Item(i)
    Dim elems As Variant
    elems = Split(chrom.sequence, " ")
    For column = 0 To UBound(elems)
        Sheet7.Cells(i, column + 1) = elems(column)
    Next column
    Sheet7.Cells(i, UBound(elems) + 2) = chrom.Fitness
Next i
Sheet7.Range("A1:P" & Rows.Count).Sort Key1:=Sheet7.Range("P1"),
Order1:=xlAscending, Header:=xlNo, MatchCase:=False
For i = 1 To chromosomes.Count
    Set chrom = chromosomes.Item(i)
    elems = Split(chrom.sequence, " ")
    For column = 0 To UBound(elems)
        Sheet8.Cells(i, column + 1) = elems(column)
    Next column
    Sheet8.Cells(i, UBound(elems) + 2) = chrom.Fitness

```

```

Next i

Sheet8.Range("A1:P" & Rows.Count).Sort Key1:=Sheet8.Range("P1"),
Order1:=xlAscending, Header:=xlNo, MatchCase:=False

Sheet9.Cells(2 + (total_generation - generation), 1) = 1 + (total_generation - generation)
Sheet9.Cells(2 + (total_generation - generation), 2) = Sheet8.Range("P1").Value
Sheet2.Cells(3, 3) = Sheet8.Cells(1, 16)

Dim worst_size As Integer
worst_size = chromosomes.Count - sample_size

For i = 1 To worst_size
    Dim j As Integer
    For j = 1 To chromosomes.Count
        If chromosomes.Item(j).Fitness = Sheet8.Cells(50 + i, 16).Value Then
            chromosomes.Remove (j)
        Exit For
        End If
    Next j
Next i

If generation > 1 Then
    Dim fathers As New Collection
    Dim mothers As New Collection

    For i = 1 To chromosomes.Count / 2
        Set chrom = chromosomes.Item(i)
        fathers.Add Split(chrom.sequence, " ")
    Next i
    For i = CInt(chromosomes.Count / 2) + 1 To chromosomes.Count
        Set chrom = chromosomes.Item(i)

```

```

        mothers.Add Split(chrom.sequence, " ")
    Next i
    Call generate_generation(fathers, mothers, size, sample_size, mutation_ratio, generation -
1, total_generation)
End If
End Sub

Public Function mutation(sequence As Variant) As String()

    Dim chromosome() As String
    Dim i As Integer
    For i = 0 To UBound(sequence)
        ReDim Preserve chromosome(i) As String
        chromosome(i) = sequence(i)
    Next i
    Dim mutate_point1 As Integer
    Randomize
    mutate_point1 = Int((UBound(chromosome) - 1) * Rnd + 1)
    Dim mutate_point2 As Integer
    Do
        Randomize
        mutate_point2 = Int((UBound(chromosome) - 1) * Rnd + 1)
    Loop While mutate_point1 = mutate_point2
    Dim value_point2 As Integer
    value_point2 = chromosome(mutate_point2)
    chromosome(mutate_point2) = chromosome(mutate_point1)
    chromosome(mutate_point1) = value_point2
    mutation = chromosome
End Function

Public Function random_chromosome(size As Integer) As String()

    Dim numbers() As String

```

```

Dim counter As Integer
counter = 0
For i = 0 To size - 1
    ReDim Preserve numbers(i) As String
    numbers(i) = -1
Next
Do While counter < size
    Dim random_number As Integer
    Dim is_contain As Boolean
    is_contain = False
    Randomize
    random_number = Int(size * Rnd + 1)
    For i = 0 To size - 1
        If numbers(i) = random_number Then
            is_contain = True
            Exit For
        End If
    Next
    If is_contain = False Then
        numbers(counter) = random_number
        counter = counter + 1
    End If
Loop
random_chromosome = numbers
End Function

Public Function crossover(father() As String, mother() As String) As String()

    Dim cross_point As Integer
    Randomize
    cross_point = Int((UBound(father) - 1) * Rnd + 1)

```

```

Dim child() As String
For i = 0 To cross_point
    ReDim Preserve child(i) As String
    child(i) = father(i)
Next
If is_contain = False Then
    ReDim Preserve child(counter) As String
    child(counter) = mother(i)
    counter = counter + 1
End If
Next
crossover = child
End Function

Public Function ArrayToDelimited(vArray As Variant, Optional sDelim As String = ",") As String
    Dim sDelimString As String
    Dim lCounter As Long

    '\\ Loop through array from the lower bound to the upper bound
    For lCounter = LBound(vArray) To UBound(vArray)
        '\\ As long as lCounter is smaller then the upper bound of the array
        '\\ add the value of that item to the string sDelimString and add delimiter
        sDelimString = sDelimString & _
            CStr(vArray(lCounter)) & IIf(lCounter < UBound(vArray), sDelim, "")
    Next

    '\\ Return delimited string
    ArrayToDelimited = sDelimString
End Function

```

MLO Model 2(VBA)

```

Sub main()
    Dim i As Integer
    Dim row As Integer
    Dim size As Integer
    Dim sample_size As Integer
    Dim mutation_ratio As Integer
    Dim total_generation As Integer
    size = 6
    sample_size = 50
    mutation_ratio = 15
    row = 1
    total_generation = 20
    Dim father_chromosome As New Collection
    Dim mother_chromosome As New Collection
    Dim all_chromosome As New Collection
    Dim randomised_chromosome() As String
    Do While row < sample_size / 2
        randomised_chromosome = random_chromosome(size, 13)
        If is_contain(all_chromosome, randomised_chromosome) = False Then
            father_chromosome.Add randomised_chromosome
            all_chromosome.Add randomised_chromosome
            row = row + 1
        End If
    Loop
    row = 1
    Do While row <= sample_size / 2
        randomised_chromosome = random_chromosome(size, 13)
        If is_contain(all_chromosome, randomised_chromosome) = False Then

```

```

        mother_chromosome.Add randomed_chromosome
        all_chromosome.Add randomed_chromosome
        all_chromosome.Add randomed_chromosome
        row = row + 1
    End If
Loop
Dim numbers() As String
For i = 0 To size - 1
    ReDim Preserve numbers(i) As String
    numbers(i) = Sheet10.Cells(1 + i, 1).Value
Next
'father_chromosome.Add numbers
'mother_chromosome.Add numbers
Sheet6.Cells.Clear
Sheet7.Cells.Clear
Sheet8.Cells.Clear
Sheet9.Cells.Clear
Call generate_generation(father_chromosome, mother_chromosome, size, sample_size,
mutation_ratio, total_generation, total_generation)
End Sub

Public Sub generate_generation(father_chromosome As Object, mother_chromosome As
Object, size As Integer, sample_size As Integer, mutation_ratio As Integer, generation As
Integer, total_generation)
    Dim all_chromosome As New Collection
    Dim all_chromosome_result As New Collection
    Dim limit As Integer
    Dim selection_counter As Integer
    Dim i As Integer
    selection_counter = 1

```

Do While selection_counter <= limit

Dim father() As String

father = father_chromosome.Item(selection_counter)

Dim mother() As String

mother = mother_chromosome.Item(selection_counter)

Dim product() As String

product = crossover(father, mother)

If generation = 1 Then

For i = 0 To size - 1

Dim column As Integer

column = i + 1

Sheet6.Cells(selection_counter + 1, 1) = row

Sheet6.Cells(selection_counter + 1, column + 1) = father(i)

Sheet6.Cells(selection_counter + 1, column + 1 + (size + 1)) = mother(i)

Sheet6.Cells(selection_counter + 1, column + 1 + ((size * 2) + 2)) = product(i)

Next i

End If

all_chromosome.Add father

all_chromosome.Add mother

all_chromosome.Add product

selection_counter = selection_counter + 1

Loop

Dim limits As New Collection

limits.Add 27

limits.Add 72

limits.Add 56

limits.Add 84

limits.Add 27

limits.Add 81

limits.Add 28

limits.Add 49

limits.Add 99

limits.Add 117

limits.Add 21

limits.Add 77

'Dim tmp_all_chromosome As New Collection

'For i = 1 To all_chromosome.Count

' Dim validate_chromosome_item() As String

' Dim validate_chromosome As CChromosome

' Dim k As Integer

' Set validate_chromosome = New CChromosome

' validate_chromosome_item = all_chromosome.Item(i)

' validate_chromosome.sequence = ArrayToDelimited(validate_chromosome_item, " ")

' Dim is_valid As Boolean

' is_valid = True

' For k = 0 To size - 1

' Dim validate_raw_value As Integer

' If k Mod 2 = 0 Then

' 'X value sequence

' validate_raw_value = validate_chromosome_item(k) * 9

' Else

' 'Y value sequence

' validate_raw_value = validate_chromosome_item(k) * 7

```

' End If
'If validate_raw_value < limits.Item((k * 2) + 1) Or validate_raw_value > limits.Item((k
* 2) + 2) Then
' is_valid = False
'End If
' Next k
'If is_valid = True Then
' tmp_all_chromosome.Add all_chromosome.Item(i)
'End If
'Next i

'Dim mutation_size As Double
'mutation_size = CInt(((CDBl(mutation_ratio) / 100) * CDBl(size))
'Dim mutation_index As Integer
'For i = 1 To mutation_size
' Randomize
' mutation_index = Int((all_chromosome.Count - 1) * Rnd + 1)
' Dim sequence As Variant
' sequence = all_chromosome.Item(mutation_index)
' all_chromosome.Add mutation(sequence)
'Next i

Dim chromosomes As New Collection
'For i = 1 To tmp_all_chromosome.Count
For i = 1 To all_chromosome.Count
Dim chromosome_item() As String
Dim chromosome As CChromosome
Set chromosome = New CChromosome

```

```

chromosome_item = all_chromosome.Item(i)
chromosome.sequence = ArrayToDelimited(chromosome_item, " ")
For row = 0 To size - 1
    Dim raw_value As Integer
    raw_value = chromosome_item(row) * 7
    If row Mod 2 = 0 Then
        raw_value = chromosome_item(row) * 9
    End If
    Sheet1.Cells(((row - (row Mod 2)) / 2) + 6, 3 + (row Mod 2)) = raw_value
Next row

chromosome.fitness = Sheet1.Cells(2, 3)
chromosomes.Add chromosome
Next i

For i = 1 To chromosomes.Count
    Dim chrom As CChromosome
    Set chrom = chromosomes.Item(i)
    Dim elems As Variant
    elems = Split(chrom.sequence, " ")
    For column = 0 To UBound(elems)
        Sheet7.Cells(i, column + 1) = elems(column)
    Next column
    Sheet7.Cells(i, UBound(elems) + 2) = chrom.fitness
Next i

Sheet7.Range("A1:G" & Rows.Count).Sort Key1:=Sheet7.Range("G1"),
Order1:=xlDescending, Header:=xlNo, MatchCase:=False

For i = 1 To chromosomes.Count
    Set chrom = chromosomes.Item(i)
    elems = Split(chrom.sequence, " ")

```

```

For column = 0 To UBound(elems)
    Sheet8.Cells(i, column + 1) = elems(column)
Next column
Sheet8.Cells(i, UBound(elems) + 2) = chrom.fitness
Next i

Sheet8.Range("A1:G" & Rows.Count).Sort Key1:=Sheet8.Range("G1"),
Order1:=xlDescending, Header:=xlNo, MatchCase:=False
Sheet9.Cells(2 + (total_generation - generation), 1) = 1 + (total_generation - generation)
Sheet9.Cells(2 + (total_generation - generation), 2) = Sheet8.Range("G1").Value
Sheet1.Cells(3, 3) = Sheet8.Cells(1, 7)

Dim worst_size As Integer
worst_size = chromosomes.Count - sample_size
For i = 1 To worst_size
    Dim j As Integer
    For j = 1 To chromosomes.Count
        If chromosomes.Item(j).fitness = Sheet8.Cells(50 + i, 7).Value Then
            chromosomes.Remove (j)
        Exit For
    End If
Next j
Next i

If generation > 1 Then
    Dim fathers As New Collection
    Dim mothers As New Collection

    For i = 1 To chromosomes.Count / 2
        Set chrom = chromosomes.Item(i)

```

```

        fathers.Add Split(chrom.sequence, " ")
    Next i
    For i = CInt(chromosomes.Count / 2) + 1 To chromosomes.Count
        Set chrom = chromosomes.Item(i)
        mothers.Add Split(chrom.sequence, " ")
    Next i
    Call generate_generation(fathers, mothers, size, sample_size, mutation_ratio, generation -
1, total_generation)
End If
End Sub

Public Function crossover(father() As String, mother() As String) As String()
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim cross_point As Integer
    Randomize
    cross_point = Int((UBound(father) - 1) * Rnd + 1)
    Dim child() As String
    For i = 0 To cross_point
        ReDim Preserve child(i) As String
        child(i) = father(i)
    Next
    'counter = cross_point
    For i = (cross_point + 1) To UBound(mother)
        ReDim Preserve child(i) As String
        child(i) = mother(i)
    Next
    crossover = child
End Function

Public Function mutation(sequence As Variant) As String()

```

```

Dim chromosome() As String
Dim i As Integer
For i = 0 To UBound(sequence)
    ReDim Preserve chromosome(i) As String
    chromosome(i) = sequence(i)
Next i

Dim mutate_point1 As Integer
Randomize
mutate_point1 = Int((UBound(chromosome) - 1) * Rnd + 1)

Dim mutate_point2 As Integer
Do
    Randomize
    mutate_point2 = Int((UBound(chromosome) - 1) * Rnd + 1)
Loop While mutate_point1 = mutate_point2

Dim value_point2 As Integer
value_point2 = chromosome(mutate_point2)
chromosome(mutate_point2) = chromosome(mutate_point1)
chromosome(mutate_point1) = value_point2
mutation = chromosome

End Function

Public Function is_contain(chromosomes As Object, assert() As String) As Boolean

    Dim i As Integer
    Dim is_same As Boolean

    For i = 1 To chromosomes.Count
        Dim chromosome() As String
        chromosome = chromosomes.Item(i)

        Dim j As Integer
        is_same = True

        For j = 0 To UBound(chromosome)

```

```

    If chromosome(j) <> assert(j) Then
        is_same = False
        Exit For
    End If
Next j
If is_same Then
    Exit For
End If
Next i
is_contain = is_same
End Function

Public Function random_chromosome(size As Integer, limit As Integer) As String()

    Dim numbers() As String
    Dim counter As Integer
    counter = 0
    For i = 0 To size - 1
        ReDim Preserve numbers(i) As String
        numbers(i) = -1
    Next
    Do While counter < size
        Dim random_number As Integer
        Randomize
        random_number = Int(limit * Rnd + 1)
        numbers(counter) = random_number
        counter = counter + 1
    Loop
    random_chromosome = numbers
End Function

Public Function ArrayToDelimited(vArray As Variant, Optional sDelim As String = ",") As

```

```
String
Dim sDelimString As String
Dim lCounter As Long

'\\ Loop through array from the lower bound to the upper bound
For lCounter = LBound(vArray) To UBound(vArray)
    '\\ As long as lCounter is smaller then the upper bound of the array
    '\\ add the value of that item to the string sDelimString and add delimiter
    sDelimString = sDelimString & _
        CStr(vArray(lCounter)) & If(lCounter < UBound(vArray), sDelim, "")
Next

'\\ Return delimited string
ArrayToDelimited = sDelimString
End Function
```

```
'\\ Loop through array from the lower bound to the upper bound
For lCounter = LBound(vArray) To UBound(vArray)
    '\\ As long as lCounter is smaller than the upper bound of the array
    '\\ add the value of that item to the string sDelimString and add delimiter
    sDelimString = sDelimString & _
        CStr(vArray(lCounter)) & If(lCounter < UBound(vArray), sDelim, "")
Next

'\\ Return delimited string
ArrayToDelimited = sDelimString
End Function
```



ภาคผนวก ค.

ข้อมูลสำหรับโมเดล 1 และ 2

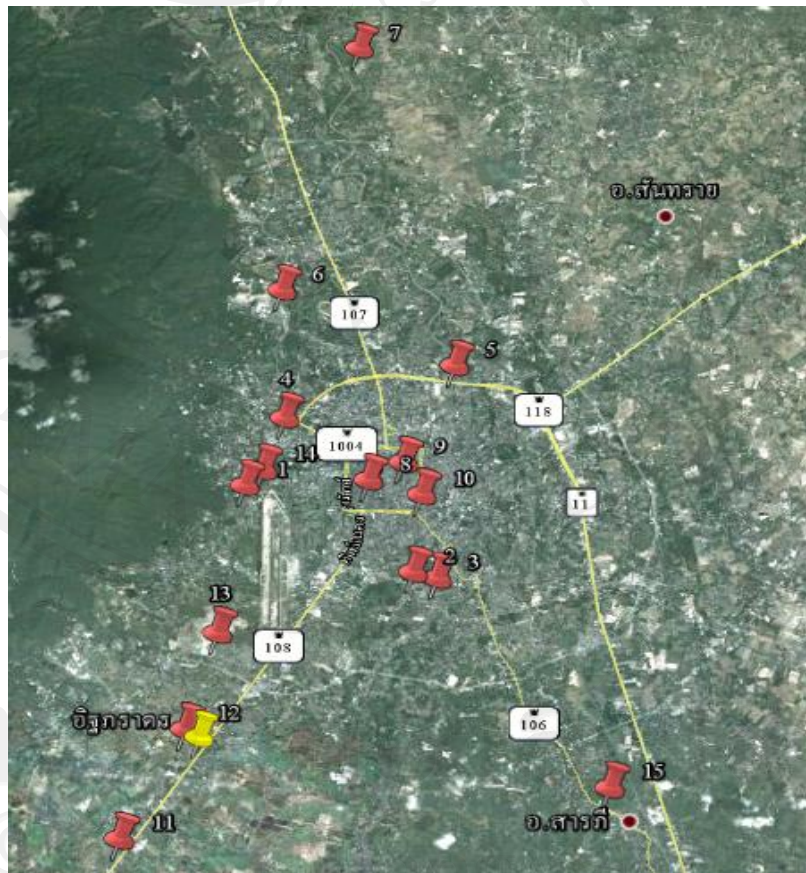
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลสำหรับโมเดล 1

ร้านค้าแห่งที่ 1 จะจำหน่ายอิฐเป็นหลัก โดยมีรถบรรทุก 4 ล้อขนส่งเป็นหลัก มีน้ำหนักบรรทุกประมาณ 5 ตัน มีคนขับรถบรรทุกแต่ละคันเป็นคนกำหนดเส้นทางในการขนส่งเอง ดังรูป 4.1 ในการกำหนดขอบเขตของโมเดลนี้ได้กำหนดไว้ 15 แห่งที่ต้องจัดส่ง แต่ละแห่งจะต้องอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 4.3 เป็นร้านค้าวัสดุก่อสร้างแห่งที่ 1 กับตำแหน่งลูกค้าแต่ละราย ในการได้มาซึ่งข้อมูลระยะทางจะได้มาจากการใช้ Google Earth ในการหาระยะทาง จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าแต่ละราย และระยะห่างระหว่างลูกค้าแต่ละราย ข้อมูลน้ำหนักสินค้าจะถูกระบุอยู่แล้วที่ฝ่ายขายของร้านค้า ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1)



รูป 4.2 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 1 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 1)

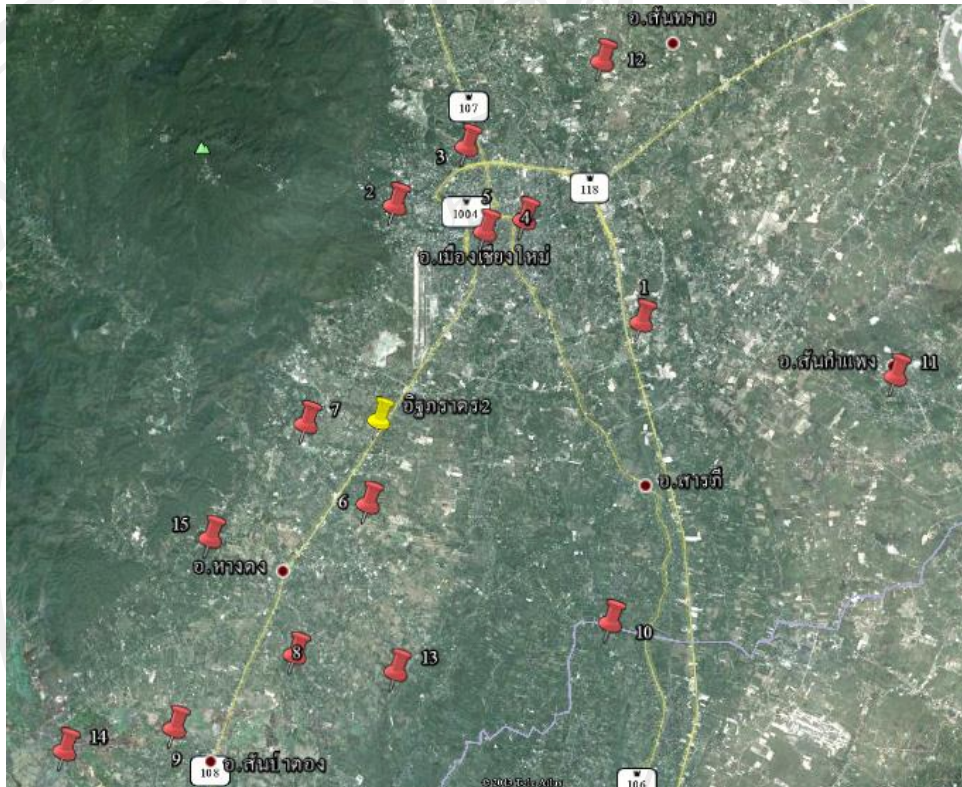
ตาราง 4.1 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	2.0	10.4
ลูกค้ารายที่ 2	4.9	7.6
ลูกค้ารายที่ 3	2.0	8.4
ลูกค้ารายที่ 4	3.0	7.9
ลูกค้ารายที่ 5	4.1	11.6
ลูกค้ารายที่ 6	2.4	13.8
ลูกค้ารายที่ 7	4.9	23.4
ลูกค้ารายที่ 8	3.2	7.9
ลูกค้ารายที่ 9	2.0	8.1
ลูกค้ารายที่ 10	1.6	8.8
ลูกค้ารายที่ 11	1.8	8.1
ลูกค้ารายที่ 12	3.0	3.0
ลูกค้ารายที่ 13	2.7	3.7
ลูกค้ารายที่ 14	1.5	7.7
ลูกค้ารายที่ 15	2.4	13.5

ตาราง 4.2 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		8.4	9.1	2.7	6.4	4.9	14.5	5.9	4.2	4.4	16.9	9.7	7.5	2.9	16.3
2	8.4		1.3	10.3	6.1	11.2	22.1	2.7	6.2	4.1	14.6	9.5	8.0	10.3	8.5
3	9.1	1.3		9.7	6.0	10.6	21.7	2.6	5.6	4.0	14.0	8.9	7.4	9.7	8.1
4	2.7	10.3	9.7		7.6	6.1	15.7	7.1	5.4	5.6	15.1	7.9	5.7	0.7	18.5
5	6.4	6.1	6.0	7.6		4.5	12.2	3.3	4.5	2.8	17.3	12.0	9.7	9.1	12.9
6	4.9	11.2	10.6	6.1	4.5		9.9	7.5	6.8	6.6	20.0	12.8	10.6	6.6	18.9
7	14.5	22.1	21.7	15.7	12.2	9.9		15.0	14.2	13.9	29.5	22.3	20.1	16.1	25.2
8	5.9	2.7	2.6	7.1	3.3	7.5	15.0		1.7	1.7	14.4	9.3	6.8	6.8	9.9
9	4.2	6.2	5.6	5.4	4.5	6.8	14.2	1.7		1.2	14.1	9.0	6.5	5.5	12.3
10	4.4	4.1	4.0	5.6	2.8	6.6	13.9	1.7	1.2		15.3	10.2	7.7	6.1	13.5
11	16.9	14.6	14.0	15.1	17.3	20.0	29.5	14.4	14.1	15.3		7.1	9.9	13.9	16.6
12	9.7	9.5	8.9	7.9	12.0	12.8	22.3	9.3	9.0	10.2	7.1		4.4	7.3	12.2
13	7.5	8.0	7.4	5.7	9.7	10.6	20.1	6.8	6.5	7.7	9.9	4.4		4.7	13.4
14	2.9	10.3	9.7	0.7	9.1	6.6	16.1	6.8	5.5	6.1	13.9	7.3	4.7		17.8
15	16.3	8.5	8.1	18.5	12.9	18.9	25.2	9.9	12.3	13.5	16.6	12.2	13.4	17.8	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 1 (ครั้งที่ 2)



รูป 4.3 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 1 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 2)

ตาราง 4.3 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 2)

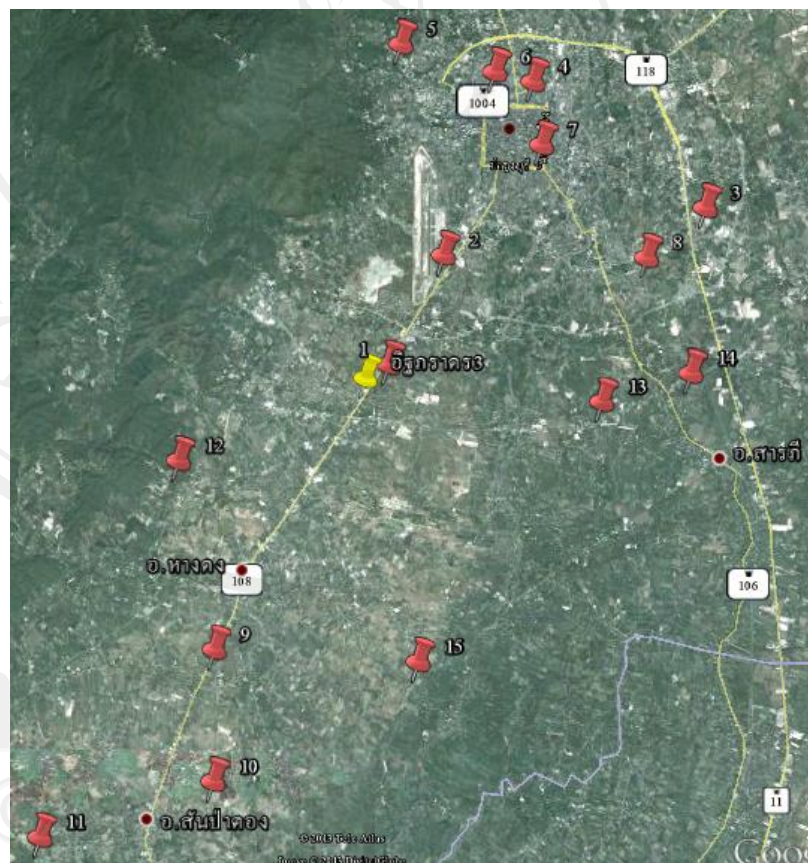
ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	4.1	12.6
ลูกค้ารายที่ 2	4.9	10.7
ลูกค้ารายที่ 3	2.0	11.9
ลูกค้ารายที่ 4	3.0	10.4
ลูกค้ารายที่ 5	3.0	8.7
ลูกค้ารายที่ 6	2.4	6.2
ลูกค้ารายที่ 7	4.5	5.0
ลูกค้ารายที่ 8	3.2	11.3
ลูกค้ารายที่ 9	1.6	15.9
ลูกค้ารายที่ 10	1.8	15.7
ลูกค้ารายที่ 11	3.6	22.7
ลูกค้ารายที่ 12	3.0	22.3
ลูกค้ารายที่ 13	4.8	15.7
ลูกค้ารายที่ 14	1.8	22.5
ลูกค้ารายที่ 15	3.0	10.2

ตาราง 4.4 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		16.7	14.0	9.0	10.3	15.5	14.3	20.6	25.2	15.2	13.8	12.3	17.5	31.8	19.5
2	16.7		4.1	6.3	4.3	14.4	10.8	19.5	24.1	29.1	24.9	12.5	23.9	30.8	16.2
3	14.0	4.1		4.5	6.4	18.9	15.5	24.0	28.6	25.2	20.9	8.6	27.5	35.3	20.9
4	9.0	6.3	4.5		4.5	13.6	12.4	18.7	23.3	20.9	17.7	8.9	23.1	29.9	17.6
5	10.3	4.3	6.4	4.5		12.4	11.2	17.6	22.2	21.9	20.4	13.1	21.9	28.8	16.5
6	15.5	14.4	18.9	13.6	12.4		6.4	7.9	12.5	11.3	23.5	26.9	9.5	19.2	7.8
7	14.3	10.8	15.5	12.4	11.2	6.4		11.4	16.0	15.8	24.1	25.4	15.8	22.7	6.8
8	20.6	19.5	24.0	18.7	17.6	7.9	11.4		6.5	17.0	32.4	32.0	5.6	13.1	6.2
9	25.2	24.1	28.6	23.3	22.2	12.5	16.0	6.5		21.1	36.6	36.1	12.4	7.6	10.3
10	15.2	29.1	25.2	20.9	21.9	11.3	15.8	17.0	21.1		19.9	26.5	10.9	27.8	16.4
11	13.8	24.9	20.9	17.7	20.4	23.5	24.1	32.4	36.6	19.9		18.2	26.2	43.2	30.9
12	12.3	12.5	8.6	8.9	13.1	26.9	25.4	32.0	36.1	26.5	18.2		28.8	42.0	29.2
13	17.5	23.9	27.5	23.1	21.9	9.5	15.8	5.6	12.4	10.9	26.2	28.8		19.1	10.6
14	31.8	30.8	35.3	29.9	28.8	19.2	22.7	13.1	7.6	27.8	43.2	42.0	19.1		17.0
15	19.5	16.2	20.9	17.6	16.5	7.8	6.8	6.2	10.3	16.4	30.9	29.2	10.6	17.0	

ร้านค้าแห่งที่ 3 จะจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป มีรถบรรทุก 6 ล้อขนส่งเป็นหลัก ซึ่งสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ประมาณ 9 ตัน เช่นเดียวกับร้านค้าแห่งที่ 2 ในการวางแผนการขนส่งจะเป็นหน้าที่ของฝ่ายขนส่งโดยรับคำสั่งซื้อมาจากฝ่ายขาย จัดเส้นทางการขนส่งตามกลุ่มของลูกค้าตามทิศทางตำแหน่งต่างๆ เช่น กลุ่มแมริม กลุ่มสันทราย เป็นต้น กำหนดจำนวนลูกค้าไว้คือ 15 แห่งเช่นเดียวกันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป แต่ละแห่งจะต้องอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 4.5 เป็นร้านค้าวัสดุก่อสร้างแห่งที่ 3 กับตำแหน่งลูกค้าแต่ละราย ในการได้มาซึ่งข้อมูลระยะทางจะได้มาจากการใช้ Google Earth ในการหาระยะทาง จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าแต่ละราย และระยะห่างระหว่างลูกค้าแต่ละราย ข้อมูลน้ำหนักสินค้าจะถูกระบุอยู่แล้วที่ฝ่ายขายของร้านค้า ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 1 (ครั้งที่ 3)



รูป 4.4 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 1 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 3)

ตาราง 4.5 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 3)

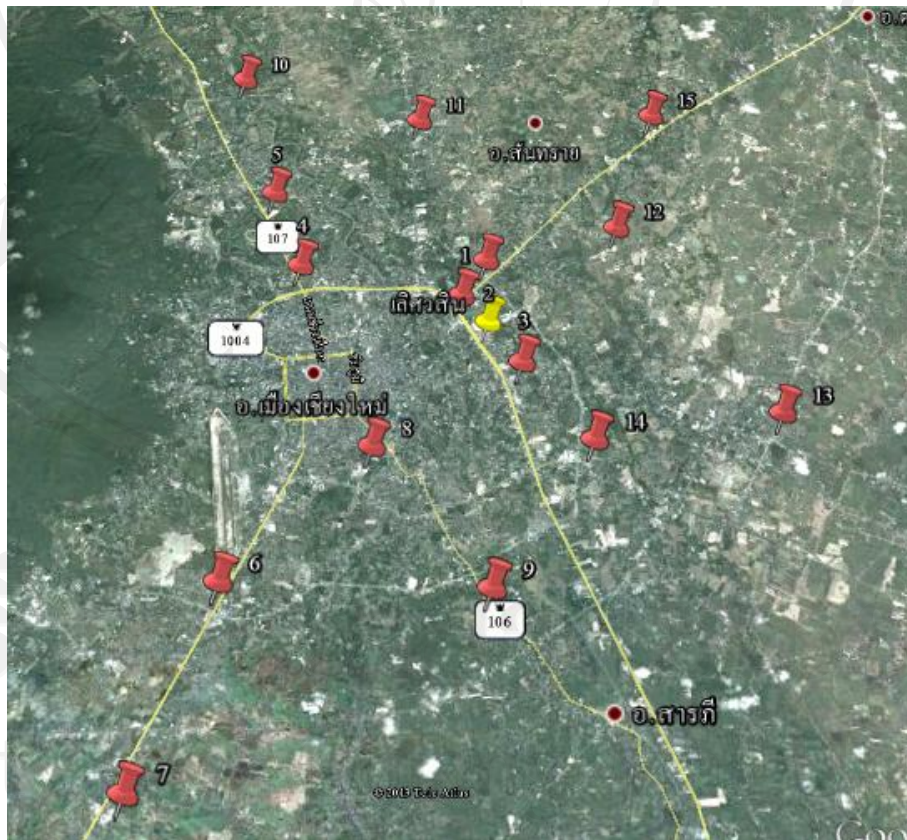
ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	4.9	1.6
ลูกค้ารายที่ 2	2.4	4.0
ลูกค้ารายที่ 3	3.2	12.9
ลูกค้ารายที่ 4	2.4	10.3
ลูกค้ารายที่ 5	3.2	11.8
ลูกค้ารายที่ 6	2.4	9.5
ลูกค้ารายที่ 7	4.9	8.2
ลูกค้ารายที่ 8	1.6	10.2
ลูกค้ารายที่ 9	1.6	8.2
ลูกค้ารายที่ 10	1.6	13.9
ลูกค้ารายที่ 11	3.6	15.8
ลูกค้ารายที่ 12	4.8	6.6
ลูกค้ารายที่ 13	3.0	7.0
ลูกค้ารายที่ 14	2.1	10.0
ลูกค้ารายที่ 15	3.0	10.2

ตาราง 4.6 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 1 (ครั้งที่ 3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		4.8	13.7	11.2	12.6	10.3	9.1	11.0	9.0	14.6	16.6	7.4	7.7	10.7	11.0
2	4.8		8.9	6.5	8.2	5.7	4.4	7.6	13.7	19.4	21.3	12.1	12.5	9.9	15.7
3	13.7	8.9		13.2	14.6	12.7	13.1	5.2	20.9	26.6	28.5	19.3	8.8	19.0	19.0
4	11.2	6.5	13.2		5.0	2.5	2.3	8.4	18.7	24.3	26.3	17.1	12.0	10.7	20.7
5	12.6	8.2	14.6	5.0		3.4	6.7	14.6	19.4	25.1	27.0	15.6	18.2	18.5	21.4
6	10.3	5.7	12.7	2.5	3.4		3.8	10.5	18.8	24.5	26.4	17.2	14.0	12.7	20.8
7	9.1	4.4	13.1	2.3	6.7	3.8		9.0	16.5	22.2	24.1	14.9	10.5	9.2	18.5
8	11.0	7.6	5.2	8.4	14.6	10.5	9.0		18.8	24.5	26.4	17.2	6.1	4.8	17.4
9	9.0	13.7	20.9	18.7	19.4	18.8	16.5	18.8		5.6	7.6	7.4	14.8	17.8	9.8
10	14.6	19.4	26.6	24.3	25.1	24.5	22.2	24.5	5.6		5.6	12.3	19.7	22.7	10.9
11	16.6	21.3	28.5	26.3	27.0	26.4	24.1	26.4	7.6	5.6		14.2	21.6	24.6	16.0
12	7.4	12.1	19.3	17.1	15.6	17.2	14.9	17.2	7.4	12.3	14.2		12.8	15.8	9.6
13	7.7	12.5	8.8	12.0	18.2	14.0	10.5	6.1	14.8	19.7	21.6	12.8		3.0	10.9
14	10.7	9.9	19.0	10.7	18.5	12.7	9.2	4.8	17.8	22.7	24.6	15.8	3.0		13.0
15	11.0	15.7	19.0	20.7	21.4	20.8	18.5	17.4	9.8	10.9	16.0	9.6	10.9	13.0	

ร้านค้าแห่งที่ 2 จะจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป เช่น ปูนถุง เหล็กเส้น เหล็กรูปพรรณ กระเบื้องลอนคู่ อิฐมวลเบา ฯลฯ โดยมีรถบรรทุก 6 ล้อขนส่งเป็นหลัก ซึ่งสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ประมาณ 9 ตัน มีฝ่ายโลจิสติกส์เป็นคนวางแผนกำหนดเส้นทางในการขนส่ง โดยมีแนวทางในการวางแผนการขนส่ง คือ กำหนดเส้นทางหลักโดยลูกค้าที่รับแจ้งใช้วัสดุก่อสร้าง นำเอาคิวของลูกค้าที่อยู่ในบริเวณทิศทางเดียวกันมาจัดเป็นเส้นทางขนส่ง ขอบเขตของลูกค้า ที่กำหนดไว้คือ 15 แห่งเช่นเดียวกัน แต่ละแห่งจะต้องอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 4.4 เป็นร้านค้าวัสดุก่อสร้างแห่งที่ 2 กับตำแหน่งลูกค้าแต่ละราย ในการได้มาซึ่งข้อมูลระยะทางจะได้มาจากการใช้ Google Earth ในการหาระยะทาง จากร้านค้าวัสดุก่อสร้างไปยังลูกค้าแต่ละราย และระยะห่างระหว่างลูกค้าแต่ละราย ข้อมูลน้ำหนักสินค้าจะถูกระบุอยู่แล้วที่ฝ่ายขายของร้านค้า ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 2 (ครั้งที่ 1)



รูป 4.5 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 2 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 1)

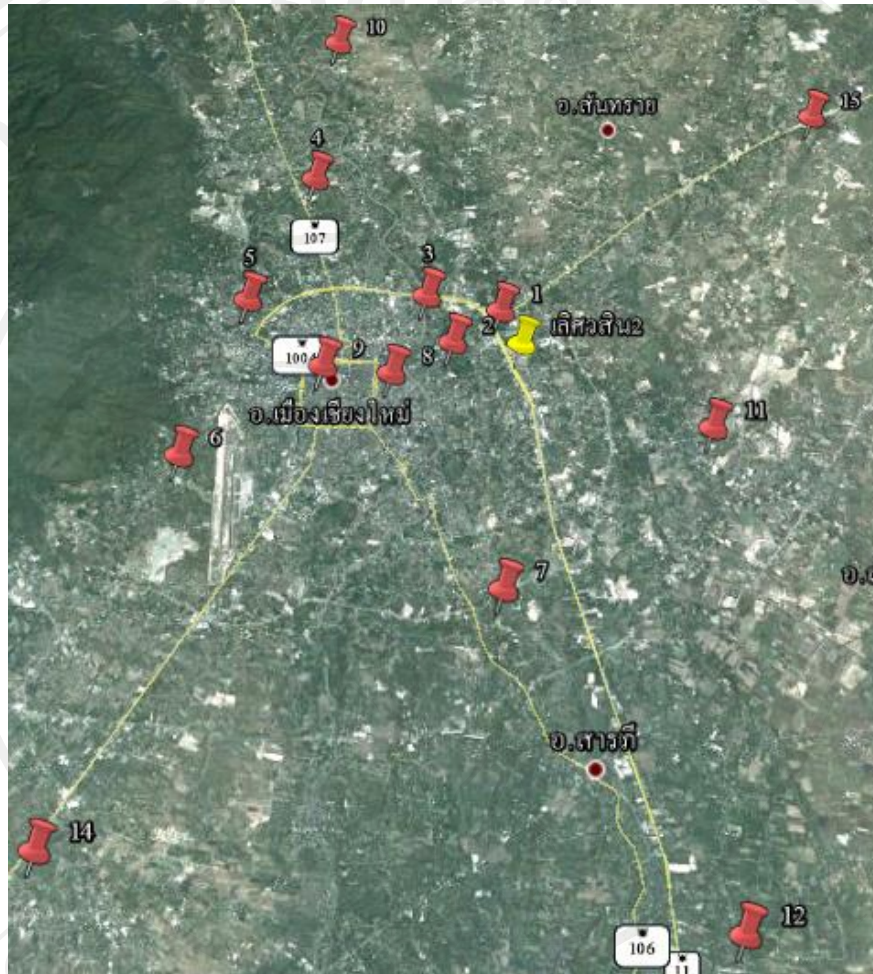
ตาราง 4.7 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 1)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	5.0	3.8
ลูกค้ารายที่ 2	9.0	2.4
ลูกค้ารายที่ 3	6.0	1.5
ลูกค้ารายที่ 4	3.5	8.0
ลูกค้ารายที่ 5	7.0	11.4
ลูกค้ารายที่ 6	4.6	13.7
ลูกค้ารายที่ 7	2.8	18.8
ลูกค้ารายที่ 8	7.2	9.4
ลูกค้ารายที่ 9	4.8	8.3
ลูกค้ารายที่ 10	3.6	13.9
ลูกค้ารายที่ 11	6.4	11.1
ลูกค้ารายที่ 12	7.4	7.1
ลูกค้ารายที่ 13	4.8	7.7
ลูกค้ารายที่ 14	6.8	4.6
ลูกค้ารายที่ 15	5.2	9.1

ตาราง 4.8 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1.6	3.2	4.8	8.2	15.4	20.5	5.8	10.0	10.8	7.9	6.3	9.5	6.3	8.2
2	1.6		4.3	6.3	8.7	15.4	21.0	8.7	10.5	9.9	6.6	4.7	8.7	6.1	6.7
3	3.2	4.3		7.8	11.2	13.5	18.6	9.2	8.1	15.0	12.2	9.4	6.2	3.7	11.7
4	4.8	6.3	7.8		3.7	13.9	18.7	8.3	14.9	7.4	10.7	11.1	14.4	11.2	13.0
5	8.2	8.7	11.2	3.7		15.0	19.9	9.4	15.9	5.8	11.7	12.1	15.4	12.2	14.1
6	15.4	15.4	13.5	13.9	15.0		6.0	6.4	8.4	17.7	19.4	19.8	16.1	12.2	22.1
7	20.5	21.0	18.6	18.7	19.9	6.0		12.5	13.2	23.8	25.5	23.7	20.1	16.0	27.7
8	5.8	8.7	9.2	8.3	9.4	6.4	12.5		5.8	14.1	13.1	11.7	13.2	7.4	13.6
9	10.0	10.5	8.1	14.9	15.9	8.4	13.2	5.8		19.3	16.5	13.5	9.8	5.1	16.8
10	10.8	9.9	15.0	7.4	5.8	17.7	23.8	14.1	19.3		6.4	10.9	17.9	15.8	12.8
11	7.9	6.6	12.2	10.7	11.7	19.4	25.5	13.1	16.5	6.4		6.2	13.1	11.1	8.1
12	6.3	4.7	9.4	11.1	12.1	19.8	23.7	11.7	13.5	10.9	6.2		6.9	9.6	5.3
13	9.5	8.7	6.2	14.4	15.4	16.1	20.1	13.2	9.8	17.9	13.1	6.9		6.0	12.3
14	6.3	6.1	3.7	11.2	12.2	12.2	16.0	7.4	5.1	15.8	11.1	9.6	6.0		13.2
15	8.2	6.7	11.7	13.0	14.1	22.1	27.7	13.6	16.8	12.8	8.1	5.3	12.3	13.2	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 2 (ครั้งที่ 2)



รูป 4.6 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 2 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 2)

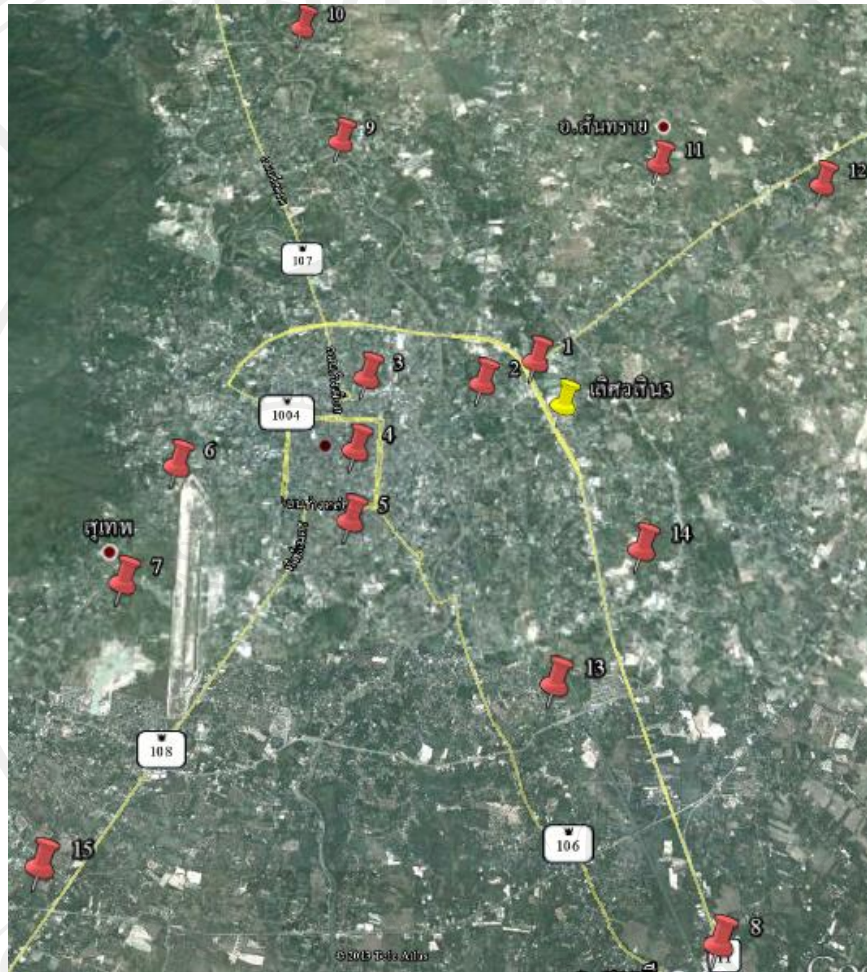
ตาราง 4.9 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 2)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	3.0	3.5
ลูกค้ารายที่ 2	7.0	4.1
ลูกค้ารายที่ 3	6.0	6.9
ลูกค้ารายที่ 4	2.5	11.4
ลูกค้ารายที่ 5	4.2	10.6
ลูกค้ารายที่ 6	1.8	15.3
ลูกค้ารายที่ 7	2.8	7.6
ลูกค้ารายที่ 8	4.3	4.7
ลูกค้ารายที่ 9	2.7	12.7
ลูกค้ารายที่ 10	3.6	12.9
ลูกค้ารายที่ 11	7.0	5.3
ลูกค้ารายที่ 12	6.3	13.8
ลูกค้ารายที่ 13	5.5	18.3
ลูกค้ารายที่ 14	3.6	19.6
ลูกค้ารายที่ 15	5.2	12.6

ตาราง 4.10 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1.8	3.4	7.9	7.1	11.8	7.6	4.7	12.7	12.9	6.7	15.2	18.3	19.6	11.4
2	1.8		1.7	8.3	7.5	12.2	7.1	2.3	4.6	10.8	6.8	16.6	21.2	15.7	12.7
3	3.4	1.7		6.4	5.5	10.2	12.0	3.0	4.5	10.3	9.7	18.2	22.8	15.9	14.3
4	7.9	8.3	6.4		5.3	10.0	15.0	6.0	7.4	6.5	12.7	21.2	25.7	20.5	17.3
5	7.1	7.5	5.5	5.3		4.6	15.2	4.4	3.3	11.0	12.9	21.4	26.0	15.3	17.5
6	11.8	12.2	10.2	10.0	4.6		13.2	8.9	6.2	15.2	19.4	23.2	25.6	11.3	22.3
7	7.6	7.1	12.0	15.0	15.2	13.2		6.9	9.1	17.7	10.4	10.3	13.5	13.5	19.6
8	4.7	2.3	3.0	6.0	4.4	8.9	6.9		2.3	13.2	8.5	17.9	19.3	13.5	15.3
9	12.7	4.6	4.5	7.4	3.3	6.2	9.1	2.3		13.1	15.0	20.4	21.8	13.6	19.6
10	12.9	10.8	10.3	6.5	11.0	15.2	17.7	13.2	13.1		14.9	24.1	28.7	25.1	15.3
11	6.7	6.8	9.7	12.7	12.9	19.4	10.4	8.5	15.0	14.9		13.3	17.8	20.3	15.0
12	15.2	16.6	18.2	21.2	21.4	23.2	10.3	17.9	20.4	24.1	13.3		9.0	23.5	26.1
13	18.3	21.2	22.8	25.7	26.0	25.6	13.5	19.3	21.8	28.7	17.8	9.0		13.4	30.6
14	19.6	15.7	15.9	20.5	15.3	11.3	13.5	13.5	13.6	25.1	20.3	23.5	13.4		31.6
15	11.4	12.7	14.3	17.3	17.5	22.3	19.6	15.3	19.6	15.3	15.0	26.1	30.6	31.6	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 2 (ครั้งที่ 3)



รูป 4.7 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 2 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 3)

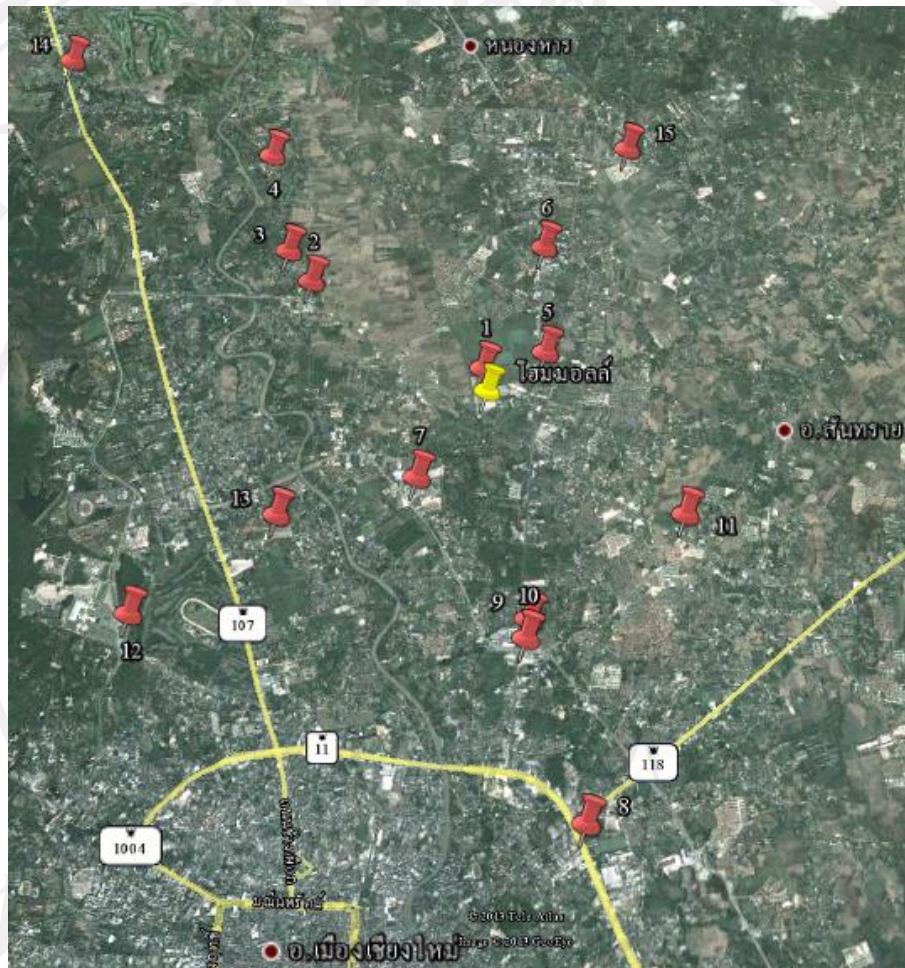
ตาราง 4.11 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 3)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	6.0	3.5
ลูกค้ารายที่ 2	5.0	4.9
ลูกค้ารายที่ 3	3.0	8.2
ลูกค้ารายที่ 4	7.0	6.1
ลูกค้ารายที่ 5	6.0	6.9
ลูกค้ารายที่ 6	3.4	13.4
ลูกค้ารายที่ 7	3.6	16.3
ลูกค้ารายที่ 8	3.0	9.3
ลูกค้ารายที่ 9	2.8	10.6
ลูกค้ารายที่ 10	6.5	13.4
ลูกค้ารายที่ 11	5.5	6.2
ลูกค้ารายที่ 12	2.4	10.5
ลูกค้ารายที่ 13	3.0	6.4
ลูกค้ารายที่ 14	4.5	4.2
ลูกค้ารายที่ 15	3.2	17.0

ตาราง 4.12 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 2 (ครั้งที่ 3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1.4	3.6	5.8	5.8	9.9	12.8	10.7	7.8	9.9	5.0	9.3	7.8	5.6	18.4
2	1.4		2.5	4.1	4.5	10.1	13.1	10.6	9.2	11.3	6.6	10.9	7.3	6.2	13.1
3	3.6	2.5		2.1	3.7	7.7	10.0	15.2	7.4	9.9	8.1	12.5	8.5	10.1	12.2
4	5.8	4.1	2.1		2.0	4.7	7.6	14.4	8.7	11.3	12.0	16.3	7.5	12.0	10.6
5	5.8	4.5	3.7	2.0		5.5	8.4	10.4	12.3	14.9	15.5	19.9	5.5	8.0	8.8
6	9.9	10.1	7.7	4.7	5.5		3.2	18.5	9.4	12.1	13.4	17.8	14.2	14.1	10.2
7	12.8	13.1	10.0	7.6	8.4	3.2		16.9	13.6	16.4	17.7	22.0	12.6	16.0	8.5
8	10.7	10.6	15.2	14.4	10.4	18.5	16.9		18.0	20.1	15.2	19.5	7.3	7.9	12.0
9	7.8	9.2	7.4	8.7	12.3	9.4	13.6	18.0		6.1	9.7	15.2	15.2	12.9	19.3
10	9.9	11.3	9.9	11.3	14.9	12.1	16.4	20.1	6.1		8.4	13.8	17.2	15.0	22.1
11	5.0	6.6	8.1	12.0	15.5	13.4	17.7	15.2	9.7	8.4		6.7	13.2	10.9	23.7
12	9.3	10.9	12.5	16.3	19.9	17.8	22.0	19.5	15.2	13.8	6.7		14.9	12.7	25.5
13	7.8	7.3	8.5	7.5	5.5	14.2	12.6	7.3	15.2	17.2	13.2	14.9		4.5	12.0
14	5.6	6.2	10.1	12.0	8.0	14.1	16.0	7.9	12.9	15.0	10.9	12.7	4.5		14.5
15	18.4	13.1	12.2	10.6	8.8	10.2	8.5	12.0	19.3	22.1	23.7	25.5	12.0	14.5	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 3 (ครั้งที่ 1)



รูป 4.8 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 3 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 1)

ตาราง 4.13 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 1)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	3.8	0.2
ลูกค้ารายที่ 2	2.4	2.8
ลูกค้ารายที่ 3	5.0	3.6
ลูกค้ารายที่ 4	3.0	5.3
ลูกค้ารายที่ 5	7.5	1.9
ลูกค้ารายที่ 6	3.4	3.5
ลูกค้ารายที่ 7	4.7	4.3
ลูกค้ารายที่ 8	6.3	7.1
ลูกค้ารายที่ 9	3.4	3.4
ลูกค้ารายที่ 10	5.0	3.7
ลูกค้ารายที่ 11	3.2	3.1
ลูกค้ารายที่ 12	5.6	11.1
ลูกค้ารายที่ 13	6.8	9.4
ลูกค้ารายที่ 14	7.4	8.6
ลูกค้ารายที่ 15	3.5	7.0

ตาราง 4.14 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		2.7	3.4	5.1	2.1	3.6	4.2	7.3	3.6	3.8	3.2	11.0	9.3	8.5	7.2
2	2.7		0.7	2.4	4.8	6.3	4.1	10.0	6.3	6.5	5.9	8.3	6.6	5.8	9.9
3	3.4	0.7		1.7	5.5	7.0	4.4	10.7	7.0	7.2	6.6	8.5	6.8	6.0	10.6
4	5.1	2.4	1.7		7.2	8.7	6.1	12.4	8.7	8.9	8.3	10.2	8.5	7.7	12.3
5	2.1	4.8	5.5	7.2		4.8	6.4	7.3	3.6	3.9	3.2	13.0	9.8	10.5	8.4
6	3.6	6.3	7.0	8.7	4.8		8.0	9.0	5.3	5.5	4.9	14.7	11.5	12.2	3.8
7	4.2	4.1	4.4	6.1	6.4	8.0		6.1	3.9	2.7	5.5	7.9	5.1	11.4	9.5
8	7.3	10.0	10.7	12.4	7.3	9.0	6.1		4.3	3.6	5.4	6.9	8.3	14.2	11.8
9	3.6	6.3	7.0	8.7	3.6	5.3	3.9	4.3		0.3	6.0	7.2	6.2	12.9	9.8
10	3.8	6.5	7.2	8.9	3.9	5.5	2.7	3.6	0.3		5.8	7.0	6.8	12.9	9.8
11	3.2	5.9	6.6	8.3	3.2	4.9	5.5	5.4	6.0	5.8		12.7	10.9	11.7	8.5
12	11.0	8.3	8.5	10.2	13.0	14.7	7.9	6.9	7.2	7.0	12.7		4.6	9.5	16.0
13	9.3	6.6	6.8	8.5	9.8	11.5	5.1	8.3	6.2	6.8	10.9	4.6		8.1	13.8
14	8.5	5.8	6.0	7.7	10.5	12.2	11.4	14.2	12.9	12.9	11.7	9.5	8.1		13.4
15	7.2	9.9	10.6	12.3	8.4	3.8	9.5	11.8	9.8	9.8	8.5	16.0	13.8	13.4	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 3 (ครั้งที่ 2)



รูป 4.9 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 3 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 2)

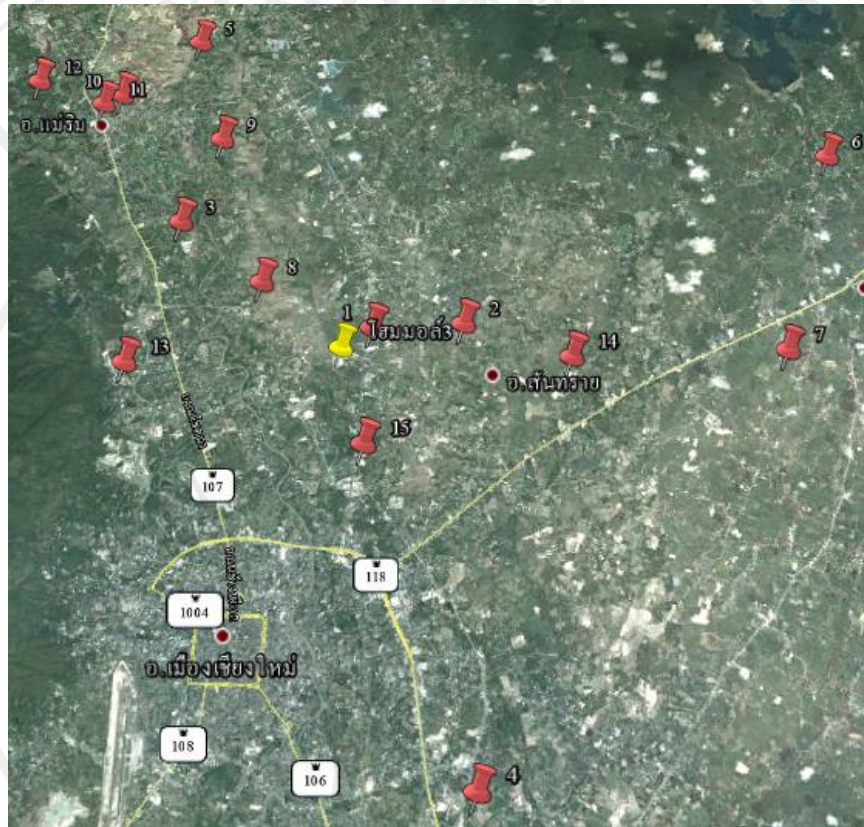
ตาราง 4.15 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 2)

ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	4.6	2.1
ลูกค้ารายที่ 2	3.4	3.2
ลูกค้ารายที่ 3	4.0	5.7
ลูกค้ารายที่ 4	6.0	6.8
ลูกค้ารายที่ 5	4.5	5.5
ลูกค้ารายที่ 6	3.6	9.0
ลูกค้ารายที่ 7	4.3	10.1
ลูกค้ารายที่ 8	6.0	10.7
ลูกค้ารายที่ 9	5.0	11.6
ลูกค้ารายที่ 10	6.0	4.8
ลูกค้ารายที่ 11	6.0	8.5
ลูกค้ารายที่ 12	3.4	6.3
ลูกค้ารายที่ 13	2.5	8.6
ลูกค้ารายที่ 14	3.6	5.4
ลูกค้ารายที่ 15	4.3	6.7

ตาราง 4.16 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		1.7	4.9	6.4	6.0	9.5	9.3	11.9	12.9	6.0	8.1	5.9	8.2	6.7	7.2
2	1.7		5.9	8.2	7.1	8.5	10.4	13.8	14.7	7.9	9.9	7.8	10.1	8.6	8.3
3	4.9	5.9		4.5	9.6	9.7	5.5	16.3	17.3	10.4	9.0	8.4	7.9	11.1	10.8
4	6.4	8.2	4.5		12.2	13.7	10.5	19.2	20.1	13.1	8.1	7.5	7.0	13.7	13.4
5	6.0	7.1	9.6	12.2		4.5	14.0	9.7	11.9	10.4	12.5	10.3	12.6	11.0	2.2
6	9.5	8.5	9.7	13.7	4.5		8.5	11.4	13.6	13.8	15.9	13.7	16.0	14.4	2.3
7	9.3	10.4	5.5	10.5	14.0	8.5		22.1	23.0	16.2	14.8	14.2	13.7	16.9	9.6
8	11.9	13.8	16.3	19.2	9.7	11.4	22.1		3.2	9.1	14.6	11.9	14.4	7.1	10.9
9	12.9	14.7	17.3	20.1	11.9	13.6	23.0	3.2		9.5	15.0	12.3	14.9	10.2	12.5
10	6.0	7.9	10.4	13.1	10.4	13.8	16.2	9.1	9.5		12.6	5.8	12.5	1.5	11.5
11	8.1	9.9	9.0	8.1	12.5	15.9	14.8	14.6	15.0	12.6		7.4	3.6	11.0	14.1
12	5.9	7.8	8.4	7.5	10.3	13.7	14.2	11.9	12.3	5.8	7.4		7.5	9.3	9.1
13	8.2	10.1	7.9	7.0	12.6	16.0	13.7	14.4	14.9	12.5	3.6	7.5		13.4	13.8
14	6.7	8.6	11.1	13.7	11.0	14.4	16.9	7.1	10.2	1.5	11.0	9.3	13.4		12.1
15	7.2	8.3	10.8	13.4	2.2	2.3	9.6	10.9	12.5	11.5	14.1	9.1	13.8	12.1	

กรณีร้านค้าวัสดุก่อสร้าง แห่งที่ 3 (ครั้งที่ 3)



รูป 4.10 ตำแหน่งของร้านค้าแห่งที่ 3 และลูกค้าแต่ละราย (ครั้งที่ 3)

ตาราง 4.17 ข้อมูลน้ำหนักสินค้าและระยะทางของลูกค้าแต่ละรายของร้านแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 3)

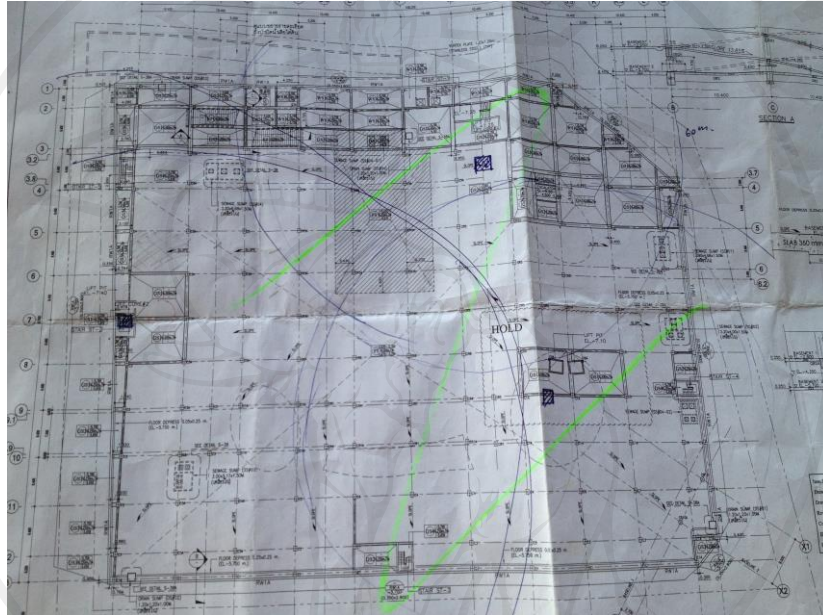
ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	ระยะทาง(กม.)
ลูกค้ารายที่ 1	2.6	1.9
ลูกค้ารายที่ 2	2.0	4.7
ลูกค้ารายที่ 3	6.0	7.8
ลูกค้ารายที่ 4	4.0	12.2
ลูกค้ารายที่ 5	3.5	14.1
ลูกค้ารายที่ 6	3.2	18.5
ลูกค้ารายที่ 7	5.6	16.6
ลูกค้ารายที่ 8	5.0	3.9
ลูกค้ารายที่ 9	6.0	8.2
ลูกค้ารายที่ 10	3.5	11.8
ลูกค้ารายที่ 11	6.2	10.9
ลูกค้ารายที่ 12	4.0	13.6
ลูกค้ารายที่ 13	6.0	8.4
ลูกค้ารายที่ 14	5.4	8.2
ลูกค้ารายที่ 15	4.2	2.9

ตาราง 4.18 ข้อมูลระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของร้านค้าแห่งที่ 3 (ครั้งที่ 3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		3.1	9.6	12.4	15.9	18.7	16.8	5.8	10.0	13.6	12.8	15.4	10.3	8.3	3.1
2	3.1		12.4	14.0	16.3	17.9	16.0	8.6	12.9	16.4	15.6	18.2	13.1	4.0	5.9
3	9.6	12.4		20.2	7.9	26.2	24.3	5.7	9.0	5.6	4.8	7.4	6.1	15.9	10.6
4	12.4	14.0	20.2		28.3	23.0	21.0	16.2	20.5	26.0	25.2	27.8	16.9	13.8	9.7
5	15.9	16.3	7.9	28.3		25.7	30.6	12.0	6.1	3.7	4.1	6.7	12.4	19.7	16.9
6	18.7	17.9	26.2	23.0	25.7		6.7	22.9	17.1	30.7	29.9	32.5	27.1	15.1	19.5
7	16.8	16.0	24.3	21.0	30.6	6.7		19.3	23.5	27.1	26.3	28.9	23.5	11.5	16.3
8	5.8	8.6	5.7	16.2	12.0	22.9	19.3		5.4	9.7	8.9	11.5	6.4	12.1	6.8
9	10.0	12.9	9.0	20.5	6.1	17.1	23.5	5.4		5.3	6.1	8.7	10.3	16.3	11.1
10	13.6	16.4	5.6	26.0	3.7	30.7	27.1	9.7	5.3		0.8	3.0	9.9	19.7	14.4
11	12.8	15.6	4.8	25.2	4.1	29.9	26.3	8.9	6.1	0.8		2.8	9.3	19.1	13.8
12	15.4	18.2	7.4	27.8	6.7	32.5	28.9	11.5	8.7	3.0	2.8		11.9	21.7	16.5
13	10.3	13.1	6.1	16.9	12.4	27.1	23.5	6.4	10.3	9.9	9.3	11.9		16.5	9.7
14	8.3	4.0	15.9	13.8	19.7	15.1	11.5	12.1	16.3	19.7	19.1	21.7	16.5		9.4
15	3.1	5.9	10.6	9.7	16.9	19.5	16.3	6.8	11.1	14.4	13.8	16.5	9.7	9.4	

ข้อมูลสำหรับโมเดล 2

อาคารมีขนาด $91 \times 108 = 9,828$ ตรม. เป็นอาคารห้างสรรพสินค้า 8 ชั้น มีการใช้ทาวเวอร์เครนจำนวน 3 ตัว ดังรูป



รูป 5.11 แสดง ฟังสถานที่ก่อสร้างห้างสรรพสินค้า 8 ชั้น

ในโมเดลที่ 2 ได้เพิ่มพื้นที่ทำงานออกไปจากตัวอาคารอีก จนมีขนาด $119 \times 144 = 17,136$ ตรม. ส่วนพื้นที่แต่ละช่องได้กำหนดให้มีขนาด $9 \times 7 = 63$ ตรม. จำนวน 272 ช่อง เนื่องขนาดฐานรากของทาวเวอร์เครนที่มีใหญ่สุด คือ $6 \times 6 = 36$ ตรม. เมื่อรวมพื้นที่ทำงานด้วย จึงได้กำหนดเป็น 63 ตรม. ดังตาราง

ตาราง 5.19 ลักษณะของทาวเวอร์เครนทั้ง 3 เครื่อง

ทาวเวอร์เครน	ความยาวบูม	ขนาดฐานราก
เครื่อง A	60	36
เครื่อง B	60	36
เครื่อง C	36	25

ส่วนของภายในสถานที่ก่อสร้าง ได้แก่ พื้นที่ที่สามารถวางทาวเวอร์เครนได้ ซึ่งแยกเป็นพื้นที่การวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัวโดยเฉพาะ ดังตาราง และพื้นที่ที่ไม่สามารถวางทาวเวอร์เครนได้ ซึ่งแยกเป็นพื้นที่ขอบเขตการเคลื่อนย้ายวัสดุแต่ไม่ไดู้่ภายในพื้นที่ก่อสร้าง และพื้นที่ที่อยู่ภายในพื้นที่ก่อสร้างแต่เนื่องจากปัจจัยต่างๆของโครงการแล้วจึงไม่สามารถวางทาวเวอร์เครนได้ ดังตาราง

ตาราง 5.2 ราคาเช่าทาวเวอร์เครน (บาทต่อเดือน)

ความยาวบูม(ม.)	ค่าเช่าต่อเดือน
60	300,000
50	255,000
45	230,000
40	200,000
35	175,000
30	150,000



ภาคผนวก ง.

ขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือช่วยหาคำตอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการใช้งานเครื่องมือ Evolver และ CVRP-Algorithm

ขั้นตอนหลักประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ

- การเตรียมข้อมูลนำเข้าเพื่อนำมากรอกใช้ในโมเดล
- การสร้างโมเดลปัญหาใน Microsoft Excel เป็นการกำหนดข้อมูลนำเข้าและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์
- การใช้เครื่องมือ Evolver และ CVRP-Algorithm ช่วยหาคำตอบ ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพ

Model 1 การขนส่งวัสดุก่อสร้าง

การเตรียมข้อมูลนำเข้า

1. ข้อมูลน้ำหนักรถบรรทุกที่สามารถบรรทุกได้ ใช้หน่วยเป็นตัน (เช่น 5 ตัน 9 ตัน เป็นต้น)
2. ข้อมูลน้ำหนักสินค้าที่บรรทุก ใช้หน่วยเป็นตัน คำนวณจากได้จาก = น้ำหนักสินค้า x จำนวนทั้งหมดที่บรรทุก
(เช่น ปูน 50 ถุง น้ำหนักถุงละ 50 กก. ทั้งหมดหนัก 2,500 กก. หรือ 2.5 ตัน)
3. ข้อมูลระยะทาง ใช้หน่วยเป็นกิโลเมตร หาได้จาก Google Earth โดยเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดจากทางเลือกของ Google Earth (เป็นเส้นทางถนนจริง ไม่ได้ใช้ระยะกระจัด)

การสร้างโมเดลปัญหาใน Microsoft Excel

ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร

4. C6:C20 ป้อนตัวเลข 1-15 เป็นลำดับสถานที่ของลูกค้า (เป็นการสุ่มตัวเลข เพื่อใช้เป็นคำตอบเริ่มต้น)
5. J3 ป้อนน้ำหนักที่บรรทุกได้ของรถบรรทุก (เช่น 5 ตัน 9 ตัน เป็นต้น)
6. L5:L20 ป้อนน้ำหนักสินค้าของลูกค้าแต่ละราย หน่วยเป็นตัน
(น้ำหนักของวัสดุก่อสร้างต่างๆที่บรรทุก เช่น ปูน 50 ถุง น้ำหนักถุงละ 50 กก. รวมเป็น 2,500 กก. หรือ 2.5 ตัน)
7. M6:M20 ป้อนระยะห่างของลูกค้าแต่ละรายกับร้านค้า หน่วยเป็นกิโลเมตร
8. O6:AD20 ป้อนระยะห่างของลูกค้าแต่ละราย หน่วยเป็นกิโลเมตร

ขั้นตอนกำหนดความสัมพันธ์

9. AG6 อ่านค่าจาก L6 ซึ่งเป็นข้อมูลจาก G6:M20 ในคอลัมน์ 6 เป็นค่าของน้ำหนักสินค้า (ใช้คำสั่ง vlookup)
10. AH6 อ่านค่าจาก M6 ซึ่งเป็นข้อมูลจาก G6:M20 ในคอลัมน์ 7 เป็นค่าระยะทางระหว่างลูกค้ากับร้านค้า (ใช้คำสั่ง vlookup)
11. กำหนด AJ6=AG6 ค่าน้ำหนักสินค้ารวม
12. กำหนด AK6=1 เพราะเป็นเส้นทางที่ 1
13. กำหนด AL6=AH6 เป็นระยะทางเริ่มต้นจากร้านค้าไปยังลูกค้ารายแรก
14. AG7 อ่านค่าจาก L7 ซึ่งเป็นข้อมูลจาก G6:M20 ในคอลัมน์ 6 เป็นค่าของน้ำหนักสินค้า (ใช้คำสั่ง vlookup)
15. AH7 อ่านค่าจาก M7 ซึ่งเป็นข้อมูลจาก G6:M20 ในคอลัมน์ 7 เป็นค่าระยะทางระหว่างลูกค้ากับร้านค้า (ใช้คำสั่ง vlookup)
16. AI7 อ่านค่าจาก AF7 ซึ่งเป็นข้อมูลจาก O6:AD20 ในคอลัมน์ AF6+1 เป็นค่าระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย (ใช้คำสั่ง vlookup)
17. AJ7 กำหนดให้ ถ้า $AJ6+AG7 > J3$ (เช็คว่าน้ำหนักที่บรรทุกเกินน้ำหนักที่รถบรรทุกจะบรรทุกได้หรือไม่) ให้ $=AG7$ (หนักเกิน) ถ้าน้อยกว่าให้ $=AG7+AJ6$ (หนักไม่เกินรับน้ำหนักต่อไปได้) (ใช้คำสั่ง if)
18. AK7 กำหนดให้ ถ้า $AJ6+AG7 > J3$ (ว่าน้ำหนักที่บรรทุกเกินน้ำหนักที่รถบรรทุกจะบรรทุกได้หรือไม่) ให้ $=AK+1$ (หนักเกิน ให้เปลี่ยนรถบรรทุกได้เส้นทางใหม่) ถ้าน้อยกว่าให้ $=AK6$ (หนักไม่เกินให้ใช้รถบรรทุกคันเดิมเส้นทางเดิม) (ใช้คำสั่ง if)
19. AL กำหนดให้ ถ้า $AK6=AK7$ (เช็คว่าอยู่ในเส้นทางเดียวกันไหม??) ให้ $=AL6+AI7$ (วิ่งต่อไปยังลูกค้าต่อไป) ถ้าไม่เท่า ให้ $= AL6+AH6+AH7$ (วิ่งกลับร้านค้าแล้ววิ่งมายังลูกค้ารายใหม่)

20. กำหนดความสัมพันธ์ แบบเดียวกันกับ (copy) ข้อ 14-19 ให้ใช้กับ AF8:AL20 และกำหนดให้

$$AL21 = IF(AK21=AK20, AL20+AI21, AL20+AH20+AH21)$$

21. กำหนด C2= AL21

การใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm

ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม Evolver

22. เลือก Model Definition แล้ว กำหนด Optimization Goal (Minimum) = C2 และกำหนด

Adjustable Cell Range (order) = C6:C20

23. เลือก Settings -> Runtime เพื่อกำหนดรอบวิวัฒนาการ = 10,000 Trials

24. เลือก Start เพื่อทำการ Run Evolver ผลลัพธ์ที่ได้ เป็นค่าระยะทางรวมที่สั้นที่สุด = C2

ลำดับการส่ง(ชุดคำตอบ) = C6:C20

ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม CVRP-Algorithm

25. กดปุ่ม CVRP-Algorithm เพื่อเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ

26. หากต้องการเปลี่ยนรอบวิวัฒนาการ(Trials) เลือก Visual Basic เปลี่ยนที่คำสั่ง total_generation = 100

ข้อจำกัดของโมเดล คือ

- จำนวนลูกค้ากำหนดไว้ 15 ราย (หากต้องการเพิ่มหรือลด จำนวนลูกค้าจะต้องสร้างแบบฟอร์มขึ้นมาใหม่)
- จำนวนรถบรรทุกเท่ากับจำนวนระยะทาง
- น้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกต้องเท่ากัน

Model 2 การจัดวางตำแหน่งทาวเวอร์เครน

การเตรียมข้อมูลนำเข้า

1. ข้อมูลทาวเวอร์เครน ระยะทำงาน (Boom) ใช้หน่วยเป็นเมตร (เช่น ทาวเวอร์เครน A ระยะทำงาน = 60 เมตร)
2. แบ่งพื้นที่อาคารออกเป็นช่องๆ กำหนดให้แต่ละช่องมีขนาดพื้นที่ 63 ตรม. $X=9, Y=7$ ม.
3. ข้อมูลพื้นที่ทำงานหรือขอบเขตของอาคาร กำหนดเป็น พิกัด X,Y (เช่น อาคารมีพื้นที่ 10,800 ตรม. = ระยะตามแนวตามแกน X 90 ม. และระยะตามแนวตามแกน Y 120 ม.)
4. ข้อมูลพื้นที่ในการวางทาวเวอร์ เริ่มกำหนดจากพื้นที่ที่ไม่สามารถวางทาวเวอร์เครนได้แล้วจึงแบ่งพื้นที่ที่เหลือออกเป็นขอบเขตของพื้นที่ในการวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว (เช่น ทาวเวอร์เครน A สามารถวางในพื้นที่ $18 < X < 90$ ม. และ $27 < Y < 60$ ม. ส่วนทาวเวอร์เครน B สามารถวางในพื้นที่ $54 < X < 90$ ม. และ $12 < Y < 60$ ม. เป็นต้น

การสร้างโมเดลปัญหาใน Microsoft Excel

ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร

(พื้นที่ก่อสร้าง $0 < X < 144, 0 < Y < 119$)

5. B6:D8 ป้อนตัวเลขพิกัด XY เพื่อเป็นตำแหน่งวางทาวเวอร์เครนเริ่มต้น (เช่น ทาวเวอร์เครน A $X=36, Y=63$ ทาวเวอร์เครน B $X=72, Y=108$ เป็นต้น)
6. J6:J8 ป้อนระยะทำงานของทาวเวอร์เครนแต่ละตัว ใช้หน่วยเป็นเมตร (เช่นทาวเวอร์เครน A ระยะทำงาน = 60 ม)
7. ช่อง AI ป้อนพิกัดอาคารแนวแกน X หน่วยเป็นเมตร
8. ช่อง AL ป้อนพิกัดอาคารแนวแกน Y หน่วยเป็นเมตร

ขั้นตอนกำหนดความสัมพันธ์

9. $AK = AI \times AL$ เป็นขนาดพื้นที่ XY ช่องนั้นๆ หน่วยเป็นตารางเมตร
10. $AL7 = \text{SQRT}((AI7-C6)^2 + (AJ7-D6)^2)$ เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากทาวเวอร์เครน A ได้หน่วยเป็นเมตร
11. $AM7 = \text{SQRT}((AI7-C7)^2 + (AJ7-D7)^2)$ เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากทาวเวอร์เครน B ได้หน่วยเป็นเมตร

12. $AN7 = \text{SQRT}((AI7 - C8)^2 + (AJ7 - D8)^2)$ เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากทาวเวอร์เครน C ได้หน่วยเป็นเมตร
13. AO7 กำหนดให้ ถ้า $AL7 < J6$ หรือ $AM7 < J7$ หรือ $AN7 < J8$ (เช็คว่าอาคาร A อยู่ในระยะทำงานของทาวเวอร์เครนทั้ง 3 ตัวหรือไม่) อยู่ในระยะทางให้ = "Yes" ไม่อยู่ = "No"
14. AP7 กำหนดให้ ถ้า $AO7 = \text{Yes}$ ให้ $AK7$ แต่ถ้า $AO7 = \text{No}$ ให้ $= 0$
15. กำหนดความสัมพันธ์ แบบเดียวกัน (copy) กับ ข้อ 9-13 ให้ใช้กับ $AI8:AP278$ และกำหนดให้ $AP279 = \text{SUM}(AP7:AP278)$
16. กำหนด $B2 = AP279$

การใช้เครื่องมือช่วยหาคำตอบ Evolver และ CVRP-Algorithm

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Evolver

17. เลือก Model Definition แล้ว กำหนด Optimization Goal (Maximum) = C2 และกำหนด Adjustable Cell Range (Recipe) $0 < C6:C8 < 144$, $0 < D6:CD8 < 112$ Integer คือขอบเขตของพื้นที่ทำงาน สำหรับกรณีทาวเวอร์เครนวางได้ทุกช่องภายในสถานที่ก่อสร้าง
18. หากมีพื้นที่ที่ห้ามวางทาวเวอร์เครนและมีการกำหนดพื้นที่สำหรับวางทาวเวอร์เครนแต่ละตัว เลือก Model Definition แล้ว กำหนด Optimization Goal (Maximum) = C2 และกำหนด Adjustable Cell Range (Recipe) $18 < C6 < 81$, $56 < D6 < 91$ Integer คือ ขอบเขตการวางทาวเวอร์เครน A, $18 < C7 < 90$, $21 < D7 < 56$, Integer คือ ขอบเขตการวางทาวเวอร์เครน B, $99 < C8 < 126$, $14 < D8 < 84$ Integer คือ ขอบเขตการวางทาวเวอร์เครน C
19. เลือก Settings -> Runtime เพื่อกำหนดรอบวิวัฒนาการ = 10,000 Trials
20. เลือก Start เพื่อทำการ Run Evolver ผลลัพธ์ที่ได้ พื้นที่ที่ทาวเวอร์เครนทั้งหมดทำงานได้

กรอบคลุม

อาคารได้ = C2 พิกัดการวางทาวเวอร์เครน = C6:D8

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม CVRP-Algorithm

21. กดปุ่ม CVRP-Algorithm เพื่อเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ
22. หากต้องการเปลี่ยนรอบวิวัฒนาการ (Trials) เลือก Visual Basic เปลี่ยนที่คำสั่ง total_generation = 100

ข้อจำกัดของโมเดล คือ

- พื้นที่ของอาคารต้องมีขนาดสมมาตรเท่านั้น
-

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นายพงศกร เชนะศิริ

วัน เดือน ปี เกิด

18 กุมภาพันธ์ 2528

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย
เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2546

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved