วิธีฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาแบบพลวัตในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่

นายวัลลภ รัตนถาวร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEURISTIC FOR SOLVING DYNAMIC PROBLEMS OF CAPACITATED AND FIXED-CHARGE DISTRIBUTION CENTER LOCATIONS

Mr. Wallop Ratanathavorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

520863

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาแบบพลวัตในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่
โดย	นายวัลลภ รัตนถาวร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วเรศรา วีระวัฒน์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัลลภ รัตนถาวร : วิธีฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาแบบพลวัตในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่. (HEURISTIC FOR SOLVING DYNAMIC PROBLEMS OF CAPACITATED AND FIXED-CHARGE DISTRIBUTION CENTER LOCATIONS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.สีรง ปรีชานนท์, 115 หน้า.

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัตที่มีข้อจำกัดด้านขนาดนั้น จัดเป็นปัญหาประเภทหนึ่งของปัญหาในกลุ่ม NP-hard combinatorial optimization ของการออกแบบระบบโลจิสติกส์และระบบการกระจายสินค้า ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของการสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าตลอดช่วงเวลาของการวางแผนมีค่าน้อยที่สุด โดยการเลือกเปิดศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมจากตำแหน่งของศูนย์กระจายที่มีศักยภาพ โดยในส่วนของความต้องการของลูกค้านั้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาความต้องการของลูกค้าว่ามีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือเป็นความต้องการที่เป็นฟังก์ชันของเวลา อีกทั้งเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง ลูกค้าแต่ละรายจะสามารถรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาโดยอยู่บนพื้นฐานของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู โดยใช้วิธีการประเมินเซตข้างเคียงแบบการประมาณแทนวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งมีข้อดี คือ สามารถลดระยะเวลาในการหาคำตอบเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้กำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าแห่งใดที่เปิดให้บริการแล้วไม่สามารถที่จะย้ายตำแหน่งหรือปิดลงภายหลังได้ซึ่งมีเหตุผลมาจากต้นทุนค่าก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งนั้นต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากและระยะเวลาในการก่อสร้างใช้เวลานานจึงไม่เหมาะสมที่จะย้ายตำแหน่งบ่อย ๆ โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการค้นหาแบบทาบู และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมซึ่งเป็นฮิวริสติกเปรียบเทียบพบว่ามีขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่ดี โดยผลเฉลยส่วนใหญ่จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดและใช้ระยะเวลาการคำนวณน้อยกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2552

4970829421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : DYNAMIC CAPACITATED FACILITY LOCATION PROBLEM / SINGLE SOURCE DEMAND / TABU SEARCH ALGORITHM / MULTI-PERIOD LOCATION-ALLOCATION PROBLEM

WALLOP RATANATHAVORN : HEURISTIC FOR SOLVING DYNAMIC PROBLEMS OF CAPACITATED AND FIXED-CHARGE DISTRIBUTION CENTER LOCATIONS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF SEERONK PRICHANONT, Ph.D.,115 pp.

Dynamic capacitated facility location is one of the NP-hard combinatorial optimization problems in logistics and distribution system design. The objective of this problem is to minimize the total cost for satisfying customer demands over the whole planning horizon by choosing service facilities among all possible locations subject to limited capacity constraint. The demands in this paper are considered to be changing over time or time-dependent demand, moreover, for practical setting each customer demand can be supplied from only one service facility. In this paper, a heuristic-based algorithm, Tabu Search, is proposed by using approximate neighborhood evaluation since it is an effective way to reduce computational time when the size of problem is large. In addition, since building a new facility requires a large amount of capital and is time consuming, the relocation of any opened facilities is not allowed over the planning horizon. Computational results of Tabu Search heuristic are compared with Genetic Algorithms. The results show that the algorithm is very efficient, the solutions in most cases are optimal or near-optimal with reasonable computational time compared to GA.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Industrial Engineering Student's Signature Wallop Ratanathavorn

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดเวลาการดำเนินงานจาก ผศ.ดร.สีรง ปรีชานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วเรศรา วีระวัฒน์ ซึ่งได้กรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ให้ผู้เขียน รวมทั้งอาจารย์สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา ที่คอยให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ที่ผู้เขียนนำมาเป็นข้อปรับปรุงในการดำเนินงานได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจอย่างดียิ่งตลอดการทำงาน เพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดที่ไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ที่มีส่วนร่วมให้วิทยานิพนธ์นี้บรรลุผลสำเร็จมาได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 5

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 5

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 6

1.5 ผลได้รับจากงานวิจัย..... 6

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์..... 10

2.1.1 ปัญหาการปกคลุม (covering problems)..... 10

2.1.2 ปัญหาค่ามัธยฐาน (median problems หรือ average distance problems)..... 11

2.1.3 ปัญหาศูนย์กลาง (center problems)..... 11

2.2 รูปแบบของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้ง..... 11

2.3 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต..... 13

2.3.1 กฎจุดศูนย์ถ่วง (centre of gravity)..... 14

2.3.2 ปัญหาการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (clustering analysis problems)..... 15

2.4 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต..... 18

2.4.1 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง 1 แห่งแบบพลวัต (dynamic single facility location) 19

2.4.2 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งหลายแห่งแบบพลวัต (dynamic multiple facility location problems)..... 22

2.5 ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบที่ใช้ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง..... 24

2.5.1 เทคนิคในการหาผลเฉลยโดยอาศัยวิธีการผ่อนคลายลากราน..... 24

หน้า

2.5.1.1 แนวคิดหลักของวิธีการผ่อนคลายลากราน..... 25
2.5.2 เทคนิคในการหาผลเฉลยด้วยวิธีกรีดดี..... 26
2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าผลเฉลยของขั้นตอนวิธีกรีดดี..... 27
2.6 สรุปแนวคิดที่ได้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 28
บทที่ 3 การกำหนดปัญหาและวิธีการดำเนินการวิจัย
3.1 การกำหนดปัญหา..... 30
3.1.1 การวิเคราะห์ปัญหา..... 30
3.1.2 การกำหนดปัญหาและรายละเอียดของปัญหา..... 32
3.2 การกำหนดแนวทางการวิจัยของงานวิจัย..... 36
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่
4.1 การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต..... 38
4.1.1 การค้นหาแบบทาบู..... 39
4.1.2 หลักการในกระบวนการค้นหาคำตอบ (Searching Process) 41
4.1.3 กระบวนการเริ่มต้น (Initialization) 42
4.1.4 คำตอบข้างเคียงและการประเมิน (Neighborhood and Evaluation) 44
4.1.5 เกณฑ์การดูดออก (Aspiration Criteria) 50
4.1.6 การหาคำตอบโดยเพิ่มความหลากหลาย (Diversification) 50
4.1.7 การหยุดค้นหาคำตอบ (Termination) 52
4.2 ฮิวริสติกเปรียบเทียบ..... 53
4.2.1 ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม..... 53
4.2.2 การแทนรหัสคำตอบ (Representation)..... 54
4.2.3 ประชากรเริ่มต้น (Initial Population)..... 56
4.2.4 ฟังก์ชันความแข็งแรง (Fitness Function)..... 57
4.2.5 การคัดเลือกรหัสคำตอบ (Selection)..... 58
4.2.5.1 การคัดเลือกสำหรับการให้กำเนิด (Reproduction Selection)... 58
4.2.5.2 การคัดเลือกสำหรับการแทนที่ (Replacement Selection)..... 59
4.2.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover)..... 60
4.2.7 การมิวเทชัน (Mutation)..... 61
4.2.8 เกณฑ์การหยุด (Termination Criteria)..... 62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 5 ผลการทดลองและการอภิปราย

5.1 เงื่อนไขและสภาวะการทดสอบ (Experimental Conditions)..... 64

5.2 การทดลองหาเซตพารามิเตอร์ที่เหมาะสม..... 64

5.2.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฮิวริกติกการค้นหาแบบทาบู..... 65

5.2.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฮิวริกติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรม..... 66

5.3 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต..... 68

5.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต..... 75

5.5 สรุปท้ายบท..... 81

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเนื้อหาและสิ่งที่เป็นประโยชน์จากงานวิจัย..... 82

6.2 การนำไปปฏิบัติ..... 83

6.3 ข้อเสนอแนะ..... 84

รายการอ้างอิง..... 85

ภาคผนวก..... 89

ภาคผนวก ก.ตารางผลการทดลอง..... 90

ภาคผนวก ข.การวิเคราะห์เชิงสถิติของผลการทดลอง..... 107

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 115

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ต้นทุนโลจิสติกส์ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศปี พ.ศ. 2543-2549.....	3
4.1	ดัชนีความสำคัญของเฟสการเพิ่มความหลากหลาย.....	50
4.2	ความน่าจะเป็นในการคัดเลือกของประชากรตัวอย่าง.....	58
5.1	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู.....	64
5.2	สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู.....	70
5.3	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พารามิเตอร์จำนวนประชากรค่าต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	71
5.4	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พารามิเตอร์จำนวนของรุ่นค่าต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	72
5.5	สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกวิธีขั้นตอนพันธุกรรม....	73
5.6	คุณลักษณะของปัญหาทดสอบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต.....	74
5.7	ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตด้วยฮิวริสติกวิธีการค้นหาแบบทาบูและฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	75
5.8	คุณลักษณะของปัญหาทดสอบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดใหญ่.....	77
5.9	ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตด้วยฮิวริสติกวิธีการค้นหาแบบทาบูและฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	81
5.10	ความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบที่คาบการวางแผนต่าง ๆ	85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	หน้าที่ของศูนย์กระจายสินค้า	4
2.1	แผนภาพการกระจายแสดงลักษณะการจัดกลุ่มแบบต่าง ๆ	16
2.2	ลำดับขั้นตอนของวิธีกรีดดี	27
2.3	ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบข้างเคียง (Neighborhood Search Algorithm)	28
4.1	ขั้นตอนการค้นหาแบบทาบู	40
4.2	ขั้นตอนการค้นหาแบบทาบูในส่วนของการเคลื่อนคำตอบโดยยกตัวอย่าง Add/drop move	41
4.3	สายอักขระของแต่ละรหัสคำตอบ	56
4.4	วิธีการคัดเลือกแบบ Stochastic Universal Sampling Method (SUS)	59
4.5	ขั้นตอนการให้กำเนิดรหัสคำตอบลูกโดยการครอสโอเวอร์	60
4.6	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี OX	61
4.7	การมิวเทชันด้วยวิธีการสลับ (swap mutation)	62
5.1	กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เวลากับจำนวนประชากรของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อจำนวนประชากรมีค่าแตกต่างกัน	67
5.2	กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อจำนวนรุ่นแตกต่างกัน	67
5.3	กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาขนาดกลางแบบสถิตของวิธีการค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและคำตอบที่ดีที่สุด	71
5.4	กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้คำนวณของปัญหาขนาดกลางแบบสถิตด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	71
5.5	กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาขนาดใหญ่แบบสถิตของวิธีการค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและคำตอบที่ดีที่สุด	74
5.6	กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้คำนวณของปัญหาขนาดใหญ่แบบสถิตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	74
5.7	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 1 คาบ	77
5.8	กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 3 คาบ	77

ภาพที่ หน้า

5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 5 คาบ 78
5.10 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 1 คาบ 78
5.11 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 3 คาบ 79
5.12 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 5 คาบ 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มของการแข่งขันทางการค้ามีแนวโน้มที่จะเข้มข้นขึ้นอันเนื่องมาจากกระแสโลกาภิวัตน์ (globalization) ซึ่งทำให้มีการเปิดเสรีทางการค้าเพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบให้ภาคธุรกิจต้องยกระดับความสามารถในการดำเนินธุรกิจในทุกวิถีทางที่เป็นไปได้ ทั้งการลดต้นทุนในการดำเนินธุรกิจและสร้างมูลค่าเพิ่มใหม่ ๆสนองตอบความต้องการของลูกค้า การบริหารจัดการกระบวนการนำส่งสินค้าจากผู้ผลิตถึงผู้บริโภคตลอดห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) หรือโลจิสติกส์ (logistics) จึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่ผู้ประกอบการสามารถใช้เพื่อช่วงชิงความได้เปรียบในการแข่งขันทั้งในระดับธุรกิจและระดับประเทศ

จากสภาวะวิกฤติเศรษฐกิจในปัจจุบัน ปัญหาค่าครองชีพที่เพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งราคาน้ำมันในตลาดโลกที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมอย่างมาก เนื่องจากส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสินค้าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่สภาวะเศรษฐกิจที่ซบเซาลงส่งผลให้ผู้บริโภคมีกำลังซื้อที่ลดลง รวมทั้งการมีคู่แข่งในแต่ละอุตสาหกรรมที่เพิ่มมากขึ้นล้วนแต่ทำให้ต้องมีการพัฒนาธุรกิจของตนเองให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในปัจจุบันแนวคิดด้านการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อทุกภาคอุตสาหกรรม เพราะการจัดการห่วงโซ่อุปทานที่ดีย่อมก่อให้เกิดผลต่อทั้งต่อภาคอุตสาหกรรมเอง คือ ช่วยในการลดต้นทุนและเวลาในการขนส่งตลอดเส้นอุปทาน และส่งผลดีต่อผู้บริโภค คือ ได้รับความพึงพอใจในบริการและสินค้าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นผลลัพธ์ที่ทุกภาคอุตสาหกรรมต้องการ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อกล่าวถึงคำว่า "โลจิสติกส์" ในปัจจุบัน หมายถึง กิจกรรมหรือการกระทำใด ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าและบริการ รวมถึงการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และกระจายสินค้าจากแหล่งที่ผลิต (source of origin) จนสินค้าได้มีการส่งมอบไปถึงแหล่งที่มีความต้องการ (source of consumption) โดยกิจกรรมดังกล่าวจะต้องมีลักษณะเป็นกระบวนการแบบบูรณาการ โดยเน้นประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยมีเป้าหมายในการส่งมอบให้ทันเวลาพอดี (Just In Time) เพื่อลดต้นทุนและมุ่งให้เกิดความพอใจแก่ลูกค้า (customer satisfaction) สูงสุด และส่งเสริมเพื่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้าและบริการ ทั้งนี้กระบวนการต่าง ๆของระบบโลจิสติกส์ จะต้องมีลักษณะปฏิสัมพันธ์ที่สอดคล้องประสานกันในอันที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ร่วมกัน

การเคลื่อนย้ายสินค้าที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เริ่มตั้งแต่การขนย้ายจากแหล่งวัตถุดิบมายังจุดรับวัตถุดิบของโรงงาน เพื่อนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆภายในโรงงานมาเป็นสินค้าสำเร็จรูปและถูกส่งผ่านไปยังศูนย์กระจายสินค้าเพื่อกระจายไปยังผู้บริโภคนั้น นับว่ามี

ความสำคัญอย่างยิ่งในสภาพการแข่งขันในปัจจุบันซึ่งต้นทุนที่เกี่ยวกับห่วงโซ่อุปทานนั้นคิดเป็นประมาณ 10% ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product:GDP) ทั้งหมด แต่หากธุรกิจนั้นผลิตสินค้าออกมาเพียงชนิดเดียว สัดส่วนของต้นทุนในการส่งสินค้าที่ผลิตแล้วไปยังผู้บริโภคนั้นอาจมีสัดส่วนสูงขึ้นไปอีก โดยหน้าที่หลักของการจัดการห่วงโซ่อุปทานนั้นไม่เพียงแต่เกี่ยวข้องกับการขนย้ายสินค้าเท่านั้นแต่ยังรวมถึง

1) การตัดสินใจว่าจะผลิตสินค้าใด ที่ไหนและปริมาณเท่าใด
2) จำนวนสินค้าที่ต้องมีไว้เป็นคลังสำรองในแต่ละกระบวนการของห่วงโซ่อุปทาน
3) การแข่งขันข้อมูลต่าง ๆระหว่างกลุ่มในแต่ละกระบวนการและสุดท้ายคือ
4) การหาสถานที่ตั้งโรงงานและศูนย์กระจายสินค้า

จะเห็นได้ว่ากระบวนการต่าง ๆของโลจิสติกส์นั้นจะเน้นไปที่การปฏิสัมพันธ์ในแบบที่เป็นองค์รวมหรือบูรณาการซึ่งหมายถึง กระบวนการในการจัดการให้วัตถุดิบ (raw material) สินค้า (goods) และบริการ (service) นั้นสามารถเคลื่อนย้ายจากแหล่งผลิตไปยังผู้บริโภคปลายทาง (consumer origin) ได้อย่างทันเวลาพอดีและมีประสิทธิภาพ โดยโลจิสติกส์จะมีความหมายซึ่งเน้นไปในกระบวนการเคลื่อนย้ายสินค้า (cargo moving) ซึ่งมีความหมายรวมไปถึงการขนส่งสินค้า (cargo carriage) การเก็บรักษาสินค้า (warehousing) และการกระจายสินค้า (cargoes distribution) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการคาดคะเนภาวะการณ์ของตลาด ซึ่งอาจให้ความหมายที่ชัดเจนและถือเป็นภารกิจหลักของโลจิสติกส์ได้ว่า "โลจิสติกส์" หมายถึง การจัดการเคลื่อนย้ายของสินค้า บริการ ข้อมูลข่าวสารและการเงินระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2551)

เนื่องจากกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องในระบบโลจิสติกส์นั้นถือว่าเป็นส่วนสำคัญของทุกอุตสาหกรรมและเป็นส่วนที่สร้างค่าใช้จ่ายให้กับองค์กรเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันจึงได้มีการให้ความสนใจในการศึกษาและพัฒนาตัวชี้วัดที่สำคัญในระบบโลจิสติกส์ คือ ต้นทุนโลจิสติกส์ จากการศึกษาเรื่องการคำนวณสัดส่วนต้นทุนโลจิสติกส์ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศที่มีการจำแนกองค์ประกอบต้นทุนโลจิสติกส์ในระดับมหภาคออกเป็น 4 ส่วน (สุปรีย์ เทียนทำนูล, 2551) ได้แก่

1) ต้นทุนการขนส่งสินค้าและบริการ (transportation cost) เป็นค่าใช้จ่ายของเจ้าของกิจการดำเนินการ เพื่อขนย้ายสินค้าจากแหล่งผลิตไปยังปลายทาง หรือผู้บริโภคขั้นสุดท้าย ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะการขนส่งสินค้าเท่านั้นไม่รวมการขนส่งผู้โดยสาร

2) ต้นทุนการบริหารคลังสินค้า (warehousing cost) ประกอบด้วย ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการให้บริการภายในคลังสินค้า การจัดเก็บสินค้า การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานและคลังสินค้า

3) ต้นทุนการถือครองสินค้า (inventory carrying cost) ได้แก่ ต้นทุนในการถือครองสินค้า หรือค่าเสียโอกาสที่เงินทุนไปจมอยู่ในสินค้า

4) ค่าใช้จ่ายการบริหารจัดการ (administration cost) ประกอบด้วย ต้นทุนการให้บริการลูกค้า ต้นทุนการรับคำสั่งซื้อ และต้นทุนปริมาณการสั่งซื้อ

จากข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2549 พบว่าในช่วงปี 2548-2549 นั้น ตัวเลขต้นทุนโลจิสติกส์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสืบเนื่องมาจากต้นทุนน้ำมัน อัตราดอกเบี้ย และอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจได้เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ปัจจุบันต้นทุนโลจิสติกส์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการประกอบธุรกิจมากยิ่งขึ้น

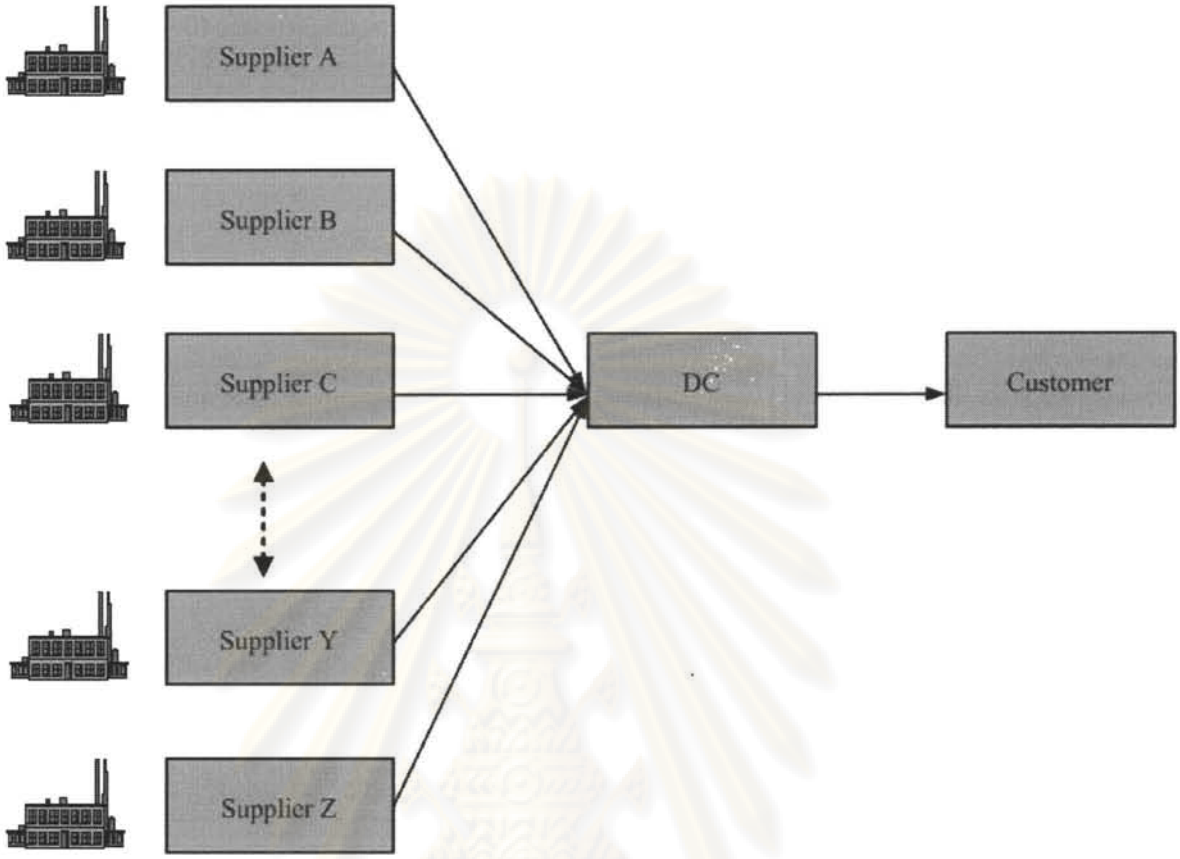
ตารางที่ 1.1 ต้นทุนโลจิสติกส์ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ปี พ.ศ. 2543-2549

%ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549
ต้นทุนการขนส่งสินค้า	9.5	9.2	7.8	7.6	7.1	10.3	12.7
ต้นทุนการถือครองสินค้า	10.3	9.4	8.8	7.5	6.9	7.3	9.0
ต้นทุนในการบริหารจัดการ	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.8	2.2
รวมต้นทุนโลจิสติกส์	21.8	20.53	18.3	16.6	15.4	19.4	23.9

ที่มา: ส่วนงานยุทธศาสตร์โลจิสติกส์ สำนักวิเคราะห์โครงการลงทุนภาครัฐ

ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการที่จะลดต้นทุนโลจิสติกส์ลงได้นั้น คือ การเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า เนื่องมาจากหน้าที่หลักของศูนย์กระจายสินค้า (distribution center) คือการรับสินค้าจากผู้ผลิตมาจัดเก็บไว้เพื่อรอการจัดจำหน่ายให้แก่ลูกค้าต่อไปดังแสดงในรูปที่ 1.1

ตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่ดีจะช่วยลดต้นทุนการขนส่งสินค้า นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อลูกค้า ทั้งในด้านของเวลาในการดำเนินการ และคุณภาพในการส่งมอบสินค้าให้ครบตามจำนวนและเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการอีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้ยังได้คำนึงถึงข้อจำกัดของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาจริงในธุรกิจ คือ ข้อจำกัดด้านขนาดของศูนย์กระจายสินค้าและข้อจำกัดด้านความน่าเชื่อถือเมื่อใช้สำหรับการวางแผนระยะยาว หรือการวางแผนในระดับกลยุทธ์



รูปที่ 1.1 หน้าที่ของศูนย์กระจายสินค้า

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่มักใช้กันนั้น จะทำการพิจารณาขนาดของศูนย์กระจายว่าไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด (uncapacitated) ซึ่งการพิจารณาปัญหาในลักษณะนี้จะเหมาะสมสำหรับกิจกรรมโลจิสติกส์ที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์จากศูนย์กระจายสินค้าเพียงครั้งคราวหรือใช้ประโยชน์น้อยกว่าความสามารถ (capacity) ของศูนย์กระจายสินค้ามาก เช่น ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานีดับเพลิง หน่วยกู้ภัยฉุกเฉิน เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมลักษณะนี้ในสภาวะปกติจะมีการใช้ประโยชน์จากศูนย์กระจายสินค้าน้อยกว่าความสามารถในการรองรับอยู่มาก แต่สำหรับการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นจะมีการใช้ประโยชน์จากศูนย์กระจายสินค้าตลอดเวลา และใช้ประโยชน์น้อยกว่าความสามารถสูงสุดในการรองรับไม่มากนัก เนื่องจากการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านั้นจะเผื่อขนาดของความสามารถในการให้บริการไว้ในระดับหนึ่งเท่านั้น เพื่อลดต้นทุนคงที่ในการจัดสร้างศูนย์กระจายสินค้าที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น ดังนั้นจากข้อจำกัดด้านความสามารถในการให้บริการนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองของงานวิจัย

ที่มาและแรงจูงใจของปัญหาในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าซึ่งจัดเป็นการตัดสินใจในระดับกลยุทธ์ซึ่งให้ผลกระทบในระยะยาวต่อองค์กร โดยปัญหาของงานวิจัยนี้พิจารณามาจากปัญหาที่พบในธุรกิจค้าปลีกขนาดใหญ่ของประเทศไทย ซึ่งมีจำนวนสาขาจำนวนมากและความต้องการของแต่ละสาขามีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหาก

ทำการพิจารณาโดยรวมเงื่อนไขด้านระยะเวลาเข้ากับปัญหาที่พิจารณาแล้ว จะทำให้การตัดสินใจในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ามีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาจะทำให้การตัดสินใจนั้นสามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะความเปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น ซึ่งการพิจารณาพารามิเตอร์ของปัญหา เช่น ความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจะสามารถสะท้อนภาพจริงของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งได้ดีกว่าการพิจารณาว่าพารามิเตอร์ของปัญหานั้นมีลักษณะคงที่ตลอดระยะเวลาการวางแผน ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดต้นทุนรวมตลอดระยะเวลาการวางแผนลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับการพิจารณาให้ปัญหามีลักษณะคงที่ อีกทั้งการตัดสินใจในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าหลายช่วงเวลาจะเหมาะสมสำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งซึ่งต้องการตั้งศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง เนื่องจากทำให้อัตราการใช้ประโยชน์ (utilization) จากศูนย์กระจายสินค้าใกล้เคียงกับความสามารถสูงสุดของศูนย์กระจายสินค้าตลอดเวลาและลดความสูญเปล่าในการเผื่อและตั้งศูนย์กระจายสินค้าขนาดใหญ่จนเกินไป ซึ่งเป็นต้นทุนจมขององค์กร

ในส่วนที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นการสรุปและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะนำไปกำหนดเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งในบทที่ 3 จะนำปัญหาและแนวทางการพัฒนาเหล่านี้ไปเป็นส่วนประกอบร่วมกับการทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ปัญหาสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัตที่มีประสิทธิภาพ เพื่อทำให้ต้นทุนรวมด้านการขนส่งและต้นทุนคงที่ในการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้ามีค่าน้อยที่สุด โดยอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งพลวัตแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและพิจาณาต้นทุนในการจัดตั้ง โดยกำหนดให้ลูกค้าสามารถรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงแห่งใดแห่งหนึ่งเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบุถึงปัญหาและใช้วิธีฮิวริสติกในการค้นหาคำตอบ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบทั้งกับคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาทดสอบและกับฮิวริสติกเปรียบเทียบซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithms) เป็นฮิวริสติกเปรียบเทียบในการทดสอบประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากการศึกษาปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างซึ่งดำเนินธุรกิจค้าปลีกขนาดใหญ่ โดยความมุ่งเน้นของงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า (facility location problem) แบบพลวัตสำหรับปัญหาโดยทั่วไปซึ่งไม่เฉพาะเจาะจงเพื่อใช้ได้กับบริษัทตัวอย่างเท่านั้น โดยการ

ทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่พัฒนาจะทดสอบโดยใช้ปัญหาสองกลุ่ม คือ ปัญหา OR-library ของ Beasley ซึ่งเป็นปัญหาที่ผู้วิจัยด้านตำแหน่งที่ตั้งนิยมใช้เป็นปัญหาทดสอบกันอย่างแพร่หลาย และปัญหาทดสอบที่สร้างมาจากการสุ่ม อย่างไรก็ดีในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาแบบจำลองและขั้นตอนในการแก้ปัญหาเป็นหลักเท่านั้น จึงไม่ได้มีการพัฒนาด้านการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อให้สามารถติดต่อกับผู้ใช้งานได้ดังเช่นโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป ซึ่งเป็นส่วนที่นอกเหนือจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) ทำให้เข้าใจถึงปัญหาและข้อจำกัดต่าง ๆ ของการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัต เพื่อที่จะสามารถลดต้นทุนรวมของระบบการกระจายสินค้าลงให้ได้มากที่สุดทั้งต้นทุนการก่อตั้งและต้นทุนการขนส่ง ในขณะเดียวกันก็สามารถตอบสนองกับสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้

2) สามารถสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าด้วยคอมพิวเตอร์ และสามารถนำแนวคิดที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านการวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research) อื่น ๆได้

1.5 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

ขั้นตอนวิธี (algorithm) ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีฮิวริสติก และผลการทดลองซึ่งแสดงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นเมื่อใช้แก้ปัญหาที่แตกต่างกันออกไป โดยแสดงอยู่ในรูปต้นทุนรวมทั้งหมดของแต่ละปัญหา เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดและระยะเวลาในการหาคำตอบ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ

1) ศึกษาขั้นตอนการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างซึ่งดำเนินธุรกิจค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและทำการรวบรวมปัญหาที่พบเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดแนวทางและทิศทางในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับงานวิจัย ซึ่งได้กล่าวโดยสรุปไว้ในหัวข้อการวิเคราะห์ปัญหาในบทที่ 3

2) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยแบ่งเป็นสองส่วน คือ

2.1) การวิเคราะห์รูปแบบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในปัจจุบัน รวมทั้งวิเคราะห์ขั้นตอนในการแก้ไขปัญหาว่ามีข้อบกพร่อง จุดเด่น จุดด้อยอะไรบ้าง โดยศึกษาจากงานวิจัยในอดีต

2.2) นำปัญหา ข้อเสนอแนะ รวมทั้งข้อจำกัดของการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งในปัจจุบันมาเป็นแนวทางในการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยทำการศึกษาจากงานวิจัยและทฤษฎีที่สัมพันธ์และเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ซึ่งในส่วนนี้ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 เรื่องสรุปแนวคิดจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัต โดยแบบจำลองที่สร้างจะอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งในปัจจุบัน แนวคิดและข้อเสนอแนะของนักวิจัยด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้งต่าง ๆ

4) ทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก เนื่องจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตนั้นมีความซับซ้อนของปัญหามาก เพราะต้องพิจารณาปัญหาจำนวนหลายคาบเวลาและแต่ละคาบเวลามีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ซึ่งหากเป็นปัญหามีขนาดใหญ่จะไม่เหมาะสมหากใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา แต่ควรจะใช้ฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพในแก้ไขปัญหาแทน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาฮิวริสติกต่าง ๆสำหรับการแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ซึ่งได้มีผู้เสนอไว้จำนวนมากและทำการพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาที่สร้างขึ้น

5) สร้างปัญหาทดสอบเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่สร้างขึ้น โดยการทดสอบประสิทธิภาพนั้นจะใช้ปัญหาสองกลุ่ม คือ ปัญหาทดสอบซึ่งถูกใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งเรียกว่า OR-library ของ Beasley ในกลุ่มของปัญหาคลังสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านขนาด (Capacitated Warehouse Location Problems) หรือ CWL ซึ่งมีพารามิเตอร์ของแต่ละปัญหาแตกต่างกัน แต่เนื่องจากปัญหาทดสอบ OR-Library นั้นเป็นปัญหาแบบสถิตจึงต้องทำการสร้างปัญหากลุ่มที่สอง คือ ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจากปัญหาทดสอบ OR-library นี้

6) ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการแก้ปัญหาทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยปัญหาสองกลุ่ม คือ ปัญหาของ Beasley และปัญหาที่สร้างขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ

7) ตรวจสอบความถูกต้องของขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่สร้างขึ้น ความเหมาะสมรวมทั้งข้อจำกัดของฮิวริสติกที่สร้างขึ้นพร้อมทั้งสรุปและเสนอข้อแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจำนวน 6 บท โดยบทที่ 2 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการกำหนดปัญหาและเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการเพื่อการหาคำตอบ สำหรับบทที่ 3 อธิบายเกี่ยวกับการศึกษาปัญหาของบริษัทตัวอย่างซึ่งดำเนินธุรกิจค้าปลีกขนาดใหญ่และการกำหนดปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ บทที่ 4 จะทำการอธิบายขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งที่ได้นิยามไว้ในบทที่ 3 โดยใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู ซึ่งตอนท้ายของบทนี้จะนำเสนอขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพื่อใช้เป็นฮิวริสติกในการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนา บทที่ 5 แสดงผลการวัดสมรรถนะของการค้นหาแบบทาบูกับคำตอบที่ดีที่สุดและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในด้านต่างๆ รวมทั้งการอภิปรายผลการทดลองที่ได้รับ และบทสุดท้ายเป็นการสรุปสิ่งที่เป็นประโยชน์จากงานวิจัยและเสนอข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเป็นการแก้ปัญหาเพื่อการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าและจัดสรรความรับผิดชอบในการให้บริการ (location-allocation) กับลูกค้า เพื่อทำให้มีต้นทุนในการสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้าต่ำที่สุดตามเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหา แบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งนี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายวงการ เช่น การจัดตั้งคลังสินค้าในห่วงโซ่อุปทานเพื่อทำให้ให้ระยะทางเฉลี่ยรวมไปยังตลาดต่ำที่สุด การหาที่ตั้งสถานที่เก็บวัตถุอันตราย เพื่อให้ห่างจากแหล่งชุมชนมากที่สุด หรือการตั้งศูนย์กู้ชีพฉุกเฉินเพื่อทำให้ระยะเวลาสูงสุดของการสนองตอบต่อสถานการณ์ฉุกเฉินต่ำที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน ทำให้การสร้างข้อปัญหา (problem formulation) แตกต่างกันด้วย

แนวทางในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งให้มีประสิทธิภาพ คือ การนำเอาศาสตร์ทางด้านการวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 แนวทางใหญ่ ๆ คือ

1) วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (exact solution method) เป็นวิธีการหาคำตอบซึ่งคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากความซับซ้อนของบางปัญหา หรือปัญหามีขนาดใหญ่ เช่น การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าเมื่อจำนวนบัพ (node) ของลูกค้ามีจำนวนมาก ทำให้วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดไม่สามารถให้คำตอบของปัญหาได้ หรือใช้เวลาในการหาคำตอบนานเกินไป จึงสามารถใช้แก้ไขปัญหาได้เฉพาะปัญหาขนาดเล็กที่มีความซับซ้อนน้อยหรือปัญหาย่อย ๆ ของปัญหาใหญ่เท่านั้น

2) วิธีฮิวริสติก (heuristic solution method) วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้สืบเนื่องมาจากข้อจำกัดของวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อปัญหามีความซับซ้อนมาก ๆ หรือขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ วิธีฮิวริสติกสามารถให้คำตอบที่ดีได้แต่ส่วนใหญ่จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) แต่ใช้เวลาในการวิเคราะห์แก้ปัญหาน้อยกว่าวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดมาก วิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ามีหลายวิธี และแต่ละวิธีจะประสิทธิภาพแตกต่างกันตามลักษณะของแต่ละปัญหา

สองแนวทางใหญ่ ๆ ของศาสตร์ด้านการวิจัยการดำเนินงานดังกล่าวข้างต้นที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งนั้น จากทั้งสองแนวทางนี้ยังสามารถแบ่งตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ได้อีก โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เป็นที่รู้จักกันดีสองประเภทแรกคือ ฟังก์ชันผลรวมน้อยสุด (minisum) และฟังก์ชันค่าสูงสุดน้อยสุด (minimax) ซึ่งฟังก์ชันทั้งสองรู้จักกัน

โดยทั่วไปในชื่อของปัญหาค่ามัธยฐาน (median problem) และปัญหาศูนย์กลาง (center problem) ตามลำดับ แต่ก็ยังมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์อีก 2 ประเภทที่เพิ่งจะได้รับความสนใจในระยะหลัง คือ ฟังก์ชันผลรวมสูงสุด (maxisum) และฟังก์ชันระยะทางน้อยที่สุดสูงสุด (maximin) ซึ่งรู้จักกันทั่วไปในชื่อของปัญหาเซตปกคลุม (set covering problem) และปัญหาการปกคลุมสูงสุด (maximal covering problem) ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์แรกนั้นต้องการที่จะตั้งศูนย์กระจายสินค้าในจำนวนน้อยที่สุดเพื่อให้ปกคลุมความต้องการทั้งหมด ในขณะที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สุดท้ายนั้นมีความต้องการที่จะตั้งศูนย์กระจายสินค้าตามจำนวนที่กำหนดไว้ เพื่อปกคลุมความต้องการให้ได้มากที่สุด

ในการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้นั้น จะเริ่มต้นด้วยการแบ่งแยกลักษณะของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งแบ่งประเภทตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแบ่งตามชนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยในการทบทวนงานวิจัยและแนวคิดของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต (static facility location problems) และปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต (dynamic facility location problems) ซึ่งปัญหาทั้งสองชนิดนี้จะมีทั้งการแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และวิธีฮิวริสติก ในส่วนท้ายของบทจะเลือกงานวิจัยและแนวคิดที่ได้ทบทวนมาทำการวิเคราะห์และทำการสรุปเพื่อกำหนดปัญหาสำหรับการวิจัยต่อไป

2.1 ลักษณะของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงการจำแนกลักษณะประเภทของปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแตกต่างกันไปตามการประยุกต์ใช้ โดยมีการยกตัวอย่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และแบบจำลองตัวอย่างรวมทั้งคุณสมบัติหลักของแต่ละปัญหาไว้เป็น 3 ประเภทตามการแบ่งของ Owen and Daskin (1998) คือ

2.1.1 ปัญหาการปกคลุม (Covering Problems)

แบบจำลองการปกคลุมเหมาะสำหรับปัญหาที่มีระยะทาง (อาจจะเป็นเวลา หรือต้นทุน) วิกฤตบางประการ ซึ่งความต้องการที่อยู่ภายในระยะทางวิกฤตนั้นสามารถที่จะรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าได้ ส่วนความต้องการที่อยู่ภายนอกระยะทางวิกฤตจะไม่ได้รับบริการ ปัญหาการปกคลุมโดยทั่วไปจะมีลักษณะดังนี้ เช่น การค้นหาศูนย์กระจายสินค้าจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถสนองตอบบัพความต้องการทั้งหมดได้ภายใต้ระยะทางที่ยอมรับได้ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ปัญหาเซตปกคลุม ซึ่งเสนอโดย Toregas (1971) แต่ปัญหาสำคัญของปัญหาเซตปกคลุม 2 ประการ คือ ปัญหานี้มักจะตั้งศูนย์กระจายสินค้ามากเกินไปสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่และมีการกระจายของความต้องการมาก ๆ เพื่อให้ปกคลุมบัพความต้องการทั้งหมด อีกทั้งปัญหาเซตปกคลุมนี้ยังไม่

พิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างบัพความต้องการขนาดใหญ่และขนาดเล็กทำให้อาจจะเกิดการล้มเหลวของศูนย์กระจายสินค้าได้ จากข้อจำกัดของปัญหาเซตปกคลุมทำให้เกิดแนวคิดในการผ่อนคลายเงื่อนไขข้อจำกัดบางประการ โดยถ้าต้องการลดจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าจะต้องทำการผ่อนคลายเงื่อนไขการปกคลุมบัพความต้องการทั้งหมดลง Church and ReVelle (1974) จึงได้เสนอปัญหาการปกคลุมสูงสุดขึ้น โดยปัญหานี้จะหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าตามจำนวนที่กำหนด โดยต้องการให้ปกคลุมบัพความต้องการจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งแตกต่างกับปัญหาเซตปกคลุมที่บัพความต้องการทุกจุดจะต้องถูกตอบสนอง

2.1.2 ปัญหาค่ามัธยฐาน (Median or Average Distance Problems)

ในการประยุกต์แนวคิดของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งบางอย่าง การพิจารณาเฉพาะระยะทางสูงสุดระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับบัพความต้องการอาจจะไม่เหมาะสมที่สุดเสมอไป เช่น ในกรณีของการขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังคลังสินค้าหรือไปยังลูกค้า การพิจารณาระยะทางรวมของการเดินทางระหว่างโรงงานไปยังคลังสินค้าหรือไปยังลูกค้าจะมีความเหมาะสมมากกว่าการพิจารณาเพียงระยะทางสูงสุด ซึ่ง Church and ReVelle (1976) ได้กล่าวว่า วิธีการวัดประสิทธิผลของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ การหาระยะทางเฉลี่ยรวมของการเดินทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับบัพความต้องการ ซึ่งเมื่อระยะทางเฉลี่ยรวมสูงขึ้นหมายถึงศูนย์กระจายสินค้าจะลดความสามารถในการเข้าถึงลง เป็นผลให้ประสิทธิผลของศูนย์กระจายสินค้านั้นลดลง สำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งลักษณะนี้มักจะเกี่ยวข้องกับสถานที่ตั้งของโรงเรียน ห้องสมุด ศูนย์บริการฉุกเฉิน และคลังสินค้า เป็นต้น ปัญหาลักษณะนี้ที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ ปัญหามัธยฐานพี (P-median Problem) (Hakimi,1964)

2.1.3 ปัญหาศูนย์กลาง (Center Problems)

เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของปัญหาเซตปกคลุมอีกวิธีการหนึ่ง คือ การผ่อนคลายข้อจำกัดของปัญหาเซตปกคลุม โดยใช้การเพิ่มระยะทางปกคลุมของศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งเรียกว่าปัญหาศูนย์กลางพี (P-center) (Hakimi, 1964, 1965) หรือปัญหาค่าสูงสุดน้อยสุด (minimax problem) โดยทำการค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าจำนวน P แห่ง เพื่อทำให้ระยะทางปกคลุมสูงสุดระหว่างบัพความต้องการกับศูนย์กระจายสินค้าที่ใกล้ที่สุดมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเปรียบเสมือนว่าปัญหาศูนย์กลางพีไม่สนใจระดับการบริการแต่สนใจเฉพาะการปกคลุมทุกจุดเท่านั้น

2.2 รูปแบบของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้ง

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งนั้นได้มีการศึกษากันในหลายรูปแบบมาเป็นเวลานานแล้ว แบบจำลองประเภทนี้ได้ถูกนำไปใช้ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันออกไป แต่จะมี

ลักษณะสำคัญบางประการของแบบจำลองที่ยังคงมีลักษณะเดียวกัน เช่น พื้นที่ (space) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดระยะ (metric) และลูกค้า (customers) ซึ่งทราบตำแหน่งที่ตั้งแน่นอนอยู่ในพื้นที่นั้นๆ และ ศูนย์กระจายสินค้า เช่น คลังสินค้า เป็นต้น ซึ่งต้องการที่จะทราบตำแหน่งที่ตั้งของมันซึ่งจะถูกกำหนดขึ้นให้มีความสอดคล้องตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปในการจัดหมวดหมู่ของการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งนั้น จะสามารถแบ่งประเภทได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์ที่ใช้กันทั่วไป คือ วัตถุประสงค์ของผู้ทำการตัดสินใจหรือชนิดของพื้นที่ว่างของแบบจำลองเป็นเกณฑ์หลักในการจำแนกประเภท โดย ReVelle, Eiselt and Daskin (2008) ได้จำแนกประเภทแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งไว้ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยและบทความต่าง ๆ พบว่าสามารถที่จะแบ่งประเภทของแบบจำลองการหาที่ตั้งโดยใช้ชนิดของพื้นที่เป็นเกณฑ์ได้เป็น 4 ประเภท คือ

1) แบบจำลองการวิเคราะห์ (analytic models) แบบจำลองการวิเคราะห์นี้เป็นแบบจำลองซึ่งอาศัยการตั้งเกณฑ์ (criteria) เพื่อพิจารณา หรือการตั้งสมมติฐานเป็นส่วนใหญ่ เช่น แบบจำลองการวิเคราะห์แบบทั่วไป (typical analytic model) จะมีการตั้งสมมติฐานว่าความต้องการ (demand) มีการแจกแจงเอกรูป (uniform distribution) ทั่วพื้นที่โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ ρ ทั่วบริเวณการให้บริการ (service region) ซึ่งมีขนาดเท่ากับ a แบบจำลองจะสมมติให้ค่าใช้จ่ายคงที่ (fixed cost) ของการตั้งคลังสินค้าเท่ากับ f สำหรับทุกตำแหน่งที่จะทำการตั้งศูนย์กระจายสินค้าและค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของการขนส่งต่อหนึ่งหน่วยระยะทางเท่ากับ c เป็นต้น จากการที่แบบจำลองประเภทนี้อาศัยการตั้งสมมติฐานต่างๆที่มากจนเกินไป ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดของแบบจำลองสำหรับใช้ในกระบวนการตัดสินใจของปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งในทางปฏิบัติจริง

2) แบบจำลองต่อเนื่อง (continuous models) แบบจำลองต่อเนื่องจะอนุญาตให้ศูนย์กระจายสินค้าสามารถที่จะตั้งอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ได้ในพื้นที่พิจารณา ในบางครั้งความต้องการอาจถูกกำหนดให้มีการกระจายเป็นแบบต่อเนื่องได้ด้วยเช่นเดียวกัน แต่โดยทั่วไปแล้วความต้องการมักถูกกำหนดให้เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) แบบจำลองต่อเนื่องที่เป็นที่รู้จักกันดี คือ ปัญหาของเวเบอร์ (Weber, 1929) ซึ่งปัญหาของเวเบอร์ คือ การตั้งศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งเพื่อรองรับความต้องการ m ตำแหน่งในพิกัด (x_i, y_i) โดยมีค่าความต้องการหรือค่าน้ำหนักเท่ากับ w_i โดยระยะทางในปัญหาของเวเบอร์นี้ถูกพิจารณาให้เป็นเส้นตรงหรือ Euclidian distance โดยปัญหานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะตั้งศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งในพิกัด (x_0, y_0) ใดๆ และให้มีน้ำหนักความต้องการของระยะทางน้อยที่สุด แบบจำลองต่อเนื่องนี้สามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดได้เนื่องจากเป็นไปได้ที่จะตั้งศูนย์กระจายสินค้าในทุก ๆ

ตำแหน่งบนพื้นที่ที่กำลังพิจารณา เช่น แบบจำลองในการติดตั้งกล้องวิดีโอหรือระบบตรวจสอบมลพิษเพื่อการติดตามสภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3) แบบจำลองข่ายงาน (network models) แบบจำลองข่ายงานจะสมมติว่าปัญหาตำแหน่งที่ตั้งเป็นส่วนหนึ่งของระบบข่ายงานซึ่งประกอบไปด้วย เส้นเชื่อม (link) และบัพ โดยศูนย์กระจายสินค้าและความต้องการสามารถที่จะอยู่บนเส้นเชื่อมหรือบัพก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจุดความต้องการจะอยู่ในตำแหน่งบนบัพ แต่ในบางงานวิจัยได้กำหนดว่าจุดความต้องการสามารถอยู่ในตำแหน่งได้ทั้งบนเส้นเชื่อมและบัพ ตัวอย่างในทางปฏิบัติสำหรับแบบจำลองในลักษณะนี้คือ ความต้องการบริการฉุกเฉินบนทางหลวง เป็นต้น และยังมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจในการค้นหาโครงสร้างพิเศษที่สามารถใช้ขั้นตอนของพหุนามอันดับต่ำในการแก้ปัญหากรณีเฉพาะ โดย Goldman (1971) ใช้ขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาแบบ $O(n)$ ในการแก้ไขปัญหามัธยฐานหนึ่งแห่ง (1-median) บนกิ่งก้านสาขา (tree) และต่อมา Goldman (1972) ได้ใช้ขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาแบบ $O(n)$ นี้ในการแก้ไขปัญหาศูนย์กลางแบบหนึ่งแห่ง (1-center)

คำถามที่สำคัญที่เกิดขึ้น คือ การจำกัดการค้นหาตำแหน่งจะทำให้คุณภาพของคำตอบลดลงหรือไม่ โดย Hakimi (1964) ได้ใช้ปัญหาเครือข่ายมัธยฐานพี ซึ่งศูนย์กระจายสินค้าจะต้องอยู่บนบัพเท่านั้น และแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของคำตอบไม่ได้ลดลงเสมอไป แต่ถึงแม้การจำกัดการค้นหาอาจจะทำให้คุณภาพของคำตอบลดคุณภาพลง (degrade) แต่จะช่วยให้ผู้ตัดสินใจคำนวณง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก

4) แบบจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete models) แบบจำลองในกลุ่มนี้จะมีจุดความต้องการ และตำแหน่งของสถานที่ตั้งเป็นจุดแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งการแก้ปัญหาโดยทั่วไปจะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) หรือการแก้ปัญหาแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Programming) ซึ่งปัญหาโดยส่วนมากจะเป็นประเภทเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) แบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่ต่อเนื่องนี้ได้ถูกนำไปใช้ในทางปฏิบัติเป็นอย่างมาก อีกทั้งแบบจำลองเครือข่ายส่วนใหญ่จะสามารถพิจารณาเป็นแบบจำลองไม่ต่อเนื่องได้

2.3 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตเป็นปัญหาที่นักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ให้ความสนใจตั้งแต่อดีตเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตนั้นจะมีสมมติฐานว่าการตัดสินใจในการตั้งศูนย์กระจายสินค้า จะทำการตัดสินใจเพียงครั้งเดียวที่เวลาใด ๆ และพิจารณาว่าต้นทุนต่าง ๆ ระยะทางและความต้องการเป็นอิสระกับหน่วยเวลา อีกทั้งปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง

แบบสถิตส่วนใหญ่มักจะเป็นปัญหาเชิงกำหนด (deterministic) ซึ่ง Owen and Daskin (1998) ได้กล่าวว่าต้องเพิ่มสมมติฐานอีก 2 ประการสำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตเชิงกำหนด (static deterministic problems) คือ

1) ข้อมูลเข้า (input) ของแบบจำลองสามารถทราบค่าได้อย่างแน่นอน
2) ความต้องการและลูกค้าไม่เกิดการผุดขึ้นแบบสุ่มเพื่อรับบริการ

แม้ว่าในปัจจุบันได้มีผู้เสนอแบบจำลองพลวัตขึ้น ซึ่งข้อมูลต่าง ๆมีความสัมพันธ์กับเวลา แต่แบบจำลองแบบสถิตก็ยังคงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางและเป็นพื้นฐานของผู้ที่จะศึกษาแบบจำลองพลวัตอีกด้วย

ในการทบทวนบทความวิจัยในเล่มนี้จะไม่ขอกล่าวถึงแบบจำลองพื้นฐานที่ทราบกันเป็นอย่างดีแล้ว เช่น ปัญหามัธยฐานพี ของ Hakimi (1964) ซึ่งมีจุดด้อยที่ไม่ได้รวมต้นทุนการตั้งศูนย์กระจายสินค้าไปด้วย ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบต้นทุนคงที่ (fixed-charge facility location problems) หรือปัญหาซึ่งคล้ายคลึงกับปัญหามัธยฐานพี เช่น ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด (uncapacitated facility location problems) ซึ่งเสนอครั้งแรกโดย Cornuéjols, Fisher and Nemhauser (1990) ซึ่งเอาข้อกัดด้านจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าออก และแทนด้วยฟังก์ชั่นของต้นทุนแทน

2.3.1 กฎจุดศูนย์ถ่วง (Centre of Gravity)

ในปี 1963 Healey (1963) ได้เสนอวิธีการในการหาตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้า โดยอาศัยกฎจุดศูนย์ถ่วง ซึ่งพิกัดของตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าหาได้จากสมการ

$$x_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \qquad (2.1)$$

$$y_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j y_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \qquad (2.2)$$

โดย ฟังก์ชันต้นทุน (Cost function) $C_1 = \sum_{j=1}^{n} w_j d_{0j}$ (2.3)

เมื่อ (x_0, y_0) คือ พิกัดที่เหมาะสมของศูนย์กระจายสินค้า

(x_j, y_j) คือ พิกัดของลูกค้าแต่ละราย

w_j คือ ต้องการของลูกค้าแต่ละราย

d_{0j} คือ ระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับลูกค้า j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่จากการศึกษาของ Virgin and Rogers (1967) พบว่ากฎจุดศูนย์ถ่วงนี้ จะให้ค่าผลเฉลยไม่ดีนักเมื่อเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) โดยในปี 1972 Watsan - Gandy (1972) ได้อธิบายถึงสาเหตุของความคลาดเคลื่อนของค่าผลเฉลยของกฎจุดศูนย์ถ่วงว่า เกิดเนื่องมาจากตำแหน่งของ $x_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j}$ ซึ่งคำนวณมาจากสมการ (2.1) ไม่ได้เกิดจากอนุพันธ์ (differentiate) ของฟังก์ชันต้นทุน C_1 ซึ่งถ้า x_0 เป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชัน C_1 แล้ว x_0 จะเป็นตำแหน่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด แต่แท้จริงแล้วฟังก์ชันต้นทุนของตำแหน่ง x_0 ซึ่งคำนวณมาจากสมการ (2.1) นั้นเกิดจากอนุพันธ์ของฟังก์ชันต้นทุนยกกำลังสอง ดังแสดงต่อไปนี้

$$C_2 = \sum_{j=1}^{n} w_j d_{0j}^2 \qquad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) นำมาหาอนุพันธ์; $\partial C_2 / \partial x_0$ จะได้

$$x_0 = \frac{\sum_{j=1}^{n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j} \text{ (เท่ากับสมการ 2.1)} \qquad (2.5)$$

ดังนั้นจากข้อสังเกตของ Virgin and Rogers ทำให้ Watsan - Gandy สรุปว่ากฎจุดศูนย์ถ่วงนั้น ให้น้ำหนักกับลูกค้าซึ่งมีระยะทางระหว่างลูกค้ากับศูนย์กระจายสินค้ามากเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับลูกค้าซึ่งมีปริมาณของความต้องการสูงกว่าแต่อยู่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า

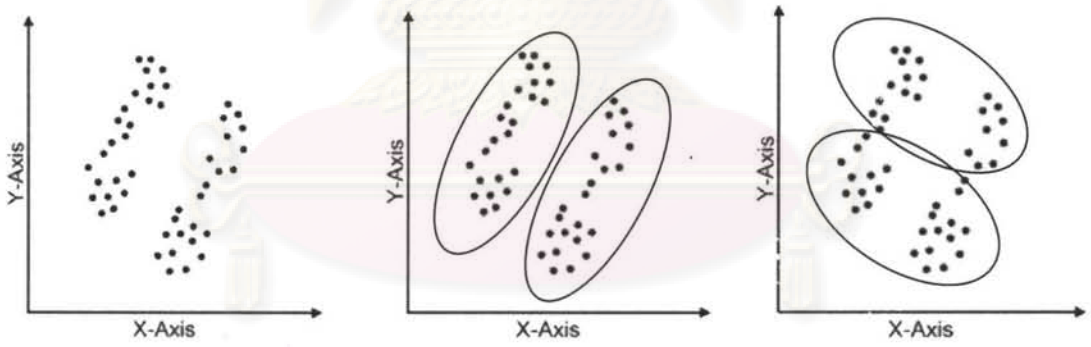
2.3.2 ปัญหาการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Clustering Analysis Problems)

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (cluster analysis) นั้นเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลหรือวัตถุลักษณะเช่นเดียวกันลงในซับเซตหรือกลุ่ม (cluster) ที่แตกต่างกัน ซึ่ง Anderberg (1973) ได้สรุปปัญหาของการจัดกลุ่มไว้ว่า " การจัดกลุ่ม (clustering) คือ การรวมกลุ่มข้อมูลหรือวัตถุใด ๆลงในกลุ่ม ซึ่งลักษณะของวัตถุหรือข้อมูลภายในกลุ่มเดียวกันจะมีระดับของความเกี่ยวข้องกันโดยธรรมชาติ (natural association) สูงภายในกลุ่มของตัวเอง แต่ในทางกลับกันเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มจะพบว่าจะมีความแตกต่างสัมพัทธ์ระหว่างกลุ่มสูง" โดยพบว่าการวิเคราะห์การจัดกลุ่มนี้ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลายวงการ เช่น ทางชีววิทยา ทางการแพทย์ และการแบ่งกลุ่มเพื่อการวิจัยทางการตลาด เป็นต้น

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มสามารถแบ่งได้ตามวัตถุประสงค์เป็นสองประการซึ่ง Mulvey and Crowder (1979) ได้ทำการแบ่งลักษณะของปัญหาการจัดกลุ่ม ออกเป็นสองประการใหญ่ ๆตามลักษณะของวัตถุประสงค์ คือ

วัตถุประสงค์แรกคือเพื่อทำการค้นหาและจำกัดขอบเขตของกลุ่มธรรมชาติ (natural cluster) โดยลักษณะของปัญหาการจัดกลุ่มแบบนี้ในแต่ละกลุ่มนั้น จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนภายในกลุ่มนั้น ๆโดยพื้นที่ระหว่างกลุ่มใด ๆจะมีลักษณะเป็นช่องว่าง และบริเวณพื้นที่ระหว่างกลุ่มจะไม่มีจุดหรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น วิธีการจัดกลุ่มแบบนี้จะต้องอาศัยวิธีการทางกราฟฟิกเท่านั้นซึ่งเป็นข้อจำกัดในการแก้ไขปัญหาและอาจจะให้คำตอบไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ที่สนใจ

อีกวัตถุประสงค์หนึ่งในการจัดกลุ่ม โดยจากแผนภาพการกระจาย (scatter diagram) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จุดในแผนภาพจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มจำนวน m กลุ่มโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ตัวชี้วัดความแตกต่าง (proximity measure) เป็นไปตามวัตถุประสงค์ซึ่งอาจจะเป็นระยะทางรวมระหว่างบัพในกลุ่มกับจุดตัวแทนของกลุ่มให้น้อยที่สุด ซึ่งการจัดกลุ่มลักษณะนี้เรียกว่า การจัดกลุ่มเอกพันธุ์ (homogeneous clustering) ซึ่งการจัดกลุ่มลักษณะต่าง ๆจะแสดงเปรียบเทียบในภาพ



1.การกระจายบัพของลูกค้า 2. การจัดกลุ่มแบบธรรมชาติ 3.การจัดกลุ่มเหมือน

รูปที่ 2.1 แผนภาพการกระจายแสดงลักษณะการจัดกลุ่มแบบต่าง ๆ

การแก้ไขปัญหาการจัดกลุ่มจากลักษณะของปัญหาที่กล่าวข้างต้น ได้มีผู้เสนอขั้นตอนวิธีการแก้ไขปัญหาไว้หลายแนวคิดด้วยกัน ซึ่งลักษณะของขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มที่รู้จักกันโดยทั่วไปเป็นขั้นตอนวิธีลักษณะวนซ้ำ (iterative algorithm) ซึ่ง MacQueen (1967) ได้เสนอแนวคิดการจัดกลุ่มลักษณะนี้ขึ้นเป็นครั้งแรกซึ่งเรียกว่า ขั้นตอนวิธีมัชฉิมเค (K-means) และได้มีผู้เสนอส่วนเพิ่มเติมภายหลังโดย Hatigan and Wong (1979) ซึ่งแนวคิดนี้จะใช้ข้อมูลดิบโดยตรงในการหาคำตอบของปัญหา โดยเมื่อเริ่มต้นต้องมีการกำหนดจุดศูนย์รวม (centroid) เริ่มต้นซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มแต่ละกลุ่มจำนวน k กลุ่ม ทำการกำหนดบัพให้แต่ละ

กลุ่มที่อยู่ใกล้ที่สุด และทำการคำนวณจุดศูนย์รวมใหม่ ลักษณะวนซ้ำไปจนกระทั่งตำแหน่งของจุดศูนย์รวมไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจุดศูนย์รวมสุดท้ายที่ได้คือตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้านั่นเอง โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ

$$Minimize \qquad J = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left\| x_i^{(j)} - c_j \right\|^2 \tag{2.6}$$

เมื่อ $\left\| x_i^{(j)} - c_j \right\|^2$ คือ ระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างลูกค้า $x_i^{(j)}$ กับจุดศูนย์กลางสุดท้ายของกลุ่ม c_j

ลักษณะของแนวคิด MacQueen นั้นพบว่า แม้จะดำเนินการจนสิ้นสุดทุกกระบวนการตามแนวคิดนี้ แต่เนื่องจากคำตอบที่ได้จะเป็นอิสระจากหน่วยชี้วัด (เช่น ระยะทาง) เพราะไม่ได้ใช้ตัวชี้วัดความแตกต่าง (proximity measure) ในการคำนวณตำแหน่ง ทำให้คำตอบจากแนวคิดนี้มักจะมีคุณภาพของคำตอบไม่ดีนัก และขึ้นกับจุดศูนย์รวมตั้งต้นเป็นหลัก จึงต้องอาศัยการสุ่มกำหนดจุดศูนย์รวมตั้งต้นจำนวนมาก ๆ เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว แนวคิดนี้มักจะเกิดปัญหาเมื่อระยะทางระหว่างบัพกับจุดศูนย์รวมมีระยะทางเท่ากันมากกว่า 1 คู่ ทำให้การกำหนดบัพกับจุดศูนย์รวมซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มที่ใกล้ที่สุดเกิดความสับสน

ได้มีผู้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวิเคราะห์การจัดกลุ่มขึ้น โดย Rao (1971) และ Vinod (1969) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวิเคราะห์การจัดกลุ่มดังนี้ คือ

$$Minimize \qquad Z = \sum_{I} \sum_{J} d_{ij} x_{ij} \tag{2.7}$$

$$subject\ to; \qquad \sum_{J} x_{ij} = 1 \qquad ; \forall i \tag{2.8}$$

$$\sum_{J} x_{jj} = m \tag{2.9}$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \qquad ; \forall i \ , \ \forall j \tag{2.10}$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \qquad ; \forall i \ , \ \forall j \tag{2.11}$$

เมื่อ d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างบัพ i และกลุ่ม j

x_{ij} คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งบ่งชี้ว่าบัพ i ถูกมอบหมายให้อยู่กับกลุ่ม j

m คือ จำนวนกลุ่มทั้งหมด

I คือ เซตของบัพทั้งหมดโดยที่ $i \in I$, $i = 1,2,...,n$

J คือ เซตของกลุ่มทั้งหมดโดยที่ $j \in J$, $j = 1,2,...,m$

x_{jj} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อจุดศูนย์กลางของกลุ่มอยู่ที่ตำแหน่ง j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete) [ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน Cornuejols, Fisher and Nemhauser (1977)] ซึ่งปัญหาลักษณะนี้ไม่เหมาะที่จะแก้ไขปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด จึงต้องอาศัยวิธีการหาผลเฉลยด้วยฮิวริสติกในการค้นหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้อาจจะไม่จำเป็นต้องใกล้กับคำตอบที่ดีที่สุดก็ได้ จากข้อจำกัดของแบบจำลองการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ Rao และ Vinod นี้ Mulvey and Crowder (1979) จึงได้เสนอแนวคิดซึ่งอยู่บนพื้นฐานขั้นตอนวิธีการวนซ้ำ โดยแนวคิดของ Mulvey and Crowder จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน ส่วนแรก คือ การหาผลเฉลยที่เป็นไปได้เริ่มต้น (initial feasible solution) โดยจะอาศัยวิธีการหาผลเฉลยแบบลำดับชั้น (hierarchical method) หลาย ๆ วิธีการเพื่อหากลุ่มเริ่มต้นก่อนแล้วจึงทำการพัฒนาคำตอบในขั้นตอนแรกโดยการกำหนดจุด (reassign) ให้กับกลุ่มใหม่ โดยเป็นวิธีการที่เรียกว่าปัญหามัธยฐานเค (K-medians) ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้เป็นขอบเขตบนเริ่มต้นของปัญหา ส่วนที่สอง คือ การใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดเกรเดียนย่อย (subgradient optimization) ในการผ่อนคลายบางเงื่อนไขบังคับเพื่อเป็นขอบเขตล่างของปัญหา และในการวนซ้ำแต่ละครั้งจะอาศัยวิธีการค้นหาแบบผันแปรของปัญหาเดิม (primal variable search) ในการปรับปรุงและหาคำตอบที่แท้จริงโดย การวนซ้ำจะหยุดเมื่อจำนวนครั้งในการวนซ้ำสูงเกินจำนวนครั้งสูงสุดหรือความต่างของขอบเขตล่างและขอบเขตบนอยู่ในช่วงที่กำหนด ในตอนท้าย Mulvey and Crowder ยังแสดงผลการเปรียบเทียบกับฮิวริสติกของ Ward (1963) ที่ชื่อว่า วิธีกำลังสองของความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (minimum squared error method) ซึ่งแนวคิดของ Mulvey and Crowder จะให้ผลเฉลยของคำตอบที่ดีกว่าโดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

2.4 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต

ท่ามกลางสภาวะทางการแข่งขันของธุรกิจที่มีแนวโน้มแข่งขันกันมากขึ้นในปัจจุบัน อีกทั้งยังเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป ทำให้บทความด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้งซึ่งส่วนใหญ่มักจะพัฒนาแบบจำลองในการหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต ซึ่งอาจจะทำให้คำตอบที่ได้จากแบบจำลองนั้น อาจจะไม่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อระยะเวลาการวางแผนมีระยะเวลายาวนาน ซึ่ง Daskin, Hopp and Madina (1992) ได้กล่าวไว้ว่าตามปกติการตัดสินใจในการหาสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้านั้น โดยลักษณะของปัญหาจะเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และให้ผลลัพธ์ในระยะยาว จากธรรมชาติของลักษณะของปัญหาประเภทนี้ ทำให้การตัดสินใจโดยใช้หลักการแบบสถิต (static approach) ซึ่งจะมองเงื่อนไขในอนาคตคงที่และเป็นเช่นเดียวกับเงื่อนไขปัจจุบันอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดอีกต่อไป

โดย Current, Ratick and Revelle (1998) ได้ให้คำจำกัดความของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตและแบ่งประเภทของแบบจำลองพลวัตไว้ว่า แบบจำลองพลวัตเป็นแบบจำลองที่พารามิเตอร์ต่างๆ มีความสัมพันธ์กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ความสำคัญของเวลานี้จะต้องถูกนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งพารามิเตอร์ที่มักจะนำเวลามาร่วมในการพิจารณา คือ ความต้องการของลูกค้า หรืออาจจะอยู่ในรูปเวลาในการขนส่ง (travel time) หรือจะเป็นต้นทุนในการขนส่ง (travel cost) ก็ได้ โดยมีผู้เสนอแนวคิดเรื่องข้อจำกัดของแบบจำลองสถิต ซึ่งพิจารณาปัญหาเป็นช่วงเวลาเดียว (single period) และได้เสนอแนวคิดแบบจำลองแบบพลวัตหรือพิจารณาหลายช่วงเวลา (multi-period) หลายแนวคิดด้วยกัน โดยแนวคิดทั้งหมดสามารถจำแนกตามหลักของ Current, Ratick and Revelle ซึ่งได้แบ่งประเภทของแบบจำลองพลวัตเป็น 2 ประเภท คือ

1) แบบจำลองพลวัตโดยชัดแจ้ง (explicitly dynamic models) จะมีลักษณะของปัญหา คือ คลังสินค้าจะมีการเปิด (หรือปิด) ได้ตลอดระยะเวลาการวางแผนเพื่อสนองตอบต่อพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แบบจำลองในลักษณะเช่นนี้จะอนุญาตให้มีการย้ายคลังสินค้าได้บ่อยๆ โดยผลลัพธ์มักจะอยู่ในรูปของกำหนดเวลาในการเปิด / ปิด คลังสินค้าที่เวลาใดๆ ซึ่งอาจจะมีทั้งการเปิดคลังสินค้าแห่งใหม่และปิดคลังสินค้าแห่งเดิม หรืออาจจะคงคลังสินค้าแห่งเดิมไว้แบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบผสมกัน ซึ่งแนวคิดแบบจำลองพลวัตโดยชัดแจ้งโดยส่วนใหญ่นั้นมักจะมีพื้นฐานมาจากการคำนวณในแต่ละคาบเวลาแบบสถิต ณ ขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง แต่ตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้า พื้นที่รับผิดชอบ และพารามิเตอร์ต่างๆจะเปลี่ยนแปลงไปตามคาบเวลาตลอดระยะเวลาการวางแผน

2) แบบจำลองพลวัตโดยปริยาย (implicitly dynamic models) แบบจำลองลักษณะนี้จะมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองสถิตมาก เนื่องจากว่าแบบจำลองพลวัตโดยปริยายนั้นคลังสินค้าจะถูกตั้งขึ้นที่เวลาหนึ่งๆ และยังคงให้บริการไปตลอดจนจบระยะเวลาการวางแผนโดยไม่มีการอนุญาตให้เปิด / ปิด หรือย้ายตำแหน่งคลังสินค้าบ่อยๆ ดังเช่นแบบจำลองพลวัตโดยชัดแจ้ง แต่สิ่งที่ทำให้แบบจำลองพลวัตโดยปริยายแตกต่างกับแบบจำลองสถิตก็คือ แบบจำลองนี้จะพิจารณาพารามิเตอร์ของปัญหา (เช่น ความต้องการของลูกค้า ต้นทุน ในการขนส่ง ฯลฯ) เปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาทำให้คำตอบของปัญหาแตกต่างจากแบบจำลองสถิต

2.4.1 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง 1 แห่งแบบพลวัต (Dynamic Single Facility Location Problems)

Ballou (1968) ซึ่งได้พยายามจะหาตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้า 1 แห่ง โดยที่มีวัตถุประสงค์คือเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุดตลอดระยะเวลาการวางแผน 5 ปี Ballou ได้นำเสนอแนวคิดโดยอยู่บนพื้นฐานของการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต แนวคิดหลักสำคัญของ Ballou คือ มีการเลือกสถานที่ตั้งและมีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งของปัญหาคลังสินค้าเดี่ยว (single

warehouse) ตลอดระยะเวลาการวางแผน โดยจะทำการคำนวณเพื่อหากำไรที่จะได้รับของการตั้งคลังสินค้าในแต่ละแห่งในปีที่ 1 , 2 , 3 , 5 ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่อไปนี้ และอาศัยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิง (dynamic programming) แบบคำนวณย้อนกลับในการหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมในแต่ละคาบเวลา

$$Maximize \qquad P_r = \sum p_i V_{0i} b_i^{-a_i t_i / t_{0i}} - \left(R_i d_i + R' d'\right) V_{0i} b_i^{-a_i t_i / t_{0i}} \qquad (2.12)$$

เมื่อ

P_r คือ กำไรจากระบบการกระจายสินค้า

p_i คือ ราคาขายเฉลี่ยของสินค้าสำหรับตลาด i

X_i, Y_i คือ ลำดับแสดงตำแหน่งของตลาด i

X', Y' คือ ลำดับแสดงตำแหน่งของสถานที่ผลิตสินค้า

$\overline{X}, \overline{Y}$ คือ ลำดับแสดงตำแหน่งของคลังสินค้า

d_i คือ ระยะทางจากคลังสินค้าไปยังตลาด i

d' คือ ระยะทางจากสถานที่ผลิตสินค้าไปยังคลังสินค้า

t_{0i} คือ เวลาส่งสินค้าไปยังตลาด i สำหรับคลังสินค้าอ้างอิง

t_i คือ เวลาส่งสินค้าไปยังตลาด i สำหรับคลังสินค้าที่พิจารณา

V_{0i} คือ ปริมาณของสินค้าที่ส่งไปยังตลาด i

a_i คือ สัดส่วนตัวคูณสำหรับแต่ละตลาด

R_i คือ อัตราค่าขนส่งจากคลังสินค้าไปยังตลาด i

R' คือ อัตราค่าขนส่งจากสถานที่ผลิตสินค้าไปยังคลังสินค้า

b_i คือ ค่าคงที่ (≥ 1) สำหรับแต่ละตลาด

การหาคำตอบอยู่บนพื้นฐานของวิธีแบบฮิวริสติก ซึ่งเซตของคำตอบจะถูกจำกัดโดยคำตอบของปัญหาแบบสถิตในแต่ละคาบเวลา ส่งผลให้คำตอบจากแนวคิดนี้อาจจะไม่ได้รับผลเฉลยของกำไรรวมดีที่สุด รวมถึงมีจุดอ่อนที่คลังสินค้าสามารถย้ายสถานที่ตั้งได้ตลอดระยะเวลาการวางแผนซึ่งถูกกำหนดโดยต้นทุนของการย้ายตำแหน่งของคลังสินค้าซึ่งเป็นไปได้ยากในปัญหาจริง เนื่องจากไม่ได้ทำการพิจารณาเวลาในการสร้างและต้นทุนในการก่อสร้างคลังสินค้าแห่งใหม่

จากจุดอ่อนของแนวคิดการแก้ปัญหาที่เสนอโดย Ballou ซึ่งเซตของคำตอบเชิงสถิตในแต่ละคาบเวลาจะถูกจำกัดเฉพาะคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น ทำให้ช่วงของคำตอบ (state space) ถูกจำกัดมากเกินไปดังนั้น Sweeney and Tatham (1976) จึงได้โต้แย้งว่า วิธีฮิวริสติกของ Ballou นั้นได้คำตอบที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุดย่อย (sub-optimal) จึงได้เสนอแนวคิดใหม่ที่ว่าในแต่ละคาบเวลา t การที่จะพิจารณาคำตอบเฉพาะคำตอบที่ดีที่สุดยังไม่เพียงพอ แต่ควรจะทำการเรียงลำดับคุณภาพของคำตอบในรูปของคำตอบที่ดีที่สุด R_t ลำดับ (R_t Best Solution) ซึ่ง

ในแต่ละคาบเวลานั้นจำนวนอันดับ (rank) ของคำตอบที่ดีที่สุด R_t ลำดับ ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเท่ากันเสมอ โดยจำนวนอันดับของคำตอบจะเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับขอบเขตบน (upper bound) และขอบเขตล่าง (lower bound) ของคำตอบของปัญหาหลายคาบเวลา ซึ่ง Sweeney and Tatham ได้เสนอว่าผลเฉลยในแต่ละคาบเวลาที่จะอยู่ในอันดับของคำตอบที่ดีที่สุด R_t ลำดับได้นั้นจะต้องอยู่ในช่วงไม่เกินผลต่างของขอบเขตบนและขอบเขตล่างของปัญหาแบบหลายคาบเวลานั้น โดยการหาผลเฉลยของคำตอบจะอาศัยเทคนิคการสลายตัวของเบนเดอร์ (Bender's decomposition) ในการหาผลเฉลย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลเฉลยของแนวคิดนี้กับผลเฉลยจากแนวคิดของ Ballou แล้วพบว่าแนวคิดนี้จะให้ผลเฉลยที่ดีกว่าประมาณ 10%

แนวคิดของการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง 1 แห่งแบบพลวัตนั้นมีผู้เสนอแนวคิดลักษณะเดียวกันนี้อีกหนึ่งแนวคิดซึ่งเป็นแนวคิดที่มีพื้นฐานมาจากแนวคิดของ Ballou แต่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขจุดอ่อนของฮิวริสติกที่ Ballou ใช้ ซึ่งแนวคิดนี้ถูกเสนอโดย Wesolowsky (1973) โดยเขาได้เสนอแนวคิดของปัญหาหลายคาบเวลา ในลักษณะของปัญหาบนระนาบ (plane) โดยการอธิบายแนวคิดได้ยกตัวอย่างปัญหาของเวเบอร์ (Weber's Problem) ขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบาย ดังฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

$$Minimize \quad \sum_{k=1}^{r}\sum_{t=1}^{m_k} f_{kt}(x_k, y_k) + \sum_{k=2}^{r} c_k Z_k \qquad (2.13)$$

$$subject\ to; \quad Z_k = \{0,1\} \qquad (2.14)$$

$$Z_k = 0 \quad \text{ถ้า} \quad d_{k-1,k} = 0 \qquad (2.15)$$

เมื่อ Z_k คือ ตัวแปรทวิภาคเพื่อระบุการย้ายตำแหน่งในคาบเวลา k

m_k คือ จำนวนจุดปลายทางสำหรับคาบเวลา k

$f_{kt}(x_k, y_k)$ คือ มูลค่าปัจจุบัน (present value) ของค่าขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าในตำแหน่ง (x_k, y_k) ไปยังจุดปลายทาง i

c_k คือ ต้นทุนในการย้ายตำแหน่งในคาบเวลา k

$d_{k-1,k}$ คือ ระยะทางในการย้ายคลังสินค้าขณะเริ่มต้นคาบเวลา k

r คือ จำนวนของคาบเวลาทั้งหมด

แนวคิดของ Wesolowsky นั้นจะแตกต่างจากแนวคิดทั้งสองข้างต้นตรงที่จะมีการนำต้นทุนในการย้ายคลังสินค้าเข้าไปรวมอยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์อย่างชัดเจน ในขณะที่แนวคิดของ Ballou และ Sweeney and Tatham จะนำไปผนวกอยู่ในต้นทุนในการขนส่งไม่ได้แบ่งแยกอย่างชัดเจนซึ่งเป็นเพราะพื้นฐานของปัญหาแตกต่างกันเนื่องจากแนวคิดนี้อยู่บนพื้นฐานของปัญหาในระนาบ โดยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นเขาได้เสนอหลักการการแจงนับแบบไม่ซ้ำ

(non-duplication enumeration) ซึ่งจะลดจำนวนของการแก้ปัญหาแบบสถิตในแต่ละคาบเวลาลงไปได้กว่า 50% เมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบบริบูรณ์โดยคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

2.4.2 ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งหลายแห่งแบบพลวัต (Dynamic Multiple Facility Location Problems)

จากแนวคิดของแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตข้างต้นนั้น จัดเป็นแนวคิดที่อยู่บนพื้นฐานของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งเพียงแห่งเดียว แต่ในปัญหาจริงนั้นพบว่าในบางครั้งคลังสินค้าอาจจะมีจำนวนมากกว่า 1 แห่ง หากจำนวนของลูกค้าผู้รับบริการนั้นมีจำนวนที่มากเกินกว่าความสามารถของคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตนั้นปัญหามัธยฐานพีเป็นปัญหาที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายโดยปัญหานี้เป็นกรณีพิเศษของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรความรับผิดชอบ (location-allocation problems) จากปัญหานี้เอง Wesolowsky and Truscott (1975) ได้อาศัยแนวคิดพื้นฐานจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตนี้มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองพลวัตซึ่งมีสถานที่ตั้งหลายแห่งขึ้น โดยแนวคิดของ Wesolowsky and Truscott นั้นคลังสินค้าซึ่งมีจำนวนมากกว่า 1 แห่งจะถูกตั้งขึ้น ณ ที่แห่งใดและเวลาใดนั้น จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนค่าขนส่งกับต้นทุนในการย้ายคลังสินค้าภายใต้ข้อจำกัด 2 ประการ คือ จำนวนของคลังสินค้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละคาบเวลาต้องไม่เกินจำนวนสูงสุดที่กำหนดไว้ และจำนวนของคลังสินค้าต้องถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าโดยอ้างอิงจากแนวคิดของ Revelle, Marks and Liebman (1970) ซึ่งจะขึ้นกับนโยบายขององค์กรหรือข้อจำกัดในด้านงบประมาณการลงทุน โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังนี้

$$Minimize \quad \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} A_{jik}x_{jik} + \sum_{k=2}^{K}\sum_{j=1}^{M}\left(c'_{jk}y'_{jk} + c''_{jk}y''_{jk}\right) \qquad (2.16)$$

$$subject\ to; \quad \sum_{j=1}^{M} x_{jik} = 1 \quad ; \quad \forall i\ ,\ \forall k \qquad (2.17)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{jik} \leq Nx_{jjk} \quad ; \quad \forall j\ ,\ \forall k \qquad (2.18)$$

$$\sum_{j=1}^{M} x_{jjk} = G \quad ; \quad \forall k \qquad (2.19)$$

$$\sum_{j=1}^{M} y'_{jk} \leq m_k \quad ; \quad \forall k \qquad (2.20)$$

$$x_{jjk} - x_{jjk-1} + y'_{jk} - y''_{jk} = 0 \quad ; \quad \forall j\ ,\ \forall k \qquad (2.21)$$

เมื่อ A_{jik} คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนในการขนส่งระหว่างบัพ i กับบัพ j ในคาบ k

c'_{jk}, c''_{jk} คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนในการย้าย และก่อสร้างคลังสินค้าในคาบ k ตามลำดับ

m_k คือ จำนวนคลังสินค้าสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงได้ในคาบ k

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

x_{jik} คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งระบุว่าบัพ i ถูกมอบหมายให้อยู่กับบัพ j ในคาบ k

y'_{jk} คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งระบุว่าคลังสินค้าจะถูกย้ายจากบัพ j ในคาบ k

y''_{jk} คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งระบุว่าคลังสินค้าจะถูกตั้งที่บัพ j ในคาบ k

โดยเขาทั้งสองได้นำเสนอกระบวนการในการแก้ปัญหาไว้ 2 วิธี คือ วิธีการแก้ปัญหาแบบจำนวนเต็มผสมและวิธีไดนามิกโปรแกรมมิง ซึ่งแนวคิดนี้จะนำต้นทุนในการสร้างคลังสินค้าแห่งใหม่ หรือต้นทุนในการย้ายจากคลังสินค้าแห่งเดิมมาร่วมพิจารณาในฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพิ่มขึ้นจากต้นทุนในการขนส่งด้วย

จากแนวคิดในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งหลายแห่งแบบพลวัตของ Wesolowsky and Truscott ที่มีพื้นฐานมาจากปัญหามัธยฐานพี ซึ่งจำนวนของคลังสินค้าจะถูกกำหนดตายตัวและเท่ากันตลอดระยะเวลาการวางแผน แต่มีผู้เสนอแนวคิดในการแก้ปัญหาซึ่งมีพื้นฐานมาจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด ซึ่งจำนวนและที่ตั้งของคลังสินค้ายังไม่ทราบล่วงหน้าขึ้นกับพารามิเตอร์ต่าง ๆของปัญหา โดยผู้ที่ได้เสนอแนวคิดนี้คือ Van Roy and Erlenkotter (1982) แนวคิดของทั้งสองอยู่บนพื้นฐานของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด ของ Roodman and Schwarz (1975) โดยแนวคิดของ Van Roy and Erlenkotter จะดัดแปลงจากแบบจำลองสถิตของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด โดยการใส่ตัวห้อย (subscript) เพื่อแสดงถึงคาบเวลาของการวางแผน โดยจะมีการแบ่งเซตเริ่มต้นของคลังสินค้าที่เปิดหรือปิด ณ ขณะเวลาเริ่มต้นแยกกลุ่มกัน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการเปิด/ปิดคลังสินค้าจะมีผลไปตลอดจนจบระยะเวลาการวางแผน โดยขั้นตอนในการแก้ปัญหาได้มีการพัฒนาวิธีในการแก้ปัญหาเรียกว่า วิธีลาดขึ้นของปัญหาคู่ (dual-ascent Method) เพื่อแปลงจากปัญหาเดิม (primal) เป็น ปัญหาคู่ (dual) ควบคู่ไปกับกระบวนการปรับของปัญหาควบคู่ (primal-dual adjustment procedure) และทำการหาคำตอบด้วยวิธีการแตกกิ่งสาขา (branch and bound method)

แนวคิดทั้งหมดข้างต้นจะถูกจัดให้อยู่ในประเภทของแบบจำลองพลวัตโดยชัดแจ้ง ส่วนแนวคิดของแบบจำลองพลวัตโดยนัยจะประกอบด้วยแนวคิดของ Drezner (1995) ซึ่งเป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่มีพื้นฐานมาจากปัญหามัธยฐานพี เช่นเดียวกับแนวคิดของ Wesolowsky and Truscott แต่มีความแตกต่างกันที่แนวคิดของ Drezner นั้นได้ให้ความสำคัญกับต้นทุนการย้ายคลังสินค้า ซึ่งมีขนาดสูงมากเมื่อเทียบกับต้นทุนค่าขนส่ง (transportation cost) ดังนั้นจึงเป็นการไม่สมเหตุสมผลนักหากมีการย้ายคลังสินค้าบ่อย ๆ ดังเช่นแนวคิดของ Wesolowsky and Truscott โดย Drezner ได้เสนอแนวคิดในการแก้ปัญหามัธยฐานพีแบบพลวัต ซึ่งแนวคิดที่ Drezner เสนอจะไม่อนุญาตให้มีการย้ายคลังสินค้า (relocation) แต่จะมีลักษณะเป็นการตั้ง

คลังสินค้าแห่งใหม่ ณ คาบเวลาที่กำหนดในช่วงเวลาการวางแผน โดยลูกค้าจะถูกแบ่งไปใช้บริการทั้งคลังสินค้าแห่งเดิมและคลังสินค้าแห่งใหม่ เพื่อจะทำให้ต้นทุนค่าขนส่งรวมของทุกคาบเวลาตลอดระยะเวลาการวางแผนต่ำที่สุด โดยแนวคิดนี้มีชื่อเรียกว่า ปัญหามัธยฐานพีแห่งแบบก้าวหน้า (the progressive P-median problem) ซึ่งหลักสำคัญของแนวคิดนี้คือ การแบ่งเซตของบัพความต้องการ (demand node) ออกเป็นเซตของแต่ละคลังสินค้าที่ให้บริการในแต่ละคาบเวลา โดยการหาคำตอบนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแยกเป็นของแต่ละคลังสินค้า ซึ่งคุณภาพของคำตอบจะขึ้นกับการแบ่งเซตของบัพความต้องการในแต่ละคาบเวลา โดยคำตอบที่ดีที่สุดจะมาจากการรวมคำตอบที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของทุกๆ คลังสินค้า ซึ่งแนวคิดนี้ไม่ใช่ปัญหาเชิงเส้นตรง Drezner จึงได้อาศัยกระบวนการแก้ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า AMPL ซึ่งจะทำการสุ่มผลเฉลยเริ่มต้นซ้ำๆ หลายๆ ครั้ง จนได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด

2.5 ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบที่ใช้ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง

ขั้นตอนวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ขั้นตอนวิธีที่ Daskin and Owen (1998) ได้เสนอว่าเป็นขั้นตอนวิธีที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง และการแก้ปัญหาการวิจัยการดำเนินงานอื่น มี 3 วิธี คือ วิธีการผ่อนคลายลากราน (Lagrangian relaxation), ขั้นตอนวิธีกรีดดี (greedy algorithms) และขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบข้างเคียง (neighborhood search algorithm)

2.5.1 เทคนิคในการหาผลเฉลยโดยอาศัยวิธีการผ่อนคลายลากราน

วิธีการแก้ปัญหาแบบจำนวนเต็มนั้นเป็นปัญหาที่ยากในการหาคำตอบ ซึ่งการที่จะอาศัยเพียงขั้นตอนวิธีที่มีอยู่นั้นในการหาคำตอบไม่เพียงพอสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมักจะใช้เวลาในการแก้ปัญหาเป็นแบบเลขชี้กำลัง จึงได้มีผู้เสนอเทคนิคเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากๆ ให้ง่ายขึ้น โดยอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า เซตของเงื่อนไขบังคับข้างเคียงสัมพัทธ์ (relative set of side constraints) และทำให้เกิดเป็นปัญหาลากราน (Lagrangian problem) ขึ้น ซึ่งแก้ปัญหาได้ง่ายกว่าปัญหาตั้งต้นที่พิจารณา และคำตอบที่ได้จากปัญหาลากรานจะเป็นขอบเขตล่างสำหรับปัญหาการหาค่าน้อยที่สุด (minimization) ของปัญหาตั้งต้น และสามารถใช้แทนการผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้น (LP relaxation) ได้

ในปี 1971 Held and Karp (1970,1971) ได้นำเทคนิคทางคณิตศาสตร์ซึ่งรู้จักกันในนามของปัญหาลากรานไปใช้ในการหาขอบเขตล่างของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (traveling salesman problem) และจากการประสบความสำเร็จของ Held และ Karp ทำให้วิธีลากราน (Lagrangian method) ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น ในปี 1973 Fisher (1973) ได้นำวิธีลากรานไปประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดตาราง (scheduling problems) และในปี 1974 ได้เสนอชื่อสำหรับวิธีลากรานว่า "การผ่อนคลายลากราน" ซึ่งต่อมาภายหลังการผ่อนคลาย

ลากรานได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการหาจุดเหมาะสมที่สุด (optimization problem) กันอย่างกว้างขวางซึ่งอาศัยจุดเด่นของวิธีนี้ คือ สามารถหาคำตอบของปัญหาจริงได้แม้ปัญหานั้นจะมีขนาดใหญ่

2.5.1.1 แนวคิดหลักของวิธีการผ่อนคลายลากราน

แนวคิดหลักของวิธีการผ่อนคลายของลากราน คือ การสร้างปัญหาลากรานขึ้น ซึ่งมาจากการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับตั้งแต่หนึ่งเงื่อนไขข้อจำกัดขึ้นไปของปัญหาการหาจุดเหมาะสมที่สุดตั้งต้นและใช้ตัวคูณลากราน (Lagrange multipliers) คูณเข้ากับเงื่อนไขข้อจำกัดที่ต้องการผ่อนคลาย จากนั้นนำเงื่อนไขข้อจำกัดที่ถูกคูณแล้วนั้นไปรวมอยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รายละเอียดขั้นตอนของการใช้วิธีการผ่อนคลายลากรานในการแก้ปัญหามัธยฐานพีจะเป็นดังนี้

ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (P) ตั้งต้น $Z = \min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} X_{ij}$ (2.22)

$$\textit{subject to:} \quad \sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in N \tag{2.23}$$

$$\sum_{j=1}^{m} Y_j = p \tag{2.24}$$

$$X_{ij} \leq Y_{ij} \quad ; \forall i \in N, j \in M \tag{2.25}$$

$$X_{ij}\ ,\ Y_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i \in N, j \in M \tag{2.26}$$

เมื่อ X_{ij} คือ ตัวแปรทวิภาคเมื่อลูกค้า i ได้รับการบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j

Y_j คือ ตัวแปรทวิภาคเมื่อศูนย์กระจายสินค้า j เปิดให้บริการ

c_{ij} คือ ต้นทุนค่าขนส่งระหว่างลูกค้า i กับศูนย์กระจายสินค้า j

p คือ จำนวนศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่เปิดให้บริการ

N คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดโดยที่ $i \in N$, $i = 1,2,...,n$

M คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่สามารถให้บริการได้โดยที่ $j \in M$, $j = 1,2,...,m$

ในการพิจารณาจะทำการผ่อนคลายเงื่อนไขข้อจำกัด $\sum_{j=1}^{m} X_{ij} = 1$ และนำไปรวมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้เป็นปัญหาลากราน (P_λ) โดยที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ Z_λ

$$\textit{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \left(\sum_{j=1}^{m} X_{ij} - 1\right) \tag{2.27}$$

โดยที่ $\lambda_i = (\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m)$ คือตัวคูณลากราน และในการแก้ปัญหาลากรานจะต้องทำการแยกปัญหาลากรานออกเป็นปัญหาย่อย (P_λ^j) ก่อนโดยสมมติให้ตัวคูณลากรานคงที่และทำการแก้ปัญหาย่อยของแต่ละตัวคูณลากรานซึ่งมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ

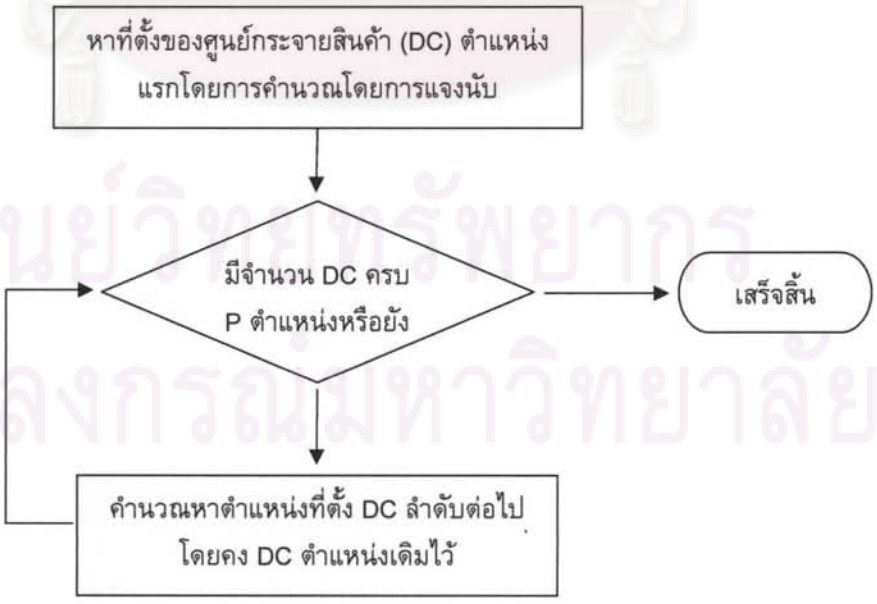
$$Z_\lambda^j = \sum_{i=1}^{n} \min\{c_{ij} + \lambda_i, 0\} \qquad (2.28)$$

ค่าผลเฉลยของปัญหาลากราน คือขอบเขตล่างของปัญหามัธยฐานพี สำหรับแต่ละตัวคูณลากราน และต้องอาศัยการวนซ้ำ เพื่อเปลี่ยนค่าตัวคูณลากรานไปจนได้ขอบเขตที่ดีกว่าโดยการใช้กระบวนการการใช้การหาค่าเหมาะสมที่สุดเกรเดียนย่อย และขอบเขตล่างที่ดีที่สุดสำหรับปัญหามัธยฐานพี คือ

$$\max_{\lambda}\{Z_\lambda\} \qquad (2.29)$$

2.5.2 เทคนิคในการหาผลเฉลยด้วยวิธีกรีดี

เป็นขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่ง่ายสำหรับปัญหาการหาสถานที่ตั้ง ซึ่งในวิธีนี้จะทำการหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่ดีที่สุดตำแหน่งแรกโดยการแจงนับค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมด (total enumeration) ความยากง่ายของการคำนวณนั้นขึ้นกับจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ ต่อจากนั้นทำการหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าลำดับต่อมา โดยการคงตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าที่แรกไว้ และทำการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งลำดับที่สอง ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งได้จำนวนของศูนย์กระจายสินค้าครบตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้มักมีข้อเสียคือมักจะได้คำตอบที่ไม่ดีนัก โดยลำดับขั้นตอนของขั้นตอนวิธีกรีดี (greedy algorithms) เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นตอนของขั้นตอนวิธีกรีดี

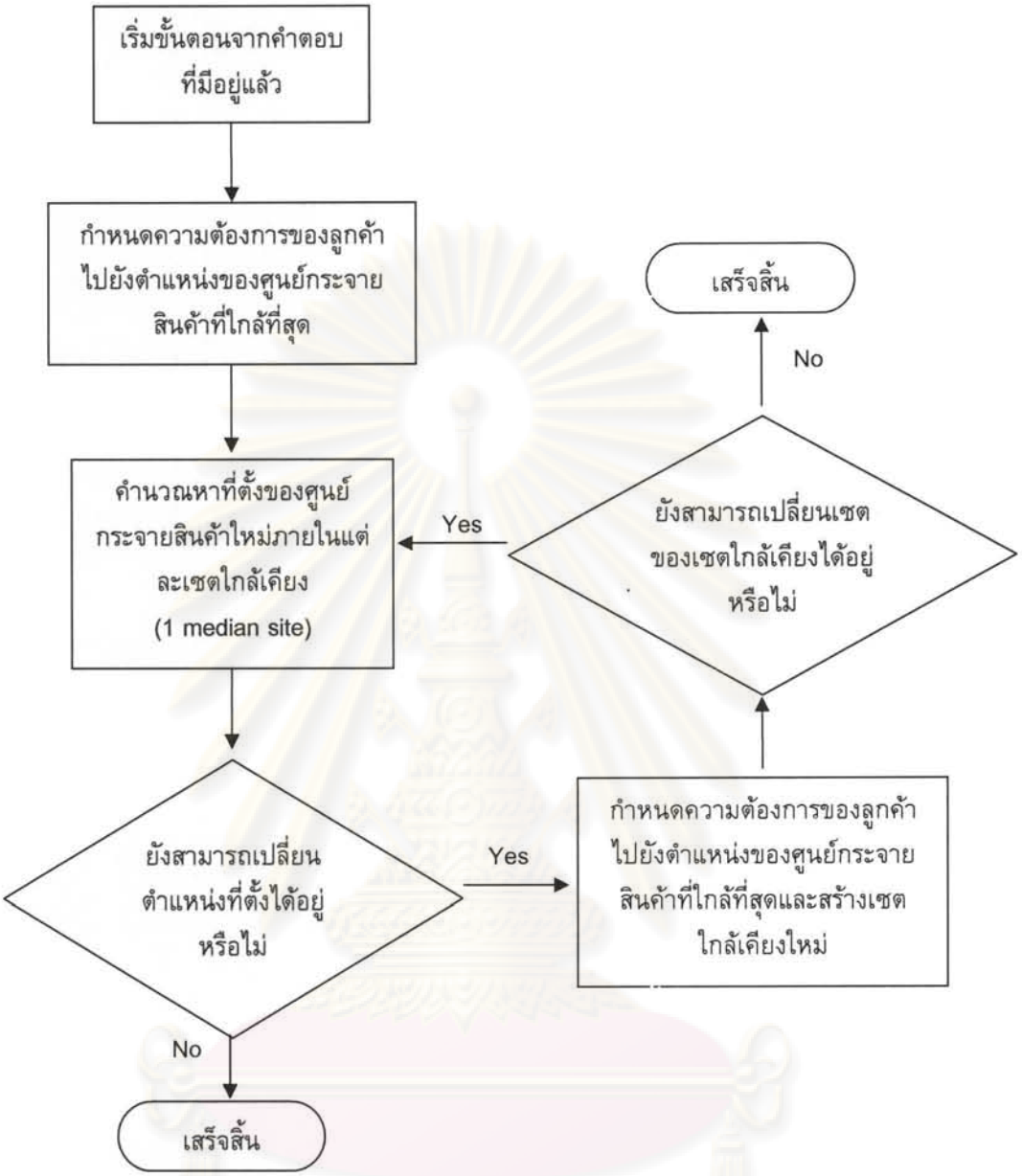
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าผลเฉลยของขั้นตอนวิธีกรีดดี

จากข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีกรีดดีซึ่งมักจะได้คำตอบที่ไม่ดีนักทำให้เกิดขั้นตอนวิธีใหม่ ๆขึ้นมาเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีกรีดดี ซึ่งยังคงมีแนวคิดอยู่บนพื้นฐานของการหาค่าผลเฉลยโดยวิธีกรีดดี โดยมีผู้เสนอแนวคิดดังกล่าวจำนวนมากแต่ในที่นี้จะขอสรุปเฉพาะแนวคิดที่เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายเท่านั้น

มีผู้เสนอแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีกรีดดี ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบข้างเคียงขึ้น โดย Maranzana (1964) ซึ่งอาศัยการปรับปรุงคำตอบที่มีอยู่แล้วหรือคำตอบที่ได้มาจากขั้นตอนวิธีกรีดดี และทำการจัดลูกค้าให้ถูกตอบสนองความต้องการโดยศูนย์กระจายสินค้าที่อยู่ใกล้ที่สุด และกำหนดเซตของบัพที่มีศูนย์กระจายสินค้าเดียวกันไว้ในเซตเดียวกันและเรียกว่าเซตข้างเคียง (neighborhood set) โดยเมื่อแบ่งเป็นเซตแล้ว ในแต่ละเซตจะทำการคำนวณหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าใหม่หนึ่งศูนย์กระจายสินค้าต่อหนึ่งเซต เมื่อศูนย์กระจายสินค้าถูกกำหนดที่ตั้งใหม่แล้วครบทุกเซต ก็จะทำการคำนวณแบบแจกแจงทั้งหมดใหม่อีกครั้งเพื่อกำหนดว่าลูกค้าจะถูกตอบสนองความต้องการโดยศูนย์กระจายสินค้าใด ลำดับขั้นตอนวิธีการนี้จะสิ้นสุดเมื่อตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้ว ดังนั้นความต้องการ-ระยะทางรวม (demand-weight total distance) จะลดลงทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้า แต่วิธีการนี้ในแต่ละครั้งของการวนรอบจะทำการเปลี่ยนตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกันในทุกเซตข้างเคียง และตำแหน่งจะต้องอยู่ภายในเซตข้างเคียงเท่านั้น จึงทำให้เกิดการจำกัดวงของคำตอบมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้คำตอบนั้นคลาดเคลื่อนจากคำตอบที่ดีที่สุดไป โดยลำดับขั้นตอนของขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบข้างเคียง เป็นดังแสดงในรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนวิธีค้นหาแบบข้างเคียง (neighborhood search algorithm)

2.6 สรุปแนวคิดที่ได้จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนแนวคิดและงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งซึ่งมีผู้เสนอแนวคิดในอดีต สามารถสรุปข้อมูลสำคัญซึ่งเป็นพื้นฐานและแนวทางในการวิจัยได้ดังนี้

1) ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งสำหรับปัญหาการตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมส่วนใหญ่อยู่บนพื้นฐานของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพื้นฐาน 2 ปัญหา คือ ปัญหามัธยฐานพี และปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด แต่เนื่องจากปัญหามัธยฐานพีมีจุดด้อยบางประการ คือ ปัญหามัธยฐานพีนั้นจะสมมติให้แต่ละตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า

มีต้นทุนคงที่ในแต่ละตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้เท่ากัน และไม่นำมาพิจารณาร่วมกับต้นทุนค่าขนส่ง ทำให้ผลลัพธ์ของปัญหาไม่ถูกต้องในทางปฏิบัติจริง เนื่องจากไม่สัมพันธ์กับต้นทุนในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าและต้นทุนในการขนส่ง แต่สำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดนั้นในฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะพิจารณาทั้งต้นทุนในการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้าและต้นทุนในการขนส่งด้วย อีกทั้งจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ถูกกำหนดมาล่วงหน้าแต่ขึ้นกับต้นทุนที่สำคัญทั้งสอง แต่เพื่อให้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งในการวิจัยนี้สะท้อนกับปัญหาในธุรกิจจริงซึ่งจะเกิดเงื่อนไขด้านขนาดของศูนย์กระจายสินค้าขึ้น ดังนั้นจึงได้เพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดด้านความจุ (capacity) เข้าไปกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดเดิม ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการวิจัยโดยอยู่บนพื้นฐานของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่ (capacitated fixed-charge facility location) ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดแต่แตกต่างกันที่วิธีการในการแก้ปัญหาซึ่งหากมีข้อจำกัดด้านขนาดจะมีความซับซ้อนมากกว่า

2) แบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองพลวัตซึ่งพารามิเตอร์บางตัวนั้นสัมพันธ์กับเวลา แต่เนื่องจากแบบจำลองพลวัตนั้นจะมีขนาดของปัญหา (problem size) ที่ใหญ่ โดยขึ้นกับจำนวนศูนย์กระจายสินค้า, จำนวนลูกค้า และจำนวนคาบเวลาของการวางแผน (planning period) ดังนั้นแนวคิดที่มีผู้เสนอส่วนใหญ่จึงอาศัยวิธีการหาคำตอบด้วยฮิวริสติก ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้จะนำเสนอฮิวริสติกที่เหมาะสมในการหาคำตอบ

3) สมมติฐานที่สมเหตุสมผลของแบบจำลองพลวัต คือ ไม่อนุญาตให้มีการย้ายศูนย์กระจายสินค้าได้ในระหว่างคาบเวลาการวางแผน ดังนั้นแบบจำลองพลวัตที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะเป็นแบบจำลองพลวัตโดยนัย ซึ่งแนวคิดที่น่าสนใจ คือ แนวคิดของ Drezner (1995) ที่เรียกว่า ปัญหามัธยฐานพีแห่งแบบก้าวหน้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การกำหนดปัญหาและวิธีการดำเนินการวิจัย

การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญในระยะยาวต่อองค์กร ซึ่งจัดอยู่ในประเภทการวางแผนในระดับกลยุทธ์และเป็นส่วนสำคัญยิ่งในระบบโลจิสติกส์รวมทั้งการจัดสรรทรัพยากรขององค์กร (resource allocation) ดังนั้นในการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าจะต้องพิจารณาปัจจัยรอบด้านหลายประการ เพื่อให้การตัดสินใจในระดับกลยุทธ์นี้นั้นยังผลประโยชน์สูงสุดต่อองค์กร โดยส่วนแรกของบทนี้จะเป็นการกำหนดปัญหาที่พิจารณาสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ โดยอาศัยแนวคิดและทฤษฎีทางด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้งซึ่งได้ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่เป็นประโยชน์ไว้แล้วในบทที่ 2 และนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางของงานวิจัย โดยนำมาผนวกกับแนวคิดและข้อเสนอแนะต่าง ๆของนักวิจัยในเรื่องปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายปัญหาที่กำหนดขึ้น และในส่วนที่สองเป็นการอธิบายแนวทางการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหาที่ตั้งขึ้น

3.1 การกำหนดปัญหา

การกำหนดปัญหาเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนางานวิจัยทางด้านการวิจัยการดำเนินงาน ดังนั้นในการกำหนดปัญหาและแนวทางของงานวิจัยนี้จึงแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ในส่วนแรกจะเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนวิธีของบริษัทตัวอย่างในปัจจุบันโดยจะวิเคราะห์ในด้านข้อดี ข้อเสียในด้านต่าง ๆ โดยอาศัยแนวทางจากการทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ หลังจากนั้นในส่วนถัดไปจะใช้รายละเอียดที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาผนวกกับแนวคิดและความรู้ที่ได้จากการทบทวนงานวิจัยมาใช้เพื่อกำหนดปัญหาและรายละเอียด รวมทั้งแนวทางของงานวิจัยฉบับนี้

3.1.1 การวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัญหาของการตัดสินใจวางแผนระดับกลยุทธ์ในด้านการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างและจากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปและแยกปัญหาออกได้เป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้คือ

1) ปัญหาด้านคุณภาพของคำตอบ จากการศึกษาขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างพบว่า ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าว่าตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะใช้แบบจำลอง (model) อย่างง่ายในการระบุปัญหา

อีกทั้งในการหาคำตอบจะทำโดยใช้ฮิวริสติกที่ไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งของบริษัทตัวอย่างที่ใช้ในปัจจุบัน คือ

$$Minimize \quad \sum_{j\in N}\sum_{i\in D} d_{ij} w_i x_{ij} \tag{3.1}$$

$$subject\ to; \quad \sum_{j\in D} x_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in N \tag{3.2}$$

$$\sum_{j\in D} Y_j = 1 \quad ; \forall j \in D \tag{3.3}$$

$$Y_j - x_{ij} \geq 0 \quad ; \forall j \in D, \forall i \in N \tag{3.4}$$

$$Y_j, x_{ij} \in \{0,1\} \tag{3.5}$$

เมื่อ d_{ij} คือ ระยะระหว่างลูกค้า i กับตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้า j

w_i คือ ความต้องการของลูกค้า i

x_{ij} คือ ตัวแปรทวิภาคสำหรับการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้า i

Y_j คือ ตัวแปรทวิภาคสำหรับการตั้งศูนย์กระจายสินค้า j

D คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่สามารถให้บริการได้โดยที่ $j \in D$, $j = 1,2,...,m$

N คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดโดยที่ $i \in N$, $i = 1,2,...,n$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3.1) เป็นฟังก์ชันซึ่งแสดงถึงจุดประสงค์ปัญหานี้ คือ การหาตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 แห่งเพื่อทำให้ต้นทุนรวมในการให้บริการลูกค้ามีค่าน้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขบังคับ (3.2) เพื่อกำหนดให้ลูกค้าต้องได้รับการบริการจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งใดแห่งหนึ่งเพียง 1 แห่งเท่านั้น เงื่อนไขบังคับ (3.3) เพื่อระบุว่าปัญหานี้ต้องการสร้างคลังสินค้าจำนวนทั้งหมดเพียง 1 แห่งเท่านั้น เงื่อนไขบังคับ (3.4) ลูกค้าจะได้รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j เมื่อศูนย์กระจายสินค้านั้นต้องถูกสร้างเท่านั้น และเงื่อนไขบังคับ (3.5) กำหนดให้ตัวแปร Y_j และ x_{ij} เป็นตัวแปรทวิภาค

ข้อเสียของแบบจำลองนี้ คือ ไม่พิจารณาถึงต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนในการก่อสร้างคลังสินค้า ราคาที่ดิน อุปกรณ์อำนวยความสะดวกในคลังสินค้า เงินทุนหมุนเวียน เป็นต้น ซึ่งต้นทุนเหล่านี้มีมูลค่าที่สูงมากจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาในการตัดสินใจในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าว่าจะสร้างในตำแหน่งใด อีกทั้งหากพิจารณาแบบจำลองนี้จะเห็นว่าจุดอ่อนในการพิจารณาตัดสินใจสร้างศูนย์กระจายสินค้าจะกระทำได้เพียง 1 แห่ง ซึ่งการตั้งศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่งอาจจะสามารถลดต้นทุนรวมได้ซึ่งขึ้นกับอิทธิพลของต้นทุนคงที่และต้นทุนค่าขนส่ง ข้อเสียของแบบจำลองนี้อีกส่วนคือไม่ได้

พิจารณาเงื่อนไขบังคับด้านขนาดของศูนย์กระจายสินค้าซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านความสามารถในการให้บริการแก่ลูกค้า โดยหากได้มีการพิจารณาเงื่อนไขบังคับนี้แล้ว ผลเฉลยที่ได้จากปัญหาจะแตกต่างกับปัญหาที่ไม่พิจาณาเงื่อนไขบังคับอย่างมาก และในปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด หากมองในแง่ของความสามารถในการให้บริการของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าแล้ว ก็คือปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่ ซึ่งกำหนดให้ความสามารถสูงสุดในการรองรับมีค่ามาก ๆ นั่นเอง ดังนั้นจึงถือได้ว่าปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดเป็นปัญหาย่อยของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่นั่นเอง

2) เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อเวลาเปลี่ยนไป เนื่องจากในปัจจุบันสภาพทางการตลาดเกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีการแข่งขันที่รุนแรงขึ้น ทำให้การพิจารณาว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนตามเวลานั้น อาจจะไม่ใช่คำตอบของปัญหาที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาในระยะยาว เนื่องจากการตัดสินใจสร้างศูนย์กระจายสินค้าเป็นการตัดสินใจระดับกลยุทธ์และส่งผลในระยะยาวดังนั้นจึงควรพิจารณาพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นแบบพลวัตหรือเป็นฟังก์ชันของเวลา

3) ผู้ทำการตัดสินใจไม่มีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในด้านการวิจัยการดำเนินงาน อีกทั้งขาดเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ เนื่องจากบริษัทตัวอย่างมีระบบห่วงโซ่อุปทานขนาดใหญ่ การหาคำตอบของปัญหาด้วยวิธีที่ดีที่สุดทำได้ยาก และใช้เวลาในการหาคำตอบนาน

3.1.2 การกำหนดปัญหาและรายละเอียดของปัญหา

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตโดยนัย ของ Drezner (1995) ซึ่งมีชื่อว่า ปัญหามัธยฐานพีแห่งแบบก้าวหน้า และของ Ting, Chen and Hong (2003) โดยลักษณะเด่นของสองแนวคิดนี้คือ ไม่อนุญาตให้มีการย้ายตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการแล้วได้ จึงเป็นสมมติฐานที่สมเหตุ สมผลและเหมาะสมในทางปฏิบัติจริง อย่างไรก็ดีงานวิจัยทั้งสองมีแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างกับงานวิจัยฉบับนี้ค่อนข้างมากเนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดให้มีเงื่อนไขบังคับด้านความ สามารถของแต่ละศูนย์กระจายสินค้ามีอย่างจำกัด ทำให้ปัญหาที่พิจารณามีความยากขึ้นมาก เนื่องจากในขั้นตอนการหาคำตอบของปัญหาลักษณะนี้ คำตอบที่ได้มักจะเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (infeasible) ดังนั้นในขั้นตอนการแก้ปัญหาจะต้องใช้หลักการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับให้อยู่ในรูปของค่าปรับแทนซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมในบทที่ 4 กล่าวโดยสรุปลักษณะที่สำคัญสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดังนี้คือ

1) ความสามารถของแต่ละศูนย์กระจายสินค้ามีจำกัด
2) ความต้องการของลูกค้าแต่ละรายเป็นฟังก์ชันของเวลา
3) ไม่อนุญาตให้มีการย้ายตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าได้ เนื่องจากต้นทุนในการสร้างศูนย์กระจายสินค้ามีค่าสูงมากและต้องใช้เวลาในการดำเนินการนานจึงไม่เป็นการสมเหตุสมผลหากมีการอนุญาตให้มีการย้ายตำแหน่งบ่อย ๆ
4) ลูกค้าจะรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งใดแห่งหนึ่งเท่านั้น
5) การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าจะกระทำครั้งแรกขณะเวลาเริ่มต้น (t =0)

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและเวลาที่เหมาะสมในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง เพื่อทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดทั้งด้านต้นทุนคงที่และต้นทุนค่าขนส่งในการสนองตอบความต้องการของลูกค้ามีค่าต่ำที่สุด โดยจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่จะตั้งในแต่ละช่วงเวลาเป็นคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาซึ่งในแบบจำลองนี้จะไม่ได้กำหนดจำนวนมาล่วงหน้าดังเช่นงานวิจัยของ Drezner (1995) และ Ting et al. (2003) อีกทั้งในแต่ละคาบเวลาย่อยภายในระยะเวลาการวางแผนสามารถสร้างศูนย์กระจายสินค้าได้มากกว่าหนึ่งแห่งซึ่งงานวิจัยทั้งสองจะกำหนดให้สร้างได้สูงสุดเพียงหนึ่งแห่งเท่านั้น อนึ่งจากที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นเกี่ยวกับระยะเวลาการวางแผนซึ่งมีอิทธิพลต่อคำตอบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตอย่างมาก ในส่วนต่อไปจะอธิบายคำนิยามของระยะเวลาการวางแผนในรูปความสัมพันธ์กับคำตอบโดยงานวิจัยสองชิ้นจากนักวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญในด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง

เนื่องจากระยะเวลาการวางแผนมีความสำคัญกับคำตอบของปัญหาพลวัต ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาการวางแผนที่แตกต่างกันออกไปก็จะมีผลกระทบกับคำตอบของปัญหาที่จะได้ ดังนั้นระยะเวลาการวางแผนจึงต้องถูกกำหนดอย่างถูกต้อง ซึ่งได้มีนักวิจัยสองกลุ่ม คือ Daskin, Hopp and Medina (1992) และ Bean and Smith (1984) ได้ให้คำนิยามของระยะเวลาการวางแผนไว้ว่า "ระยะเวลาของการวางแผน คือ ระยะเวลาที่น้อยที่สุดซึ่งคำตอบที่เหมาะสมจากช่วงเวลาการวางแผนนี้ จะไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลง หรือ ผลกระทบใด ๆอีก หากทำการเพิ่มระยะเวลาการวางแผนให้ยาวขึ้น" ซึ่งสามารถขยายความได้ว่า ในการพยากรณ์ฟังก์ชันต่าง ๆ ซึ่งแปรผันตามเวลานั้นอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้ หากระยะเวลาของการวางแผนยาวนานมากขึ้น โดยในการกำหนดระยะเวลาการวางแผนนั้นช่วงเวลาใกล้ ๆกับจุดเริ่มต้นจะมีค่าน้ำหนักของความแม่นยำมากที่สุด และจะค่อย ๆลดลงเมื่อระยะเวลาการวางแผนยาวออกไป โดยหากระยะเวลาของการวางแผนยาวมากขึ้นเท่าใดผลกระทบกับคำตอบของปัญหาก็จะลดน้อยลงมากขึ้นเท่านั้นจนถึงระยะเวลาหนึ่งที่ความสำคัญของระยะเวลาการวางแผนถือได้ว่าไม่มีผลกระทบกับคำตอบในระดับที่ผู้ทำการตัดสินใจกำหนด

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือสามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์เป็นฟังก์ชันของเวลาได้ ซึ่งได้มีผู้เสนอแนวคิดนี้ในรูปสมการคณิตศาสตร์ไว้ในปัญหามัธยฐานพีแห่งแบบก้าวหน้าของ Drezner (1995) ซึ่งเป็นปัญหาเฉพาะแบบหนึ่งของปัญหามัธยฐานพีทั่วไป โดยงานวิจัยนี้จะนำสมการคณิตศาสตร์ซึ่งอธิบายลักษณะของการเปลี่ยนไปของความต้องการเมื่อระยะเวลามีการเปลี่ยนแปลงมาประยุกต์ใช้ โดยกำหนดให้ระยะเวลาการวางแผนทั้งหมดมีค่าเท่ากับ P หน่วยเวลา ซึ่งภายในประกอบไปด้วยคาบเวลาย่อย k ในเซต $\{k \in T \mid k = 1,2,...., p\}$ และสามารถแสดงฟังก์ชันของความต้องการในคาบเวลา k ใด ๆ ซึ่งมีช่วงเวลาคือ $t_{k-1} \le t \le t_k$ ได้ดังนี้

$$w_{ik} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} w_i(t)dt \qquad (3.6)$$

โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่ในช่วงเวลาขณะใดขณะหนึ่งโดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ F มีค่าน้อยที่สุด คือ

$$F = \sum_{j=1}^{m} f_j Y_j + \sum_{k=1}^{p} \int_{k-1}^{t_k} \sum_{i=1}^{n} w_i(t) * c \sum_{j=1}^{m} \left(d_{ij} * X_{ijk}\right) dt \qquad (3.7)$$

ดังนั้นแทนค่า w_{ik} ลงในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3.7) จะได้

$$\textit{Minimize} \quad F = \sum_{j=1}^{m} f_j Y_j + \sum_{k=1}^{p} \sum_{j=1}^{m} a_j Y_{jk} + \sum_{k=1}^{p} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} c * w_{ik} \left(d_{ij} * X_{ijk}\right) \qquad (3.8)$$

$$\textit{subject to;} \quad \sum_{j=1}^{m} X_{ijk} = 1 \quad ; \forall i, \forall k \qquad (3.9)$$

$$Y_{jk} - Y_{jk+1} \le 1 \quad ; \forall j,\ k = 1,2,....., p-1 \qquad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_{ik} X_{ijk} \le s_{jk} \quad ; \forall j,\ \forall k \qquad (3.11)$$

$$X_{ijk} - Y_{jk} \le 0 \quad ; \forall i,\ \forall j,\ \forall k \qquad (3.12)$$

$$Y_{jk} \le Y_j \quad ; \forall j,\ \forall k \qquad (3.13)$$

$$X_{ijk},\ Y_j,\ Y_{jk} \in \{0,1\} \qquad (3.14)$$

เมื่อ F คือ ต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาการวางแผน

X_{ijk} คือ ตัวแปรทวิภาคสำหรับการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้า i ในคาบเวลาที่ k

Y_{jk} คือ ตัวแปรทวิภาคเมื่อศูนย์กระจายสินค้า j เปิดในคาบเวลาที่ k

Y_j คือ ตัวแปรทวิภาคเมื่อมีการสร้างศูนย์กระจายสินค้า j ในคาบเวลาใด ๆ

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างลูกค้า i กับตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้า j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

w_{ik} คือ ความต้องการของลูกค้า i ในคาบเวลาที่ k

s_{jk} คือ ปริมาณสูงสุดในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้า j ในคาบเวลาที่ k

f_j คือ ต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กระจายสินค้า j

a_j คือ ต้นทุนการดำเนินงานต่อคาบเวลาของศูนย์กระจายสินค้า j

c คือ ต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง • ความต้องการ

I คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดโดยที่ $i \in I$, $i = 1,2,...,n$

J คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่สามารถให้บริการได้โดยที่ $j \in J$, $j = 1,2,...,m$

T คือ เซตของคาบเวลาย่อยในระยะเวลาการวางแผนโดยที่ $k \in T$, $k = 1,2,...,p$

ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการตัดสินใจหาตำแหน่งที่ตั้งของของศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมเพื่อทำให้ต้นทุนรวมในการสนองตอบความต้องการของลูกค้ามีค่าต่ำที่สุด โดยสมการ (3.8) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหานี้ ซึ่งพจน์แรกแสดงถึงต้นทุนคงที่รวมในการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด พจน์ที่สองแสดงถึงต้นทุนการดำเนินงานรวม และพจน์ที่สามแสดงถึงต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาการวางแผน โดยมีเงื่อนไขบังคับ (3.9) ซึ่งกำหนดให้ลูกค้ารับบริการจากศูนย์กระจายได้เพียงแห่งเดียว (single source) เงื่อนไขบังคับ (3.10) เพื่อกำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าใดที่เปิดให้บริการแล้วไม่สามารถที่จะปิดหรือย้ายตำแหน่งได้ เงื่อนไขบังคับ (3.11) เป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดสามารถสูงสุด (maximum capacity) ในการให้บริการของแต่ละศูนย์กระจายสินค้า เงื่อนไขบังคับ (3.12) เพื่อกำหนดให้ลูกค้าจะได้รับการบริการจากศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการเท่านั้น เงื่อนไขบังคับ ๖ (3.13) เพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนคงที่ในการก่อสร้างซึ่งเป็นต้นทุนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น และเงื่อนไขบังคับ (3.14) เป็นการระบุชนิดของตัวแปรว่าเป็นตัวแปรทวิภาค

เนื่องจากต้นทุนในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหานี้มี 3 ประเภท คือ ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนการดำเนินงานและต้นทุนค่าขนส่ง ซึ่งหากพิจารณาจะพบว่าอัตราส่วนของต้นทุนการดำเนินงานต่อต้นทุนการก่อสร้างมีผลอย่างมากต่อเวลาที่เหมาะสมในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง โดยหากไม่มีต้นทุนการดำเนินงานในฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้วจะทำให้ปัญหาแบบพลวัตกลายเป็นปัญหาแบบสถิตไปเนื่องจากทุกศูนย์กระจายสินค้าจะมีแนวโน้มที่จะจัดตั้ง ณ เวลาเริ่มต้น $(t = 0)$ เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มพจน์นี้เข้าไปในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เนื่องจากลักษณะปัญหาแบบพลวัตโดยทั่วไปจะต้องทำการกำหนดเวลาในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าไว้ล่วงหน้า แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้ต้นทุนการดำเนินงานในการระบุเวลาที่เหมาะสมในการจัดตั้งแทน

194899 598

3.2 การกำหนดแนวทางการวิจัยของงานวิจัย

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงแนวทางในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัต ซึ่งได้อธิบายลักษณะของปัญหาในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 ในส่วนการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหานั้น เนื่องจากงานวิจัยด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ดังนั้นจึงทำการศึกษางานวิจัยบนพื้นฐานของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตเป็นหลัก โดยขั้นตอนวิธีที่จะพัฒนานั้นจะเริ่มต้นมาจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดและไม่พิจารณาอิทธิพลของเวลาเป็นปัญหาตั้งต้น ซึ่งแม้จะเป็นปัญหาที่ไม่มีเวลามาเกี่ยวข้องแต่ก็จัดเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก อีกทั้งงานวิจัยนี้ได้เพิ่มข้อจำกัดด้านความสามารถ (capacity) ของศูนย์กระจายสินค้า ข้อจำกัดด้านการรับบริการได้จากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียวและการพิจารณาเงื่อนไขของเวลามาเกี่ยวข้อง ทำให้ปัญหาตั้งต้นซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยากอยู่แล้วเพิ่มความซับซ้อนในกระบวนการแก้ปัญหาขึ้นไปอีก โดยปัญหาทั้งสองทั้งปัญหาตั้งต้นและปัญหาที่พิจารณานั้น เวลาในการแก้ไขปัญหาเป็นฟังก์ชันแบบเลขชี้กำลังกับขนาดของปัญหา โดยหากปัญหามีขนาดใหญ่ (large-scale problem) ดังเช่นปัญหาของบริษัทตัวอย่างที่ทำการศึกษาซึ่งเป็นบริษัทค้าปลีกรายใหญ่ของประเทศและมีสาขาจำนวนมาก เวลาในการหาคำตอบจะไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงเหมาะสมกว่าหากขั้นตอนการหาคำตอบจะใช้วิธีฮิวริสติกในการหาคำตอบ โดยในขั้นตอนการพิจารณาแนวทางการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1) การศึกษาเทียบเคียงขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าจากการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตซึ่งไม่มีการอนุญาตให้ย้ายตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าได้

2) การศึกษาเทียบเคียงขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบสถิตที่มีลักษณะเดียวกัน

จากการทบทวนงานวิจัยปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในมุมมองของขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตลักษณะเดียวกัน ได้มีผู้เสนอการใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (genetic algorithms) ในการแก้ปัญหาพลวัตขึ้น โดย Ting et al. (2003) ได้ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดซึ่งฮิวริสติกนี้ถูกจัดให้อยู่ในประเภทของขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการ (evolutionary algorithms) หรือฮิวริสติกที่มีพื้นฐานมาจากประชากร (population-based heuristic) ซึ่งฮิวริสติกที่อยู่ในประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพสูงในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ อีกทั้งเนื่องจากงานวิจัยของ Ting et al. (2003) เป็นงานวิจัยของปัญหาซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แม้ในความเป็นจริงแล้วปัญหาพลวัตที่มีข้อขำกัดด้านขนาดกับไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดจะมีวิธีการแก้ไข

ปัญหาต่างกันอยู่มาก แต่เนื่องจากเป็นงานวิจัยที่เป็นปัญหาแบบพลวัตเช่นเดียวกันจึงนำขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่พิจารณาเพื่อเป็นฮิวริสติกเปรียบเทียบในการวัดสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

การศึกษาเทียบเคียงขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาจากปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบสถิตซึ่งมีลักษณะเดียวกัน พบว่าแนวทางในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดโดยใช้ฮิวริสติกนั้น มีผู้เสนองานวิจัยซึ่งเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป 2 ชิ้นซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู (tabu search) ทั้งสิ้น คือ งานวิจัยของ Saltan and Fawzan (1999) และ Martin Hoefer (2003) ซึ่งได้แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู กับฮิวริสติกอื่นๆ คือ การค้นหาเฉพาะที่ (local search) และวิธีปริมาตรและการปัดแบบสุ่ม (volume & randomized rounding) ซึ่งพบว่าฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูโดยเฉลี่ยจะให้คุณภาพของคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดขณะที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเหมาะสมกับปัญหาของบริษัทตัวอย่างซึ่งมีขนาดใหญ่จึงต้องเลือกฮิวริสติกที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาใช้สำหรับงานวิจัย

ดังนั้นจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปแนวทางในการเลือกฮิวริสติกเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตได้เป็น 2 ข้อ คือ

1) ใช้ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูในการพัฒนาขั้นตอนวิธีของงานวิจัย
2) ใช้ฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเป็นฮิวริสติกเปรียบเทียบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต แบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ซึ่งได้แสดงการนิยามและการกำหนดปัญหาของงานวิจัยฉบับนี้ โดยแสดงให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วนั้น ในส่วนต่อไปในบทนี้จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 ซึ่งอยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งอธิบายลักษณะของปัญ หาอย่างกว้าง มาอธิบายโดยละเอียดให้สอดคล้องกับกระบวนการของฮิวริสติกซึ่งใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่พิจารณา โดยทำการแสดงให้สัมพันธ์กับแต่ละขั้นตอนของกระบวนการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

เนื้อหาในบทนี้ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการค้นหาคำตอบของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 กระบวนการย่อย คือ กระบวนการเริ่มต้น (initialization) ซึ่งจะใช้ฮิวริสติก Reactive GRASP method ซึ่งถูกเสนอครั้งแรกโดย Feo and Resende (Feo and Resende, 1995) ในการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (initial feasible solution) เพื่อนำไปใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นในกระบวนการค้นหาในส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการหลัก หรือส่วนฮิวริสติกหลัก (main heuristic) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู (tabu search) เป็นฮิวริสติกหลักในการหาคำตอบ เนื้อหาส่วนที่ 2 ของบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงฮิวริสติกเปรียบเทียบ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นโดยฮิวริสติกที่ใช้เปรียบเทียบสำหรับงานวิจัยนี้นั้นจะใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (genetic algorithms) ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ และส่วนสุดท้ายของบทนี้จะทำการอธิบายพารามิเตอร์ต่าง ๆของฮิวริสติก ซึ่งมีผลกับประสิทธิภาพในการหาคำตอบของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

4.1 การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกเพื่อการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตแบบมีข้อจำกัดด้านขนาดและต้นทุนคงที่นั้น ในกระบวนการค้นหาคำตอบของปัญหา เพื่อให้สามารถเข้าใจปัญหาได้อย่างถ่องแท้และเพื่อที่จะลดระดับความซับซ้อนของปัญหาลง จึงทำการจำแนกขั้นตอนในการค้นหาคำตอบของปัญหาใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อยสองส่วน คือ

1) ส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง (location phase)
2) ส่วนปัญหาการจัด (assignment phase)

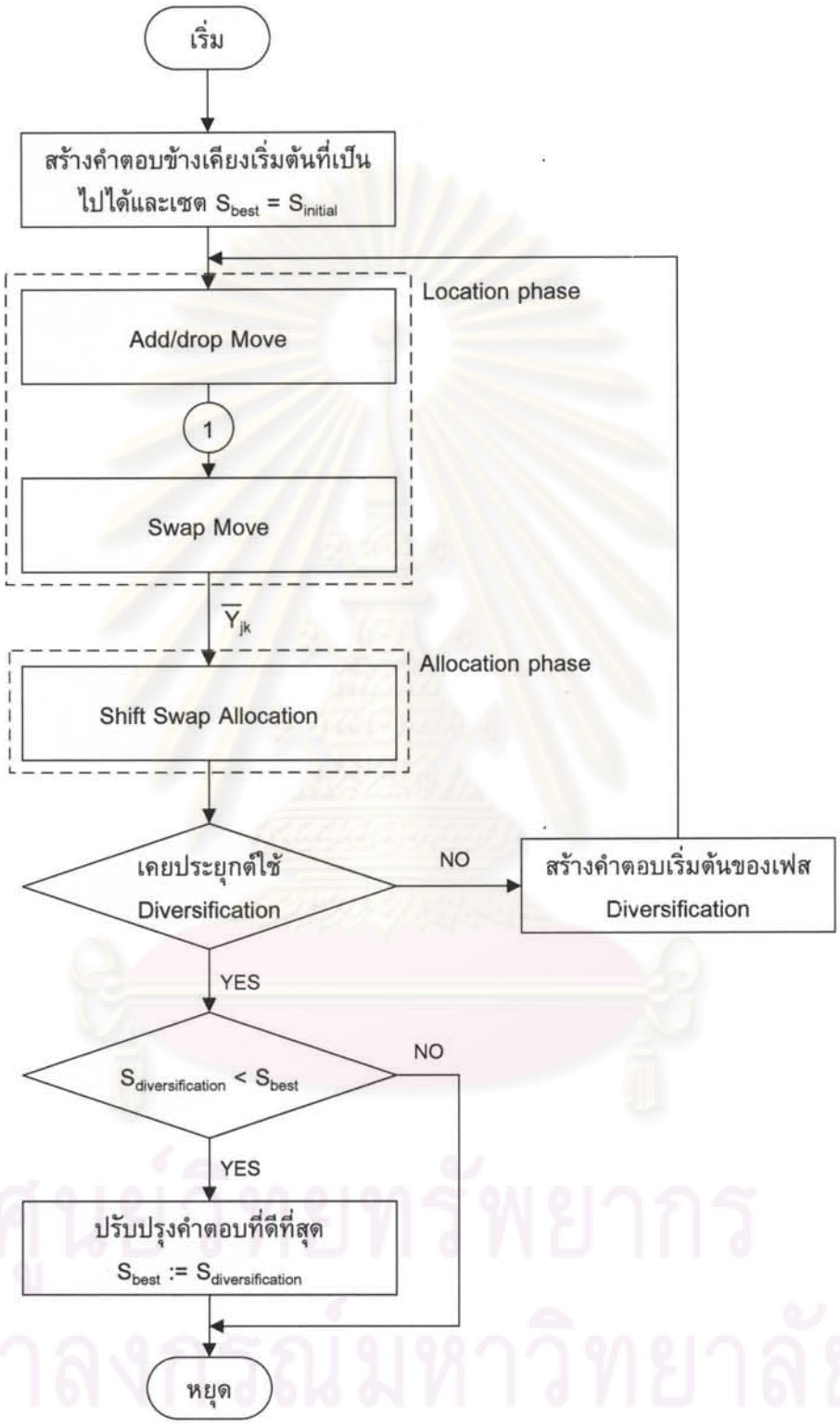
โดยความสัมพันธ์ของส่วนปัญหาทั้งสองสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายโดยรูปที่ 4.1 ในหัวข้อ 4.1.1 และความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของส่วนปัญหาทั้งสองในหัวข้อ 4.1.2

4.1.1 การค้นหาแบบทาบู (Tabu Search)

การค้นหาแบบทาบูเป็นเทคนิคการหาคำตอบซึ่งได้รับการพัฒนามาจาก วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแม้ว่าคำตอบที่ได้รับจากวิธีการค้นหาเฉพาะที่อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของคำตอบก็จัดอยู่ในเกณฑ์ดี ขณะที่เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่ดีสุดแล้วจะใช้เวลาน้อยกว่ามาก โดยจุดอ่อนที่สำคัญสำหรับวิธีการค้นหาเฉพาะที่ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้รับอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด คือ จุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (local optima) ซึ่งวิธีการค้นหาเฉพาะที่มักจะไม่สามารถเคลื่อนที่ให้หลุดพ้นจากจุดเหล่านี้ไปได้ จึงมีผู้นำเสนอเทคนิคการหาคำตอบแบบใหม่ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของวิธีการค้นหาเฉพาะที่ คือ วิธีการค้นหาแบบทาบู ซึ่งถูกเสนอครั้งแรกโดย Fred Glover (1986) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้วิธีการค้นหาหลักเช่นเดียวกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่แต่ทำการเพิ่ม หน่วยความจำยืดหยุ่น (flexible memory) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำทางในกระบวนการค้นหา โดยหน่วยความจำนี้ประกอบด้วย

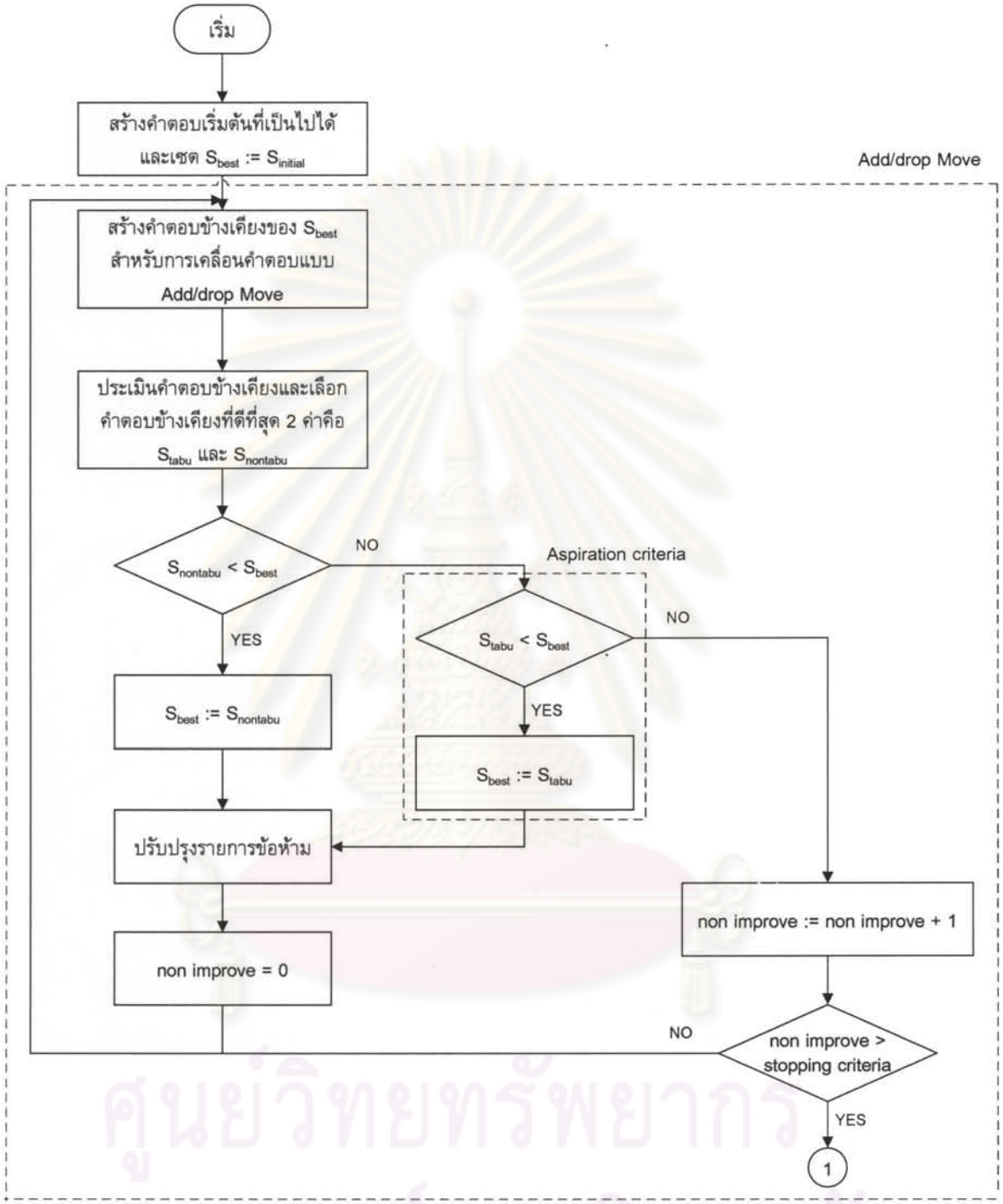
1) หน่วยความจำระยะสั้น (short-term memory) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการค้นหาคำตอบซ้ำในบริเวณที่ได้ทำการค้นหาแล้ว โดยการบันทึกบริเวณที่เคยค้นหาคำตอบมาแล้วไว้ในรายการข้อห้าม (tabu list) โดยมีระยะเวลาห้าม (tabu. tenure) เป็นจำนวนวงรอบตามที่ได้กำหนดไว้
2) หน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ทำหน้าที่นำทางการค้นหาไปสู่บริเวณที่ดึงดูดให้ทำการค้นหาเพิ่มเติม ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่ค่อยได้มีการค้นหาคำตอบมาก่อน (บริเวณที่สถานะของศูนย์กระจายสินค้าไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง) โดยจะบันทึกการเปลี่ยนสถานะของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งไว้ในหน่วยความจำความถี่ (frequency memory)

การค้นหาแบบทาบูนั้นยังแก้ข้อเสียของการค้นหาเฉพาะที่ซึ่งไม่สามารถที่จะหลุดพ้นจากจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ได้ โดยการยินยอมให้ย้อนกลับไปค้นหาในบริเวณที่ต้องห้ามได้โดยการกำหนดเกณฑ์ Aspiration criteria ไว้และการใช้การค้นหาคำตอบโดยเพิ่มความหลากหลาย (diversification) ในการข้ามผ่านจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ไปได้ ซึ่งขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูในส่วนของการเคลื่อนคำตอบโดยยกตัวอย่าง Add/drop move

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 หลักการในกระบวนการค้นหาคำตอบ (Searching Process)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 3 นั้น ในแต่ละวงรอบ (iteration) ของการค้นหาคำตอบ ถ้าทราบคุณลักษณะของศูนย์กระจายสินค้า (facilities configuration) ว่าตลอดระยะเวลาการวางแผนนั้นมีศูนย์กระจายสินค้าใดเปิดให้บริการแล้ว ปัญหาใหญ่ที่พิจารณาจะลดรูปของปัญหาลงเหลือเป็นปัญหาการจัดทั่วไป (generalized assignment problem) ซึ่งทำให้ปัญหาที่พิจารณาลดความซับซ้อนในการหาคำตอบลงไปแต่ยังคงเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) อยู่ จากแนวคิดข้างต้นจึงสามารถแบ่งปัญหาใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อยสองส่วน คือ ส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง และส่วนปัญหาการจัด ซึ่งจะอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาลดรูปตามสมการ (4.1)

ในการค้นหาคำตอบของปัญหานั้น ถ้าทำการกำหนดตัวแปรตำแหน่ง (location variable) Y_{jk} ให้เป็นตัวแปรทวิภาคคงที่ใด ๆโดยเฟสตำแหน่งที่ตั้งแล้ว จะทำให้ปัญหาที่พิจารณาในบทที่ 3 กลายเป็นปัญหาลดรูป $F(\overline{Y}_{jk})$ เมื่อ $\overline{Y}_{jk}$ คือเซตของตัวแปรตำแหน่งทวิภาคใด ๆ และทำให้ปัญหาที่ได้นิยามในบทที่ 3 เหลือเป็นปัญหาการขนส่ง (transportation problem) แทนแต่เนื่องจากปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเงื่อนไขบังคับ (4.2) ซึ่งบัพความต้องการไม่สามารถแบ่งแยกการรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่งได้ ดังนั้นปัญหาลดรูปจึงเป็นปัญหาการจัดทั่วไป (GAP) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาลดรูปเมื่อกำหนดค่า $\overline{Y}_{jk}$ ใด ๆจะเป็นดังนี้

$$Minimize \quad F(\overline{Y}_{jk}) = \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c * w_{ik}(d_{ij} * X_{ijk}) \tag{4.1}$$

$$subject\ to; \quad \sum_{j=1}^{m} X_{ijk} = 1 \quad ; \forall i \in I, \forall k \in T \tag{4.2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_{ik} Y_{jk} \leq s_{jk} \quad ; \forall j \in J, \forall k \in T \tag{4.3}$$

$$X_{ijk} \leq Y_{jk} \quad ; \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in T \tag{4.4}$$

$$X_{jik},\ Y_{jk} \in \{0,1\} \tag{4.5}$$

เมื่อ $F(\overline{Y}_{jk})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาลดรูปเมื่อกำหนดตัวแปรตำแหน่งให้เป็นค่า $\overline{Y}_{jk}$

X_{ijk} คือ ตัวแปรทวิภาคสำหรับการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้า i ในคาบเวลาที่ k

Y_{jk} คือ ตัวแปรทวิภาคเมื่อศูนย์กระจายสินค้า j เปิดในคาบเวลาที่ k

$\overline{Y}_{jk}$ คือ เซตของตัวแปรทวิภาค Y_{jk} ทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างลูกค้า i กับตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้า j

w_{ik} คือ ความต้องการของลูกค้า i ในคาบเวลาที่ k

s_{jk} คือ ปริมาณสูงสุดในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้า j ในคาบเวลาที่ k

c คือ ต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง • ความต้องการ

I คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดโดยที่ $i \in I$, $i = 1,2,...,n$

J คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมดที่สามารถให้บริการได้โดยที่ $j \in J$, $j = 1,2,...,m$

T คือ เซตของคาบเวลาย่อยในระยะเวลาการวางแผนโดยที่ $k \in T$, $k = 1,2,...,p$

ซึ่งขั้นตอนการหาค่าตัวแปร $\overline{Y}_{jk}$ ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่พิจารณานั้นจะกระทำโดยเฟสตำแหน่งที่ตั้ง ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.4 คำตอบข้างเคียงและการประเมิน และเมื่อทำการหาค่าตัวแปรตำแหน่งที่ตั้งที่ดีที่สุดได้แล้วนั้น จะส่งต่อให้ส่วนปัญหาการจัดซึ่งจะดำเนินการแก้ปัญหาลดรูป $F(\overline{Y}_{jk})$ ต่อไป

4.1.3 กระบวนการเริ่มต้น (Initialization)

ในกระบวนการเริ่มต้นของวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอในงานวิจัยนี้นั้นได้พัฒนาและประยุกต์มาจากหลักการค้นหาคำตอบด้วยฟังก์ชันกรีดดีที่มีชื่อว่า กระบวนการค้นหาแบบปรับตัวโดยสุ่มกรีดดี (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures หรือ GRASP) ซึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Feo and Resende (1995) โดยต่อมา Delmaire et al. (1999) และ Contrevas and Diaz (2007) ได้นำเสนองานวิจัยสำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งซึ่งอยู่บนพื้นฐานของกระบวนการ GRASP ขึ้น ซึ่งวิธีนี้มีข้อดี คือ เป็นขั้นตอนวิธีที่ไม่มีความซับซ้อนมากนักจึงใช้เวลาในการหาคำตอบน้อย ขณะเดียวกันยังคงให้คุณภาพของคำตอบอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้และเหมาะสมกว่าวิธีกรีดดีธรรมดาเนื่องจากมีการเพิ่มกระบวนการสุ่มเลือกเข้าไปทำให้คำตอบที่ได้รับมีความหลากหลายมากกว่าวิธีกรีดดีปกติ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับเป็นกระบวนการในการหาคำตอบตั้งต้นของปัญหาขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีที่พัฒนา

ในขั้นตอนของกระบวนการเริ่มต้นนั้นจะพิจารณาปัญหาโดยตั้งสมมติฐานว่าตลอดระยะเวลาของการวางแผนทั้งหมด (planning horizon) จะมีคาบเวลาย่อยสำหรับการตัดสินใจเพียงคาบเวลาเดียวเท่านั้น หรือ $T = \{k \mid k = 1\}$ เมื่อ T คือเซตของคาบเวลาย่อยทั้งหมดตลอดระยะเวลาการวางแผน ดังนั้นช่วงเวลาของคาบเวลาย่อยเมื่อ k = 1 จะมีค่าเท่ากับระยะเวลาการวางแผนทั้งหมด (P) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นฟังก์ชันความต้องการยังคงเป็นฟังก์ชันของเวลาเช่นเดิม เพียงแต่พิจารณาว่ามีคาบเวลาย่อยเพียงคาบเดียวเท่านั้น ซึ่งทำให้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบหลาย

คาบเวลาเปลี่ยนเป็นปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบคาบเวลาเดียวซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาได้ง่ายกว่าและใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยลงมาก โดยขั้นตอนของเฟสเริ่มต้นนี้มีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : สร้างเซตทั้งหมดของกระบวนการเริ่มต้น

O : เซตของศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดบริการโดยเริ่มจาก $O := \phi$

C : เซตของศูนย์กระจายสินค้าที่ยังไม่เปิดให้บริการโดยเริ่มจาก $C := \{\forall j\}$ เมื่อ j คือหมายเลขของศูนย์กระจายสินค้า

A_j : เซตของลูกค้าทั้งหมดที่สามารถรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j ได้โดยเริ่มจาก $A_j := \phi, \forall j$

U : เซตของลูกค้าที่ยังไม่ได้รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าใดเลยโดยเริ่มจาก $U := \{\forall i\}$ เมื่อ i คือหมายเลขของลูกค้า

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการคำนวณค่าต้นทุนการขนส่ง h_{ij} ของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าในเซต C ไปยังลูกค้าแต่ละรายที่ยังไม่ได้รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าใดเลยในเซต U หลังจากนั้นทำการเรียงลำดับค่า h_{ij} ภายในแต่ละศูนย์กระจายสินค้าจากน้อยไปหามาก

ขั้นตอนที่ 3 : ทดสอบจัดลูกค้าในเซต U เพื่อเข้ารับบริการจากแต่ละศูนย์กระจายสินค้าในเซต C โดยพิจารณาจากค่าของ h_{ij} ที่ได้เรียงลำดับไว้แล้ว ซึ่งจะเลือกลูกค้าที่มีค่า h_{ij} น้อยที่สุดเข้ารับบริการก่อน และทำการเลือกต่อไปจนกระทั่งความจุของศูนย์กระจายสินค้าเต็มจนไม่สามารถรับได้ แล้วจึงบันทึกลูกค้าที่ศูนย์กระจายสินค้า j สามารถให้บริการได้ลงในเซต A_j จนกระทั่งครบทุกศูนย์กระจายสินค้าในเซต C และทำการคำนวณค่าของฟังก์ชันกรีดดี φ_j ของแต่ละศูนย์กระจายสินค้า

ขั้นตอนที่ 4 : ถ้าค่าของฟังก์ชันกรีดดี φ_j ของศูนย์กระจายสินค้าใดในเซต C อยู่ระหว่างค่าขอบเขตล่างและค่าขอบเขตบนของวงรอบนั้น ให้ทำการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้านั้นลงในเซตรายชื่อคู่แข่งที่จำกัด (*Restricted Candidate List* หรือ RCL) โดยเมื่อทำการตรวจสอบค่าของฟังก์ชันกรีดดีจนครบทุกแห่งแล้วให้ทำการสุ่มเลือกศูนย์กระจายสินค้ามาหนึ่งแห่งจากเซต RCL เพื่อเปิดให้บริการ และทำการอัพเดทเซต U โดยเซต RCL สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$RCL = \{j \mid \varphi_{\min} \le \varphi_j \le \beta\varphi_{\max}\} \qquad (4.6)$$

เมื่อ $\beta\varphi_{\max}$ คือ ขอบเขตบนของเซต RCL

ขั้นตอนที่ 5 : ถ้ายังมีลูกค้าที่ยังไม่ได้รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าใดเลย เหลืออยู่ในเซต U ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าลูกค้าทุกรายได้รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าใด ๆแล้วให้ทำการหยุด

โดยการคำนวณหาต้นทุนค่าขนส่ง h_{ij} ซึ่งจะต้องคำนวณในขั้นตอนที่ 2 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$h_{ij} = c * d_{ij} * \int_{t=0}^{P} w_i(t)d(t) \qquad (4.7)$$

เมื่อ h_{ij} คือ ต้นทุนค่าขนส่งระหว่างลูกค้า i กับศูนย์กระจายสินค้า j

ในขั้นตอนที่ 3 จะต้องทำการคำนวณหาค่าของฟังก์ชันกรีดดีของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าที่ยังไม่ได้เปิดให้บริการในเซต C ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\varphi_j = \frac{f_j + (P * a_j) + \sum_{i \in A_{jl}} h_{ij}}{|A_{jl}|} \qquad (4.8)$$

ซึ่งค่าของฟังก์ชันกรีดดีหมายถึงต้นทุนรวมทั้งหมดเฉลี่ยต่อลูกค้าหนึ่งรายของศูนย์กระจายสินค้า j หากในวงรอบนั้นเลือกศูนย์กระจายสินค้า j เพื่อเปิดให้บริการซึ่งต้นทุนนี้ประกอบไปด้วยต้นทุนคงที่ ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และต้นทุนค่าขนส่ง ซึ่งจะใช้ค่าของฟังก์ชันกรีดดีนี้เป็นเกณฑ์ในการเลือกศูนย์กระจายสินค้าเพื่อเพิ่มเข้าไปในเซต RCL

4.1.4 คำตอบข้างเคียงและการประเมิน (Neighborhood and Evaluation)

หลักการที่สำคัญของวิธีการค้นหาแบบทาบูและเทคนิคการหาคำตอบอื่น ๆซึ่งมีพื้นฐานมาจากวิธีการค้นหาเฉพาะที่ คือ การพัฒนาคำตอบโดยการเคลื่อนคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันไปยังคำตอบข้างเคียงอีกคำตอบหนึ่งซึ่งเป็นคำตอบที่ดีกว่า หรือในทางทฤษฎีเรียกว่า กระบวนการไต่เขา (Hill Climbing) สำหรับการเลือกว่าจะเคลื่อนคำตอบจากจุดปัจจุบันไปยังคำตอบใดนั้น จะมีการประเมินคำตอบข้างเคียง (neighborhood evaluation) ว่าควรจะเลือกเคลื่อนคำตอบไปยังจุดใดที่มีการพัฒนาคุณภาพของคำตอบดีที่สุด และทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งสิ้นสุดขั้นตอนวิธี เปรียบเสมือนการไต่เขาไปจนถึงจุดยอดของภูเขานั่นเอง โดยคำตอบข้างเคียงของการค้นหาแบบทาบูในงานวิจัยฉบับนี้นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 เฟส คือ

4.1.4.1 คำตอบข้างเคียงตำแหน่งที่ตั้ง (Location Neighborhood)

สำหรับเฟสตำแหน่งที่ตั้งจะใช้วิธีการเคลื่อนคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดปัจจุบันไปยังคำตอบข้างเคียงโดยแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ การเคลื่อนโดยการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้า (add move) การเคลื่อนโดยการลดศูนย์กระจายสินค้า (drop move) และการเคลื่อนโดย

การสับเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้า (swap move) ซึ่งในการประเมินคำตอบข้างเคียงของการเคลื่อนคำตอบทั้งสามชนิดว่าควรจะเคลื่อนคำตอบไปยังคำตอบข้างเคียงใดนั้น จะใช้วิธีการประมาณตามหลักของ Jacobsen (1983) แทนการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการประเมินคำตอบข้างเคียงสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ โดยขั้นตอนการเคลื่อนคำตอบไปยังคำตอบข้างเคียงของเฟสตำแหน่งที่ตั้งสามารถอธิบายได้ดังนี้

Location neighborhood

Let S is the current solution

Let obj_S is the objective function value of the current solution

Let $S_{neighbor}$ is the best neighborhood of current solution and set $S_{neighbor} := S$

Let $obj_{S_{neighbor}}$ is the objective function value of the best neighborhood and set $obj_{S_{neighbor}} := obj_S$

while stopping criteria is not met **do**

Randomly select a period to be changed

Generate the neighborhood $N(S)$ of S according to the type of move

Evaluate the neighborhood $N(S)$ and calculate objective function value $obj_{N(S)}$

if $obj_{N(S)}$ is better than $obj_{S_{neighbor}}$

$S_{neighbor} := N(S)$

$obj_{S_{neighbor}} := obj_{N(S)}$

end

end

Update current solution S, $S := S_{neighbor}$ and new objective function $obj_S := obj_{S_{neighbor}}$

การเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่มรวมทั้งการลดศูนย์กระจายสินค้านั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญในการเคลื่อนคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดปัจจุบันไปยังคำตอบข้างเคียงที่ดีกว่า โดยหากเปรียบเทียบกับการเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยน (swap move) แล้วจะพบว่าการเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่ม-ลด จะให้อัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพคำตอบมากกว่าการเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนซึ่งคุณภาพคำตอบจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่ม-ลดเป็นวิธีการหลักในการพัฒนาคำตอบและใช้วิธีการเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนเพื่อทำการค้นหาละเอียดและปรับปรุงคำตอบที่ดีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น และสำหรับการอธิบายวิธีการเคลื่อนคำตอบทั้ง 3 วิธีของเฟสตำแหน่งที่ตั้ง และการประเมินคำตอบข้างเคียงนั้น เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายและการเข้าใจจะทำการกำหนดสัญกรณ์ (notation) เพื่อใช้ในการอธิบายดังนี้

S คือ คำตอบปัจจุบัน ซึ่งประกอบไปด้วย $S = \{J_{open,1}, J_{open,2}, ..., J_{open,k}\}$

$J_{open,k}$ คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการในคาบเวลาที่ k เมื่อคำตอบปัจจุบันคือ S

$J_{close,k}$ คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้าที่ปิดให้บริการในคาบเวลาที่ k เมื่อคำตอบปัจจุบันคือ S

I คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดโดยที่ $i \in I$, $i = 1,2,...,n$

I_{jk} คือ เซตของลูกค้าซึ่งรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j ในคาบเวลาที่ k เมื่อคำตอบปัจจุบันคือ S

1) การเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้า (Add Move)

การสร้างคำตอบข้างเคียงของการเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้านั้น จะเริ่มโดยทำการสุ่มคาบเวลา k ใด ๆขึ้นมาและแทนคาบเวลาที่สุ่มได้เป็น r ซึ่งคาบเวลาสุ่มนี้จะเป็นคาบเวลาแรกที่ศูนย์กระจายสินค้า j' ซึ่ง $j' \in J_{close,k}$ เปิดให้บริการเพิ่มเติมและจะเปิดให้บริการไปจนสิ้นสุดระยะเวลาการวางแผนตามนโยบายการห้ามย้ายและปิดศูนย์กระจายสินค้าตามเงื่อนไขบังคับ (3.10) และสามารถแทนคำตอบข้างเคียง $N(S)_{add}$ ได้ดังนี้

$$N(S)_{add} = \{J'_{open,k} \mid (J'_{open,k} = J_{open,k}, k < r) \vee (J'_{open,k} = J_{open,k} \cup \{j'\}, k \geq r)\} \quad (4.9)$$

เมื่อ j' คือ ศูนย์กระจายสินค้าใด ๆในเซต $J_{close,k}$ ที่ถูกเลือกให้เปิดบริการเพิ่ม

r คือ คาบเวลาแรกซึ่งศูนย์กระจายสินค้า j' เปิดให้บริการ

ในการประเมินแต่ละคำตอบข้างเคียงนั้นจะใช้การประมาณของ Jacobsen ซึ่งจะประมาณคำตอบข้างเคียงโดยใช้ต้นทุนรวมที่เปลี่ยนแปลงไปจากปัจจุบัน แทนการหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งจะต้องแก้ปัญหาการจัดทั่วไปดังเช่นปัญหาลดรูป $F(\bar{Y}_{jk})$ โดยหากปัญหามีขนาดใหญ่การประเมินเซตข้างเคียงจะใช้เวลานานมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การประมาณคำตอบข้างเคียงแทนการหาคำตอบที่ดีที่สุด และเนื่องจากปัญหาที่พิจารณาเป็นปัญหาที่มีหลายคาบเวลาจึงต้องทำการประมาณต้นทุนรวมที่เปลี่ยนไป ΔZ_k ทีละคาบเวลา ซึ่งหลักการของการประมาณของ Jacobsen นั้นจะทำการย้ายลูกค้าบางบัพ $i \in I$ ซึ่งปัจจุบันรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j ใด ๆในเซต $J_{open,k}$ ไปยังศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ j' ถ้าต้นทุนค่าขนส่งของลูกค้า i กับศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ซึ่งแทนด้วย $h_{ij'k}$ น้อยกว่าต้นทุนค่าขนส่งปัจจุบันของลูกค้า i ซึ่งแทนด้วย h_{ik} โดยฟังก์ชันการประมาณคำตอบข้างเคียง $N(S)_{add}$ เป็นดังนี้

$$Minimize \quad \Delta Z_k = f_{j'} + \sum_{i \in I} (h_{ij'k} - h_{ik}) x_{ij'} \quad (4.10)$$

$$\textit{subject to;} \qquad \sum_{i=1}^{n} w_{ik} x_{ij'} \quad \leq \quad s_{j'k} \qquad (4.11)$$

เมื่อ $x_{ij'}$ คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อทำการย้ายลูกค้า i ไปยังศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ j'

$f_{j'}$ คือ ต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กระจายสินค้า j'

w_{ik} คือ ความต้องการของลูกค้า i ในคาบเวลาที่ k

$s_{j'k}$ คือ ปริมาณสูงสุดในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้า j' ในคาบเวลาที่ k

เงื่อนไขบังคับ (4.11) เพื่อกำหนดให้ความต้องการรวมทั้งหมดของลูกค้าที่ย้ายเข้ามารับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่ j' จะต้องไม่เกินความสามารถสูงสุดที่ให้บริการได้ และเมื่อทำการคำนวณค่า ΔZ_k จนครบทุกคาบเวลาแล้วจะทำการรวมต้นทุนรวมทั้งหมดที่เปลี่ยนไปโดย $\Delta Z = \sum_{k=1}^{p} \Delta Z_k$ ซึ่งหากมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าคำตอบข้างเคียงนี้ดีกว่าคำตอบปัจจุบัน

2) การเคลื่อนคำตอบโดยการลดศูนย์กระจายสินค้า (Drop Move)

การเคลื่อนคำตอบโดยการลดศูนย์กระจายสินค้านั้นมีลักษณะเช่นเดียวกับการเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้า แต่แตกต่างกันที่การเพิ่มศูนย์กระจายสินค้าจากคำตอบปัจจุบันที่เป็นไปได้ (feasible solution) สามารถกระทำได้ทันทีเพราะเป็นการเพิ่มความสามารถในการให้บริการรวมของศูนย์กระจายสินค้าทำให้คำตอบข้างเคียงจากการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้านั้นเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible) เสมอ แต่ในการลดศูนย์กระจายสินค้านั้นหากความสามารถของศูนย์กระจายสินค้า j' ที่ปิดไปซึ่ง $j' \in J_{open,k}$ ทำให้ความสามารถรวมในการให้บริการของทุกศูนย์กระจายสินค้ามีน้อยกว่าความต้องการรวมทั้งหมดของลูกค้าจะทำให้คำตอบข้างเคียงนั้นกลายเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (infeasible) ดังนั้นในขั้นตอนการสร้างคำตอบข้างเคียงซึ่งกระทำในลักษณะเดียวกับการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้า จะต้องมีการตรวจสอบความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าที่เหลืออยู่กับความต้องการรวมของลูกค้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับด้านความสามารถในการให้บริการ (เงื่อนไขบังคับ 3.11) แล้วใช้ฟังก์ชันค่าปรับและสร้างศูนย์กระจายสินค้าเทียม (dummy facility) ขึ้นมาโดยหากความสามารถรวมสูงสุดในการให้บริการของทุกศูนย์กระจายสินค้ามีไม่เพียงพอ ลูกค้าจะรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าเทียมนี้ โดยคิดเป็นค่าปรับของการละเมิดแทนโดยฟังก์ชันสามารถแสดงได้ดังนี้

$$p \quad = \quad \sum_{k=1}^{p} \sum_{i=1}^{n} \rho w_{ik} X_{ijk} \qquad ;\ j = \text{dummy facility} \qquad (4.12)$$

และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3.8) ในบทที่ 3 กลายเป็น

$$Minimize \quad F = \sum_{j=1}^{m} f_j Y_j + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m} a_j Y_{jk} + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c * w_{ik}\left(d_{ij} * X_{ijk}\right) + p \quad (4.13)$$

เมื่อ X_{ijk} คือ ตัวแปรทวิภาคซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อลูกค้า i รับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j ในคาบเวลาที่ k

ρ คือ ค่าปรับต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าเทียมไปยังลูกค้า i

ในการสร้างคำตอบข้างเคียงของการลดศูนย์กระจายสินค้านั้นจะทำการสุ่มคาบเวลา k ใด ๆขึ้นมาและแทนคาบเวลาที่สุ่มได้ด้วย r หลังจากนั้นทำการเลือกศูนย์กระจายสินค้า j' ที่เปิดอยู่ในเซต $J_{open,k}$ เมื่อ $k = r$ เพื่อปิดตัวลงตั้งแต่คาบเวลานั้นจนสิ้นสุดระยะเวลาการวางแผน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นศูนย์กระจายสินค้า j' ที่เลือกนั้นจะถูกปิดได้ก็ต่อเมื่อในคาบเวลา $k < r$ นั้นต้องไม่มีศูนย์กระจายสินค้านี้เปิดให้บริการอยู่ก่อนเท่านั้น ในการประเมินคำตอบข้างเคียงที่สร้างนี้จะประเมินทีละคาบเวลาเช่นเดียวกับวิธีแรก โดยจะทำการย้ายลูกค้า i ในเซต $I_{j'k}$ ซึ่งปัจจุบันรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าที่กำลังจะปิด j' ไปยังศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดอยู่และมีความสามารถในการให้บริการเหลืออยู่ $s_{jk_available} \geq 0$ เมื่อ $j \in J_{open,k} - \{j'\}$ โดยจะทำการย้ายลูกค้าเหล่านี้ไปยังศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดอยู่ที่มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด โดยการเลือกว่าลูกค้าที่ถูกย้ายจะไปอยู่กับศูนย์กระจายสินค้าใดนั้นจะหาได้จากฟังก์ชันต่อไปนี้

$$Minimize \quad \Delta Z_k = \sum_{I \in I_{j'k}} \sum_{j \in J_{open,k} - \{j'\}} \left(h_{ijk} - h_{ij'k}\right) x_{ij} - f_{j'} + p \quad (4.14)$$

$$subject\ to; \quad \sum_{j \in J_{open,k} - \{j'\}} x_{ij} = 1 \quad ; \forall i \in I_{j'k} \quad (4.15)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_{ik} x_{ij} \leq s_{jk_available} \quad ; \forall j \in J_{open,k} - \{j'\} \quad (4.16)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (4.14) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เป็นการประเมินต้นทุนรวมที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการย้ายคำตอบไปยังคำตอบข้างเคียงสำหรับคาบเวลาที่ k โดยมีการรวมค่าปรับในกรณีละเมิดเงื่อนไขบังคับด้านความสามารถสูงสุดรวมในการให้บริการหากมีลูกค้าบางรายต้องรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าเทียมไว้ด้วย

3) การเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้า (Swap Move)

ในการเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนนั้น จำนวนของศูนย์กระจายสินค้าในคาบเวลานั้น ๆจะมีค่าเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลงแต่จะมีการสลับสถานะระหว่างศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการซึ่งอยู่ในเซต $J_{open,k}$ กับศูนย์กระจายสินค้าที่ปิดอยู่ซึ่งอยู่ในเซต $J_{close,k}$ ซึ่งแท้จริงแล้วการสับเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้า (swap move) คือ การที่มีการเพิ่มและลดศูนย์กระจายสินค้าในเวลาเดียวกันนั่นเอง ดังนั้นสำหรับการสร้างคำตอบข้างเคียงโดยการสับเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้ารวมทั้งการประเมินคำตอบข้างเคียงนั้น สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการของการเคลื่อนคำตอบโดยการเพิ่มและการลดศูนย์กระจายสินค้ารวมกัน และเพื่อหลีกเลี่ยงคำตอบข้างเคียงที่เป็นไปไม่ได้ (infeasible) จะต้องทำการเพิ่มศูนย์กระจายสินค้าก่อนและหลังจากนั้นจึงทำการลดศูนย์กระจายสินค้าตามมา

4.1.4.2 คำตอบข้างเคียงของเฟสการจัด (assignment phase neighborhood)

เฟสการจัดเป็นการแก้ปัญหาลดรูป $F(\overline{Y}_{jk})$ เมื่อทราบค่าเซตคำตอบของตัวแปรตำแหน่งทวิภาค $\overline{Y}_{jk}$ แล้วว่าศูนย์กระจายสินค้าแห่งใดเปิดให้บริการบ้างและเปิดให้บริการ ณ เวลาใดในระยะเวลาการวางแผน ซึ่งเฟสการจัดมีจุดประสงค์เพื่อมอบหมาย (assign) ลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการโดยใช้ต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งการเคลื่อนคำตอบของเฟสนี้จะใช้วิธีการเคลื่อนคำตอบ 2 วิธี คือ การสับเปลี่ยน (swap move) และการย้าย (shift move) ซึ่งวิธีการเคลื่อนคำตอบทั้งสองชนิดเป็นดังนี้

1) การเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนลูกค้า (Swap move)

การเคลื่อนคำตอบโดยการสับเปลี่ยนลูกค้านั้น จะทำการเลือกลูกค้าที่จะทำการสลับขึ้นมา 2 บัพ ซึ่งปัจจุบันรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าที่แตกต่างกัน มาสลับศูนย์กระจายสินค้าที่รับผิดชอบกัน โดยในการสลับนั้นจะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าหลังสลับลูกค้ากันแล้วด้วย เพื่อไม่ให้ความต้องการรวมของลูกค้าของศูนย์กระจายสินค้านั้นเกินความสามารถสูงสุดในการให้บริการ ซึ่งจะทำให้คำตอบข้างเคียงนั้นเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้

2) การเคลื่อนคำตอบโดยการย้ายลูกค้า (Shift move)

การเคลื่อนคำตอบวิธีนี้เป็นการย้ายลูกค้า 1 รายจากศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งไปยังอีกศูนย์กระจายสินค้าหนึ่ง หรือการเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้าที่รับผิดชอบของลูกค้าที่เลือกนั่นเอง โดยการย้ายไปยังศูนย์กระจายสินค้าแห่งใหม่นั้น ความต้องการของลูกค้าที่ย้ายไปเมื่อนำไปรวมกับความต้องการรวมเดิมนั้นจะต้องไม่เกินความสามารถสูงสุดในการให้บริการของศูนย์กระจายสินค้าใหม่ที่ย้ายไปเพื่อป้องกันการเกิดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้

4.1.4 รายการข้อห้ามและระยะเวลาต้องห้าม (Tabu List and Tabu Tenure)

ข้อดีประการหนึ่งของการค้นหาแบบทาบูเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่ คือ การค้นหาแบบทาบูได้สร้างวิธีการป้องกันการวนกลับมาสู่จุดเดิม (cycling) ของการเคลื่อนคำตอบโดยการสร้างรายการข้อห้าม (tabu list) ซึ่งจะบันทึกคำตอบที่ผ่านมาแล้วไว้ตามระยะเวลาต้องห้ามที่กำหนด (tabu tenure) โดยคำตอบเหล่านี้ถ้าอยู่ในสถานะทาบู (tabu active) การเคลื่อนคำตอบจากคำตอบปัจจุบันมายังคำตอบนี้จะถูกห้ามไว้ ซึ่งในส่วนต่อไปจะเรียกกระบวนการหาคำตอบหลักนี้ว่า short-term tabu search โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดระยะเวลาต้องห้ามเป็นค่าคงที่จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งรายการข้อห้ามนั้นจะแบ่งเป็น 2 รายการ คือ

1) รายการข้อห้ามของส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง (add drop และ swap) ซึ่งกำหนดว่าถ้าศูนย์กระจายสินค้าใดถูกเปิด ปิด หรือสับเปลี่ยนศูนย์กระจายสินค้านั้นจะต้องทำการคงสถานะเดิมไว้เป็นจำนวนเท่ากับระยะเวลาต้องห้าม
2) รายการข้อห้ามของส่วนปัญหาการจัด (swap และ shift) ซึ่งกำหนดว่าถ้าลูกค้ารายใดถูกสับเปลี่ยน หรือถูกย้าย ไปยังศูนย์กระจายสินค้าใดลูกค้าจะต้องคงสถานะอยู่กับศูนย์กระจายสินค้านั้นเป็นระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาต้องห้าม

4.1.5 เกณฑ์การดูดออก (Aspiration Criteria)

ในการเคลื่อนคำตอบบางวงรอบนั้นจะพบว่าคำตอบข้างเคียงที่พัฒนาจากคำตอบปัจจุบันอาจจะมีสถานะถูกห้ามทำให้ไม่สามารถเคลื่อนคำตอบไปยังคำตอบข้างเคียงดังกล่าวได้ ซึ่งทำให้การค้นหาไม่สามารถที่จะพัฒนาคำตอบต่อไปได้จึงมีการกำหนดเกณฑ์การดูดออก เพื่อเป็นการละเว้นรายการข้อห้ามของคำตอบข้างเคียงนี้ในกรณีที่คำตอบข้างเคียงทั้งหมดที่ไม่ติดสถานะต้องห้าม มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าคำตอบปัจจุบัน (สำหรับปัญหาการหาค่าต่ำที่สุด) โดยจะทำการเคลื่อนคำตอบไปยังคำตอบข้างเคียงที่มีสถานะถูกห้ามแต่เป็นคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันแทน

4.1.6 การหาคำตอบโดยเพิ่มความหลากหลาย (Diversification)

ในบางกรณีนั้นการค้นหาแบบทาบูโดยใช้เฉพาะหน่วยความจำระยะสั้น (short-term memory) หรือการใช้รายการข้อห้ามเพียงอย่างเดียวนั้น อาจจะทำให้การค้นหาคำตอบจำกัดอยู่เฉพาะในบริเวณใดบริเวณหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่ใช่บริเวณที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดครอบคลุม (global optima) ของปัญหา ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบจึงต้องทำการค้นหา

คำตอบในหลากหลายบริเวณมากขึ้น โดยการสร้างหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ขึ้นซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้หน่วยความจำความถี่ (frequency memory) ในการบันทึกจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงสถานะของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง โดยหากศูนย์กระจายสินค้ามีการเปลี่ยนสถานะจากการเปิดเป็นปิด หรือจากปิดเป็นเปิด ระหว่างกระบวนการเคลื่อนคำตอบจากคำตอบหนึ่งไปยังอีกคำตอบหนึ่ง หน่วยความจำความถี่จะทำการนับจำนวนครั้งที่มีการเปลี่ยนสถานะเหล่านี้ไว้ ซึ่งหากศูนย์กระจายสินค้าแห่งใดมีจำนวนครั้งที่มีการเปลี่ยนสถานะหรือมีความถี่น้อย แสดงว่าคำตอบในบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่สมควรจะทำการค้นหาเพิ่มเติม ซึ่งตารางต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการคำนวณดัชนีความสำคัญ เมื่อปัญหาประกอบด้วยศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 6 แห่ง

ตารางที่ 4.1 ดัชนีความสำคัญของเฟสการเพิ่มความหลากหลาย

หมายเลขของศูนย์กระจายสินค้า	ความถี่ของการเปลี่ยนสถานะ	อัตราส่วนของความถี่ต่อความถี่ทั้งหมด	ดัชนีความสำคัญ (Priority index)
1	23	0.201	4
2	10	0.087	2
3	15	0.130	3
4	3	0.026	1
5	35	0.304	6
6	29	0.252	5

โดยความถี่ในหน่วยความจำนี้นั้นจะถูกนำไปใช้สร้างเป็นดัชนีความสำคัญ (priority index) สำหรับแต่ละศูนย์กระจายสินค้าเพื่อการสร้างคำตอบเริ่มต้นของ Diversification phase ซึ่งเรียกเทคนิคนี้เรียกว่า restart diversification หรือการเพิ่มความหลากหลายของการค้นหาโดยการเริ่มใหม่ ซึ่งจะใช้ดัชนีความสำคัญเป็นเกณฑ์ในการเลือกศูนย์กระจายสินค้าของเฟสนี้และใช้ขั้นตอนวิธีกรีดดีในการสร้างคำตอบเริ่มต้นทีละคาบเวลาโดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขบังคับเรื่องความสามารถของศูนย์กระจายสินค้า (capacity) และเงื่อนไขบังคับเรื่องศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการแล้วไม่สามารถที่จะปิดหรือย้ายตำแหน่งได้ ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆของเฟสนี้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

Diversification phase

while stopping criteria is not met **do**

Apply short-term tabu search

Record frequency of status changes of each facility

Record the best found solution so far, s_{best}

end

for k = 1 **to** the number of all periods

Let I is a set of unassigned customers

Let J is a set of all candidate facilities

for j =1 **to** m **and** $j \in J$

Calculate the priority index of facility j

end

while $I \neq \phi$ **do**

Choose the lowest priority index facility from J

Calculate transportation costs between all customers and selected facility

Sort all transportation costs in ascending order

Assign unassigned customer in I to the selected facility by sorted transportation cost with subject to capacity constraints and no relocation policy

Delete assigned customers from set I

Delete opened facility j from set J

end

end

Clear all short-term memories

while stopping criteria is not met **do**

Apply short-term tabu search

Record the best found solution of diversification phase, $s_{best_diversification}$

end

if $s_{best_diversification}$ is better than s_{best}

$s_{best} := s_{best_diversification}$

end

4.1.7 การหยุดค้นหาคำตอบ (Termination)

ในการค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบูในงานวิจัยฉบับนี้นั้นจะใช้เกณฑ์การหยุด (stopping criteria) เป็นจำนวนวงรอบ (iteration) ติดต่อกันสูงสุดที่คำตอบไม่มีการปรับปรุง และเนื่องจากขั้นตอนวิธีในงานวิจัยนี้นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองเฟส คือ เฟสตำแหน่งที่ตั้ง (location phase) และเฟสการจัด (assignment phase) ซึ่งจะใช้เกณฑ์การหยุดนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กับทั้งสองเฟส โดยแต่ละเฟสจะทำการค้นหาคำตอบจนกระทั่งจำนวนวงรอบติดต่อกันสูงสุดที่คำตอบไม่มีการปรับปรุงของเฟสนั้นเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ในแต่ละเฟสซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน และการค้นหาคำตอบนั้นจะกระทำทีละเฟสจนกระทั่งเสร็จสิ้นทั้งหมดก่อนถึงจะไปทำในเฟสต่อไปได้

4.2 ฮิวริสติกเปรียบเทียบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการฮิวริสติกที่ได้พัฒนาในหัวข้อ 4.1 นั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบซึ่งโดยทั่วไปจะใช้คุณภาพของคำตอบเป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ต้นทุนรวมทั้งหมดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จำนวนคำตอบที่ดีที่สุดทั้งหมด หรือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบกับคำตอบที่ดีที่สุด เป็นต้น ในบางกรณีอาจเพิ่มตัวชี้วัดด้านเวลาในการคำนวณเข้าไปเพื่อทดสอบความสามารถในการหาคำตอบเมื่อขนาดของปัญหามีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สองตัวชี้วัดหลักนี้สำหรับการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น อย่างไรก็ดีการวัดสมรรถนะต้องมีการกำหนดว่าตัวชี้วัดที่ใช้นั้นทำการเปรียบเทียบกับสิ่งใด โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเพื่อชี้วัดสมรรถนะโดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ 2 ประเภท คือ

1) ทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของปัญหา OR-library
2) ทำการเปรียบเทียบตัวชี้วัดต่าง ๆ ระหว่างฮิวริสติกที่พัฒนากับฮิวริสติกเปรียบเทียบ

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และการวิเคราะห์และกำหนดปัญหาในบทที่ในบทที่ 3 นั้น พบว่างานวิจัยที่เหมาะสมสำหรับเป็นงานวิจัยเปรียบเทียบ คือ งานวิจัยของ Ting et al. (2003) ซึ่งได้เสนองานวิจัยเรื่อง การใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต (On the Use of Genetic Algorithms to Solve the Dynamic Location Problem) โดย Ting, Chen and Hong ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัตโดยกำหนดให้ศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งไม่มีข้อจำกัดด้านขนาด (uncapacitated) โดยในงานวิจัยของคณะวิจัยนี้จะกำหนดให้จำนวนสูงสุดของศูนย์กระจายสินค้าที่จะสร้าง คือ P แห่งและจะสามารถสร้างได้สูงสุดคาบเวลาละหนึ่งแห่งเท่านั้น ซึ่งเป็นการจำกัดลักษณะของคำตอบมากเกินไป แต่อย่างไรก็ดีสามารถนำขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม มาประยุกต์เข้ากับปัญหาที่พิจารณาเพื่อใช้เป็นฮิวริสติกเปรียบเทียบได้

4.2.1 ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีหลักการพื้นฐานมาจากกระบวนการทางชีววิทยาของการคัดสรรตามธรรมชาติตามทฤษฎีของ ชาร์ล ดาร์วิน โดยถูกเสนอครั้งแรกในงานวิจัยของ Holland (1975) ซึ่งใช้ทฤษฎีดังกล่าวอธิบายหลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนี้ว่า เป็นวิธีการหา

คำตอบที่กำหนดให้สิ่งมีชีวิต (individual) จะสามารถดำรงอยู่ได้จากรุ่นสู่รุ่นจะต้องมีความแข็งแรงที่จะอยู่รอด (survival of the fittest) และมีระบบการปรับตัว (self-adaptive systems) ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมอย่างเพียงพอในการเอาชีวิตรอด มิเช่นนั้นจะถูกกระบวนการคัดสรรตามธรรมชาติกำจัดสิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอออกไป (คำตอบที่คุณภาพไม่ดี) เหลือเพียงส่งมีชีวิตที่แข็งแรง (คำตอบที่คุณภาพดี) หลงเหลืออยู่เท่านั้น โดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากรุ่นสู่รุ่นจะใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม 2 ประเภท คือ การครอสโอเวอร์ (crossover) และการมิวเทชั่น (mutation) โดยในขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะกำหนดให้แต่สิ่งมีชีวิตหมายถึงแต่ละคำตอบของปัญหา และเซตของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะเรียกว่าประชากร (population) โดยจะแบ่งประชากรออกเป็นรุ่น (generation) ซึ่งแต่ละรุ่นจะหมายถึงแต่ละวงรอบของการหาคำตอบของขั้นตอนวิธี และในแต่ละรุ่นจะมีการเลือกสิ่งมีชีวิตในประชากรเพื่อทำหน้าที่เป็นพ่อแม่ (parents) ในการให้กำเนิดบุตรในรุ่นถัดไป (offspring) ซึ่งจะผ่านตัวดำเนินการทางพันธุกรรมต่างๆ และจะกลายเป็นประชากรในรุ่นถัดไปแทนที่สิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอ (คุณภาพคำตอบไม่ดี) ในรุ่นเก่าซึ่งถูกกำจัดออกไป โดยสามารถสรุปกระบวนการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมได้ดังนี้

Genetic Algorithms (GA)

Generate an initial population containing pre-specified number of individuals
Evaluate fitness function of the initial population
while a stopping criteria is not met **do**
    Select parents from the population
    Apply crossover operation
    Apply mutation operation
    Evaluate fitness function of individuals in the population
    Replace some of the population by the offspring using selection operator
end

4.2.2 การแทนรหัสคำตอบ (Representation)

ขั้นตอนที่สำคัญและเป็นขั้นตอนแรกของการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาทางด้านการวิจัยการดำเนินงาน คือ การแทนรหัสคำตอบซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนลักษณะและรายละเอียดของคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปสายอักขระ (string) หรืออาจจะเรียกว่าโครโมโซม (chromosome) ก็ได้ โดยแต่ละสายอักขระหรือโครโมโซมจะหมายถึงแต่ละคำตอบของปัญหาที่พิจารณา ซึ่งอาจจะใช้ตัวเลขหรือตัวอักษรแทนลักษณะที่แตกต่างกันของสายอักขระก็ได้ แต่ในขั้นตอนการแทนรหัสคำตอบนั้น ถ้าลักษณะของปัญหาเป็นปัญหาที่มีเงื่อนไขบังคับกำหนดอยู่ รหัสคำตอบที่ได้จากปัญหา (สายอักขระ) อาจจะเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นเนื่องจากปัญหาที่พิจาณาในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาตำแหน่งที่ตั้งที่มีข้อจำกัดด้านขนาดของศูนย์กระจายสินค้า จึงต้องมีการนำหลักการการพิจารณาเงื่อนไขบังคับสำหรับปัญหาที่พิจารณาเข้า

มาใช้เพิ่มเติม โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้กลยุทธ์การปรับ (Penalizing strategy) ของ Michalevichz (1996) ซึ่งได้นำเสนอกระบวนการการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับของปัญหาความเหมาะสมที่สุดสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม โดยการเปลี่ยนขนาดของการละเมิดเงื่อนไขบังคับเป็นค่าปรับในฟังก์ชันวัตถุประสงค์แทนและสำหรับงานวิจัยนี้จะนำหลักการของ Michalevichz มาเพื่อใช้ในการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับ (relax) ด้านความสามารถสูงสุดของศูนย์กระจายสินค้า (3.11) ซึ่งคือ

$$\sum_{i=1}^{n} w_{ik} X_{ijk} \leq s_{jk} \qquad ;\forall j\ ,\ \forall k \tag{4.17}$$

ทำให้สมการวัตถุประสงค์ (3.8) จะสามารถเขียนได้ใหม่เป็นสมการวัตถุประสงค์ (4.18) ได้ดังนี้

$$F = \sum_{j=1}^{m} f_j Y_j + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m} a_j Y_{jk} + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} c * w_{ik}\left(d_{ij} * X_{ijk}\right) + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{m} \max\left\{0, \sum_{i=1}^{n} w_{ik} X_{ijk} - s_{jk}\right\} * \rho$$

เมื่อ ρ คือ ค่าปรับในกรณีที่ความต้องการของลูกค้าในศูนย์กระจายสินค้า j เกินขีดความสามารถสูงสุดในการให้บริการ s_{jk} ในคาบเวลา k

เมื่อทำการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับของปัญหาตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในส่วนต่อไปจะเป็นการแทนรหัสคำตอบของปัญหาในรูปของสายอักขระซึ่งภายในแต่ละสายอักขระจะบรรจุตัวเลขในหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า bit ซึ่งในที่นี้จะเป็นหมายเลขของศูนย์กระจายสินค้าหรือเป็นคาบเวลาที่เปิดให้บริการครั้งแรกดังแสดงในด้านล่าง โดยสายอักขระที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นการแทนรหัสคำตอบแบบ Non-binary string และประกอบด้วยสายอักขระ 2 ประเภท คือ

1) สายอักขระตำแหน่งที่ตั้ง (location string) ซึ่งแต่ละ bit ภายในสายอักขระนี้จะบรรจุหมายเลขของศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ (candidate facilities) ไว้ทั้งหมด โดยลำดับของเลขนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละสายอักขระโดยตัวเลขใน bit ที่อยู่ในสายอักขระเดียวกันจะไม่ซ้ำกัน และขนาดของสายอักขระหรือจำนวน bit จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยการแปลความหมายของสายอักขระตำแหน่งที่ตั้งนั้นจะต้องทำการเชื่อมโยงกับอีกสายอักขระหนึ่งคือสายอักขระเวลาโดยใช้ตำแหน่งในสายอักขระในการเชื่อมโยง
2) สายอักขระเวลา (time string) เป็นสายอักขระที่แสดงคาบเวลาแรกที่ศูนย์กระจายสินค้าซึ่งอยู่บน bit ตำแหน่งเดียวกันบนสายอักขระตำแหน่งที่ตั้งจะเปิดให้บริการ ซึ่งขนาดของสายอักขระเวลาจะมีจำนวนเท่ากับขนาดของสายอักขระตำแหน่งที่ตั้ง

ซึ่งสามารถแสดงในรูปแบบอักขระตัวแทนของคำตอบของปัญหาเมื่อจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 12 และระยะเวลาการวางแผนมี 3 คาบเวลาได้ดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Location string	2	10	8	4	1	7	9	3	12	6	11	5
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Time string	1	0	1	2	2	1	0	3	1	0	1	0

รูปที่ 4.3 สายอักขระของแต่ละรหัสคำตอบ

ในการอ่านรหัสคำตอบซึ่งประกอบด้วยสายอักขระ 2 สายข้างต้นนั้นจะเริ่มจากการอ่านตัวเลขบนสายอักขระเวลาก่อนซึ่งหมายถึงคาบเวลาแรกที่ศูนย์กระจายสินค้าในตำแหน่งเดียวกันบนสายอักขระตำแหน่งที่ตั้งเปิดให้บริการครั้งแรกและจะเปิดให้บริการไปจนสิ้นสุดระยะเวลาการวางแผน ตัวอย่างเช่น ในตำแหน่งที่ 1 ค่าที่อ่านได้จากสายอักขระเวลา คือ 1 และค่าที่อ่านได้จากสายอักขระตำแหน่งที่ตั้ง คือ 2 ซึ่งหมายถึงศูนย์กระจายสินค้าหมายเลข 2 จะเปิดให้บริการตั้งแต่คาบเวลาที่ 1 ไปจนถึงคาบเวลาสุดท้ายของระยะเวลาการวางแผนซึ่งคือคาบเวลาที่ 3 เป็นต้น โดยตัวเลขบนสายอักขระตำแหน่งที่ตั้งหมายถึง หมายเลขของศูนย์กระจายสินค้า และตัวเลขบนสายอักขระเวลาหมายถึง คาบเวลาแรกที่ศูนย์กระจายสินค้าเปิดให้บริการ โดยหากอ่านค่าได้ตัวเลข 0 หมายถึงศูนย์กระจายสินค้าในตำแหน่งนั้นจะไม่เปิดให้บริการในคาบเวลาใดเลย ซึ่งจากในรูปที่ 4.2 สามารถแปลรหัสคำตอบจากสายอักขระทั้งสองออกมาเป็นคำตอบของปัญหาได้ดังนี้ คือ

1) ศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการในคาบเวลาที่ 1 คือ 2-7-8-11-12
2) ศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการในคาบเวลาที่ 2 คือ 2-7-8-11-12 และ 1-4
3) ศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการในคาบเวลาที่ 3 คือ 2-7-8-11-12, 1-4 และ 3
4) ศูนย์กระจายสินค้าที่ไม่เปิดให้บริการตลอดระยะเวลาการวางแผน คือ 5-6-9-10

4.2.3 ประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

การสร้างประชากรเริ่มต้นเป็นกระบวนการในการสร้างรหัสคำตอบเริ่มต้นของปัญหา ซึ่งภายในบรรจุสายอักขระคำตอบไว้ ซึ่งโดยทั่วไปสายอักขระคำตอบและรหัสคำตอบมักจะ

เป็นตัวเดียวกัน แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้แต่ละรหัสคำตอบจะต้องประกอบไปด้วยสายอักขระตำแหน่งที่ตั้งและสายอักขระเวลาดังนั้นในการกล่าวถึงรหัสคำตอบหรือโครโมโซม จะหมายถึงสายอักขระทั้งสองสายซึ่งอยู่ภายในรหัสคำตอบเดียวกัน โดยในกระบวนการสร้างประชากรเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้น จะใช้วิธีการสุ่มสร้างแต่ละรหัสคำตอบจนกระทั่งมีจำนวนครบตามขนาดของประชากร (population size) ต่อรุ่นตามที่กำหนดไว้โดยขนาดของประชากรจะมีจำนวนเท่าใดนั้นมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งจากงานวิจัยของ Ting et al. (2003) ได้เสนอแนะขนาดของประชากรที่เหมาะสมว่ามีค่าประมาณ 30 รหัสคำตอบในแต่ละรุ่น

4.2.4 ฟังก์ชันความแข็งแรง (Fitness Function)

ในการประเมินรหัสคำตอบของประชากรในแต่ละรุ่นนั้น จะใช้ตัววัดที่เรียกว่า ค่าความแข็งแรง (fitness value) ซึ่งคำนวณมาจากฟังก์ชันความแข็งแรงตามสมการ (4.19) ซึ่งสัมพันธ์กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของรหัสคำตอบ โดยรหัสคำตอบใดที่มีค่าความแข็งแรงมากก็จะหมายถึงว่ารหัสคำตอบนั้นมีโอกาสสูงที่จะสืบทอดสายพันธุ์ (reproduce) เพื่อให้กำเนิดประชากรในรุ่นต่อไป หรือหากรหัสคำตอบใดที่มีค่าความแข็งแรงน้อยก็มีโอกาสที่จะถูกแทนที่ (replace) โดยรหัสคำตอบลูกที่ขึ้นเกิดใหม่ เพื่อกลายเป็นประชากรในรุ่นต่อไปแทน โดยฟังก์ชันความแข็งแรงสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$f_i = Z_{\max} - Z_i \qquad ;i = 1,2,....,N \qquad (4.19)$$

เมื่อ f_i คือ ค่าความแข็งแรงของรหัสคำตอบ i

$Z_{\max}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงสุดของประชากรในรุ่นนั้น ๆ

Z_i คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของรหัสคำตอบ i

N คือ ขนาดของประชากร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1 ว่า แม้ผู้ตัดสินใจจะทราบคำตอบว่าจะทำการสร้างศูนย์กระจายสินค้าใด ณ ขณะเวลาใดในช่วงระยะเวลาการวางแผน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือทราบ $\bar{Y}_{jk}$ แล้วก็ตาม แต่ในการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาการวางแผน (Z) ยังต้องทำการแก้ไขปัญหาลดรูป $F(\bar{Y}_{jk})$ เพิ่มเติมซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพียากและหากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่จะต้องใช้ระยะเวลาในการคำนวณค่าความแข็งแรงนานมาก เนื่องจากต้องทำการคำนวณทุกรหัสคำตอบของประชากรในทุก ๆรุ่น ดังนั้นจากสาเหตุข้างต้นจึงใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันวัตถุประสงค์แทนวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้ฟังก์ชัน Reactive GRASP ในการประมาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านระยะเวลาในการหาคำตอบให้ดีขึ้น

4.2.5 การคัดเลือกรหัสคำตอบ (Selection)

การคัดเลือกรหัสคำตอบสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ การให้กำเนิด (reproduction) ซึ่งเป็นการคัดเลือกพ่อแม่ (parents) หรือรหัสคำตอบในรุ่นในปัจจุบันเพื่อสร้างรหัสคำตอบลูกสำหรับประชากรในรุ่นต่อไป และการแทนที่ ซึ่งเป็นกระบวนการคัดเลือกรหัสคำตอบที่จะสามารถอยู่รอดเพื่อเป็นประชากรในรุ่นต่อไปได้ โดยรายละเอียดสำหรับการคัดเลือกแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

4.2.5.1 การคัดเลือกสำหรับการให้กำเนิด (Reproduction Selection)

การให้กำเนิด คือ กระบวนการในการสร้างรหัสคำตอบลูก หรือ offspring ซึ่งถูกสร้างมาจากรหัสคำตอบพ่อแม่ในประชากรคู่ (mating population) ซึ่งคัดเลือกมาจากประชากรในรุ่นปัจจุบัน โดยการคัดเลือกรหัสคำตอบเพื่อสร้างประชากรคู่สำหรับการให้กำเนิดรหัสคำตอบลูกในงานวิจัยนี้นั้นจะใช้การคัดเลือกแบบอัตราส่วน (proportional selection) สำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมซึ่งเป็นหลักการของ Holland โดยจะมีการคำนวณความน่าจะเป็นในการคัดเลือก (selection probability) p_i สำหรับทุกรหัสคำตอบในประชากร เพื่อเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกซึ่งเป็นกระบวนการ stochastic ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 วิธีที่นิยมสำหรับการคัดเลือกแบบอัตราส่วน คือ Roulette Wheel Selection และ Stochastic Universal Sampling Method (SUS) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี SUS ซึ่งเป็นกระบวนการคัดเลือกที่มีความแปรปรวนน้อยกว่าวิธี Roulette Wheel Selection เนื่องจากวิธี Roulette Wheel Selection นั้นอาจจะทำการเลือกรหัสคำตอบทั้งที่มีค่าความแข็งแรงมาก และค่าแข็งแรงน้อยปะปนกันด้วยโอกาสที่เท่ากัน แต่สำหรับวิธี SUS นั้นจะเลือกรหัสคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงสูงเป็นหลัก โดยความน่าจะเป็นในการคัดเลือก p_i สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{N} f_i} \qquad (4.20)$$

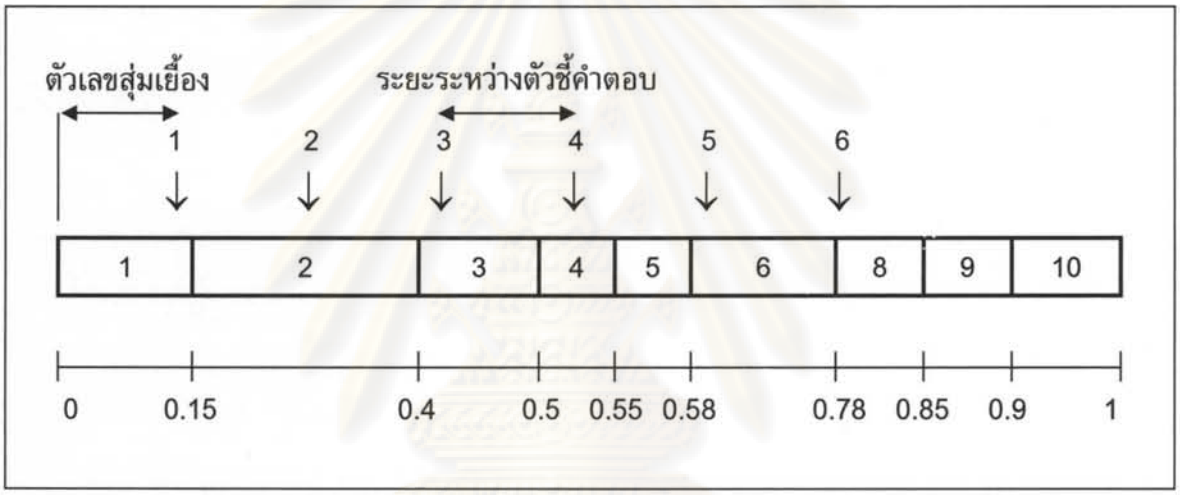
เมื่อ p_i คือ ความน่าจะเป็นในการคัดเลือกรหัสคำตอบ i
f_i คือ ค่าความแข็งแรงของรหัสคำตอบ i

วิธี SUS เป็นวิธีการเลือกคำตอบโดยการสร้างอนุกรมตัวชี้คำตอบ (pointer) ซึ่งมีจำนวนของตัวชี้คำตอบเท่ากับจำนวนของรหัสคำตอบพ่อแม่ในประชากรคู่ที่ต้องการ และระยะห่างระหว่างตัวชี้คำตอบจะมีระยะทางที่เท่ากัน ซึ่งในการเลือกรหัสคำตอบนั้นจะนำรหัสคำตอบทุกตัวในประชากรมาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงบนเส้นจำนวนซึ่งแกนบนเส้นจำนวนแสดงถึงความน่าจะเป็นสะสมของรหัสคำตอบ โดยความกว้าง (span) ของรหัสคำตอบจะสัมพันธ์โดยตรงกับความน่าจะเป็นของรหัสคำตอบนั้น โดยหากรหัสคำตอบใดมีความน่าจะเป็นในการคัดเลือกมาก รหัสคำตอบนั้นก็จะมีความกว้างของรหัสคำตอบบนเส้นตรงมาก ซึ่งหมายถึงมีโอกาสที่ตัวชี้

คำตอบจะมาตกอยู่ในช่วงของรหัสคำตอบนั้น ซึ่งตำแหน่งเริ่มต้นของอนุกรมตัวชี้คำตอบจะถูกกำหนดโดยตัวเลขสุ่มเยื้อง (random offset) ซึ่งเป็นตัวเลขสุ่มการกระจายแบบคงที่ในช่วง [0, ระยะระหว่างตัวชี้คำตอบ] ซึ่งจะอธิบายดังตัวอย่างต่อไปนี้เมื่อต้องการเลือกรหัสคำตอบจำนวน 6 รหัสคำตอบจากจำนวนประชากรทั้งหมดเท่ากับ 10

รหัสคำตอบที่	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
p_i	0.15	0.25	0.1	0.05	0.03	0.20	0	0.07	0.05	0.1

ตารางที่ 4.2 ความน่าจะเป็นในการคัดเลือกของประชากรตัวอย่าง



รูปที่ 4.4 วิธีการคัดเลือกแบบ Stochastic Universal Sampling Method (SUS)

การคัดเลือกรหัสคำตอบสำหรับประชากรคู่ซึ่งประกอบด้วย 6 รหัสคำตอบจากประชากรทั้งหมด 10 รหัสคำตอบดังรูปที่ 4.4 นั้นจะได้เซตของประชากรคู่ซึ่งประกอบด้วยรหัสคำตอบ 1, 2, 3, 4, 6 และ 8 โดยระยะระหว่างตัวชี้คำตอบแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะระหว่างตัวชี้คำตอบ} = \frac{\sum_{i=1}^{N} p_i}{N_{selected}} \qquad (4.21)$$

เมื่อ N คือ จำนวนรหัสคำตอบของประชากรทั้งหมด

$N_{selected}$ คือ จำนวนรหัสคำตอบของประชากรคู่

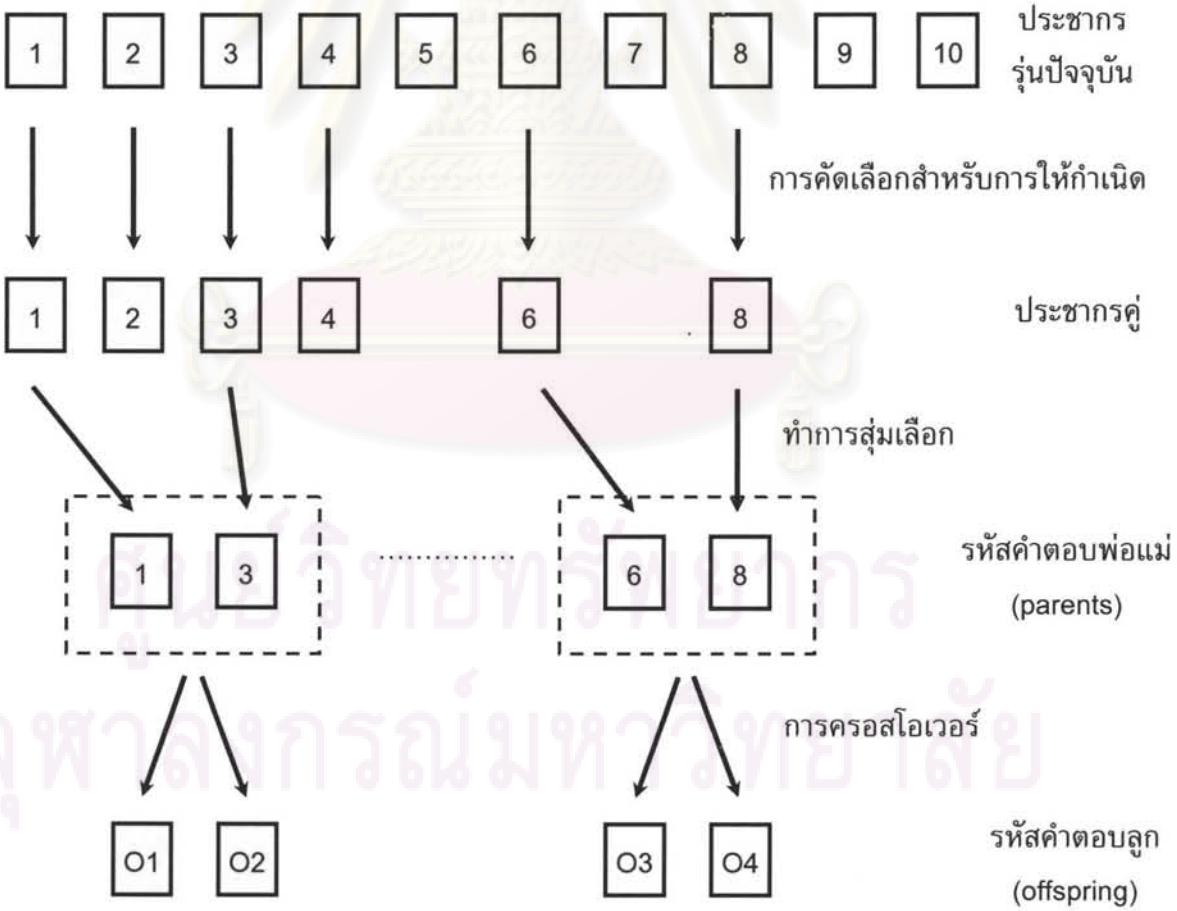
4.2.5.2 การคัดเลือกสำหรับการแทนที่ (Replacement Selection)

การคัดเลือกรหัสคำตอบในส่วนของการแทนที่นั้นเป็นกระบวนการคัดเลือกรหัสคำตอบเพื่อทำการเลือกว่ารหัสคำตอบใดสมควรจะอยู่รอดเพื่อเป็นรหัสคำตอบของ

ประชากรในรุ่นต่อไป ซึ่งรหัสคำตอบที่ทำการเลือกว่าจะสมควรจะอยู่รอดหรือไม่นั้นประกอบไปด้วยรหัสคำตอบของประชากรในรุ่นปัจจุบันและรหัสคำตอบลูกที่เกิดขึ้นใหม่โดยการคัดเลือกเพื่อการแทนที่นั้นจะใช้นโยบายที่เรียกว่า "Elitist policy" ซึ่งจะทำการเลือกรหัสคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดตามลำดับเพื่อสืบทอดและอยู่รอดเป็นประชากรในรุ่นต่อไป โดยรหัสคำตอบที่ไม่ถูกเลือกในขั้นตอนนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป เหลือเพียงรหัสคำตอบที่ถูกเลือกเท่านั้นที่จะกลายเป็นประชากรในรุ่นถัดไป

4.2.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

การครอสโอเวอร์เป็นกระบวนการในการสร้างรหัสคำตอบลูก จากรหัสคำตอบพ่อแม่ในเซตประชากรคู่ซึ่งถูกเลือกมาจากประชากรในรุ่นปัจจุบันโดยตัวดำเนินการการคัดเลือก (selection operator) ซึ่งได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.2.5.1 โดยในรูปต่อไปนี้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรหัสคำตอบของประชากรในรุ่นปัจจุบันกับรหัสคำตอบลูกที่เกิดใหม่โดยใช้ตัวอย่างจากตาราง 4.2 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการให้กำเนิดรหัสคำตอบลูกโดยการครอสโอเวอร์

การครอสโอเวอร์นั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดกระบวนการหนึ่งของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เนื่องจากเป็นขั้นตอนในการพัฒนารหัสคำตอบของประชากรจากรุ่นสู่รุ่นให้ดีขึ้นตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบลำดับ หรือ order crossover (OX) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มเลือกรหัสคำตอบในประชากรคู่เพื่อใช้เป็นรหัสคำตอบพ่อแม่สำหรับการสร้างรหัสคำตอบลูก จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ซึ่งเป็นตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายของส่วนครอสโอเวอร์ (crossover section) จากนั้นนำสายอักขระย่อย (substring) ของพ่อแม่ตัวที่ 2 และตัวที่ 1 ซึ่งอยู่ในส่วนครอสโอเวอร์ไปวางบนสายอักขระของลูกตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ตามลำดับ เมื่อทำการคัดลอกสายอักขระย่อยไปยังลูกทั้งสองตัวแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการใส่ตัวเลขบนสายอักขระของลูกตัวที่ 1 ในตำแหน่งที่ยังว่างอยู่จากตำแหน่งแรกไปยังตำแหน่งสุดท้ายโดยการนำตัวเลขบนสายอักขระของพ่อแม่ตัวที่ 1 ซึ่งไม่ซ้ำกับตัวเลขในส่วนครอสโอเวอร์ของลูกตัวที่ 1 ไปใส่ทีละตัวจากตำแหน่งซ้ายไปตำแหน่งขวาจนกระทั่งทุกตำแหน่งบนสายอักขระของลูกตัวที่ 1 มีตัวเลขจนครบทุกตัว และใช้หลักการเดียวกันสำหรับการสร้างลูกตัวที่ 2 ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆสามารถแสดงได้ดังนี้

รูปที่ 4.6 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี OX

4.2.7 การมิวเทชัน (Mutation)

การมิวเทชันเป็นตัวดำเนินการหนึ่งของตัวดำเนินการแปรผัน (variation operators) ซึ่งมีตัวดำเนินการหลัก คือ ตัวดำเนินการครอสโอเวอร์ซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อ

4.2.6 และตัวดำเนินการรองคือตัวดำเนินการมิวเทชัน ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความหลากหลายของคำตอบโดยเฉพาะหากคำตอบส่วนใหญ่ภายในประชากรอยู่ใกล้กับจุดสูงสุด หรือจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (local optima) ซึ่งตัวดำเนินการมิวเทชันจะช่วยเพิ่มความหลากหลายของคำตอบและทำให้การค้นหาคำตอบสามารถหลุดพ้นจากบริเวณจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การดำเนินการมิวเทชันแบบสลับ (swap mutation) ซึ่งจะทำการสลับตัวเลขที่อยู่บน bit ระหว่าง 2 ตำแหน่งบนสายอักขระเดียวกันดังแสดงในรูปต่อไปนี้

ลูกตัวที่ 1	2	1	7	8	4	3	10	6	9	5
ลูกตัวที่ 1'	2	1	6	8	4	3	10	7	9	5

รูปที่ 4.7 การมิวเทชันด้วยวิธีการสลับ **(swap mutation)**

4.2.8 เกณฑ์การหยุด (Termination Criteria)

ในงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์การหยุดของการหาคำตอบสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมโดยการใช้เกณฑ์จำนวนของรุ่นของประชากร (number of generations) เป็นเกณฑ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์การหยุดซึ่งถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกเหนือจากเกณฑ์เวลาการคำนวณสูงสุดของคอมพิวเตอร์ (maximum CPU time)

4.3 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้แสดงรายละเอียดของขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัต โดยใช้ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ซึ่งเป็นฮิวริสติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และการเลือกฮิวริสติกทั้งสองที่กล่าวมานั้นเป็นประโยชน์อย่างมากในการที่จะเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติก เนื่องจากฮิวริสติกทั้งสองมีโครงสร้างในกระบวนการพัฒนาคำตอบที่แตกต่างกัน โดยการค้นหาแบบทาบูจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการค้นหาเฉพาะที่ซึ่งคำตอบจะพัฒนาจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งเป็นลักษณะแบบอนุกรม แต่ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้นจะมีลักษณะการพัฒนาคำตอบแบบขนานซึ่งจะทำการพัฒนาหลาย ๆคำตอบไปพร้อม ๆกันในแต่ละวงรอบและค่อย ๆลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยอาศัยกระบวนการคัดเลือกและกระบวนการสร้างความหลากหลาย และจะทำการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาและฮิวริสติกเปรียบเทียบในด้านต่าง ๆในบทต่อไป

บทที่ 5
ผลการทดลองและการอภิปราย

จากขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งได้ใช้ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูเป็นเป็นฮิวริสติกหลักเพื่อการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าแบบพลวัต และใช้ฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเป็นวิธีเปรียบเทียบ และผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดของขั้นตอนวิธีเหล่านี้แล้วในบทที่ 4 การนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้จะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก่อน เพื่อทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการค้นหาแบบทาบูและวิธีขั้นตอนพันธุกรรมได้แล้วนั้น จะนำฮิวริสติกทั้งสองนี้ไปทำการทดสอบกับปัญหาทดสอบมาตรฐานที่ถูกใช้เป็นมาตรฐานของนักวิจัยด้านปัญหาตำแหน่งที่ตั้งที่เรียกว่า OR-library ของ Beasley จำนวน 16 ปัญหาและทดสอบกับปัญหาพลวัตสุ่มที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดและฮิวริสติกเปรียบเทียบซึ่งได้มีผู้วิจัยอื่นเสนอไว้

5.1 เงื่อนไขและสภาวะการทดสอบ (Experimental Conditions)

ในการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตทั้งวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้น จะเขียนโดยใช้โปรแกรม MATLAB 7.0 และทำการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ระบบประมวลผล Core 2 Duo 1.66 GHz มีหน่วยความจำ 2.5 GB และทดสอบบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP Service Pack 2

5.2 การทดลองหาเซตพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากการสร้างขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า โดยเลือกใช้วิธีการค้นหาแบบทาบูเป็นวิธีในการหาคำตอบ และวิธีขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเป็นวิธีเปรียบเทียบผลดังที่กล่าวในบทที่ 3 และ 4 จากนั้นนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยทดสอบกับปัญหาทดลองขนาดกลางจำนวน 5 ปัญหา คือ ปัญหา cap121 cap131 cap132 cap133 และ cap134 ซึ่งจะทำการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆและบันทึกผลการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ว่าพารามิเตอร์ใดส่งผลต่อประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาในอัตราส่วนเท่าใด เพื่อใช้ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะต่อไป โดยในการกำหนดพารามิเตอร์ของฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้นสามารถแสดงได้ดังนี้

5.2.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

การค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูซึ่งผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบจำนวน 4 พารามิเตอร์ในสองส่วนปัญหา คือ

1) ส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง (Location phase)

- จำนวนวงรอบสูงสุดที่คำตอบไม่มีการพัฒนา (maximum non-improvement iteration) คือ เกณฑ์สำหรับการหยุดค้นหาคำตอบในเซตข้างเคียงของเฟสตำแหน่งที่ตั้ง เมื่อคุณภาพของคำตอบไม่มีการพัฒนาจำนวน non-improve ครั้ง ซึ่งพารามิเตอร์นี้ประกอบด้วยการทดลองการเปลี่ยนค่าจำนวน 4 ค่า คือ 5, 20, 100, 120

- ระยะเวลาต้องห้าม (tabu tenture) คือ ระยะเวลาต้องห้ามของคำตอบในเซตข้างเคียงของเฟสตำแหน่งที่ตั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวนซ้ำของการค้นหาซึ่งพารามิเตอร์นี้ประกอบด้วยการทดลองการเปลี่ยนค่าจำนวน 3 ค่า คือ 5, 10, 20

2) ส่วนปัญหาการจัด (Allocation phase)

- จำนวนวงรอบสูงสุดที่คำตอบไม่มีการพัฒนา (maximum non-improvement iteration) คือ เกณฑ์สำหรับการหยุดค้นหาคำตอบในเซตข้างเคียงของเฟสการแบ่งความรับผิดชอบเมื่อคุณภาพของคำตอบไม่มีการพัฒนาจำนวน non-improve ครั้ง ซึ่งพารามิเตอร์นี้ประกอบด้วยการทดลองการเปลี่ยนค่าจำนวน 3 ค่า ทำการเปลี่ยนค่าที่ 10, 20, 40

- ระยะเวลาต้องห้าม (tabu tenture) คือ ระยะเวลาต้องห้ามของคำตอบในเซตข้างเคียงของเฟสตำแหน่งที่ตั้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวนซ้ำของการค้นหาซึ่งพารามิเตอร์นี้ประกอบด้วยการทดลองการเปลี่ยนค่าจำนวน 3 ค่า คือ 5, 10, 15

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดไว้และทำการทดลอง แล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก.

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 ภาคผนวก ก. พบว่าค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ของส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้งและส่วนปัญหาการจัด พบว่าค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำที่สุด 2 อันดับแรก คือ 884,514 และ 885,912 ตามลำดับ และใช้เวลาในการหาคำตอบ 13.28 และ 13.67 วินาทีตามลำดับซึ่งทั้งสองค่านั้นเป็นค่าเฉลี่ยเมื่อพารามิเตอร์ non-improve ของส่วนปัญหาตำแหน่งที่ตั้งเป็น 120 ดังนั้นจึงเลือกเซตของพารามิเตอร์ที่ให้ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำที่สุด เนื่องจากพารามิเตอร์นี้ยังใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุดด้วยและสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

พารามิเตอร์		ค่า
Location phase	Non-improve	120 รอบ
	Tabu tenure	10 รอบ
Allocation phase	Non-improve	20 รอบ
	Tabu tenure	10 รอบ

5.2.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

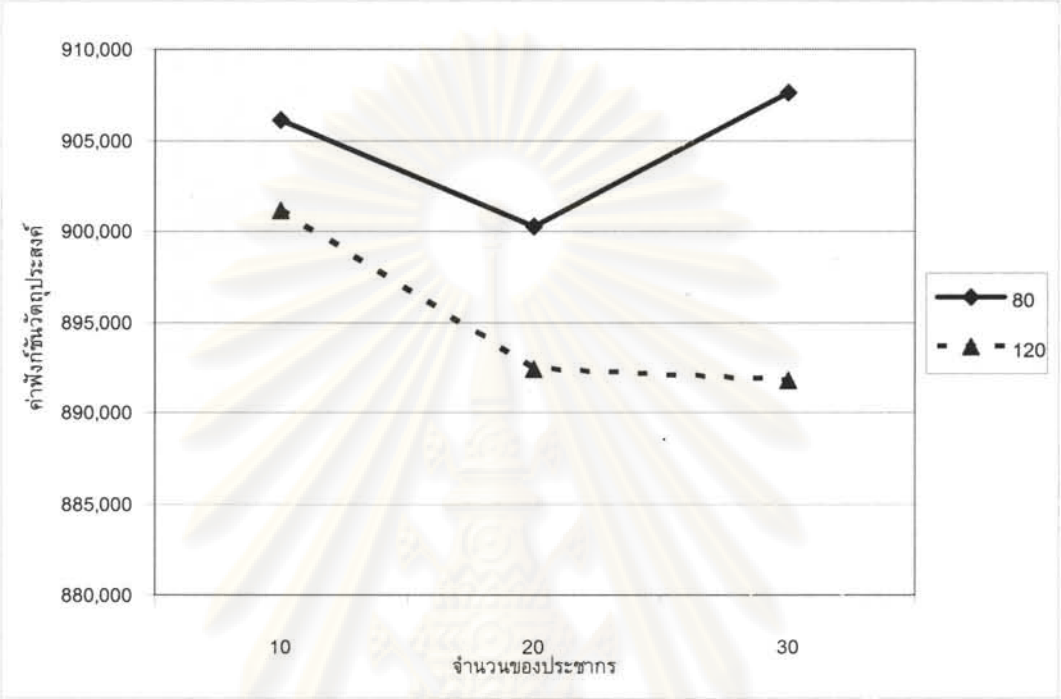
การค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ดังนี้

1) จำนวนของประชากร (number of popuiation) คือ จำนวนรหัสคำตอบของประชากรในแต่ละรุ่นซึ่งทดลองทำการเปลี่ยนค่าที่ 10, 20, 30
2) จำนวนของรุ่น (number of generations) คือ เกณฑ์การหยุดค้นหาคำตอบโดยการกำหนดจำนวนวงรอบในการหาคำตอบไว้เป็นค่าใดค่าหนึ่งซึ่งจำนวนวงรอบนี้หมายถึงจำนวนรุ่นของประชากรซึ่งทำการเปลี่ยนค่าที่ 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160

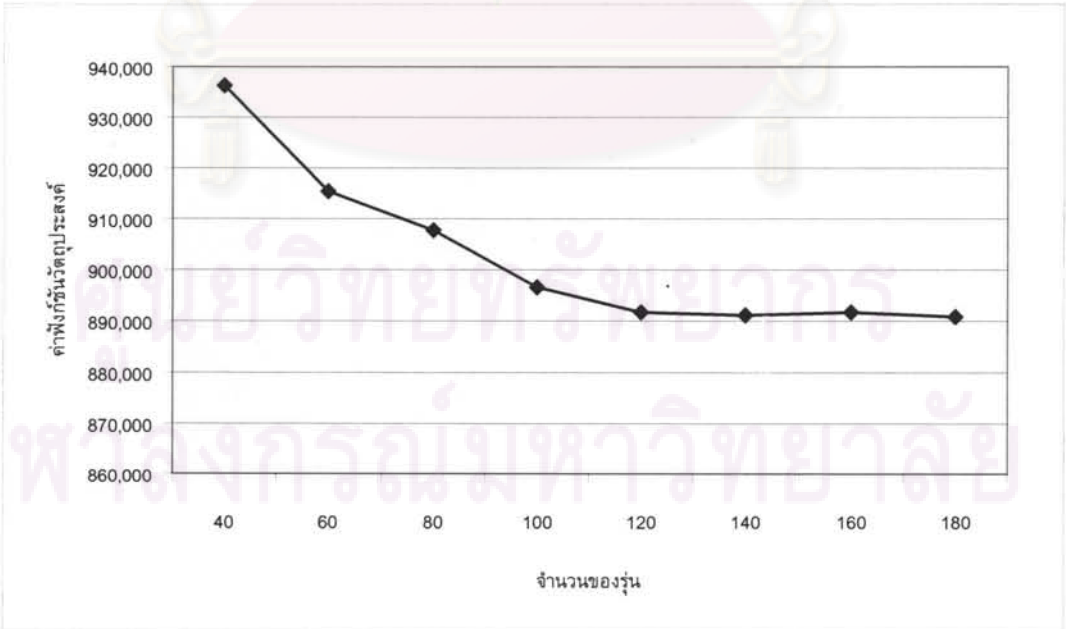
ในการทดลองการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนดนี้กระทำโดยการรันปัญหาทดสอบจำนวน 5 ปัญหาเช่นเดียวกับฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูแล้วนำค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเวลาในการหาคำตอบที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ภาคผนวก ก. และนำมาแสดงในรูปกราฟได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำตารางที่ 2 และ 3 มาพลอตกราฟระหว่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเวลากับจำนวนประชากรและกราฟระหว่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับจำนวนรุ่นเป็นดังนี้



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เวลากับจำนวนประชากรของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อจำนวนประชากรมีค่าแตกต่างกัน



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อจำนวนรุ่นมีค่าแตกต่างกัน

จากผลการทดลองและการวิเคราห์จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 พบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเพิ่มจำนวนรุ่นไปจนกระทั่งเกิน 120 รุ่นและในการพิจารณารูปที 5.1 และตารางที่ 2 ภาคผนวก ก. พบว่าค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เมื่อจำนวนรหัสคำตอบของประชากรเป็น 20 และ 30 มีความแตกต่างกันเมื่อจำนวนรุ่นเป็น 80 และ 120 กล่าวคือเมื่อจำนวนรุ่นเป็น 120 เส้นกราฟจะเริ่มเป็นเส้นตรงเมื่อจำนวนรหัสคำตอบใกล้ 30 แต่สำหรับกรณีจำนวนรุ่นเป็น 80 นั้นเส้นกราฟของค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเริ่มชันขึ้นซึ่งน่าจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เนื่องจาก ณ จุดนี้คำตอบอาจได้รับอิทธิพลจากจำนวนรุ่นที่ค่อนข้างน้อยด้วยจึงอาจทำให้การเพิ่มจำนวนประชากรเป็น 30 ก็ไม่ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นเนื่องจากจำนวนรุ่นเพียง 80 นั้นยังไม่เพียงพอ อีกทั้งตามทฤษฎีแล้วจำนวนรหัสคำตอบยิ่งมากขึ้นเท่าไร ประสิทธิภาพในการหาคำตอบจะยิ่งดีขึ้นเท่านั้นแต่ใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนรหัสคำตอบตั้งแต่ 30 เป็นต้นไปไม่มีผลต่อคุณภาพคำตอบของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนี้ และสามารถสรุปเซตของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกวิธีขั้นตอนพันธุกรรม

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนของประชากร	30
จำนวนของรุ่น	120

5.3 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิต

เมื่อทราบค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาทั้ง 2 วิธีแล้วนำขั้นตอนวิธีที่ได้มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตกับปัญหามาตรฐาน OR-library ขนาดกลางของ Beasley จำนวน 16 ปัญหา ที่เป็นปัญหาแบบสถิตซึ่งความต้องการของลูกค้าไม่ขึ้นกับเวลา โดยคุณลักษณะของทั้ง 16 ปัญหาแสดงในตารางที่ 5.3 ผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหามาตรฐานแสดงในตารางที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 คุณลักษณะของปัญหาทดสอบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดกลาง

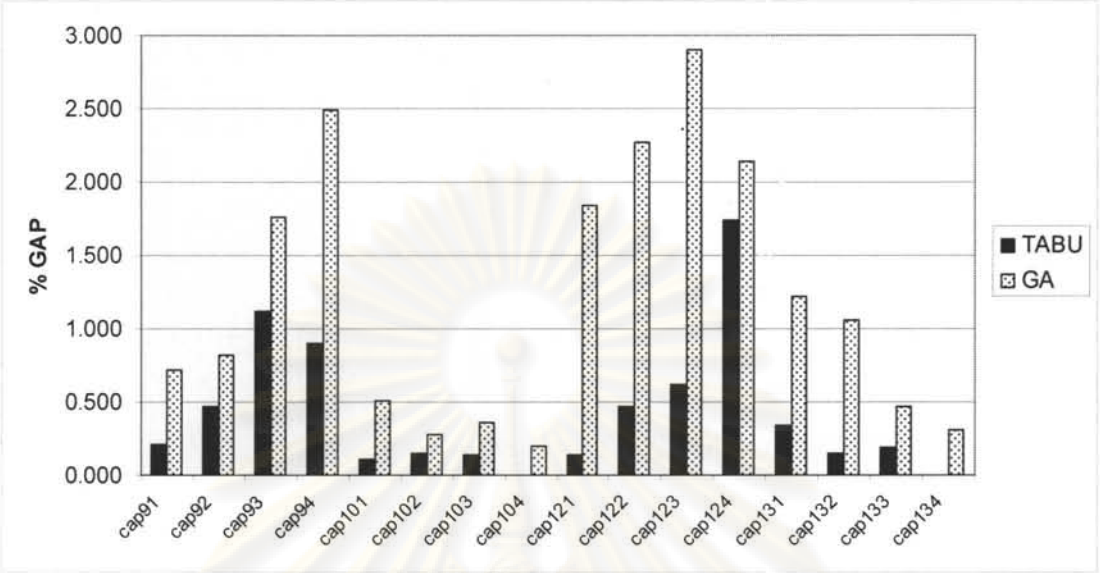
ปัญหา	คุณลักษณะของปัญหา			
	จำนวนศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด (m)	จำนวนลูกค้า (n)	ต้นทุนคงที่ (f_j)	ความสามารถของคลังสินค้า (s_j)
cap91	25	50	7,500	15,000
cap92	25	50	12,500	15,000
cap93	25	50	17,500	15,000
cap94	25	50	25,000	15,000
cap101	25	50	7,500	58,268
cap102	25	50	12,500	58,268
cap103	25	50	17,500	58,268
cap104	25	50	25,000	58,268
cap121	50	50	7,500	15,000
cap122	50	50	12,500	15,000
cap123	50	50	17,500	15,000
cap124	50	50	25,000	15,000
cap131	50	50	7,500	58,268
cap132	50	50	12,500	58,268
cap133	50	50	17,500	58,268
cap134	50	50	25,000	58,268

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

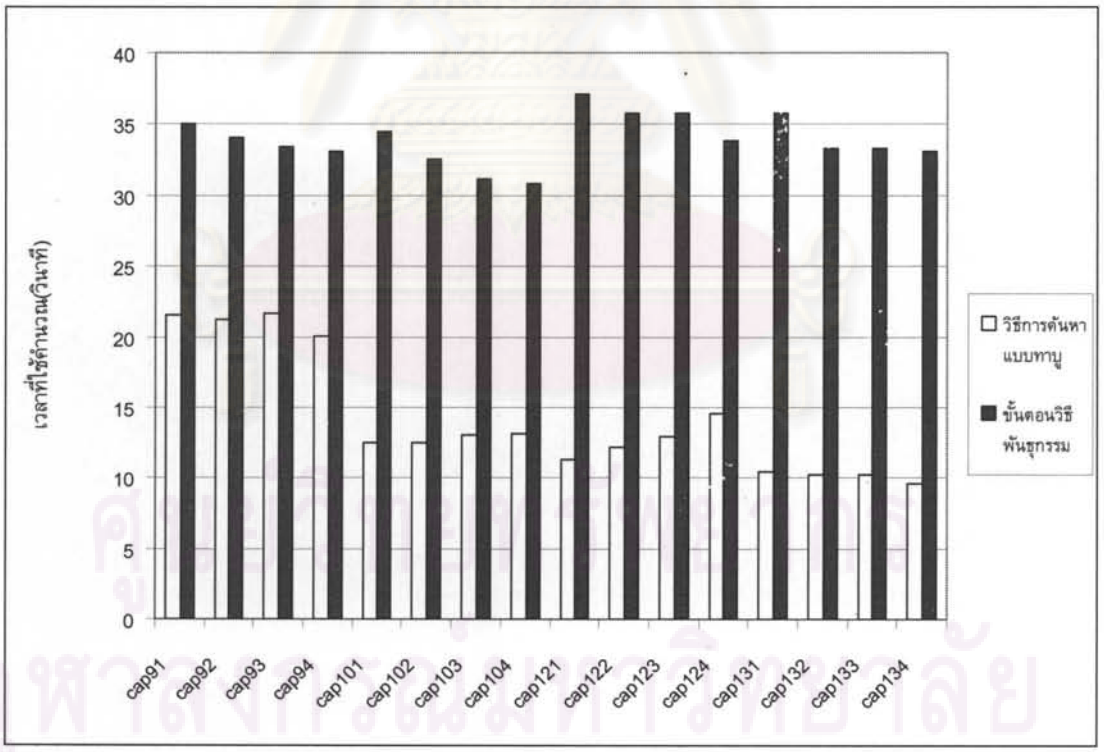
ตารางที่ 5.4 ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดกลางด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	ค่าที่ดีที่สุด	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์		เปอร์เซนต์ความแตกต่าง		เวลาที่ใช้คำนวณ (วินาที)	
		วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม
cap91	796,648.44	798,350	802,393	0.214	0.721	21.55	35.05
cap92	855,733.50	859,720	862,743	0.466	0.819	21.28	34.08
cap93	896,617.54	906,680	912,360	1.122	1.756	21.69	33.38
cap94	946,051.33	954,520	969,590	0.895	2.488	20.08	33.12
cap101	796,648.44	797,510	800,693	0.108	0.508	12.51	34.52
cap102	854,704.20	855,970	857,127	0.148	0.283	12.47	32.54
cap103	893,782.11	895,030	897,013	0.140	0.362	13.09	31.17
cap104	928,941.75	928,940	930,823	0.000	0.203	13.12	30.86
cap121	793,439.56	794,560	808,007	0.141	1.836	11.37	37.11
cap122	852,524.63	856,520	871,860	0.469	2.268	12.21	35.77
cap123	895,302.33	900,870	921,277	0.622	2.901	12.92	35.82
cap124	946,051.33	962,510	966,337	1.740	2.144	14.52	33.84
cap131	793,439.56	796,150	803,093	0.342	1.217	10.47	35.81
cap132	851,495.33	852,760	860,530	0.149	1.061	10.24	33.34
cap133	893,076.71	894,750	897,230	0.187	0.465	10.29	33.27
cap134	928,941.75	928,940	931,843	0.000	0.312	9.60	33.15
	ค่าเฉลี่ย	**873,986.25**	**880,807.50**	**0.42**	**1.21**	**14.21**	**33.93**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบสถิตขนาดกลางของวิธีการค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้คำนวณของปัญหาแบบสถิตขนาดกลางด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.41% และ 1.21% ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าฮิวริสติกทั้งสองวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 95% พบว่าค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของทั้ง 2 วิธีนั้นมีค่าไม่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาในด้านผลของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ พบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเท่ากับ 14.21 และ 33.93 วินาที ตามลำดับ โดยฮิวริสติกขั้นตอนวิธีพันธุกรรมนั้นใช้เวลาในการหาคำตอบโดยเฉลี่ยมากกว่าฮิวริสติกวิธีการค้นหาแบบทาบูถึง 138.8% และในรูปที่ 5.4 ยังให้จุดที่น่าสนใจระหว่างการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมโดยเมื่อแบ่งกลุ่มของปัญหาทดสอบเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มแรกปัญหาที่มีขนาด $m \times n$ = 25x50 และกลุ่มที่สองขนาด 50x50 ซึ่งพบว่าสำหรับการค้นหาแบบทาบูเมื่อจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้เพิ่มมากขึ้นระยะเวลาในการหาคำตอบจะลดลง แต่กลับกันสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเมื่อจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้เพิ่มมากขึ้นกลับใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุมาจากลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันของขั้นตอนวิธีทั้งสอง คือ การค้นหาแบบทาบูเป็นแบบเคลื่อนคำตอบไปทีละจุดโดยอ้างอิงกับคำตอบก่อนหน้า แต่ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมใช้การผสมกันระหว่างรหัสคำตอบที่มีความหลากหลายในตอนแรกและเริ่มลดความหลายลงไปเรื่อย ๆไปสู่การลู่เข้าคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นถ้าจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก ๆแสดงว่ารหัสคำตอบเริ่มต้นมีความหลากหลายมาก หรือคล้ายกับการมีจำนวนประชากรมาก ๆ ซึ่งใช้เวลานานในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด

และในส่วนต่อไปจะนำวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมไปทำการทดสอบกับปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 3 ปัญหาโดยแต่ละปัญหาจะกำหนดค่าความสามารถสูงสุดในการให้บริการปัญหาละ 3 ค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งลักษณะของปัญหาขนาดใหญ่ทั้งสามและผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

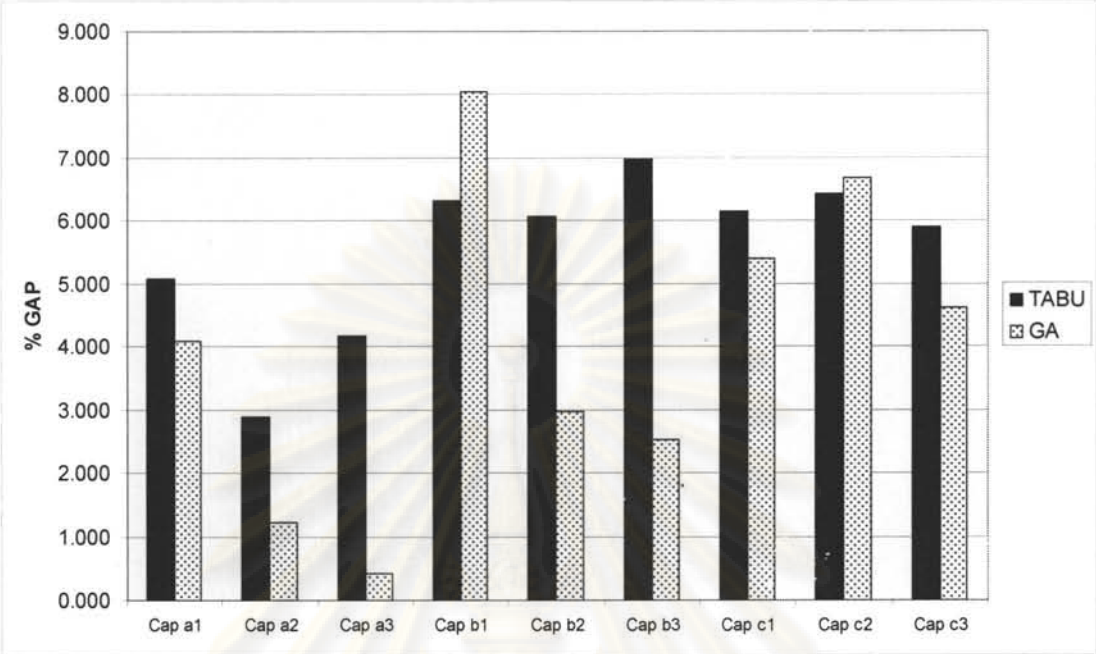
ตารางที่ 5.5 คุณลักษณะของปัญหาทดสอบของปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดใหญ่

ปัญหา	คุณลักษณะของปัญหา			
	จำนวนศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด (m)	จำนวนลูกค้า (n)	ต้นทุนคงที่ (f_j)	ความสามารถสูงสุด (s_j)
capa	100	1000	1,365,939 – 2,253,906	10,000, 12,000, 14,000
capb	100	1000	558,666 – 916,003	5,000, 6,000, 7,000
capc	100	1000	397,560 - 658,443	5,000, 5,750, 6,500

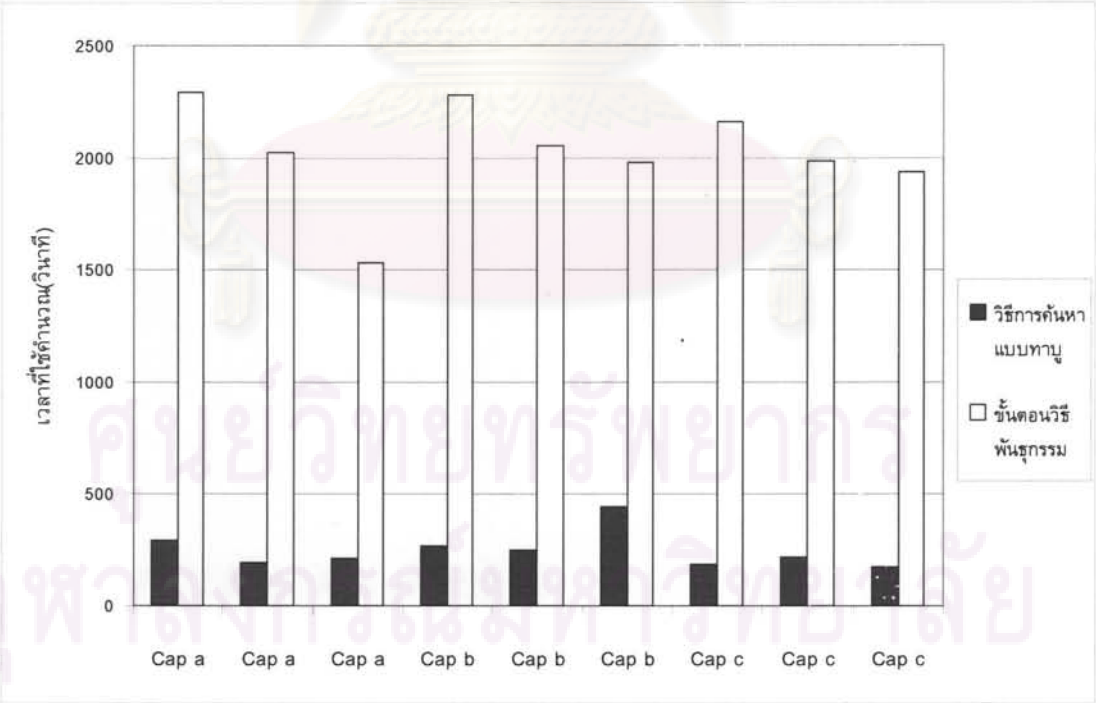
ตารางที่ 5.6 ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดใหญ่ด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	Capacity	ค่าที่ดีที่สุด	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์		เปอร์เซนต์ความแตกต่าง		เวลาที่ใช้คำนวณ(วินาที)	
			วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม	วิธีการค้นหาแบบทาบู	ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม
cap a1	10,000	18,438,046.5	19,374,296	19,192,800	5.078	4.093	295.08	2,294.78
cap a2	12,000	17,765,201.5	18,278,626	17,981,800	2.890	1.219	196.81	2,021.44
cap a3	14,000	17,765,201.9	18,508,421	17,841,300	4.184	0.428	212.94	1,533.80
cap b1	5,000	13,656,379.5	14,520,056	14,755,100	6.324	8.045	271.45	2,281.17
cap b2	6,000	13,361,927.4	14,171,782	13,760,300	6.061	2.981	248.94	2,054.98
cap b3	7,000	13,198,556.4	14,118,068	13,532,100	6.967	2.527	443.29	1,976.53
cap c1	5,000	11,646,596.9	12,362,889	12,275,600	6.150	5.401	186.54	2,161.11
cap c2	5,750	11,570,340.2	12,314,188	12,344,100	6.429	6.687	222.11	1,981.98
cap c3	6,500	11,518,743.7	12,198,062	12,051,100	5.898	4.622	178.84	1,933.12
		ค่าเฉลี่ย	**15,094,043.63**	**14,859,355.56**	**5.55**	**4.00**	**250.67**	**2,026.55**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบสถิตขนาดใหญ่ของวิธีการค้นหาแบบทาบู ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้คำนวณปัญหาแบบสถิตขนาดใหญ่ของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

จากผลการทดลองในตารางพบว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นวิธีการค้นหาแบบทาบูกลับให้คุณภาพของคำตอบแย่ลงเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม คือ จาก %GAP 0.42 % เป็น 5.55 % และขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจาก 1.21 % เป็น 4 % ซึ่งแสดงว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มาก ๆ นั้น ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะให้คุณภาพของคำตอบที่ดีกว่าเนื่องมาจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีลักษณะเด่นด้านการสร้างความหลากหลายของรหัสคำตอบระหว่างการค้นหา ซึ่งอาศัยหลักการครอสโอเวอร์และการมิวเทชัน โดยในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่นั้นจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (local optima) มีความสำคัญกับคุณภาพของคำตอบมากและการที่จะหลุดพ้นจากจุดเหล่านี้ต้องอาศัยกระบวนการสร้างความหลากหลายให้คำตอบเป็นหลัก ซึ่งแม้การค้นหาแบบทาบูจะมีกระบวนการนี้ในส่วนของ Diversification แต่ในขั้นตอนการค้นหาก็ยังต้องทำการเคลื่อนคำตอบจากคำตอบปัจจุบันไปยังคำตอบข้างเคียงใกล้ ๆอยู่ ซึ่งสร้างความหลากหลายได้น้อยกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมซึ่งรหัสคำตอบลูกเกิดจากการผสมกันอย่างอิสระระหว่างรหัสคำตอบพ่อแม่ผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์และมิวเทชันซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหลุดพ้นจุดที่ดีที่สุดเฉพาะที่ได้ดีกว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ แต่ในเรื่องของเวลาในการหาคำตอบนั้น ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมใช้เวลามากกว่าการค้นหาแบบทาบูถึงประมาณ 10 เท่าเนื่องมาจากวิธีการค้นหาแบบพันธุกรรมนั้นจะมีการสร้างและประเมินรหัสคำตอบลูกในลักษณะขนานทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากกว่าการเคลื่อนคำตอบไปทีละจุดแบบการค้นหาทาบู ซึ่งในวงรอบแรก ๆอาจจะใช้เวลาในการหาทิศทาง (คำตอบข้างเคียง) คำตอบมากแต่จะน้อยลงไปเรื่อย ๆเมื่อคำตอบเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดจากการใช้เกณฑ์การหยุดแบบจำนวนรอบสูงสุดที่คำตอบไม่มีการพัฒนา แต่สำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบจะเท่ากันตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนหยุดการค้นหา

ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ยังชี้ให้เห็นว่าในปัญหาเดียวกัน เช่นเมื่อพิจารณาปัญหา capa แต่ความสามารถสูงสุดของศูนย์กระจายสินค้าแตกต่างกัน เมื่อความสามารถของศูนย์กระจายสินค้ามีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลดลงซึ่งในจุดนี้เองได้ตอกย้ำว่าแบบจำลองซึ่งไม่ได้กำหนดความสามารถสูงสุดของแต่ละศูนย์กระจายสินค้า (ความสามารถมีค่ามาก ๆไม่จำกัด) จะให้คำตอบที่แตกต่างจากเมื่อกำหนดความสามารถสูงสุดในการให้บริการมาก

5.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต

การทดสอบสมรรถนะในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตนั้นจะกระทำโดยสร้างปัญหาพลวัตที่มีพื้นฐานมาจากปัญหามาตรฐาน OR-library ของ Beasley จำนวน 16 ปัญหาซึ่งเป็นปัญหาแบบสถิตซึ่งความต้องการของลูกค้าไม่ขึ้นกับเวลา โดยการสร้างปัญหาพลวัตนั้นจะมีรายละเอียดดังแสดงหัวข้อ 5.4.1 โดยผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและ

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมของปัญหาพลวัตที่สร้างขึ้นสามารถแสดงในตารางที่ 4 และ ตาราง 5 ภาคผนวก ก และรูปที่ 5.7 ถึง 5.12 ในหัวข้อ 5.4.2

5.4.1 การสร้างปัญหาตำแหน่งที่ตั้งทดสอบพลวัต

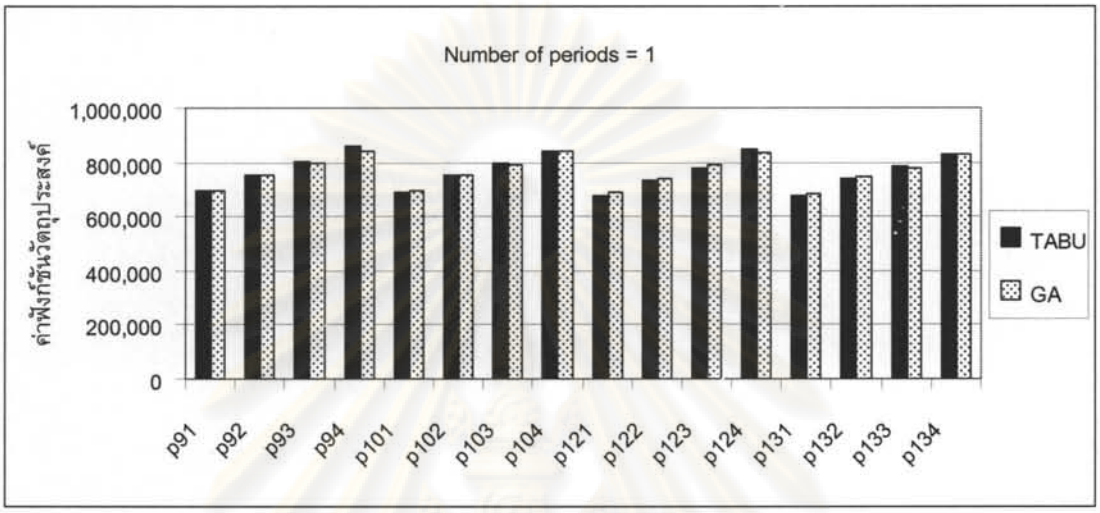
ปัญหาทดสอบแบบพลวัตที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของงานวิจัยนี้ สร้างขึ้นโดยใช้ต้นทุนต่อหน่วยความต้องการในการรับบริการจากศูนย์กระจายสินค้า j ไปยังลูกค้า i ซึ่งได้พิจารณาระยะทางรวมไปด้วยแล้วจากปัญหามาตรฐาน OR-library ของ Beasley โดยปัญหาที่สร้างนั้นจะเพิ่มพารามิเตอร์ 2 ชนิด คือ

1) ต้นทุนการดำเนินงานต่อคาบเวลา (Annual Cost : a_j) ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4 ภาคผนวก ก. โดยต้นทุนนี้จะกำหนดเป็นอัตราส่วนของต้นทุนคงที่ในการตั้งศูนย์กระจายสินค้า j (f_j) โดยแต่ละปัญหาจะมีอัตราส่วนของ a_j / f_j คือ 1% 10% 40% และ 80%
2) ความต้องการของลูกค้าแปรผันตามเวลา (Time-dependent Demand) ซึ่งความต้องการสำหรับปัญหาทดสอบนั้นมี 3 ชนิด คือ ความต้องการคงที่ ความต้องการเพิ่มเป็นเส้นตรง และความต้องการเพิ่มแบบกำลังสอง ซึ่งจะแสดงรายละเอียด ความต้องการแบบคงที่ จะทำการสุ่มโดยใช้การกระจายแบบสม่ำเสมอ $U[100\ 2000]$ และมีจำนวน 20% ของทั้งหมด ความต้องการแบบเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนคงที่และส่วนฟังก์ชันเส้นตรงกับเวลา ซึ่งทำการสุ่มโดยใช้การกระจายแบบสม่ำเสมอ $U[100\ 2000] + U[114\ 200]t$ และมีจำนวน 65% ของทั้งหมด และความต้องการแบบเพิ่มขึ้นกำลังสอง ประกอบด้วยสามส่วน คือ ส่วนคงที่ ส่วนฟังก์ชันเส้นตรงกับเวลา ส่วนฟังก์ชันกำลังสองของเวลา ซึ่งทำการสุ่มโดยใช้การกระจายสม่ำเสมอ $U[100\ 380] + U[38\ 200]t + U[15\ 16]t^2$

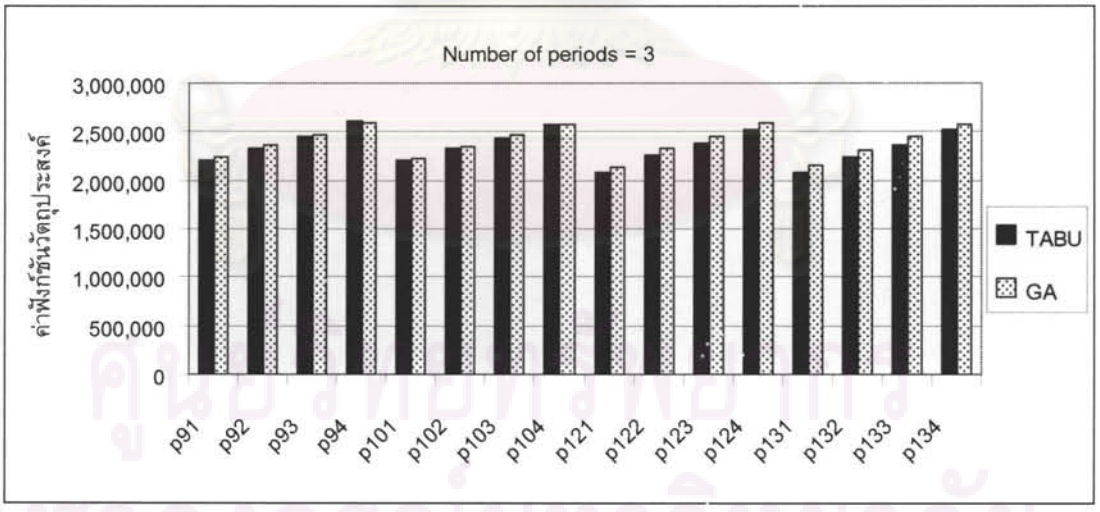
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 ผลการทดลองและการอภิปรายปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต

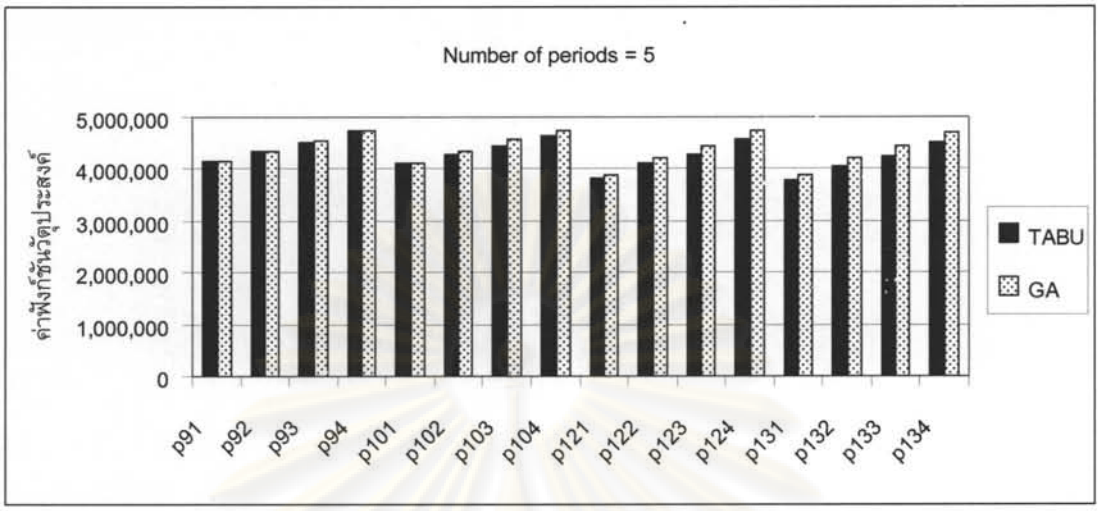
5.4.2.1 ผลการทดสอบสมรรถนะด้านคุณภาพของคำตอบ



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 1 คาบ

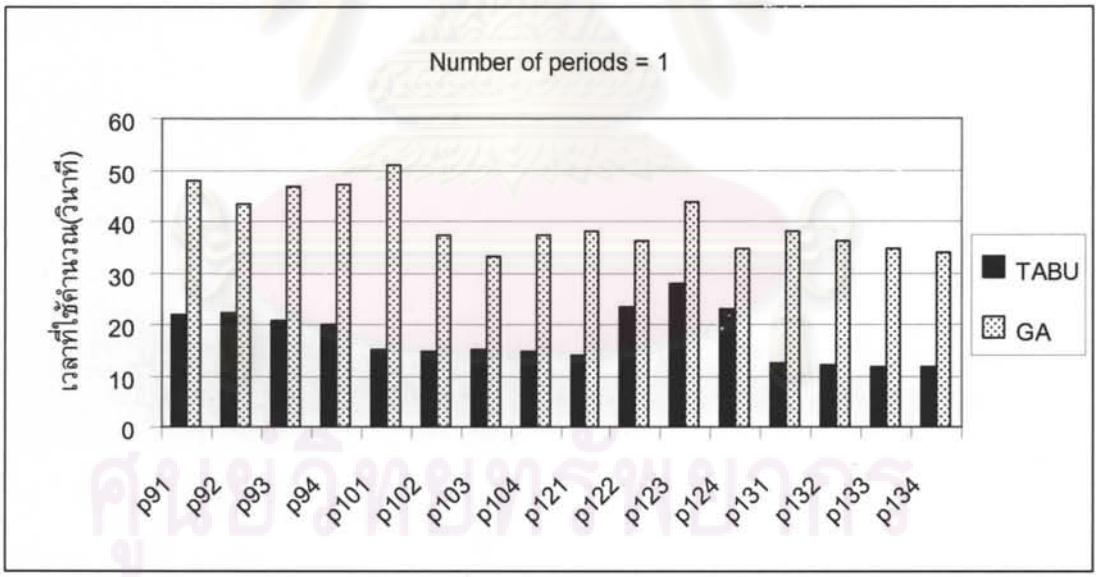


รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 3 คาบ

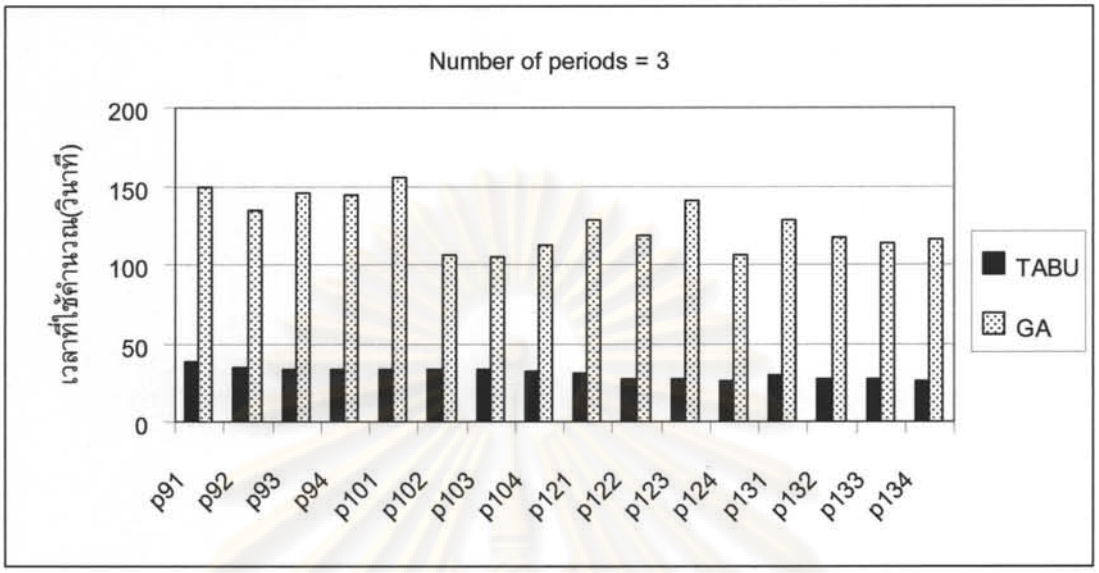


รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาแบบพลวัตของวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 5 คาบ

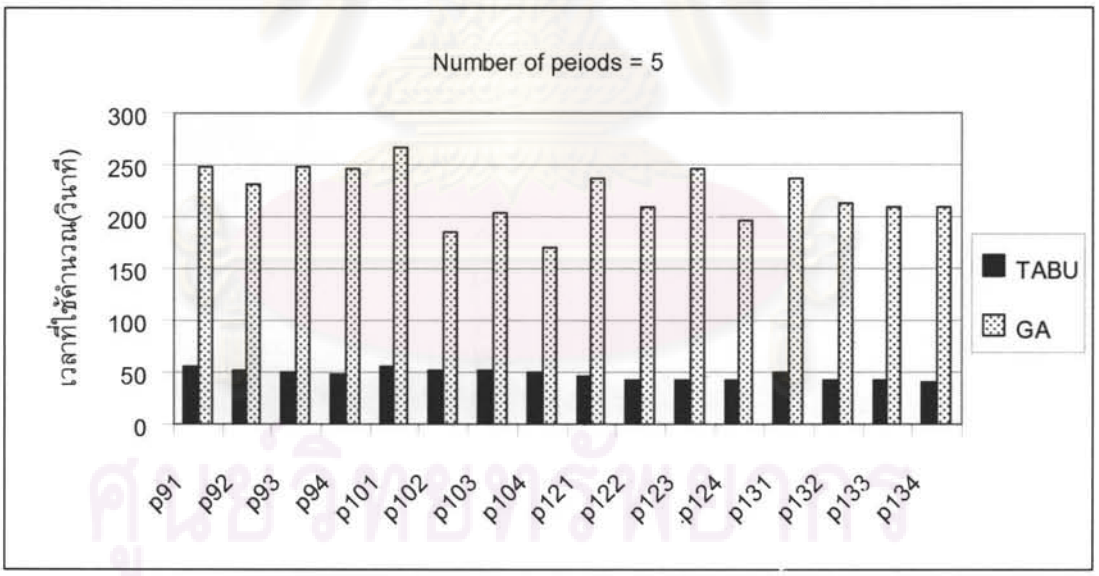
5.4.2.2 ผลการทดสอบสมรรถนะด้านเวลาในการหาคำตอบ



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 1 คาบ



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 3 คาบ



รูปที่ 5.12 กราฟเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบของปัญหาแบบพลวัตต่าง ๆ โดยวิธีการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เมื่อระยะเวลาการวางแผนมีจำนวน 5 คาบ

ผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่คาบเวลาต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 ภาคผนวก ก และพิจารณารูปที่ 5.7 ถึง 5.10 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากทั้งสองวิธีจะเริ่มแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อจำนวนคาบเวลาในระยะเวลาการวางแผนเพิ่มขึ้น โดยเมื่อจำนวนคาบเวลาเป็น 1 คาบ การค้นหาแบบทาบูจะให้คำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมอยู่ 0.1% แต่เมื่อจำนวนคาบเวลาเพิ่มเป็น 5 คาบวิธีการค้นหาแบบทาบูจะให้คำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพิ่มเป็น 2.1% แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA พบว่าฮิวริสติกทั้งสองนั้นให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่แต่กต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 95%

เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นพบว่า เมื่อจำนวนคาบเวลาการวางแผนเพิ่มขึ้นฮิวริสติกทั้งสองจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น แต่เมื่อพิจารณาลักษณะการเพิ่มขึ้นของวิธีทั้งสอง พบว่าการค้นหาแบบทาบูจะมีอัตราการเพิ่มของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบน้อยกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและที่ทุก ๆค่าของจำนวนคาบเวลาการวางแผนนั้น ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมากกว่าวิธีการค้นหาแบบทาบู โดยเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้งสองวิธีพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบระหว่างขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและวิธีการค้นหาแบบทาบูที่จำนวนคาบการวางแผนเท่ากับ 1, 3 และ 5 เท่ากับ 127.09%, 310.80% และ 366.49% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.7 จากข้อมูลจึงสรุปว่ายิ่งจำนวนคาบการวางแผนเพิ่มขึ้น ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมจะยิ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่มากกว่าฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูมากยิ่งขึ้นโดยสามารถแสดงดังนี้

ตารางที่ 5.7 ความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบที่คาบการวางแผนต่าง ๆ

จำนวนคาบการวางแผน (Number of periods)	ความแตกต่างของเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาคำตอบ
1	127.09%
3	310.80%
5	366.49%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฮิวริสติกวิธีการค้นหาแบบทาบู และขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในหัวข้อ 5.2 จากนั้นนำฮิวริสติกที่ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมแล้วมาทดสอบสมรรถนะกับปัญหาทดสอบ 3 กลุ่มหลักด้วยกัน คือ ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดกลาง ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตขนาดใหญ่ และปัญหาปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัต ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าฮิวริสติกวิธีการค้นหาแบบทาบูจะให้ประสิทธิภาพในด้านเวลาในการหาคำตอบดีกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมากสำหรับทุกชนิดของปัญหา และสำหรับปัญหาขนาดกลางทั้งปัญหาแบบสถิตและแบบพลวัต ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูจะให้คุณภาพของคำตอบดีกว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเล็กน้อย แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มาก ๆ ขั้นตอนวิธีทั้งสองจะให้คุณภาพของคำตอบลดลงโดยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูจะให้คุณภาพคำตอบแย่กว่าขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเล็กน้อยแทน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการวัดสมรรถนะของขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 5 ที่ผ่านมา รวมถึงเนื้อหาในบทอื่น ๆตั้งแต่การวิเคราะห์และการกำหนดปัญหา รวมถึงรายละเอียดของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้ที่ได้จากงานวิจัย และสรุปผลต่าง ๆซึ่งได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ที่เป็นประโยชน์ โดยในส่วนท้ายของบทจะนำเสนอข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาและต้องการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าในอนาคตต่อไป

6.1 สรุปเนื้อหาและสิ่งที่เป็นประโยชน์จากงานวิจัย

ในธุรกิจการกระจายสินค้าในประเทศไทยนั้น จากการศึกษากรณีศึกษาของบริษัทตัวอย่างพบว่าในการตัดสินใจในระดับกลยุทธ์ดังเช่นการตัดสินใจสร้างศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งนั้น ยังขาดเครื่องมือซึ่งใช้ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งว่าควรจะสร้างศูนย์กระจายสินค้าที่ตำแหน่งใด และเวลาที่เหมาะสมในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งควรเป็นเมื่อใด แม้ว่าการใช้ระบบการกระจายสินค้าผ่านศูนย์กระจายสินค้านั้นเป็นการลดต้นทุนโลจิสติกส์ขององค์กรได้อย่างมหาศาลในแต่ละปีก็ตาม ซึ่งทำให้องค์กรสูญเสียโอกาสในการทำกำไรไปอย่างน่าเสียดาย ดังนั้นบริษัทต่าง ๆที่ดำเนินธุรกิจด้านการกระจายสินค้าควรให้ความสำคัญกับการตัดสินใจในระดับกลยุทธ์ดังเช่น ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า เช่นเดียวกับการตัดสินใจในระดับอื่น ๆ

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ของการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าซึ่งสามารถสรุปได้ 2 ประเด็นหลัก คือ 1.ขั้นตอนวิธีต้องสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และ 2.ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาต้องสามารถลดต้นทุนรวมได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากจุดประสงค์ 2 ข้อนี้จึงเป็นเป้าหมายของการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ โดยจากผลของงานวิจัยพบว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นให้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดหรือให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดกลางโดยมีความแตกต่างเฉลี่ยของคำตอบกับคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 0.42 % ซึ่งถือว่าน้อยมากและเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความเร็วในการหาคำตอบกับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม พบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพด้านความเร็วในการหาคำตอบดีกว่าขั้นตอนวิธีเปรียบเทียบถึง 138% สำหรับปัญหาทดสอบแบบสถิตกลางและสูงสุดถึง 366% สำหรับปัญหาทดสอบแบบพลวัต ซึ่งจากผลการทดสอบสมรรถนะที่ได้แสดงดังนี้นั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพที่ดีทั้งในด้านคุณภาพของคำตอบซึ่งหมายถึง

ต้นทุนรวมของการกระจายสินค้า และประสิทธิภาพในด้านเวลาในการหาคำตอบซึ่งทำให้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการกระจายสินค้าขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี

แต่เมื่อนำไปทดสอบกับปัญหาตำแหน่งที่ตั้งมาตรฐานขนาดใหญ่แบบสถิต พบว่าประสิทธิภาพของคำตอบจะลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับฮิวริสติกเปรียบเทียบของการทดลองพบว่าคุณภาพของคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดจะต่างกันประมาณ 1.55% ซึ่งสาเหตุเกิดจากลักษณะของการค้นหาคำตอบของขั้นตอนวิธีนี้

6.2 การนำไปปฏิบัติ

ในการประยุกต์งานวิจัยนี้สำหรับปัญหาจริงในบริษัทค้าปลีกขนาดใหญ่นั้น ขั้นตอนแรกของการนำไปใช้จะต้องทำการเตรียมข้อมูลเข้าสำหรับปัญหา โดยสามารถสรุปเป็นข้อมูลที่จำเป็นดังนี้

1) ฟังก์ชันความต้องการของร้านสาขาแต่ละร้าน โดยทำการพยากรณ์ความต้องการเป็นฟังก์ชันของเวลาและอยู่ในรูปฟังก์ชันคณิตศาสตร์
2) ระยะเวลาการวางแผน ซึ่งในการกำหนดระยะเวลาการวางแผนนั้น สัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งได้แก่ . ความถูกต้องของการพยากรณ์ความต้องการของร้านสาขา นโยบายของบริษัท ขนาดและต้นทุนการการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้า อิทธิพลของระยะเวลาการวางแผนกับคำตอบในกรณีที่ระยะเวลาการวางแผนมาก เป็นต้น ซึ่งทำให้ระยะเวลาการวางแผนที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามสภาพของปัญหา ซึ่งระยะเวลาการวางแผนที่ดีนั้น คือ ระยะเวลาน้อยที่สุดที่การเพิ่มระยะเวลาการวางแผนไม่มีผลกระทบกับคำตอบอีกต่อไป
3) อัตราลด (discount rate) ในกรณีที่ระยะเวลาการวางแผนมีจำนวนหลายปี เพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องของคำตอบควรจะพิจารณาต้นทุนต่างๆ โดยนำอัตราลดมารวมด้วย ซึ่งต้นทุนเหล่านี้ คือ ต้นทุนในการก่อสร้าง (f_j) ต้นทุนค่าดำเนินงานรายปี (a_j) และต้นทุนการขนส่ง ซึ่งในการประยุกต์ใช้ในปัญหาจริงนั้น เนื่องจากในแบบจำลองของปัญหาต้นทุนเหล่านี้จะอยู่ในรูปค่าคงที่ หรือ ผลคูณของค่าคงที่ การพิจารณาอัตราลดจึงทำได้ง่าย
4) ต้นทุนต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ
    4.1) ต้นทุนคงที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยต้นทุนการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้า และต้นทุนการดำเนินงานรายคาบ
    4.2) ต้นทุนแปรผัน ในการเตรียมข้อมูลจะต้องทำการกำหนดต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยความต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

5) ความสามารถสูงสุดในการให้บริการของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าในแต่ละคาบเวลา (s_{jk}) ซึ่งค่านี้อาจจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป ทั้งนี้อาจเกิดได้จากการขยายขนาดของศูนย์กระจายสินค้านั้น ๆ ในแผนการพัฒนาในอนาคต หรืออาจจะลดขนาดของศูนย์กระจายสินค้าให้เล็กลง เป็นต้น

6) จำนวนคาบเวลาย่อยในระยะเวลาการวางแผน ซึ่งจำนวนคาบเวลาย่อยจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นกับธรรมชาติของปัญหาที่พิจารณา โดยหากลักษณะความต้องการของสาขามีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเปลี่ยนแปลงมาก จำนวนคาบเวลาย่อยจะต้องมีจำนวนมากซึ่งมีผลโดยตรงให้แต่ละคาบเวลามีระยะเวลาน้อยลงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะของปัญหาที่ความต้องการมีลักษณะคงที่ซึ่งคาบเวลาแต่ละคาบที่ยาวกว่าจะเหมาะสมกว่า

ในการเตรียมข้อมูลความต้องการของสาขาร้านนั้น หากจำนวนของสาขามีจำนวนมากอาจทำการรวม (aggregate) สาขาร้านที่อยู่ในบริเวณเดียวกันเข้าเป็นจุดเดียวกัน โดยใช้จุดศูนย์กลาง centroid ซึ่งระดับของการรวมนั้นอาจจะเป็นระดับพื้นที่ตำบล อำเภอ เป็นต้น ซึ่งขนาดของพื้นที่จะเป็นเท่าใดนั้นจะต้องพิจารณาระดับความหนาแน่นของร้านค้าต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งหมายถึงหากในบริเวณใดมีจำนวนของสาขากระจุกตัวอยู่ในบริเวณใกล้ ๆกันมาก (ระยะทางสูงสุดระหว่างสาขาน้อย) ในพื้นที่นั้นสามารถที่จะทำการรวมสาขาร้านเข้าเป็นจุดเดียวกันได้ แต่หากในบริเวณใดมีสาขาเบาบางมาก ก็ไม่สมควรที่จะรวมสาขาเข้าด้วยกันเพราะการรวมสาขาร้านแล้วแทนด้วยจุดศูนย์กลาง centroid นั้นจะมีการคลาดเคลื่อนขึ้นดังได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 2 ในหัวข้อกฎศูนย์ถ่วง (Center of Gravity)

6.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาโดยใช้ปัญหาทดสอบขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นปัญหาที่ใช้ทดสอบโดยนักวิจัยด้านนี้โดยทั่วไป แต่ในงานวิจัยนี้นั้นยังขาดการทดสอบสมรรถนะโดยใช้ปัญหาจริงในด้านการบริหารระบบการกระจายสินค้าขนาดใหญ่ ซึ่งหากสามารถนำขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาในงานวิจัยนี้ไปทำการประยุกต์ใช้กับปัญหาในระบบการกระจายสินค้าจริงจะสามารถทราบข้อจำกัดรวมทั้งข้อเสนอแนะจากผู้ปฏิบัติหน้าที่ เพื่อทำให้การพัฒนาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานั้นมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

อนึ่งในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าในอนาคตนั้นอาจใช้วิธีการผสมผสานระหว่างฮิวริสติกชนิดต่าง ๆ รวมเข้าเป็นขั้นตอนวิธีเดียวกัน ซึ่งอาจพิจารณาโดยนำข้อดี ข้อเสียของฮิวริสติกแต่ละประเภทมาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

รายการอ้างอิง

Anderberg, M.R. 1973. Cluster analysis for applications. New York: Academic Press.

Ballou, R.H. 1968. Dynamic warehouse location Analysis. Journal of Marketing Research 5: 271-276.

Church, R. L. and ReVelle, R.S. 1974. The maximal covering location problem. Papers of the Regional Science Association 32: 101-118.

Church, R.L. and ReVelle, R.S. 1976. Theoretical and computational links between the p-median location set-covering and the maximal covering location problem. Geographical Analysis 8: 406-415.

Cornuéjols, G., Fisher, M.L. and Nemhauser, G.L. 1977. Location of bank accounts to optimize float: an analytic study of exact and approximate algorithms. Management Science 23: 789–810.

Cornuéjols, G., Nemhauser, G.L., and Wolsey, L.A. 1990. The uncapacitated facility location problem: discrete location theory. New York: New York Wiley.

Current, J., Ratick, S. and Revelle, C. 1998. Dynamic facility location when the total number of facilities is uncertain: a decision analysis approach. European Journal of Operational Research 110: 597-609.

Daskin, M., Hopp, W., and Medina, B. 1992. Forecast horizons and dynamic facility location planning. Annal of Operations Research 40: 125-151.

Drezner, Z. 1995. Dynamic facility location: the progressive p-median problem. Location Science 3: 1-7.

Fisher, M.L. 1973. Optimal solution of scheduling problems using lagrange multipliers: part I. Operation Research 21(5): 1114–1127.

Fisher, M.L. 1981. The lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. Management Science 27: 1–18.

Fisher, M.L. 2004. The lagrangian relaxation method for solving integer programming problems. Management Science 50: 1861–1871.

Goldman, A.J. 1971. Optimal center location in simple networks. Transportation Science 5: 212–221.

Goldman, A.J. 1972. Minimax location of a facility in a network. Transportation Science 6: 407–418.

Hakimi, S. 1964. Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations Research 12: 450-459.

Hakimi, S. 1965. Optimum location of switching centers in a communications network and some related graph theoretic problems. Operations Research 13: 462-475.

Haley , K.B. 1963. Sitting of depots. International Journal of Production Research 2: 41-53.

Hartigan, J.and Wong, M.A. 1979. A k-means clustering algorithm. Journal of The Royal Statistical Society Series C 28: 100-108.

Held, M. and R.M. Karp. 1970. Traveling-salesman problem and minimum spanning trees. Operation Research 18(6): 1138–1162.

Held, M. and R.M. Karp. 1971. The traveling salesman problem and minimum spanning trees: Part II. Math. Programming 1: 6–25.

Holland, J.H. 1975. Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Ann Arbor: University of Michigan.

MacQueen, J. 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Proceedings of Fifth Berkeley Syposium on Mathematical Statistics and Probability 1: 281-297.

Maranzana, F.E. 1964. On the location of supply points to minimize transport costs. Operational Research Quarterly 15: 261-270.

Martin, H. 2003. Experimental comparison of heuristic and approximation algorithms for uncapacitated facility location. Lecture Notes in Computer Science 2647: 165-178.

Michalewicz, Z. 1996. Genetic algorithm + data structures = evolution programming. 3rd edition. New York: Springer-Verlag.

Mulvey, J.M. and Crowder, H.P. 1979. Cluster analysis: an application of lagrangian relaxation. Management Science 25(4): 329-340.

Owen, S.H. and Daskin, M.S. 1998. Strategic facility location: a review. European Journal of Operational Research 111: 423-447.

Rao, M.R. 1971. Cluster analysis and mathematical programming. Journal of the American Statistical Association 66: 622-626.

ReVelle, C.S., Eiselt, H.A. and Daskin, M.S. 2008. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. European Journal of Operational Research 184: 817-848.

ReVelle, C.S., Marks, D. and Liebman, J.C. 1970. An analysis of private and public sector location models. Management Science 16(11): 692-707.

Roodman, G.M. and Schwarz, L.B. 1975. Optimal and heuristic facility phase-out strategies. AIIE Transactions 7(2): 177-184.

Simchi-Levi, Chen and Bramel ,In. The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management. Second edition. New York: Springer-Verlag.

Sultan, K.S. and Fawzan, M.A. 1999. A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem. Annals of Operations Research 86: 91-103.

Sweeney, D.J. and Tatham, R.L. 1976. An improved long-run model for multiple warehouse location. Management Science 22(7): 748-758.

Ting, C.J., Chen, C.H. and Hong, M.H. 2003. On the use of genetic algorithms to solve the dynamic location problem. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 5: 2247-2260.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. and Bergman, L. 1971. The location of emergency service facilities. Operations Research 19: 1363-1373.

Van Roy, T.J. and Erlenkotter, D. 1982. A dual-based procedure for dynamic facility location. Management Science 28: 1091-1105.

Vinod, H.D. 1969. Integer programming and the theory of groups. Journal of the American Statistical Association 64: 506-519.

Virgin,R.C. and Rogers, J.D. 1967. An algorithm and computational procedure for locating economic facilities. Management Science 13 No.6: B-240.

Ward, J.H. 1963. Hierachical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58: 236-244.

Watsan-Gandy, C.D.T. A note on the centre of gravity in depot location. Management Science 18 No.8: B-478–B-481.

Weber, A. 1929. Alfred weber's theory of the location of Industries. Uber den Standort der Industrien. Chicago, IL: University of Chicago.

Wesolowsky, G.O. 1973. Dynamic facility location. Management Science 19(11): 1241-1248.

Wesolowsky, G.O. and Truscott, W.G. 1975. The multi period location-allocation problem with relocation of facilities. Management Science 22: 57-65.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตารางผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Run time
Non-improve	Tabu tenure	Non-improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
5	5	10	5	960,020	802,600	858,660	895,680	928,940	889,180	1.62
			10	961,620	794,300	860,360	897,370	935,120	889,754	1.68
			15	960,400	799,960	856,040	895,640	972,270	896,862	1.66
		20	5	980,040	803,190	859,430	906,660	976,400	905,144	1.95
			10	953,710	805,230	852,330	942,580	944,010	899,572	1.93
			15	980,620	799,700	861,460	897,550	944,010	896,668	2.10
		40	5	964,900	802,810	867,210	897,370	949,650	896,388	2.87
			10	974,810	801,510	861,360	893,080	941,790	894,510	2.58
			15	989,000	801,590	870,500	899,490	937,180	899,552	2.89
	10	10	5	963,220	797,640	863,940	894,100	934,590	890,698	3.40
			10	970,230	801,730	854,350	900,760	944,010	894,216	3.30
			15	972,750	797,570	851,670	901,810	948,840	894,528	3.33
		20	5	990,140	801,930	866,520	898,160	935,420	898,434	3.66
			10	965,250	797,450	856,270	910,090	935,110	892,834	3.55
			15	971,490	802,600	865,300	917,610	934,590	898,318	3.48
		40	5	965,480	793,440	862,570	897,550	950,660	893,940	4.30
			10	970,780	800,590	859,590	899,190	946,630	895,356	4.63
			15	965,440	802,570	863,770	894,750	934,590	892,224	4.51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

91

ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Runtime
Non-improve	Tabu tenure	Non-improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
5	20	10	5	964,440	799,360	852,430	899,600	937,180	890,602	3.39
			10	974,110	803,560	857,560	931,330	939,760	901,264	3.44
			15	965,590	798,290	853,420	897,520	957,640	894,492	3.38
		20	5	961,020	797,530	858,410	897,010	945,420	891,878	3.57
			10	964,420	798,390	852,150	899,780	931,510	889,250	3.80
			15	951,230	798,720	854,060	903,540	939,760	889,462	3.62
		40	5	958,480	805,860	866,520	893,250	944,010	893,624	4.76
			10	962,800	800,620	868,030	898,830	937,150	893,486	4.67
			15	973,941	804,700	852,260	898,170	934,110	892,636	4.41
40	5	10	5	975,350	795,290	863,940	894,560	929,480	891,724	4.69
			10	958,500	796,800	852,150	899,780	934,590	888,364	4.72
			15	962,940	799,210	859,350	896,660	931,510	889,934	4.65
		20	5	972,000	796,150	860,250	898,830	931,510	891,748	5.09
			10	963,960	796,870	852,760	894,100	935,120	888,562	5.13
			15	964,940	799,360	852,760	894,750	935,120	889,386	5.25
		40	5	955,550	796,150	855,330	895,640	934,590	887,452	6.48
			10	966,740	797,210	853,420	894,800	939,760	890,386	8.47
			15	962,480	794,160	855,010	894,750	934,590	888,198	6.34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

92

ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Runtime
Non-improve	Tabu tenure	Non-improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
40	10	10	5	963,880	800,140	855,330	894,100	928,940	888,478	4.89
			10	966,740	796,010	856,630	898,830	928,940	889,430	4.81
			15	971,730	796,490	853,420	905,280	929,480	891,280	4.74
		20	5	957,400	796,150	853,420	895,410	944,010	889,278	5.72
			10	966,300	797,510	854,240	897,370	931,510	889,386	5.40
			15	973,020	794,300	856,880	894,750	934,110	890,612	5.16
		40	5	961,900	793,440	859,440	898,270	929,480	888,506	6.09
			10	965,550	797,450	851,500	896,660	934,590	889,150	6.92
			15	963,440	795,610	855,790	894,100	934,590	888,706	6.34
	20	10	5	966,940	800,950	852,330	893,780	934,110	889,622	4.82
			10	965,520	796,150	856,100	900,510	934,590	890,574	5.02
			15	961,610	796,150	851,670	904,880	929,480	888,758	4.87
		20	5	959,560	796,800	853,420	894,800	929,480	886,812	5.46
			10	960,180	801,930	856,630	900,110	935,120	890,794	5.66
			15	958,680	794,300	855,010	900,620	931,510	888,024	5.44
		40	5	959,620	794,300	851,670	894,100	939,760	887,890	6.03
			10	962,910	795,880	855,330	894,100	931,510	887,946	6.02
			15	965,510	796,870	851,500	893,960	934,110	888,390	6.04

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Runtime
Non-improve	Tabu-tenure	Non-improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
100	5	10	5	968,380	794,300	852,760	894,560	928,940	887,788	10.57
			10	963,120	794,300	852,760	894,750	949,650	890,916	10.86
			15	959,640	794,160	855,970	894,100	928,940	886,562	10.70
		20	5	964,840	794,300	851,500	894,100	928,940	886,736	12.72
			10	968,420	796,650	852,760	893,080	928,940	887,970	12.62
			15	963,270	794,300	852,760	894,800	928,940	886,814	10.91
		40	5	965,880	796,870	852,760	893,250	928,940	887,540	17.50
			10	961,830	795,880	852,760	893,250	949,650	890,674	12.39
			15	967,740	793,440	855,330	894,100	931,510	888,424	13.49
	10	10	5	955,920	799,950	852,750	894,100	928,940	886,332	10.48
			10	959,740	796,150	852,760	895,640	934,590	887,776	10.88
			15	965,720	794,300	851,500	898,270	931,510	888,260	10.81
		20	5	960,090	796,010	852,760	894,750	934,110	887,544	11.22
			10	968,740	797,740	856,880	894,100	928,940	889,280	11.19
			15	960,700	796,800	851,500	894,800	929,480	886,656	10.02
		40	5	962,655	796,870	862,050	894,100	928,940	888,923	11.45
			10	951,260	794,960	854,060	893,730	944,010	887,604	13.34
			15	963,150	794,300	855,330	894,100	934,590	888,294	12.35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

94

ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Runtime
Non-improve	Tabu tenure	Non-improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
100	20	10	5	963,170	794,960	856,270	893,080	928,940	887,284	10.77
			10	966,650	794,300	854,060	894,800	928,940	887,750	10.67
			15	963,240	794,300	852,760	893,080	929,480	886,572	11.17
		20	5	960,180	797,510	853,420	894,750	929,480	887,068	9.82
			10	963,900	794,300	852,330	893,730	928,940	886,640	9.57
			15	968,450	796,810	853,420	900,030	929,480	889,638	9.39
		40	5	968,640	794,300	856,270	893,250	929,480	888,388	11.49
			10	965,050	794,300	852,330	893,080	928,940	886,740	10.83
			15	964,320	799,360	852,760	893,080	934,590	888,822	10.59
120	**5**	**10**	5	963,150	794,960	852,760	894,100	928,940	886,782	13.81
			10	964,470	794,300	853,420	893,080	928,940	886,842	13.71
			15	**957,180**	**795,880**	**852,760**	**894,800**	**928,940**	**885,912**	**13.67**
		20	5	961,960	793,440	851,670	897,550	928,940	886,712	13.34
			10	968,020	794,300	852,760	894,100	928,940	887,624	13.30
			15	963,150	794,300	852,760	894,800	934,590	887,920	13.54
		40	5	972,900	795,880	852,740	894,100	931,510	889,426	14.16
			10	965,690	794,300	852,760	894,100	929,480	887,266	14.27
			15	970,060	794,300	851,670	894,100	928,940	887,814	13.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 (ต่อ) ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

Location phase		Allocation phase		Objective function value (Z)						Runtime
Non_improve	Tabu tenure	Non improve	Tabu tenure	cap124	cap131	cap132	cap133	cap134	Average	(second)
120	10	10	5	964,740	794,960	852,760	894,100	929,480	887,208	14.29
			10	968,760	794,300	852,760	893,080	928,940	887,568	13.55
			15	962,820	794,300	852,760	894,100	928,940	886,584	14.08
		20	5	964,900	794,300	852,760	893,080	929,480	886,904	14.21
			10	**951,230**	**794,300**	**852,760**	**894,800**	**929,480**	**884,514**	**13.28**
			15	966,710	794,300	855,970	894,800	929,480	888,252	12.90
		40	5	964,410	795,880	852,760	893,080	928,940	887,014	12.77
			10	970,280	794,300	853,420	894,100	928,940	888,208	12.84
			15	965,880	794,300	851,500	894,100	928,940	886,944	12.57
	20	10	5	966,210	794,300	851,500	894,750	929,480	887,248	12.95
			10	965,880	794,300	852,760	894,100	928,940	887,196	12.96
			15	962,290	794,300	853,420	894,100	928,940	886,610	13.25
		20	5	960,180	794,300	852,760	894,100	928,940	886,056	12.84
			10	966,490	796,150	852,760	894,100	928,940	887,688	13.48
			15	964,410	794,300	852,760	894,100	928,940	886,902	12.70
		40	5	960,960	794,300	852,760	894,100	928,940	886,212	12.73
			10	968,730	794,300	852,760	894,100	928,940	887,766	12.12
			15	964,460	794,300	852,760	894,100	928,940	886,912	12.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาจำนวนประชากรที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหาทดลอง	จำนวนรุ่น	จำนวนของประชากร (Number of population)					
		ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์			เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)		
		10	20	30	10	20	30
cap124	80	988,877	988,907	1,008,373	10.27	17.27	24.83
	120	1,001,540	967,507	966,337	13.20	23.49	33.84
cap131	80	814,910	809,257	813,377	11.06	18.38	25.18
	120	806,990	808,233	803,093	14.35	25.17	35.81
cap132	80	864,500	866,470	870,220	11.10	18.06	24.16
	120	861,353	860,690	860,530	14.28	24.01	33.34
cap133	80	910,823	896,390	902,683	10.58	16.96	24.65
	120	897,510	896,070	897,230	13.32	22.81	33.27
cap134	80	951,263	940,137	943,293	10.43	17.62	24.18
	120	938,180	929,300	931,843	13.41	23.51	33.15
ค่าเฉลี่ย		903,595	896,296	899,698	12.20	20.73	29.24

หมายเหตุ: ทำการทดลองโดยใช้จำนวนรุ่น (Number of generations) 2 ค่า คือ 80 และ 120 รุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดลองหาจำนวนรุ่นค่าต่าง ๆที่เหมาะสมของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหาทดลอง	จำนวนของรุ่น (Number of generations)							
	40	60	80	100	120	140	160	180
cap124	1,043,800	1,018,830	1,008,373	971,967	966,337	968,713	973,033	969,657
cap131	823,960	821,433	813,377	805,917	803,093	802,790	804,250	801,780
cap132	898,170	876,377	870,220	868,053	860,530	857,197	854,977	859,053
cap133	934,680	902,180	902,683	904,083	897,230	896,517	897,427	894,723
cap134	980,557	958,160	943,293	932,357	931,843	930,470	928,940	928,940
ค่าเฉลี่ย	936,233	915,396	907,589	896,475	891,807	891,137	891,725	890,831

หมายเหตุ: ทำการทดลองที่ค่าพารามิเตอร์จำนวนประชากรเท่ากับ 30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู (Tabu) และขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (GA)

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods											
		1				3				5			
		Objective function		Runtime		Objective function		Runtime		Objective function		Run time	
		Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA
P91	0.01	671,960	674,880	20.09	48.74	2,096,400	2,097,800	35.34	154.20	3,948,500	3,893,700	70.71	250.69
	0.1	678,810	676,930	21.66	47.24	2,140,000	2,135,500	43.04	146.59	4,013,700	3,963,500	52.06	256.80
	0.4	699,920	703,930	23.69	48.27	2,235,600	2,281,800	39.06	147.57	4,223,800	4,188,500	51.60	239.85
	0.8	727,870	732,130	22.06	47.47	2,379,000	2,441,300	33.56	147.08	4,434,000	4,473,700	49.22	246.94
P92	0.01	719,240	714,990	21.56	47.24	2,174,300	2,193,800	32.46	147.15	4,040,200	3,999,200	55.68	252.53
	0.1	725,120	727,420	22.44	48.18	2,224,900	2,247,700	35.18	151.39	4,157,600	4,115,600	54.77	260.97
	0.4	767,260	760,250	22.12	31.73	2,386,000	2,398,800	38.12	98.39	4,430,000	4,446,900	48.46	164.77
	0.8	797,230	804,690	23.13	47.01	2,538,100	2,600,500	33.44	143.26	4,787,500	4,746,100	47.92	244.38
P93	0.01	766,210	754,830	20.76	46.64	2,253,800	2,266,100	34.71	149.79	4,138,700	4,099,600	58.32	260.46
	0.1	775,540	773,540	21.85	46.32	2,329,000	2,330,500	33.51	147.25	4,258,200	4,246,400	49.92	248.22
	0.4	804,250	809,630	21.05	46.83	2,511,400	2,552,900	33.99	142.21	4,608,300	4,650,400	47.71	247.08
	0.8	876,490	848,150	19.41	46.63	2,697,900	2,706,400	33.07	142.31	4,976,400	5,113,400	45.30	240.10
P94	0.01	802,000	805,880	21.78	46.59	2,361,100	2,359,100	33.23	148.25	4,293,600	4,230,200	50.04	256.96
	0.1	817,750	821,490	21.52	46.91	2,443,900	2,473,200	32.40	146.31	4,470,300	4,442,900	50.28	247.91
	0.4	889,550	854,650	18.97	48.19	2,664,400	2,665,200	32.76	143.35	4,859,600	4,864,800	45.96	244.73
	0.8	932,770	894,650	17.66	47.50	2,966,000	2,865,300	33.63	141.17	5,341,600	5,402,100	45.83	238.45

หมายเหตุ: อัตราส่วนของ a_j กับ f_j คือ สัดส่วนของค่าดำเนินงานต่อปีต่อต้นทุนคงที่ในการก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้า j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู (Tabu) และขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (GA)

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods											
		1				3				5			
		Objective function		Run time		Objective function		Runtime		Objective function		Run time	
		Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA
P101	0.01	667,710	672,870	15.35	51.79	2,094,600	2,096,000	35.56	158.75	3,888,000	3,893,700	64.43	272.92
	0.1	676,000	676,930	15.26	51.86	2,129,700	2,138,900	33.19	156.29	3,968,300	3,977,400	58.27	262.96
	0.4	699,920	701,190	14.81	49.60	2,231,900	2,250,400	32.99	154.48	4,158,400	4,185,600	50.11	264.37
	0.8	727,870	731,430	14.73	50.49	2,355,100	2,392,200	32.10	154.25	4,380,100	4,444,100	47.64	264.91
P102	0.01	714,990	720,530	14.70	48.03	2,172,500	2,190,100	34.11	111.32	3,990,800	3,999,200	54.01	190.34
	0.1	725,120	732,450	14.94	34.94	2,223,100	2,240,731	33.37	106.53	4,092,100	4,103,300	53.14	188.32
	0.4	765,250	771,770	14.54	32.82	2,375,800	2,392,900	32.53	106.23	4,375,100	4,426,800	50.93	193.81
	0.8	801,820	798,120	14.82	33.36	2,529,300	2,529,300	31.56	99.90	4,711,500	4,808,300	48.20	167.65
P103	0.01	761,650	756,470	15.33	33.79	2,243,300	2,252,500	34.98	106.14	4,080,300	4,146,200	55.39	226.58
	0.1	774,070	767,430	14.79	33.64	2,309,400	2,354,700	34.71	109.16	4,205,500	4,251,000	51.74	216.62
	0.4	810,820	804,250	14.72	33.17	2,487,900	2,510,600	32.12	103.51	4,574,500	4,728,200	51.70	202.50
	0.8	845,310	842,940	15.69	32.78	2,692,900	2,730,800	30.76	98.66	4,948,300	5,101,100	46.35	170.02
P104	0.01	808,570	805,770	14.43	51.00	2,340,900	2,363,300	34.62	155.31	4,198,000	4,216,300	50.54	184.30
	0.1	820,040	817,390	14.94	33.37	2,420,400	2,452,300	31.41	103.83	4,362,600	4,498,400	49.34	186.32
	0.4	849,440	848,900	14.62	33.14	2,649,400	2,635,400	31.48	97.96	4,801,995	4,882,100	50.36	160.50
	0.8	880,880	885,510	15.42	31.60	2,865,300	2,877,900	31.58	90.50	5,241,500	5,398,400	50.23	152.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบพลวัตด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู (Tabu) และขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (GA)

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods											
		1				3				5			
		Objective function		Run time		Objective function		Runtime		Objective function		Run time	
		Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA
P121	0.01	648,360	658,260	14.48	39.38	1,923,100	1,945,400	30.45	140.18	3,432,800	3,449,500	54.74	248.24
	0.1	660,560	675,350	14.20	39.31	1,989,100	2,031,100	32.34	137.04	3,585,100	3,605,200	49.49	254.98
	0.4	682,980	691,300	14.13	37.06	2,168,800	2,226,500	30.57	122.97	3,950,700	4,033,000	41.24	243.83
	0.8	711,790	732,080	13.56	37.16	2,282,000	2,359,000	31.49	114.60	4,262,500	4,447,100	40.45	199.15
P122	0.01	699,560	698,040	14.96	36.83	2,074,900	2,108,100	27.88	123.20	3,654,600	3,723,600	49.74	229.90
	0.1	708,410	732,200	25.35	37.36	2,164,900	2,201,900	28.14	124.96	3,838,100	3,943,000	44.24	227.13
	0.4	743,190	749,970	26.79	35.01	2,327,900	2,430,100	27.76	115.34	4,332,800	4,381,600	40.06	203.36
	0.8	779,220	781,750	27.11	35.14	2,480,900	2,590,600	27.04	108.66	4,580,000	4,744,600	39.25	178.22
P123	0.01	747,820	740,440	26.65	48.37	2,190,000	2,207,500	26.88	153.21	3,804,300	3,931,200	43.86	266.24
	0.1	751,470	781,190	28.04	43.15	2,279,800	2,324,200	26.12	155.56	4,028,200	4,138,100	42.23	278.63
	0.4	788,220	797,800	27.87	47.73	2,434,400	2,529,800	25.80	150.19	4,446,400	4,601,000	42.31	260.18
	0.8	828,520	843,270	29.03	35.19	2,646,100	2,759,400	27.60	103.58	4,815,000	5,128,000	41.49	177.04
P124	0.01	787,030	793,780	27.72	34.18	2,317,500	2,338,600	27.43	114.32	4,066,400	4,171,000	45.51	214.24
	0.1	803,060	814,270	26.63	35.04	2,360,200	2,457,000	25.87	108.42	4,296,900	4,407,700	42.23	202.84
	0.4	842,530	855,680	14.39	34.20	2,620,200	2,742,900	25.05	103.33	4,673,600	4,967,200	38.19	186.38
	0.8	950,640	887,090	23.86	35.09	2,818,900	2,836,800	26.13	101.07	5,195,900	5,382,300	41.02	181.65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

101

ตารางที่ 4 (ต่อ) ผลการหาคำตอบปัญหาตำแหน่งที่ตั้งแบบสถิตด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู (Tabu) และขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (GA)

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods											
		1				3				5			
		Objective function		Run time		Objective function		Runtime		Objective function		Run time	
		Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA	Tabu	GA
P131	0.01	646,600	654,760	13.21	38.67	1,923,100	1,966,200	31.97	141.34	3,431,900	3,460,600	57.55	258.23
	0.1	655,560	664,690	12.41	38.79	1,979,400	2,042,500	29.40	137.26	3,565,000	3,609,300	50.63	246.83
	0.4	682,230	691,000	12.23	36.91	2,136,000	2,224,100	28.26	123.70	3,899,600	4,036,700	45.64	224.86
	0.8	716,450	730,860	12.17	37.54	2,277,400	2,348,800	28.34	110.51	4,191,300	4,454,100	44.51	219.75
P132	0.01	700,600	709,590	12.34	37.39	2,049,500	2,105,600	29.28	130.80	3,627,300	3,695,600	51.09	242.42
	0.1	712,980	722,490	12.40	36.39	2,115,800	2,192,300	29.78	124.24	3,797,500	3,904,700	44.44	218.76
	0.4	751,250	750,500	11.74	36.12	2,298,000	2,411,500	26.41	112.36	4,204,900	4,381,800	39.86	195.69
	0.8	788,260	792,210	12.36	35.67	2,501,400	2,535,000	25.03	103.88	4,566,900	4,844,500	37.59	192.74
P133	0.01	748,670	740,660	11.97	34.89	2,159,200	2,198,700	27.58	120.26	3,790,600	3,913,000	44.51	238.26
	0.1	762,290	751,680	11.78	36.04	2,222,500	2,323,500	26.41	121.92	3,980,100	4,091,000	40.81	230.19
	0.4	795,260	795,260	11.67	34.52	2,440,300	2,568,300	25.82	109.27	4,408,600	4,752,600	42.99	193.97
	0.8	835,030	836,810	11.96	33.49	2,621,300	2,693,800	26.60	101.80	4,806,900	5,001,200	38.87	176.38
P134	0.01	792,260	787,030	12.13	35.71	2,267,300	2,401,200	26.22	150.18	3,995,800	4,193,200	42.95	273.29
	0.1	805,760	812,320	12.07	33.75	2,377,300	2,440,100	26.47	110.47	4,175,100	4,431,400	41.14	218.66
	0.4	843,310	841,360	11.36	32.81	2,586,900	2,604,100	24.56	102.35	4,705,000	4,929,100	38.39	175.99
	0.8	876,330	871,360	11.74	33.64	2,829,900	2,871,500	25.32	101.08	5,158,000	5,274,200	37.32	165.49
	ค่าเฉลี่ย	**766,057**	**766,829**	**17.61**	**39.99**	**2,349,802**	**2,391,250**	**30.76**	**126.36**	**4,284,794**	**4,374,441**	**47.66**	**222.33**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

102

ตารางที่ 5 จำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods					
		1		3		5	
		Number of facilities		Number of facilities		Number of facilities	
		TABU	GA	TABU	GA	TABU	GA
p91	0.01	13	14	18-18-18	20-20-20	23-23-23-23-23	25-25-25-25-25
	0.1	12	12	16-16-16	16-16-17	20-20-20-20-20	21-22-22-22-22
	0.4	10	12	15-15-15	15-17-20	16-17-17-17-17	16-18-19-20-20
	0.8	9	10	13-13-13	16-18-20	14-14-14-14-14	13-17-20-20-20
p92	0.01	9	9	15-15-15	15-16-17	19-19-19-19-19	22-22-22-22-22
	0.1	9	10	15-15-15	15-17-17	19-19-19-19-19	19-21-21-21-21
	0.4	8	7	12-12-12	13-14-14	14-14-14-14-14	14-15-15-15-19
	0.8	7	6	9-9-9	9-11-12	11-12-12-12-12	12-12-14-14-14
p93	0.01	8	8	14-14-14	14-14-14	19-19-19-19-19	20-20-20-20-20
	0.1	7	7	13-13-13	15-15-15	16-16-16-16-16	16-18-18-18-18
	0.4	7	5	10-10-10	10-10-11	13-13-13-13-13	10-12-14-14-15
	0.8	6	4	8-8-8	10-10-10	9-9-9-9-9	8-8-9-9-13
p94	0.01	7	5	13-13-13	13-13-13	17-17-17-17-17	18-18-18-18-18
	0.1	7	5	10-10-10	11-12-12	16-16-16-16-16	12-16-17-17-17
	0.4	5	4	8-8-8	10-10-10	9-9-9-9-9	9-11-12-12-12
	0.8	4	4	7-7-7	7-7-7	9-9-9-9-9	8-8-8-8-9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

103

ตารางที่ 5 (ต่อ) จำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods					
		1		3		5	
		Number of facilities		Number of facilities		Number of facilities	
		TABU	GA	TABU	GA	TABU	GA
p101	0.01	13	15	18-18-18	19-19-19	23-23-23-23-23	25-25-25-25-25
	0.1	12	12	16-16-16	18-19-19	20-20-20-20-20	23-25-25-25-25
	0.4	10	11	15-15-15	16-16-17	15-16-16-16-16	18-20-20-20-20
	0.8	9	8	13-13-13	14-14-16	14-14-14-14-14	17-17-17-17-18
p102	0.01	9	10	15-15-15	17-18-18	18-18-18-18-18	22-22-22-22-22
	0.1	9	10	15-15-15	15-15-15	18-18-18-18-18	17-18-18-18-18
	0.4	8	6	12-12-12	11-11-12	14-14-14-14-14	15-15-17-18-18
	0.8	7	6	9-9-9	9-9-9	10-10-10-10-10	10-11-13-14-16
p103	0.01	8	7	14-14-14	14-14-14	18-18-18-18-18	25-25-25-25-25
	0.1	7	8	13-13-13	15-16-17	15-15-15-15-15	20-20-20-20-20
	0.4	7	7	10-10-10	9-10-10	12-12-12-12-12	16-17-17-18-19
	0.8	4	4	8-8-8	7-8-8	9-9-9-9-9	7-9-10-11-11
p104	0.01	7	6	13-13-13	15-15-15	15-15-15-15-15	17-17-17-17-17
	0.1	5	5	10-10-10	14-14-14	14-14-14-14-14	16-19-20-20-20
	0.4	4	4	8-8-8	8-8-8	9-9-9-9-9	7-10-10-11-12
	0.8	3	3	7-7-7	5-6-6	7-7-7-7-7	6-7-7-7-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 (ต่อ) จำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods					
		1		3		5	
		Number of facilities		Number of facilities		Number of facilities	
		TABU	GA	TABU	GA	TABU	GA
p121	0.01	15	14	30-30-30	37-38-38	42-42-42-42-42	45-45-47-48-48
	0.1	13	15	25-25-25	31-35-36	39-39-39-39-39	36-40-42-44-44
	0.4	10	12	21-21-21	20-24-28	24-24-24-24-24	21-31-37-37-40
	0.8	10	13	14-14-14	14-15-18	16-17-17-17-17	13-17-24-30-35
p122	0.01	10	10	25-25-25	26-26-28	37-37-37-37-37	36-43-45-46-46
	0.1	10	9	23-23-23	22-27-27	28-28-28-28-28	26-39-39-43-43
	0.4	8	8	15-15-15	15-15-22	20-20-20-20-20	17-20-22-24-25
	0.8	7	6	11-11-11	9-12-14	12-13-13-13-13	10-11-13-15-15
p123	0.01	9	7	20-20-20	16-17-17	27-27-27-27-27	32-36-38-39-41
	0.1	7	6	18-18-18	14-18-20	22-22-22-22-22	22-26-29-29-29
	0.4	7	6	10-10-10	10-14-15	15-15-15-15-15	11-12-14-14-17
	0.8	5	5	8-8-8	6-9-9	10-10-10-10-10	9-10-10-11-17
p124	0.01	7	5	17-17-17	15-16-16	24-24-24-24-24	24-32-32-34-34
	0.1	6	7	13-13-13	14-16-16	19-19-19-19-19	15-18-21-24-24
	0.4	5	6	9-9-9	8-9-11	11-11-11-11-11	9-10-12-16-19
	0.8	4	4	6-6-6	6-7-7	7-8-8-8-8	6-9-9-9-11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 (ต่อ) จำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เปิดให้บริการที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

ปัญหา	$\frac{a_j}{f_j}$	Number of periods					
		1		3		5	
		Number of facilities		Number of facilities		Number of facilities	
		TABU	GA	TABU	GA	TABU	GA
p131	0.01	14	16	30-30-30	39-42-42	42-42-42-42-42	38-43-47-47-47
	0.1	13	15	24-24-24	34-39-39	37-37-37-37-37	36-43-45-45-46
	0.4	11	12	19-19-19	19-29-29	22-22-22-22-22	20-24-30-36-37
	0.8	11	11	15-15-15	12-12-14	16-16-17-17-17	17-18-27-32-34
p132	0.01	11	10	23-23-23	27-31-31	35-35-35-35-35	37-43-45-45-45
	0.1	11	10	20-20-20	25-27-27	26-26-26-26-26	30-40-40-40-40
	0.4	9	7	14-14-14	14-17-20	17-17-17-17-17	16-20-25-25-28
	0.8	6	6	10-10-10	9-11-11	11-12-12-12-12	7-10-14-17-20
p133	0.01	9	7	19-19-19	18-20-21	29-29-29-29-29	26-37-38-38-38
	0.1	8	7	16-16-16	18-21-22	20-20-20-20-20	23-23-26-1929
	0.4	6	6	11-11-11	10-13-14	14-14-14-14-14	17-18-20-22-27
	0.8	5	4	7-7-7	7-7-8	10-10-10-10-10	7-9-11-12-13
p134	0.01	6	7	14-14-14	17-21-22	22-22-22-22-22	22-30-34-34-35
	0.1	6	6	12-12-12	12-15-15	16-16-16-16-16	17-23-24-25-26
	0.4	4	3	9-9-9	7-8-8	10-10-10-10-10	6-8-8-11-14
	0.8	3	3	7-7-7	3-4-4	7-7-7-7-7	6-6-6-7-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

106

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์เชิงสถิติของผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์เชิงสถิติของผลการทดลอง

1. การแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งสถิต

ในการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งสถิตนั้น กำหนดให้ค่าปัจจัยต่าง ๆ ในการทดลองเป็นแบบคงที่ จึงทำการเปรียบเทียบผลของวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นว่าส่งผลต่อผลการทดลองอย่างไร โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 1 ปัจจัยในการวิเคราะห์ผล ซึ่งปัจจัยคือ ประเภทของวิธีการค้นหาคำตอบ

1.1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

จากผลการทดลองของการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งสถิตด้วยวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ต้องการทราบว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างจากค่าที่ดีที่สุดของปัญหาตัวอย่างหรือไม่ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 1 ปัจจัย

กำหนดให้

μ_{opt} คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุด

μ_{Tabu} คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู

μ_{GA} คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_{opt} = \mu_{Tabu} = \mu_{GA}$

H_1 : at least one mean is difference

อาศัยข้อมูลจากผลการทดลองตารางที่ 5.4 แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของคำตอบ

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F_0	*P*-value
Algorithm	2	922800879	461400439	0.15	0.864
Error	45	1.41533×10^{11}	3145185642		
Total	47	1.42456×10^{11}			

จากผลการวิเคราะห์พบว่า F_0 มีค่าเท่ากับ 0.15 นำมาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตที่ปลายบนของการแจกแจง $F_{2,45}$ และเลือกค่า α =0.05 ซึ่งพบว่า $F_{0.05,2,45}$ =3.204 เห็นได้ว่า F_0=0.15 < 3.204 จะต้องยอมรับ H_0 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบจาก

ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบู ค่าเฉลี่ยของคำตอบจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมและค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดนั้นไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 95% สอดคล้องกับรูปที่ 1 ที่แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบทั้งสามนั้นมีค่าคาบเกี่ยวกัน

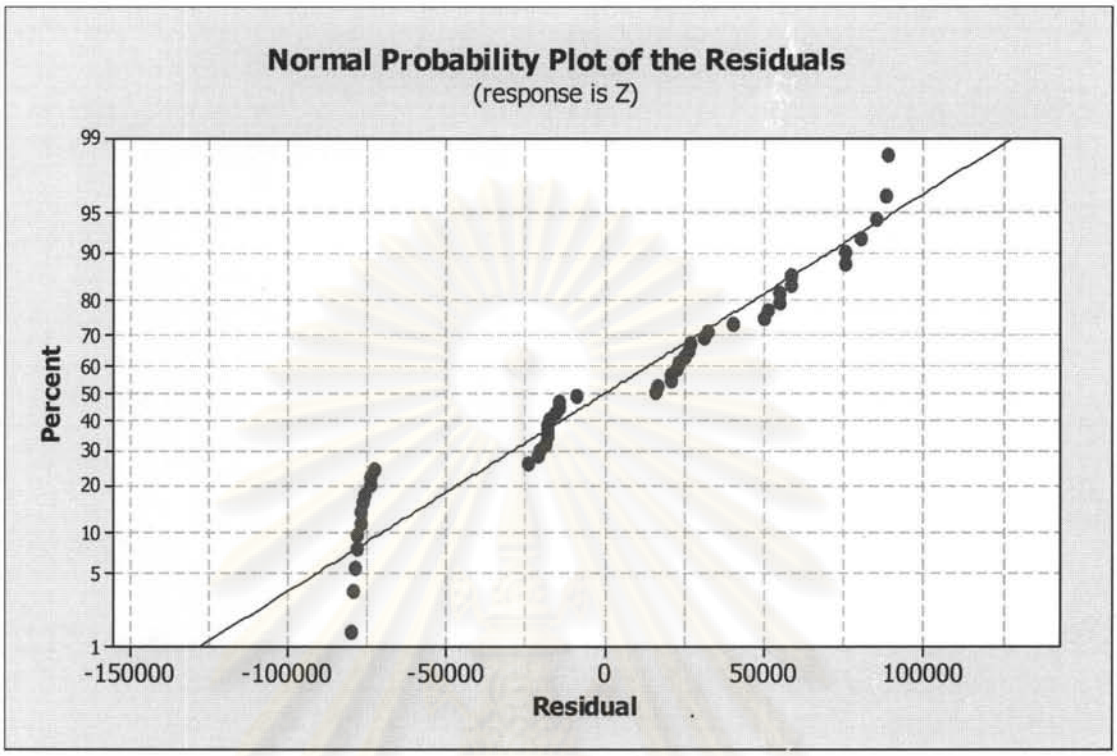
```
Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
Level   N    Mean  StDev ---------+---------+---------+---------+
1      16  870212  54486  (-------------*-------------)
2      16  873986  56714    (-------------*-------------)
3      16  880807  57011       (-------------*-------------)
---------+---------+---------+---------+
860000    880000    900000    920000

Pooled StDev = 56082
```

รูปที่ 1 ช่วงความเชื่อมั่นของของค่าเฉลี่ยของคำตอบ

การตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (normality) ของข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำได้โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าข้อมูลมีการกระจายในแนวเส้นตรง นั่นคือข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

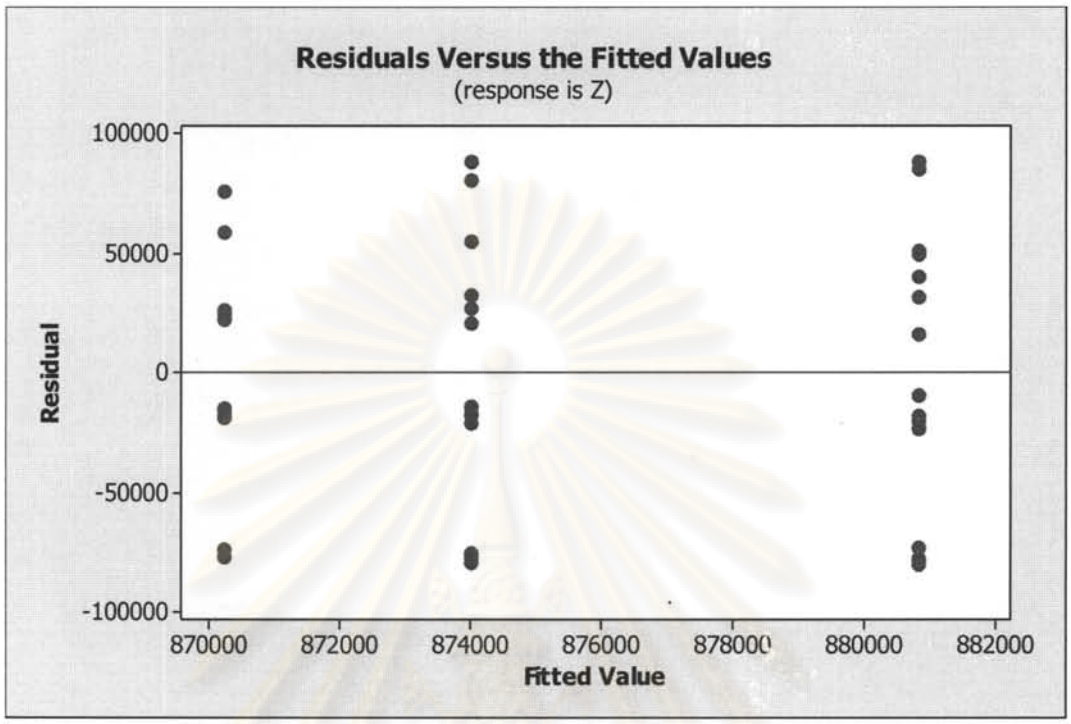
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง

การตรวจสอบสมมติฐานความเท่ากันของความแปรปรวน (equality of variance) ทำได้โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (residual versus fit plot) ดังแสดงในรูปที่ 3 เห็นได้ว่าที่แต่ละระดับของปัจจัยนั้นค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวรอบค่า 0 แสดงว่ามีความเท่ากันของความแปรปรวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3 แผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

2. การแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัต

สำหรับการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตนี้มี 2 ปัจจัยที่จะพิจารณาว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อผลการทดลองหรือไม่ คือ ประเภทของขั้นตอนวิธี และจำนวนคาบ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ปัจจัยในการวิเคราะห์ผล

2.1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

จากผลการทดลองการแก้ปัญหาตำแหน่งที่ตั้งพลวัตโดยใช้ฮิวริสติกการค้นหาแบบทาบูและขั้นตอนวิธีพันธุกรรม และทำการทดลองด้วยโปรแกรม MATLAB ที่ปรับเปลี่ยนจำนวนคาบในการวางแผน 3 ค่า คือ 1, 3 และ 5 คาบ จึงต้องทำการวิเคราะห์ว่าประเภทของวิธีฮิวริสติกที่ใช้ (A) และจำนวนคาบการวางแผน (B) ส่งผลต่อฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือไม่

กำหนดให้

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากแต่ละประเภทของขั้นตอนวิธี; $i \in A$

μ_j คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากแต่ละคาบ; $j \in B$

μ_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่เกิดจากอันตรกิริยา

สมมติฐาน

- ผลของอันตรกิริยา (Interaction:AB)

$H_0 : \mu_{ij} = 0$ for all i,j

H_1 : at least one μ_{ij} is difference

- ผลของประเภทของวิธีฮิวริสติก (A)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

- ผลของจำนวนคาบ (B)

$H_0 : \mu_1 = \mu_3 = \mu_5$

H_1 : at least one μ_j is difference

จากข้อมูลผลการทดลองตามตารางที่ 4 ภาคผนวก ก. นำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยของคำตอบ

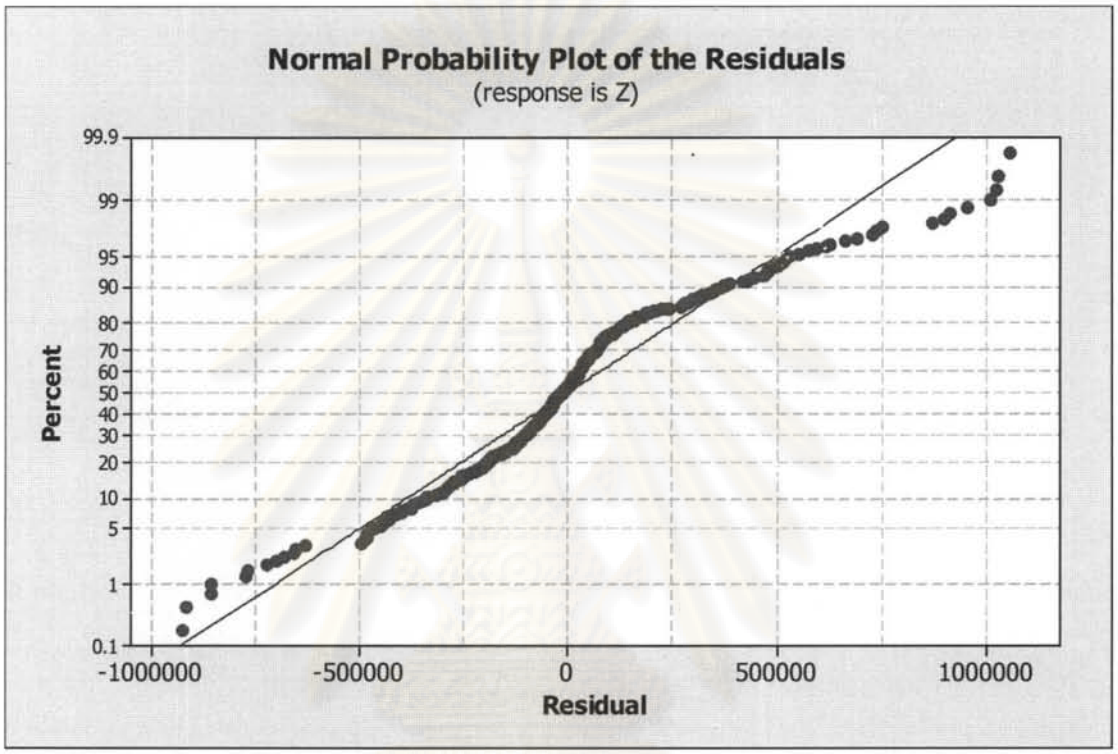
Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F_0	P-value
Algorithm	1	1.85484×10^{11}	1.85484×10^{11}	2.03	0.155
Period	2	8.15246×10^{14}	4.07623×10^{14}	4451.80	0.000
Interaction	2	1.26682×10^{11}	6.33409×10^{10}	0.69	0.501
Error	378	3.46111×10^{13}	9.15637×10^{10}		
Total	383	8.50169×10^{14}			

จากผลการวิเคราะห์ กำหนดให้ α =0.05 พบว่า F_{AB} =0.69 โดยที่ $F_{0.05,2,378}$ = 3.0196 ซึ่ง F_{AB} =0.69 < 3.0196 จะต้องยอมรับ H_0 นั่นคืออันตรกิริยาระหว่างประเภทของขั้นตอนวิธีและจำนวนคาบไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของคำตอบ

พิจารณาผลของประเภทของขั้นตอนวิธี F_A = 2.03 โดยที่ $F_{0.05,1,378}$ = 3.866 ซึ่ง F_A = 2.03 < 3.866 จะต้องยอมรับ H_0 นั่นคือประเภทของขั้นตอนวิธีไม่ส่งต่อค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้ หรือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกการค้นหาแบบหาบูไม่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

พิจารณาผลของจำนวนคาบการวางแผน F_B = 4451.80 โดยที่ $F_{0.05,2,378}$ = 3.0196 ซึ่ง F_B = 4451.80 > 3.0196 จะต้องปฏิเสธ H_0 นั่นคือผลของจำนวนคาบการวางแผนส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ได้ หรือ ค่าเฉลี่ยของคำตอบที่จำนวนคาบการวางแผนระดับต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน

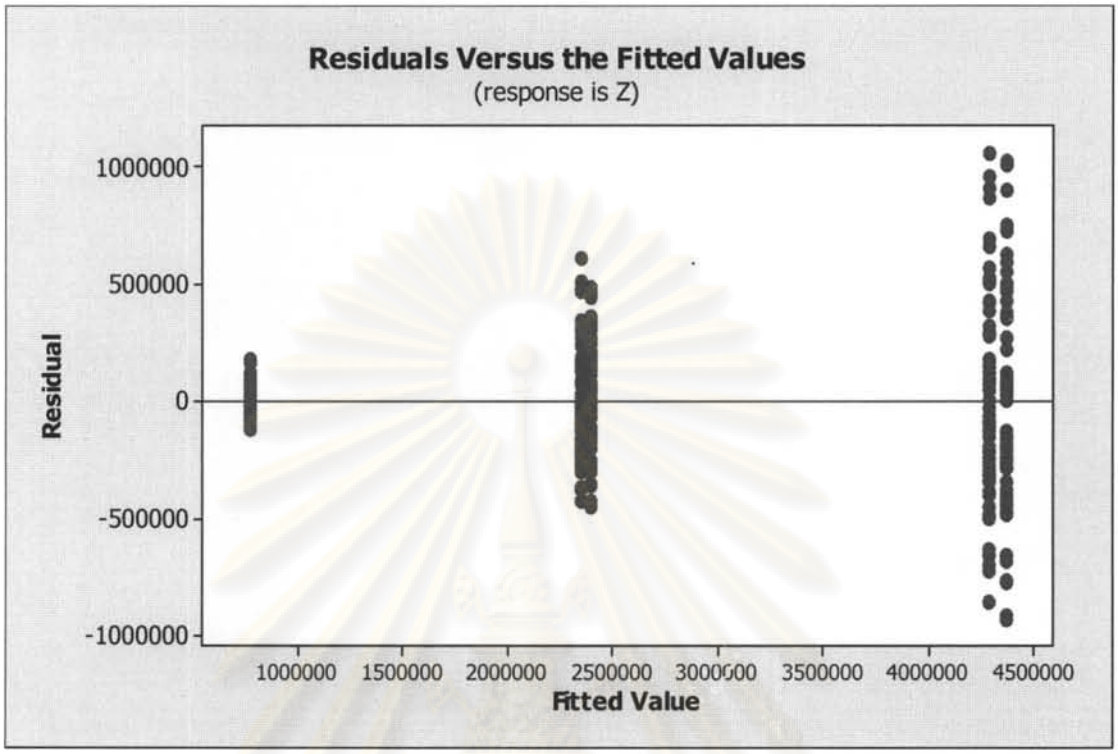
การตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (normality) ของข้อมูลโดยการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าข้อมูลมีการกระจายในแนวเส้นตรง นั่นคือข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ



รูปที่ 4 Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง

การตรวจสอบสมมติฐานความเท่ากันของความแปรปรวนทำได้โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตดังแสดงในรูปที่ 5 เห็นได้ว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวรอบค่า 0 แสดงว่ามีความเท่ากันของความแปรปรวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 แผนภาพการกระจายของส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัลลภ รัตนถาวร เกิดเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาปลายปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย