วิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพัสดุคงคลัง ในโรงงานประกอบเครื่องจักรกลเกษตร

นางสาวณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A HEURISTIC METHOD FOR AN INVENTORY ROUTING PROBLEM IN AN AGRICULTURAL MACHINERY ASSEMBLY PLANT

Miss Natthakan Posamrit

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพัสดุคงคลังในโรงงานประกอบเครื่องจักรกลเกษตร
โดย	นางสาวณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ : วิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพัสดุคงคลังในโรงงานประกอบเครื่องจักรกลเกษตร. (A HEURISTIC METHOD FOR AN INVENTORY ROUTING PROBLEM IN AN AGRICULTURAL MACHINERY ASSEMBLY PLANT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, 91หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วนและการจัดการพัสดุคงคลังของโรงงานผลิตเครื่องจักรกลเกษตร โดยพิจารณาต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังและต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนเท่านั้น โรงงานตัวอย่างต้องการเปลี่ยนวิธีการขนส่งชิ้นส่วน จากเดิมที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละบริษัทเป็นผู้ส่งชิ้นส่วนมายังโรงงานตัวอย่าง เป็นการขนส่งโดยใช้หลักการมิลค์รัน คือ รถขนส่งชิ้นส่วน 1 คันจะไปรับชิ้นส่วนจากหลายๆบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน แล้วจึงส่งมายังโรงงาน ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งได้ เนื่องจากเดิมบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจัดส่งชิ้นส่วนไม่เต็มคันรถ อีกทั้งรอบการส่งที่ไม่แน่นอน ทำให้โรงงานต้องเก็บพัสดุคงคลังไว้เป็นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วนและการจัดการพัสดุคงคลังสำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 69 บริษัท โดยใช้วิธีการฮิวริสติกแม็กมินแอนท์ซิสเต็ม (Max-Min Ant Systems) ในการวิเคราะห์หาเส้นทาง รวมถึงจำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ จำนวนที่ขนส่ง ขนาดของรถที่ใช้ในการขนส่ง โดยได้มีการออกแบบแบบจำลองคณิตศาสตร์และอัลกอริทึมของฮิวริสติกตามเงื่อนไขต่างๆที่พิจารณา ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังและต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นให้ต่ำสุด อีกทั้งมีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่แก้ปัญหาโดยโปรแกรม CPLEX กับคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกที่ขนาดปัญหาเล็ก 12 ปัญหา ซึ่งผลที่ได้คือ คำตอบแตกต่างกันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และจากการจัดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วนและการจัดการพัสดุคงคลังสำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนของโรงงานตัวอย่างนี้สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนลงได้ 60.23% และลดต้นทุนการขนส่งลงได้ 19.29% เมื่อเทียบกับวิธีการแบบเดิม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ณัฐกาญจน์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก วิภาวี
ปีการศึกษา 2552

5071414221 : MAJOR INDUSTRAIL ENGINEERING

KEYWORDS : VEHICLE ROUTING / HEURISTIC / MATHEMATICAL MODEL / INVENTORY MANAGEMENT

NATTHAKAN POSAMRIT : A HEURISTIC METHOD FOR AN INVENTORY ROUTING PROBLEM IN AN AGRICULTURAL MACHINERY ASSEMBLY PLANT.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF. WIPAWEE THAMMAPHORNPHILAS, Ph.D.,91 pp.

This thesis involves inventory-routing in an agricultural assembly plant considering only inventory holding cost and transportation cost. A factory requires to change part delivering process from a current system where suppliers directly deliver their own products to a factory to a new Milk Run system where a truck collects parts from many suppliers and then deliver to a factory. With a Milk Run system, transportation efficiency increases since a full-truck is utilized as well as with a current system, there is uncertainty in delivery frequency that effects a factory in keeping too many inventory.

The objective of this study is to propose inventory-routing for 69 suppliers by using a Max-Min Ant System to generate routing. A solution also provides inventory level, delivery quantity and truck size. A mathematical optimization model using CPLEX and heuristic algorithm are developed based on constraints to minimize inventory holding cost and transportation cost. The results from mathematical optimization model using CPLEX and heuristic algorithm have been compared in 12 small size problems. It results in less than 1 percent difference. Finally, heuristic solves inventory-routing problem in a case study with inventory holding cost decreased 60.23% and transportation cost decreased 19.29% compared with the current system.

Department : Industrial Engineering Student's Signature Natthakan

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยอย่างดียิ่ง ทั้งยังสนับสนุนและให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการวิจัยเป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร .ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล ที่ได้ตรวจสอบถึงความสมบูรณ์และให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์อย่างดียิ่งต่อการวิจัย

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษา ที่ให้ข้อมูลกับผู้วิจัย อีกทั้งยังให้ความร่วมมือคำแนะนำและความรู้ต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงแก่ บิดามารดา ครอบครัว เพื่อนๆ ทุกคน รวมถึงคุณสรพงษ์ วิรัชสกุลสุข ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ และกำลังใจ แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ..... ฉ

สารบัญ..... ..... ช

สารบัญตาราง..... ..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา..... 1

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... . 5

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 8

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... 8

1.5 ขั้นตอนและแผนดำเนินการวิจัย..... 8

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย..... . 10

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 11

1.8 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย..... 11

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... .. 12

2.1 การบริหารสินค้าคงคลัง..... 12

2.1.1 วัตถุประสงค์หลักของการบริหารสินค้าคงคลัง..... 12

2.1.2 ประโยชน์ของสินค้าคงคลัง..... 12

2.1.3 ค่าใช้จ่ายในการบริหารวัสดุคงคลัง..... ... 13

2.2 แนวคิดที่เกี่ยวกับมิลค์รัน..... 14

2.2.1 ข้อได้เปรียบของมิลค์รัน..... . 14

2.2.2 สภาวะแวดล้อมที่แนวคิดมิลค์รัน ไม่สามารถนำไปใช้ได้..... 14

2.3 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization Algorithms)..... 15

หน้า

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 22

บทที่ 3 แบบจำลองคณิตศาสตร์..... 26
3.1 รูปแบบปัญหา..... 26
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... . 27
3.3 ผลลัพธ์จากแบบจำลอง..... 29
3.3.1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้า..... 29
3.3.2 ตัวอย่างผลลัพธ์..... 31
3.3.3 ผลการทดลองแก้ปัญหาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์..... 32

บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ฮิวริสติก..... 34
4.1 การประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System..... 34
4.1.1 แผนผังการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System..... 34
4.1.2 ตัวอย่างการแก้ปัญหาจากการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System..... 40
4.2 ทดสอบพารามิเตอร์..... 52
4.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ฮิวริสติกกับแบบจำลองคณิตศาสตร์..... 56
4.4 การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกกับปัญหาตัวอย่าง..... 57

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 63
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 63
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 64

รายการอ้างอิง..... .. 66
ภาคผนวก..... 68
ภาคผนวก ก ข้อมูลนำเข้าของ 12 ปัญหาตัวอย่าง..... 69
ภาคผนวก ข ข้อมูลนำเข้าของปัญหากรณีศึกษา..... 82
ภาคผนวก ค ข้อมูลต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง..... 89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... .. 91

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย…… 10
2.1 การพัฒนาการของ ACO …….. 18
2.2 เปรียบเทียบรูปแบบปัญหาและวิธีการหาคำตอบจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง …….. 25
3.1 ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน (บาท)…… 29
3.2 ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน น้ำหนักของชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน…… 30
3.3 เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (นาที)…….. 30
3.4 ต้นทุนคงที่ และน้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่งแต่ละชนิด…… 30
3.5 เส้นทางการขนส่ง…….. 31
3.6 จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง…….. 31
3.7 ชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บ…….. 32
3.8 ต้นทุนที่เกิดขึ้น……... 32
4.1 ต้นทุนในการขนส่ง (บาท)…… 40
4.2 ความต้องการชิ้นส่วนแต่ละช่วงเวลา น้ำหนักชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บ……... 40
4.3 เวลาในการขนส่ง (นาที)…….. 40
4.4 ความสามารถในการบรรทุก และต้นทุนคงที่…… 40
4.5 แสดงเส้นทางแต่ละช่วงเวลา…… 48
4.6 แสดงจำนวนที่ขนส่งและจำนวนที่จัดเก็บ…… 49
4.7 เส้นทางของคำตอบของมดแต่ละตัว…… 50
4.8 เปรียบเทียบผลคำตอบของมดแต่ละตัว…… 51
4.9 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.2…… 53
4.10 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.4…… 53
4.11 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.5…… 53
4.12 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.9…… 54
4.13 คำตอบจากฮิวริสติกเมื่อจำนวนมดคงที่…… 54
4.14 คำตอบจากฮิวริสติกเมื่อจำนวนรอบคำนวณคงที่…… 55
4.15 ผลลัพธ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์และฮิวริสติก…… 57
4.16 เส้นทางการขนส่ง ชนิดของรถที่ใช้ น้ำหนักที่ขนส่ง และเวลารวมในการขนส่ง…… 58
4.17 จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ (ชิ้น)…… 59

4.18 จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง (ชิ้น)…….. 60
4.19 ความถี่ในการขนส่ง…….. 61
4.20 ต้นทุนที่เกิดขึ้น…….. 61
4.21 เปรียบเทียบต้นทุนที่ลดลง…… 61
ก-1 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 1…… 70
ก-2 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 1…… 70
ก-3 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 1…… 70
ก-4 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 1…… 70
ก-5 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 2…….. 71
ก-6 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 2…… 71
ก-7 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 2…… 71
ก-8 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 2…… 71
ก-9 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 3…… 72
ก-10 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 3…….. 72
ก-11 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 3…….. 72
ก-12 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 3…… 72
ก-13 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 4…….. 73
ก-14 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 4…….. 73
ก-15 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 4…….. 73
ก-16 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 4…… 73
ก-17 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 5…… 74
ก-18 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 5…….. 74
ก-19 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 5…….. 74
ก-20 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 5…….. 74
ก-21 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 6…… 75
ก-22 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 6…… 75
ก-23 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 6…… 75
ก-24 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 6…….. 75
ก-25 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 7…… 76
ก-26 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 7…… 76
ก-27 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 7…… 76

ก-28 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 7..... 76
ก-29 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 8..... 77
ก-30 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 8..... 77
ก-31 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 8..... 77
ก-32 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 8..... 77
ก-33 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 9..... 78
ก-34 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 9..... 78
ก-35 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 9..... 78
ก-36 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 9..... 78
ก-37 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 10..... 79
ก-38 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 10..... 79
ก-39 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 10..... 79
ก-40 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 10..... 79
ก-41 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 11..... 80
ก-42 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 11..... 80
ก-43 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 11..... 80
ก-44 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 11..... 80
ก-45 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 12..... 81
ก-46 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 12..... 81
ก-47 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 12..... 81
ก-48 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 12..... 81
ข-1 ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนปัญหากรณีศึกษา..... 83
ข-2 ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน น้ำหนักของชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่ว น..... 85
ข-3 เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (นาที)..... 86
ข-4 ต้นทุนคงที่ และน้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่งแต่ละชนิด..... 88
ค-1 ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง..... 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องยนต์ดีเซล	2
1.2 รถไถเดินตาม	2
1.3 รถไถนั่งขับ	2
1.4 แทรกเตอร์	3
1.5 รถเกี่ยวนวดข้าว	3
1.6 รถดำนา	3
1.7 เครื่องตัดหญ้า	3
1.8 เครื่องยนต์เบนซิน	4
1.9 เครื่องพ่นแรงดันสูง	4
1.10 น้ำมันเครื่องและน้ำมันเกียร์	4
1.11 สายพาน	4
2.1 กราฟต้นทุนของสินค้า	14
2.2 พฤติกรรมในการหาอาหารของมดและการวางฟีโรโมน	17
3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปัญหากับเวลาในการหาคำตอบ	32
4.1 แผนผังการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System	35
4.2 การปรับปรุงฟีโรโมน	39
4.3 ค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทาง	43
4.4 เส้นทางจากโรงงานไปยังบริษัทที่ 5	43
4.5 เส้นทางที่สามารถไปได้	44
4.6 แสดงเส้นทางลำดับต่อไป	45
4.7 แสดงเส้นทางลำดับต่อจากบริษัทที่ 4	45
4.8 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากโรงงาน	46
4.9 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากบริษัทที่ 2	46
4.10 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากบริษัทที่ 5	47
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่คำนวณและผลลัพธ์ที่ได้	55
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมดและผลลัพธ์ที่ได้	56

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันโรงงานต้องแบกรับต้นทุนในการจัดเก็บ และต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก จึงต้องการลดต้นทุนในการจัดเก็บและต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนเหล่านั้นลง เพื่อให้การดำเนินงานขององค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในตลาดได้ จากเดิมที่การขนส่งชิ้นส่วนจะเป็นการขนส่งโดยบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆเป็นผู้ดำเนินการขนส่งมายังโรงงานเอง โดยที่รอบความถี่ไม่แน่นอน และแตกต่างกัน บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนบางรายส่งชิ้นส่วนด้วยรอบระยะเวลาที่ห่างกัน ทำให้ต้องมีการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังในปริมาณมาก เพื่อป้องกันชิ้นส่วนขาดมือ ในส่วนของต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนบางรายทำการขนส่งไม่เต็มคันรถ ทำให้เกิดต้นทุนที่สูง และต้นทุนเหล่านี้ส่งผลต่อราคาชิ้นส่วนที่โรงงานต้องจ่ายให้ผู้ผลิตอีกด้วย

แนวคิดในการทำโครงการมิลค์รัน (Milk Run) จึงเกิดขึ้น เพื่อช่วยในการบริหารจัดการวัตถุดิบคงคลัง และปรับปรุงระบบการขนส่งชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดย แนวความคิดมิลค์รัน นั้น [1] จะเปลี่ยนเป็นการขนส่งชิ้นส่วนโดยมีรถขนส่งชิ้นส่วนวิ่งรับชิ้นส่วนจากหลายๆ บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกันจนชิ้นส่วนเต็มคันรถจึงวิ่งกลับมายังโรงงาน ทำให้ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนต่อหน่วยต่ำลง เนื่องจากการขนชิ้นส่วนจะขนได้เต็มคันรถมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น อีกทั้งเรื่องการเก็บชิ้นส่วนคงคลังก็ยังสามารถลดลงได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มความถี่ในการส่งชิ้นงานได้ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บชิ้นส่วนคงคลังไว้ในปริมาณมาก

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตเครื่องจักรกลทางการเกษตร ที่ผลิตเครื่องจักรกลทางการเกษตรเพื่อขาย ทั้งภายในและภายนอกประเทศ มีทั้งเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ทำการผลิตขึ้นเองในโรงงาน และเครื่องจักรกลการเกษตรที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อจำหน่ายด้วย ในส่วนของเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ทำการผลิตขึ้นเองนั้น ได้แก่

1.เครื่องยนต์ดีเซล (รูปที่ 1.1)

รูปที่ 1.1 เครื่องยนต์ดีเซล

2.รถไถเดินตาม (รูปที่ 1.2)

รูปที่ 1.2 รถไถเดินตาม

3.รถไถนั่งขับ (รูปที่ 1.3)

รูปที่ 1.3 รถไถนั่งขับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่ไม่ได้ทำการผลิตเอง ได้แก่

1.แทรกเตอร์ (รูปที่ 1.4)

รูปที่ 1.4 แทรกเตอร์

2.รถเกี่ยวนวดข้าว (รูปที่ 1.5)

รูปที่ 1.5 รถเกี่ยวนวดข้าว

3.รถดำนา (รูปที่ 1.6)

รูปที่ 1.6 รถดำนา

4.เครื่องตัดหญ้า (รูปที่ 1.7)

รูปที่ 1.7 เครื่องตัดหญ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.เครื่องยนต์เบนซิน (รูปที่ 1.8)

รูปที่ 1.8 เครื่องยนต์เบนซิน

6.เครื่องพ่นแรงดันสูง (รูปที่ 1.9)

รูปที่ 1.9 เครื่องพ่นแรงดันสูง

7.น้ำมันเครื่องและน้ำมันเกียร์ (รูปที่ 1.10)

รูปที่ 1.10 น้ำมันเครื่องและน้ำมันเกียร์

8.สายพาน (รูปที่ 1.11)

รูปที่ 1.11 สายพาน

ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานกรณีศึกษานี้ ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นโรงงานประกอบ มีบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนมากถึง 130 ราย ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาจะมีส่วนงานวางแผนและควบคุมการผลิต ที่รับผิดชอบในเรื่องการเรียกชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน รวมถึงทำหน้าที่ในการรับ และการจัดเก็บชิ้นส่วนต่างๆที่ใช้ในการผลิตด้วย

โดยที่การเรียกชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้น มีการใช้สองระบบในการเรียกชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน คือ เรียกโดยระบบคัมบัง (Kanban System) และเรียกโดยใช้แผนเรียกรายวัน (Daily Plan)

ระบบคัมบัง (Kanban System) ได้มีการนำเข้ามาใช้แทนระบบแผนเรียกรายวันกับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ที่มีความสามารถในการจัดทำระบบคัมบังได้ โดยจะพิจารณาจากความสามารถในการจัดส่ง การมีภาชนะมาตรฐานสำหรับการจัดส่ง และความต้องการชิ้นส่วนเหล่านั้นต้องเป็นไปอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ จึงจะดำเนินการจัดทำให้การเรียกชิ้นส่วนนั้นเข้าสู่ระบบคัมบังได้ การที่หน่วยงานจัดส่งชิ้นส่วนมีการนำระบบนี้เข้ามาใช้เนื่องจากต้องการให้มีการเก็บพัสดุคงคลังที่น้อยลง ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดปริมาณพัสดุคงคลังได้เนื่องจากจะทำการเรียกชิ้นส่วนต่อเมื่อมีการใช้ไปแล้วเท่านั้น ซึ่งในใบคัมบังจะประกอบไปด้วย ข้อมูลว่าชิ้นส่วนนั้นเป็นชิ้นส่วนอะไร ชื่อบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน รอบความถี่ในการจัดส่ง จำนวนต่อภาชนะที่บรรจุ เป็นต้น

ระบบแผนเรียกรายวัน (Daily Plan) แผนเรียกรายวันจะมีการกำหนดว่าวันใดชิ้นส่วนนั้นๆต้องเข้ามาเป็นจำนวนเท่าใด ซึ่งชิ้นส่วนที่เรียกโดยใช้ระบบนี้จะเป็นชิ้นส่วนที่การใช้ไม่แน่นอน หรือไม่ได้มีการเรียกชิ้นส่วนออกไปสม่ำเสมอ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ส่งแต่ละครั้งเป็นจำนวนมาก ทำให้นานๆครั้งจึงจะเรียกชิ้นส่วน

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เรียกโดยระบบคัมบังเท่านั้น เนื่องจากมีความต้องการชิ้นส่วนที่สม่ำเสมอ

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งมีบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน มากถึง 130 ราย คิดเป็นรายการชิ้นส่วนที่ต้องจัดเก็บ 2,000 กว่ารายการ ทำให้โรงงานต้องแบกรับต้นทุนในการจัดเก็บและต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วนเหล่านั้นอยู่เป็นจำนวนมาก

โรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการลดต้นทุนของการจัดเก็บชิ้นส่วนและต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งชิ้นส่วนลง จึงได้มีแนวคิดที่จะเริ่มดำเนินการทำโครงการมิลค์รันขึ้น เพื่อช่วยในการบริหารจัดการวัตถุดิบคงคลัง และปรับปรุงระบบการขนส่งชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โดยจากเดิมที่โรงงานตัวอย่างจะมีบริษัทผู้ผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละบริษัทดำเนินการส่งชิ้นส่วนมายังโรงงานตัวอย่าง ด้วยรอบความถี่ และจำนวนการขนส่งที่แตกต่างกัน แต่เมื่อทำโครงการมิลค์รัน จะเปลี่ยนเป็นการส่งชิ้นส่วนโดยรถขนส่งชิ้นส่วนจะวิ่งรับชิ้นส่วนของหลายๆบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนซึ่งที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน จนชิ้นส่วนเต็มคันรถจึงวิ่งกลับมายังโรงงานตัวอย่าง จะช่วยลดต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วนได้ จากเดิมที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนต่างส่งชิ้นส่วนจากบริษัท

ตนเองมายังโรงงานทำให้บางครั้งชิ้นส่วนไม่เต็มคันรถ ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่สูง และความถี่ในการจัดส่งชิ้นส่วนที่ไม่แน่นอน รวมทั้งมีความถี่ในการจัดส่งชิ้นส่วนไม่มาก ทำให้โรงงานตัวอย่างต้องเก็บพัสดุคงคลังมากขึ้น เพื่อป้องกันชิ้นส่วนขาดมือ ซึ่งต้องเสียค่าการจัดเก็บพัสดุคงคลังเหล่านั้นปริมาณมาก แต่เมื่อเข้าโครงการมิลค์รัน รถขนส่งจะบรรทุกชิ้นส่วนเต็มคันรถ ทำให้ต้นทุนในการขนส่งลดลง และเรื่องการเก็บชิ้นส่วนคงคลังก็ยังสามารถลดลงได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มความถี่ในการส่งชิ้นงานได้ จึงไม่จำเป็นต้องเก็บชิ้นส่วนคงคลังไว้ในปริมาณมาก

จากการเก็บข้อมูลพบว่าปริมาณความต้องการใช้ชิ้นส่วนแต่ละประเภทต่อวันของโรงงานตัวอย่างนั้นจะเป็นปริมาณที่คงที่สม่ำเสมอ ทำให้การขนส่งแบบมิลค์รันในโรงงานกรณีศึกษาสามารถกำหนดเส้นทางการขนส่งที่ชัดเจนแน่นอนว่าในรอบการขนส่งนั้นๆต้องรับชิ้นส่วนจากผู้ผลิตชิ้นส่วนรายใดบ้าง และสามารถกำหนดรอบในการขนส่งที่ชัดเจนตามเวลาที่กำหนด ทำให้ผู้วางแผนสามารถคาดการณ์ปริมาณความต้องการสินค้าคงคลังได้ชัดเจนขึ้น เมื่อรอบความถี่ในการขนส่งมากขึ้น ปริมาณพัสดุคงคลังก็สามารถลดลงได้ ทำให้การจัดการพัสดุคงคลังสะดวกยิ่งขึ้น เพราะเป็นการจัดการกับชิ้นส่วนในปริมาณที่น้อยลง นอกจากนี้ มิลค์รันยังช่วยปรับปรุงการติดต่อสื่อสารกับผู้ผลิตชิ้นส่วนอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากรถขนส่งชิ้นส่วนนั้นต้องไปรับชิ้นส่วนตามเวลาที่กำหนด หากผู้ผลิตชิ้นส่วนไม่สามารถส่งชิ้นส่วนได้ตามรอบที่กำหนด ก็จะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ผลิตชิ้นส่วน ซึ่งจากเดิมเมื่อผู้ผลิตชิ้นส่วนเกิดปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถส่งชิ้นส่วนได้ก็อาจจะไม่ได้สื่อสารให้โรงงานทราบถึงปัญหานั้นๆ

เนื่องจากโรงงานเพิ่งเริ่มดำเนินโครงการมิลค์รัน จึงยังไม่มีเส้นทางในการขนส่งชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนมายังโรงงานตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการหาเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วนโดยคำนึงถึงต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน และการจัดเก็บพัสดุคงคลัง

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า Mei Chen, et al. [2] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในระบบการขนส่งไว้ เพื่อลดต้นทุนในด้านการขนส่ง โดยมีการระบุจำนวนรถ จำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับ เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสม แต่ไม่ได้คำนึงถึงการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง และไม่มีการนำเรื่องเวลาที่ใช้ในการขนส่งเข้ามาพิจารณา Lawrence D. Burns, et al. [3] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางที่ช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน และต้นทุนการขนส่ง โดยจำนวนรถไม่จำกัด แต่ยังคงไม่ได้คำนึงถึงเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการจัดเส้นทางในกรณีที่มีจำนวนรถขนส่งที่จำกัด แต่ต้องส่งหลายที่นั้น Suxin Wang et al. [4] และ Wang Xuefeng [5] ได้มีการเสนองานวิจัยเอาไว้ โดยต้องการให้ระยะทางในการขนส่งรวมน้อยสุด แต่ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วน ในส่วนของการแก้ปัญหาด้านการขนส่งซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนนั้นส่วนใหญ่จะใช้การแก้ปัญหาโดยวิธีการที่เรียกว่า ฮิวริสติก ซึ่งช่วยการแก้ปัญหาที่

มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก แต่คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้จะทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้นดังจะเห็นได้จาก Gang Zhao et al. [6] ที่ได้มีการนำเสนอการใช้ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการแม็กมินแอนท์ซิสเต็ม (Max-Min Ant Aystem) นอกจากนี้ A.E.Rizzoli et. al. [7] และ Luca Maria Gambardella et. al.[8] ได้เสนอการประยุกต์ใช้แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น (Ant Colony Optimization) สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในที่ต่างๆ ด้วย

ในงานวิจัยนี้เบื้องต้นจะทำการคัดเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่สามารถเข้าร่วมโครงการ มิลค์รันได้ ซึ่งจะทำการพิจารณาจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดจำนวน 130 บริษัท จากนั้นจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วน พร้อมทั้งกำหนดปริมาณชิ้นส่วนที่ต้องขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนในแต่ละรอบการขนส่ง และเนื่องจากปริมาณชิ้นส่วนที่ต้องขนส่งมาก ทำให้ต้องใช้จำนวนรถขนส่งมากกว่า 1 คัน ในงานวิจัยนี้สมมติให้มีจำนวนรถขนส่งไม่จำกัด ทั้งนี้ผู้วิจัยต้องสามารถระบุขนาดรถที่ใช้ในการขนส่ง ความถี่ในการขนส่ง ปริมาณชิ้นส่วนที่ต้องขนส่งต่อรอบ และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่ต้องจัดเก็บ โดยที่ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บนี้ไม่ใช่จำนวนชิ้นส่วนคงคลังเพื่อป้องกันชิ้นส่วนขาดมือ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น เช่นเครื่องจักรเสีย หรือพนักงานลาหยุด เป็นต้น แต่เป็นปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตตามแผนผลิตเท่านั้น ทั้งนี้วัตถุประสงค์ในการตัดสินใจคือการทำให้ผลรวมของต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนกับต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังลดลง

การพิจารณาเลือกเส้นทางและกำหนดปริมาณพัสดุคงคลังมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมลดลง โดยการคำนวณต้นทุนรวมจะเป็นไปดังนี้

ต้นทุนรวม = ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน + ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง โดยที่

ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน = {ระยะทางรวมของการขนส่งแต่ละเส้นทาง (กม ./เดือน) x ค่าขนส่งชิ้นส่วน (บาท/กม.)}+ ต้นทุนคงที่รวมที่เกิดจากการขนส่งแต่ละเส้นทาง (บาท/เดือน)

ต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลัง = ต้นทุนในการดูแลเก็บรักษาชิ้นส่วนคงคลัง (บาท/ชิ้น) x จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บต่อเดือน (ชิ้น/เดือน)

สำหรับเงื่อนไขที่นำมาพิจารณาในการกำหนดเส้นทางและปริมาณคงคลัง มีดังนี้

1. ปริมาณของชิ้นส่วนในการขนส่งแต่ละรอบ ไม่เกินจากน้ำหนักที่บรรจุได้ของรถขนส่ง โดยจะพิจารณารถที่ 2 ขนาดคือ รถบรรทุก 6 ล้อ และ 10 ล้อ

2. จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งมีไม่จำกัด
3. ในแต่ละช่วงเวลา ไม่จำเป็นต้องกำหนดเส้นทางรถวิ่งที่เหมือนกัน
4. ไม่อนุญาตให้สินค้าขาดมือ
5. เมื่อรถขนส่งไปถึงสามารถรับชิ้นส่วนได้ทันที
6. ในหนึ่งวันสามารถไปรับชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนได้หลายรอบ
7. อนุญาตให้รถออกจากโรงงานตัวอย่างได้เวลา 8.00 น. และกลับถึงโรงงานตัวอย่างได้ไม่เกิน 20.00 น.

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อให้ได้เส้นทางในการขนส่งวัตถุดิบ ความถี่ในการขนส่ง ขนาดรถที่ใช้ในการขนส่ง ปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่ง และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บ โดยพิจารณาจากผลรวมของต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนกับต้นทุนการจัดเก็บพัสดุคงคลังที่ลดลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเพื่อวิเคราะห์การจัดเส้นทางในการขนส่งวัตถุดิบ เฉพาะบริษัทผู้จัดส่งวัตถุดิบ ที่ได้มีการคัดเลือกเข้าร่วมโครงการ มิลค์รันของโรงงานตัวอย่างแล้วเท่านั้น
2. ต้นทุนที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาจาก ต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วน และต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วนเท่านั้น
3. ขนาดของรถที่ใช้ในการขนส่งชิ้นส่วน ของงานวิจัยนี้จะพิจารณาเพียง 2 ขนาด คือ รถบรรทุกขนาด 6 ล้อ และ 10 ล้อ (แบบปิด)
4. ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนเป็นความต้องการชิ้นส่วนเฉลี่ยคงที่ต่อวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลในอดีต

1.5 ขั้นตอนและแผนดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถกำหนดเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยจะทำการศึกษางานวิจัยและทฤษฎี ที่เกี่ยวกับการใช้ระบบมิลค์รัน, การจัดการพัสดุคงคลัง (Inventory Management), แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ ทฤษฎีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง
2. ทำการคัดเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน เพื่อเข้าร่วมโครงการมิลค์รัน จากบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วนทั้งหมด 130 ราย

3. ทำการเก็บข้อมูลปัจจัยพื้นฐานเบื้องต้น ที่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางการรับชิ้นส่วนที่เหมาะสม ดังนี้
   3.1 ข้อมูลเรื่องตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละบริษัทผู้จัดส่งวัตถุดิบที่คัดเลือกเข้าร่วมโครงการมิลค์รัน
   3.2 ข้อมูลเรื่องระยะทาง (กิโลเมตร) ระหว่างบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วนกับโรงงานตัวอย่าง
   3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของรถที่ใช้ในการขนส่ง
   3.4 ข้อมูลจำนวนความต้องการใช้ชิ้นส่วนต่อวัน
   3.5 ข้อมูลในส่วนของข้อจำกัดด้านน้ำหนักที่บรรจุได้ของรถขนส่งตามกฎหมาย
   3.6 จำนวนรอบความถี่ในการขนส่งชิ้นส่วนแบบเดิม
   3.7 น้ำหนักของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น และน้ำหนักภาชนะที่ใช้ในการบรรจุ
   3.8 จำนวนชิ้นส่วนที่ใส่ในหนึ่งภาชนะบรรจุ
   3.9 ต้นทุนค่าจัดส่งชิ้นส่วน และต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วน
4. วิเคราะห์หาเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วน ขนาดรถ ความถี่ในการขนส่ง ปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่งต่อรอบ และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บ จากเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ
5. สรุปผลต้นทุนรวมของแต่ละเส้นทาง
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2552												2553
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.		
1. ศึกษางานวิจัย แนวคิดที่เกี่ยวข้อง โดยจะทำการศึกษางานวิจัยและทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกับการใช้โปรแกรมเชิงวัตถุ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การจัดการพัสดุคงคลัง (Inventory Management), แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทฤษฎีเกี่ยวกับโปรแกรมเชิงวัตถุ													
2. ทำการรวบรวมข้อมูลการซื้อขายสินค้าของร้านค้าต่างๆ ที่ต้องการศึกษา ระยะเวลาย้อนหลังประมาณ 6 เดือน ทั้งหมด 130 ราย													
3. ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น ที่ต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางการจัดซื้อสินค้าที่ดีที่สุด													
4. วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้มาจากการสำรวจ ระยะเวลาในการสั่งซื้อ ปริมาณการสั่งซื้อ ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการเก็บรักษา ต้นทุนการขาดแคลน และต้นทุนการซื้อ													
5. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์													
6. ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม													
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์													

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. เป็นแนวทางในการกำหนดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วน และปริมาณวัตถุดิบคงคลัง ให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆในประเทศไทยได้
2. โรงงานตัวอย่างสามารถจัดเก็บวัตถุดิบคงคลังด้วยต้นทุนรวมที่ลดลง
3. ทราบเวลานำในการเติมเต็มวัตถุดิบที่แน่นอน

1.8 ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

วิธีในการกำหนดเส้นทางการขนส่งชิ้นส่วน รอบเวลาในการขนส่งชิ้นส่วน และการกำหนดปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บ และได้เส้นทางการรับชิ้นส่วนที่ลดต้นทุนรวมได้ จำนวนความถี่ในการขนส่งชิ้นส่วน ขนาดรถที่ใช้ในการขนส่ง จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ รวมถึงปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่งในแต่ละรอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยเริ่มตั้งแต่หลักการบริหารสินค้าคงคลัง แนวคิดมิลค์รัน และเทคนิคในการหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎี แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น (Ant Colony Optimization : ACO) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization algorithms) โดยประยุกต์หลักการและแนวคิดการหาอาหารของมดจากรังของมดไปยังแหล่งอาหาร

2.1 การบริหารสินค้าคงคลัง

2.1.1 วัตถุประสงค์หลักของการบริหารสินค้าคงคลัง

การบริหารสินค้าคงคลังมีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 2 ประการใหญ่ คือ

- สามารถมีสินค้าคงคลังบริการลูกค้าในปริมาณที่เพียงพอ และทันต่อความต้องการของลูกค้าเสมอเพื่อสร้างยอดขายและรักษาระดับของส่วนแบ่งตลาดไว้
- สามารถลดระดับการลงทุนในสินค้าคงคลังต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงด้วย [9]

2.1.2 ประโยชน์ของสินค้าคงคลัง

- ตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ประมาณการไว้ในแต่ละช่วงเวลา ทั้งในและนอกฤดูกาล โดยธุรกิจต้องเก็บสินค้าคงคลังไว้ในคลังสินค้า
- รักษาการผลิตให้มีอัตราคงที่สม่ำเสมอ เพื่อรักษาระดับการว่าจ้างแรงงาน การเดินเครื่องจักร ฯลฯ ให้สม่ำเสมอได้ โดยจะเก็บสินค้าที่ขายไม่หมดในช่วงขายไม่ดีไว้ขายตอนช่วงขายดีซึ่งช่วงนั้นอาจจะผลิตไม่ทันขาย
- ทำให้ธุรกิจได้ส่วนลดปริมาณจากการจัดซื้อครั้งละมากๆ
- ป้องกันการเปลี่ยนแปลงราคา และผลกระทบจากเงินเฟ้อเมื่อสินค้าในท้องตลาดมีราคาสูงขึ้น
- ป้องกันของขาดมือด้วยสินค้าเผื่อขาดมือ (Safety Stock) เมื่อเวลารอคอยล่าช้าหรือบังเอิญได้คำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นกะทันหัน
- ทำให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการต่อเนื่องอย่างราบรื่น ไม่มีการหยุดชะงักเพราะของขาดมือจนเกิดความเสียหายแก่กระบวนการผลิตซึ่งจะทำให้คนงานว่างงาน เครื่องจักรถูกปิดผลิตไม่ทันคำสั่งของลูกค้า [10]

2.1.3 ค่าใช้จ่ายในการบริหารวัสดุคงคลัง

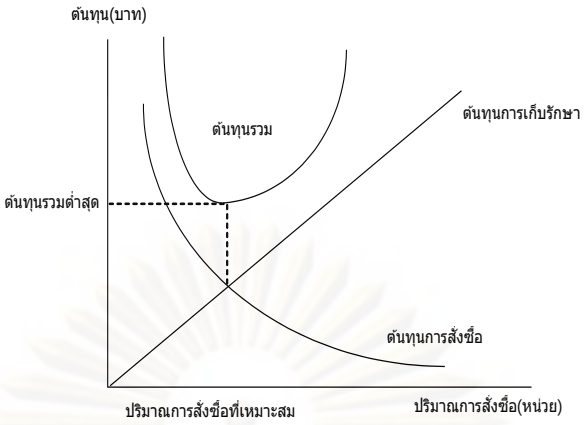
1.ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (Ordering Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการในการสั่งซื้อสินค้าในแต่ละครั้ง เช่น ค่าประกันภัยระหว่างการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสินค้า ค่าใช้จ่ายในการจัดทำใบสั่งซื้อ ค่าใช้จ่ายในการสอบถามราคา เป็นต้น ลักษณะของค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อนี้จะแปรผันตามจำนวนครั้งที่ทำการสั่งซื้อ ถ้าจำนวนครั้งที่ทำการสั่งซื้อมากขึ้น ค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อจะสูงขึ้น แต่ถ้าจำนวนครั้งของการสั่งซื้อลดลง ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อจะลดลงเช่นเดียวกัน

2.ค่าใช้จ่ายในการขาดสต็อก (Stock Out Cost) จะมีความหมายอย่างใดอย่างหนึ่งจากที่เป็นไปได้สองความหมาย กล่าวคือ เมื่อมีการขาดสต็อกเกิดขึ้นจะต้องมีการสั่งเพิ่มเติม โดยที่ลูกค้าเต็มใจรอคอย ในกรณีเช่นนี้บริษัทจะเสียค่าใช้จ่ายในการติดตามงาน ค่าโทรศัพท์ เป็นต้น แต่ก็ไม่มากนัก นอกจากค่าใช้จ่ายต่างๆที่รู้แล้ว การสั่งเพิ่มเติมจะนำมาซึ่งการสูญ เสียชื่อเสียง (good will) ซึ่งก็ยากที่จะประมาณเป็นตัวเงินได้อย่างแน่นอน ส่วนในอีกความหมายหนึ่งสำหรับการขาดสต็อก คือ การสูญเสียจากการขาย (lost sale) ซึ่งนับว่ามีผลเสียหายมาก แต่ก็เป็นการยากที่จะวัดเป็นตัวเงินได้เช่นกัน ในกรณีเช่นนี้ จะมีค่ามากกว่าการสูญเสียกำไรจากการขาย เนื่องจากว่าการสั่งเพิ่มเติมและการสูญเสียจากการขายนั้นยากที่จะประมาณได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดระดับบริการ (service level) ขึ้น เช่น ผู้จัดการอาจจะรู้สึกว่าการขาดสต็อกไม่ควรจะเกิดขึ้นเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ตลอดเวลา เป็นต้น

3.ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ (Carrying Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณสินค้าคงเหลืออยู่ในมือ เช่น ค่าเบี้ยประกันภัย ค่าใช้จ่ายในการเสียโอกาสของต้นทุนของเงินลงทุนในสินค้า ค่าภาษีสินค้า ค่าใช้จ่ายจากสินค้าล้าสมัย ค่าใช้จ่ายในการขนย้าย เป็นต้น ค่าใช้จ่ายจากการเก็บรักษาจะมีลักษณะผันแปรไปตามปริมาณสินค้าคงเหลือ ถ้าสินค้าคงเหลือมีปริมาณมาก ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาจะสูงขึ้น และถ้าสินค้าคงเหลือมีปริมาณน้อย ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาจะลดลง [11]

สามารถแสดงกราฟต้นทุนของสินค้าได้ดังรูปที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 กราฟต้นทุนของสินค้า [11]

2.2 แนวคิดที่เกี่ยวกับมิลค์รัน

เส้นทางมิลค์รันของผู้จัดส่งวัตถุดิบคือ การรับชิ้นส่วนจากผู้จัดส่งวัตถุดิบหลายรายตามตารางเวลาที่กำหนด เพื่อให้รองรับกับระดับการผลิตที่กำหนดไว้ การใช้ มิลค์รันจะมีรถบรรทุกวิ่งไปรับวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบหลายราย เพื่อนำภาชนะบรรจุเปล่ากลับไปคืน และรับวัตถุดิบมาซึ่งการรับวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบแต่ละรายอาจเป็นการบรรทุกแบบไม่เต็มคันรถ ซึ่งเมื่อรวมกับปริมาณของวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบรายอื่น ซึ่งจัดส่งวัตถุดิบที่แตกต่างกันแล้ว จะเต็มคันรถพอดี [1]

2.2.1 ข้อได้เปรียบของมิลค์รัน [1]

1.ช่วยลดปริมาณวัตถุดิบคงคลัง

2.สามารถทำนายเวลานำในการเติมได้

3.สามารถมองเห็นสินค้าคงคลังได้ชัดเจนขึ้น

4.ปรับปรุงการติดต่อสื่อสารกับผู้จัดส่งวัตถุดิบ

2.2.2 สภาวะแวดล้อมที่แนวคิดมิลค์รัน ไม่สามารถนำไปใช้ได้ [1]

- ต้องการชิ้นส่วนหลายคันรถบรรทุก ทุกวัน ฉะนั้น จึงเหมาะที่จะกำหนดรถบรรทุกให้ชิ้นส่วนดังกล่าวโดยเฉพาะ และอาจจะให้ผู้ขายเป็นผู้รับผิดชอบในการดูแลการจัดส่งให้ในโรงงานแทนก็ได้

- นานๆครั้งจึงจะต้องการชิ้นส่วนสักที ในปริมาณน้อยๆ จากผู้จัดส่งวัตถุดิบ รายที่ไม่ได้จัดส่งชิ้นส่วนที่ใช้เป็นประจำให้ ฉะนั้น บริษัทขนส่งทั่วๆไปก็อาจจะเป็นทางออกที่ดีกว่า

- ผู้จัดส่งวัตถุดิบอยู่ไกลจากรายอื่นๆ เกินกว่าจะสามารถรวมเข้าไว้ในเส้นทางมิลค์รันได้ ฉะนั้น จึงไม่สมเหตุผลที่จะต้องมาเสียค่าใช้จ่ายในการทำให้รถบรรทุกต้องเบี่ยงเส้นทางให้ผ่านมาตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบรายนั้น

2.3 **เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม** (Optimization Algorithms)

เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional Optimization Algorithm) และวิธีการหาคำตอบแบบการประมาณ (Approximation Optimization Algorithm) [12]

1. วิธีการหาคำตอบ โดยอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Principles)

วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์พัฒนาขึ้นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนทางทหาร วิธีการแก้ปัญหาแบบนี้ได้ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาในด้านอื่นๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในด้านการจัดตาราง (Scheduling problems) ปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment problem) รวมไปถึงปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem) ด้วย วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์นั้นจะเหมาะสมกับปัญหาขนาดเล็กเท่านั้นเนื่องมาจากข้อจำกัดและกฎเกณฑ์ในการหาคำตอบที่ตายตัวจนเกินไป ซึ่งเมื่อนำวิธีการเหล่านี้ไปแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น ต้องใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่นานมากขึ้นเป็นทวีคูณ

2. วิธีการหาคำตอบ โดยอาศัยหลักการประมาณ (Approximation algorithm)

สำหรับปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์จะเหมาะสำหรับแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมากในการที่จะหาคำตอบที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะหากเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน จะทำให้ขณะที่ขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่นานมากขึ้นหลายเท่าตัว ดังนั้นจึงมีวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณเกิดขึ้น เพื่อจัดการกับปัญหาลักษณะเช่นนี้โดยตรง ซึ่งวิธีการในกลุ่มนี้จะมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนสูงๆได้ [12]

วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics) เป็นสาขาหนึ่งของการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณและประสบความสำเร็จอย่างมาก มีความรวดเร็วในการประมวลผลในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงๆ อย่างเช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem) วิธีการต่างๆในกลุ่มของเมตาฮิวริสติก เช่น ซิมูเลทเทดแอนนีลลิง (Simulated annealing: SA), ทาบูเสิร์ช (Tabu search: TS), นิวรอลเน็ทเวิร์ค (Neural network:

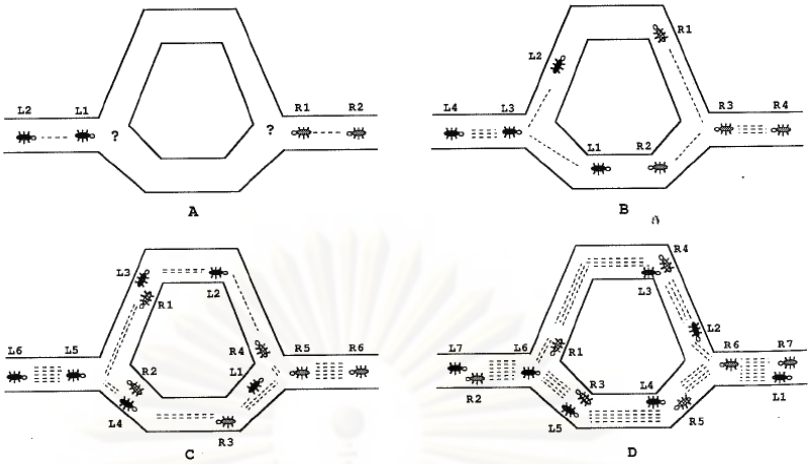
NN), เจเนติคอัลกอริทึม (Genetic algorithm: GA) รวมไปถึง แอนท์โคโลนีออพติไมเซชั่น (Ant colony optimization: ACO) [12] โดยวิธีการเหล่านี้จะได้ผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยดีที่สุดแต่จะได้เป็นกลุ่มของคำตอบที่ดี กระบวนการทำงานจะวนซ้ำแล้วจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ ตัวอย่างขั้นตอนวิธีเหล่านี้ เช่น ACO,TS, SA,GA และวิธีการแบบ ผสมผสาน (Hybrid Approaches) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีกลยุทธ์ในการค้นหาผลเฉลยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการแอนท์โคโลนีออพติไมเซชั่น (Ant colony optimization: ACO)

แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น (Ant Colony Optimization : ACO)

ACO เป็นวิธีการที่ได้แนวคิดมาจากพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงมด ดังรูปที่ 2.2 โดยจะเดินทางจากรังของมดไปยังแหล่งอาหาร ซึ่งเป็นความฉลาดแบบกลุ่มตามธรรมชาติ โดยเมื่อเวลาผ่านไปมดจะค้นหาเส้นทางสั้นที่สุดระหว่างแหล่งอาหารกับรังของมัน ระหว่างที่เดินทางไปกลับระหว่างแหล่งอาหารและรัง มดจะทิ้งหลักฐานที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มดปล่อยไว้บนพื้น เมื่อมดตัวต่อไปหรือมดตัวหลังจากมดชุดแรกเดินไป จะตัดสินใจเลือกเส้นทางที่มี ฟีโรโมนหนาแน่นมากกว่า [13] ยกตัวอย่างเช่นมดชุดแรกเดินจากรังไปสู่แหล่งอาหาร 10 ตัว สร้างเส้นทางการเดินจากรังสู่อาหาร 10 เส้นทาง มดชุดที่ 2 จะมีโอกาสเลือกเส้นทางเดิน 10 เส้นทางจากมดชุดแรกเลือกมากกว่าสร้างเส้นทางใหม่เนื่องจากมีปริมาณฟีโรโมนมากกว่าและเมื่อเวลาผ่านไปจะเหลือเส้นทางที่ดีที่สุดเส้นทางเดียวเนื่องจากว่าเส้นทางที่มีระยะทางที่ยาวกว่าจะใช้เวลาเดินทางที่นานกว่าทำให้ปริมาณฟีโมนซึ่งเป็นสารเคมีที่มดทิ้งไว้เกิดการระเหย

ปัญหาสำหรับวิธีการ ACO ที่นิยมแก้ปัญหา เริ่มจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาแรกๆที่มีการประยุกต์กับวิธีการ ACO โดยมีหลักการง่ายๆ คือหาระยะทางสำหรับการเดินทางของพนักงานขายที่สั้นที่สุด สำหรับเดินทางไปขายสินค้าตามสถานที่ต่างๆ โดยการจำลองว่ามดคือพนักงานขาย จุดเริ่มต้นสำหรับการเดินทางของพนักงานขายคือรังของมด และเมื่อพนักงานขายเดินทางครบทุกที่แล้ว จุดสิ้นสุดของการเดินทางคือแหล่งอาหาร มดหนึ่งตัวสามารถสร้างคำตอบหนึ่งคำตอบ นั่นก็คือผลเฉลยของระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย และพนักงานขายเดินทางผ่านสถานที่ใดบ้าง ซึ่งเหล่านี้คือคำตอบที่ต้องการจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมในการหาอาหารของมดและการวางฟีโรโมน [13]

ขั้นตอนวิธี ACO ที่ได้นำเสนอครั้งแรกนี้เรียกว่า Ant System (AS) โดยคำอธิบายต่อไปจะเป็นการอธิบายสำหรับการประยุกต์ใช้กับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) เนื่องจากว่าเป็นรูปแบบพื้นฐานของการแก้ปัญหาด้วยวิธี ACO เริ่มต้นการทำงานจะมีการกำหนดค่าระดับฟีโรโมน ให้เท่ากันทุกเส้นทางที่ค่าต่ำ ๆ ค่าหนึ่งซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ มดทุกตัวจะสร้างผลเฉลยหรือคำตอบของเส้นทาง โดยมดแต่ละตัวจะเลือกเส้นทางตามระดับความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นผลมาจากระดับระดับฟีโรโมนที่มีอยู่ในเส้นทาง กับระยะทางระหว่างเมือง 2 เมือง และเมื่อมดทุกตัวได้สร้างผลเฉลยเสร็จสมบูรณ์แล้วก็จะมีการปรับปรุงค่า ฟีโรโมน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มค่า ฟีโรโมน ให้กับเส้นทางที่มดเดินไปทุกเส้นทาง [7] จากนั้นก็จะมีการวนรอบการทำงานซ้ำจนกระทั่งเงื่อนไขที่กำหนดให้หยุด เช่น เวลาที่กำหนดไว้สูงสุด จำนวนรอบสูงสุด หรือเมื่อผลเฉลยไม่มีการเปลี่ยนแปลง [8]

มีตัวอย่างของงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ ACO คือ Socha et al. [14] นำ MAX-MIN Ant System (MMAS) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ปรับปรุงจาก AS โดย Stutzle and Hoos ในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนซึ่ง Socha et al. [14] ก็ได้นำเสนอรูปแบบการกำหนดค่าฟีโรโมนที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา ขณะที่ Dorigo and Gambardella [14] ใช้ Ant Colony System (ACS) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ปรับปรุงจาก AS ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยเปรียบเทียบการทำงานกับขั้นตอนวิธีที่มีการเลียนแบบธรรมชาติอื่นๆ พบว่าส่วนใหญ่แล้ว ACS ให้ผลการทำงานที่ดีกว่า สำหรับวิวัฒนาการของ ACO แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การพัฒนาการของ ACO [12]

วิธีการ	ผู้คิดค้น
Ant system (AS)	Dorigo, Maniezzo and Colonies(1991)
Max-Min ant system (MMAS)	Stutzle and Hoos(1997)
Ant colony system (ACS)	Dorigo and Gambardella(1997)

1. Ant System (AS)

ระบบมด (Ant system) ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดยได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดย Marco Dorigo et al. [12] โครงสร้างของวิธีการระบบมด (Ant system algorithm) สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกเป็นกระบวนการการกำหนดเส้นทางการเดินของมด (Tour construction) และส่วนที่สอง เป็นกระบวนการอัพเดทฟีโรโมน (Pheromone update) [21] โดยเริ่มแรกจะกำหนดให้ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (Initial pheromone) หรือ τ_0 ให้เป็นค่าน้อยที่มากกว่าศูนย์ เหตุผลก็เพื่อให้มดในรุ่นแรกๆสามารถหาคำตอบที่ดีๆได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถหาได้จาก $\tau_0 = m/C^{nn}$; $\forall(i,j)$ เมื่อ m คือจำนวนมดทั้งหมด i , j เป็นสมาชิกของเมือง และ C^{nn} คือผลเฉลยหรือระยะทางทั้งหมด (Tour) ที่ได้จากการหาโดยใช้หลักการเลือกเมืองที่อยู่ใกล้เคียงที่มีระยะทางสั้นที่สุดไปจนครบทุกเมือง (Nearest Neighbor) โดยที่ nn คือการเลือกเมืองที่อยู่ใกล้เคียงที่มีระยะทางสั้นสุดไปจนครบทุกเมืองนั่นเอง (Nearest Neighbor) ซึ่งหลักการของ AS จะเป็นพื้นฐานของ MMAS และ ACS ด้วยสามารถอธิบายรวมกันดังนี้

การกำหนดเส้นทางเดินของมด (Tour Construction)

ระบบมดหรือ AS นั้น มดแทนด้วย m หมายถึงการกำหนดให้มีมดทั้งหมด m ตัว จะสร้างคำตอบโดยเริ่มแรกจะทำการสุ่มเลือกเมือง เริ่มต้นขึ้นมาก่อนในกรณีที่ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะเริ่มจากเมืองไหนก็ได้ ซึ่งการเลือกเมืองที่จะเดินต่อไปแต่ละครั้งจะใช้กฎความน่าจะเป็น (Probability) ที่จะเลือกเมืองถัดไปที่เรียกว่า กฎการสุ่มโดยใช้ความน่าจะเป็น (Random proportional rule) ความเป็นไปได้ที่มดตัวที่ k ขณะที่อยู่เมือง i จะเลือกเมืองถัดไปที่ j ดังสมการที่ 1

$$p_{ij}^{k} = \frac{\left[\tau_{ij}\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{l\in N_i^k}\left[\tau_{il}\right]^{\alpha}\left[\eta_{il}\right]^{\beta}} \quad ,j \in N_i^k \tag{1}$$

เมื่อ $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ โดย d_{ij} คือระยะทางระหว่างเมือง ส่วนค่า α และ β เป็นค่าที่ใช้สำหรับถ่วงน้ำหนัก (Weight) ให้กับพารามิเตอร์ปริมาณฟีโรโมน (Pheromone: τ_{ij}) และค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (Heuristic information: η_{il}) ตามลำดับ และ N_i^k คือกลุ่มของ จำนวนเมืองทั้งหมดที่อยู่รอบๆ ที่มด k สามารถเดินทางไปได้จากเมือง i จากปัญหา TSP เนื่องจากมดแต่ละตัวจะไปเยือนเมืองต่างๆได้เพียง 1 ครั้งในการเดินทางหนึ่งรอบ เมือง l จึงหมายถึงเมืองที่มดตัวที่ k ยังไม่เคยไปเยือนก่อนมาถึงเมือง i

การเพิ่มร่องรอยของฟีโรโมน (Update of pheromone trails) [12]

หลังจากที่มดทุกตัวได้เดินทางครบทุกเมืองก็จะสามารถที่จะหาค่าระยะทางทั้งหมดของมดแต่ละตัวได้แล้ว ซึ่งในระบบมด (Ant system) นั้นจะกำหนดให้มดแต่ละตัวมีการเพิ่มปริมาณฟีโรโมน (Update pheromone) บนเส้นทางที่มดทุกๆตัวได้เดินทางผ่าน และจะมีการระเหยของฟีโรโมนในทุกๆเส้นทางอีกด้วย ดังสมการที่ 2โดยที่ L คือเส้นทางระหว่างเมืองที่มดสามารถเดินทางไปได้ เมื่ออัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) มีค่าระหว่าง $0 < \rho \leq 1$ ซึ่งอัตราการระเหยของฟีโรโมนนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมของปริมาณฟีโรโมนบนเส้นทางที่มากเกินไปเพราะจะทำให้มดนั้นไม่เกิดการหาเส้นทางใหม่ๆที่อาจจะเป็นคำตอบหรือผลเฉลยที่ดีกว่าได้

$$\tau_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^{m} \Delta\tau_{ij}^{k} \quad , \forall (i,j) \in L \tag{2}$$

เมื่อ τ_{ij}^{k} คือปริมาณของฟีโรโมน ที่มดตัวที่ k จะเพิ่มให้กับเส้นทาง i ไปยัง j ที่ได้เดินผ่านมาแล้ว โดยที่ปริมาณของฟีโรโมนที่มดตัวที่ k ที่จะเพิ่มให้กับเส้นทาง สามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \begin{cases} 1/C^{k} & , \; if \; arc(i,j) \; belong \; to \; T^{k} \\ 0 & , \; otherwise \end{cases} \tag{3}$$

เมื่อ C^k เป็นผลเฉลยหรือระยะทางรวมของมดตัวที่ k ในรอบการเดินทางที่ผ่านมา โดยที่ T^k เป็นเส้นทางที่เป็นผลเฉลยของคำตอบ

2. Max-Min Ant System (MMAS)

MMAS ถูกนำเสนอ โดย Stutzle กับ Hoos [13]ทั้งสองคนได้พัฒนา Max-Min Ant System มาจาก Ant System โดยได้พัฒนาจาก Ant System ดังนี้

ประการแรกในการปรับค่าฟีโรโมน จะเพิ่มค่าฟีโรโมนให้เฉพาะเส้นทางที่มดตัวที่เดินด้วยระยะทางน้อยที่สุดผ่านเท่านั้น ฉะนั้นค่าของพจน์ที่เพิ่มขึ้นมาจะมีค่าเป็น หนึ่งส่วนระยะทางก็ต่อเมื่อเป็นรอบที่ดีที่สุดของรอบการคำนวณนั้น ส่วนที่ไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุดของรอบ พจน์นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังสมการที่ 4

$$\tau_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{best} \tag{4}$$

โดย $\Delta\tau_{ij}^{best}$ คำนวณมาจากเส้นทางที่ดีที่สุด การปรับปรุงเส้นทางฟีโรโมน (Update pheromone trail) ดังสมการที่ 5

$$\Delta\tau_{ij}^{best} = 1/C^{best} \tag{5}$$

โดยที่ค่า C^{best} เป็นค่าผลเฉลยของคำตอบที่ดีที่สุด

ประการที่สอง คือการกำหนดช่วงของฟีโรโมนให้อยู่ในช่วงที่สมการกำหนด เพื่อที่เราจะได้จำกัดขอบเขตของเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงหนึ่งช่วงเท่านั่น ทำให้หาเส้นทางที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในสมการที่ 6 และ 7

$$\tau_{\max} = 1/\rho C^{best} \tag{6}$$

$$\tau_{\min} = \tau_{\max}/2n \tag{7}$$

โดยที่ n เป็นจำนวนเมืองทั้งหมด ซึ่ง $\tau_{\min} \le \tau_{ij} \le \tau_{\max}$ หากค่า $\tau_{ij} > \tau_{\max}$ จะใช้ค่า $\tau_{ij} = \tau_{\max}$ หากค่า $\tau_{ij} < \tau_{\min}$ จะใช้ค่า $\tau_{ij} = \tau_{\min}$

ประการที่สาม คือ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นจะมีค่าตัวแปรการระเหยของปริมาณฟีโรโมนไว้ในตอนแรกเลย ซึ่งตรงจุดนี้ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ Max-Min Ant System ต่างจาก Ant System ดังสมการที่ 8

$$\tau_0 = 1/\rho C^{nn} \tag{8}$$

3. Ant Colony System (ACS)

ACS ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ Ant System โดยการปรับปรุงครั้งนี้ต่างจากทุกครั้งที่ผ่านมากล่าวคือ การปรับปรุงครั้งนี้ไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของ Ant System อีกต่อไปโดยสร้างกลไกการทำงานใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

ACS ถูกนำเสนอครั้งแรกในปี 1997 โดย Dorigo และ Gambardella โดยที่มีความต่างจาก Ant System สามหลักการใหญ่ๆ คือ

1. ACS จะพัฒนาในส่วนของการจำเส้นทางในการเดินของมด โดยจะทำให้มดมีประสบการณ์ในการจำเส้นทางมากขึ้นและจะมีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางมากขึ้นด้วย

2. การระเหยฟีโรโมนและการวางฟีโรโมนจะทำในส่วนที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น

3. ในแต่ละเส้นทางที่มดเดินผ่านไปนั่น มดจะเอาฟีโรโมนออก เพื่อที่จะทำให้เกิดการเพิ่มเส้นทางหรือโอกาสในการเลือกเส้นทางอื่น

สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปจาก AS มีส่วนต่างๆ ดังที่จะแสดงต่อไปนี้ กำหนดให้ q และ q_0 เป็นเงื่อนไขการสุ่มเพื่อตัดสินใจในกระบวนการของ ACS กำหนด q_0 เป็นค่าคงที่ และ q ตัวแปรสุ่ม โดยถ้า $q \le q_0$ จะเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไปเป็นไปดังสมการที่ 9 มิเช่นนั้นจะเลือกเมืองตามสมการ (1) ตัวอย่างเช่น สุ่ม $q = U(0-1)$ และกำหนด $q_0 = 0.9$ หากค่าสุ่มมีค่ามากกว่า 0.9 ก็

จะเข้าสมการ (1) ตามปกติ แต่หากค่าสุ่มน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.9 จะเลือกเมืองถัดไปตามสมการ (9)

$$j = \arg\max_{l \in N_i^k} \left\{ [\tau_{il}]^{\alpha} [\eta_{il}]^{\beta} \right\} \quad (9)$$

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เรียกว่า กฎการหาค่าความน่าจะเป็นเทียม (Pseudorandom proportional rule)

ส่วนที่ต่างอีกอย่างหนึ่ง คือ จะมีการปรับปรุงปริมาณฟีโรโมนแบบพื้นที่ (Local Pheromone Trail Update) ดังสมการที่ 10

$$\tau_{ij} = (1-\xi)\tau_{ij} + \xi \tau_0 \quad (10)$$

โดยที่ค่าของ ξ หมายถึงอัตราการระเหยของฟีโรโมน ซึ่งจะทำการปรับค่าฟีโรโมนทุกครั้งหลังจากที่มดเดินทาง และภา ยหลังจากการเดินทางครบรอบ จะปรับค่าฟีโรโมน ดังสมการที่ 11

$$\tau_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \rho \Delta\tau_{ij}^{bs} \ , \forall (i,j) \in L^{best} \quad (11)$$

โดยที่ L^{best} เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดหรือค่าคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการ ACS จะปรับปรุงค่าปริมาณฟีโรโมนเฉพาะที่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น ไม่ได้ปรับปรุงทุกเส้นทางเหมือน ACO วิธีการอื่นๆ ส่วนค่าปริมาณฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0) ก็จะไม่เหมือนกับวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมด ดังสมการที่ 12 ดังนี้

$$\tau_0 = 1 / nC^{nn} \quad (12)$$

ส่วนค่าของ $\Delta\tau_{ij}^{best}$ ของ ACS จะเหมือนกับ MMAS ดังสมการที่ 13

$$\Delta\tau_{ij}^{best} = 1 / C^{best} \quad (13)$$

เราสามารถสรุปได้ว่า ACO ทุกวิธีพัฒนามาจากระบบมด (Ant System) ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงและพัฒนาระบบมด ให้มีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น หาคำตอบได้ดีขึ้นหรือลดเวลาการหาคำตอบที่ดีที่สุดลง ซึ่งตัวอย่างของ ACO ที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นเป็นตัวอย่างของการแก้ปัญหาพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) ซึ่งเป็นปัญหาพื้นฐานในการประยุกต์ใช้ ACO

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีผู้ที่ทำการเสนองานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจัดเส้นทางในขนส่งที่หลากหลาย Suxin Wang และ Dingwei Wang [4] ได้มีการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งไว้ โดยต้องการให้ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งนั้น

น้อยที่สุด สำหรับการส่งชิ้นส่วนออกไปยังหลายแหล่ง แต่ยังไม่ได้มีการกล่าวถึงต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วน

Jianling Chen, Songyan Chen [15] ได้มีการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบที่มีเวลาในการรับของเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นี้ต้องการให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองขั้นตอน เนื่องจากการแก้ปัญหาในลักษณะเช่นนี้เป็นการแก้ปัญหาที่มีตัวแปรหลายตัว จึงมีความซับซ้อน ดังนั้นในขั้นแรกจึงได้ทำการแก้ปัญหาเพื่อจัดกลุ่มเส้นทางเบื้องต้นก่อนเพื่อให้ได้ตรงตามเงื่อนไขที่แต่ละลูกค้าจะมีรถชิ้นส่วนไปรับได้คันเดียวเท่านั้น ซึ่งจะพิจารณาจากจำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับและจำนวนรถที่ขนส่ง ทำให้ทราบว่าลูกค้ารายใดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันที่ต้องใช้การขนส่งโดยรถคันเดียวกัน จากนั้นขั้นที่สองจึงได้ทำการพิจารณาเกี่ยวกับข้อจำกัดด้านน้ำหนักของการขนส่ง และทำการเขียนเป็นขั้นตอนเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือที่เรียกว่ากำหนดเป็นอัลกอริทึม ออกมานั่นเอง จากนั้นจึงได้ทำการแก้ปัญหาโดยใช้ภาษาวิชวลเบสิค แก้ปัญหา เพื่อให้ได้เส้นทางที่จะทำให้ต้นทุนในการขนส่งน้อยที่สุดออกมา สำหรับเงื่อนไขของปัญหานี้คือ จำนวนรถที่จำกัด จำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับ ต้องไปรับของทุกวัน ปริมาณสินค้าที่ขนส่งต้องเพียงพอกับความต้องการ การขนส่งของรถแต่ละคันต้องใกล้เคียงกัน และไม่เกินปริมาณที่รถจะขนได้

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลังเพื่อหาเส้นทางที่ช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน และต้นทุนการขนส่ง โดยจำนวนรถไม่จำกัด แต่ยังคงไม่ได้คำนึงถึงเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง Lawrence D.Bruns et al. [3] ได้มีการนำเสนอเอาไว้

Mei Chen et al. [2] ได้มีการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในระบบการขนส่งไว้ เพื่อลดต้นทุนในด้านการขนส่ง และหาเส้นทางที่เหมาะสม โดยมีการระบุจำนวนรถ และจำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับ แต่ไม่ได้คำนึงถึงการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง และไม่มีการนำเรื่องเวลาที่ใช้ในการขนส่งเข้ามาพิจารณา มีการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอาไว้ดังนี้

กำหนดให้ มีกลุ่มของรถขนส่งทั้งหมด M คัน $(M = 1,2,3,...,m)$
มีกลุ่มจำนวนลูกค้าที่ต้องไปรับทั้งหมด N บริษัท $(N = 1,2,3,...,n)$
จำนวนปริมาณที่ขนส่งของแต่ละลูกค้าเป็น q_i $(i \in N)$
ปริมาณสูงสุดที่รถขนส่งสามารถบรรจุได้เป็น Q
C_{ij} เป็นต้นทุนการขนส่งจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j

$Y_{ik} = 1$ หรือ 0 ; โดยจะเท่ากับ 1 ก็ลูกค้า i ขนส่งโดยรถขนส่ง k กรณีอื่นจะเท่ากับ 0

$X_{ijk} = 1$ หรือ 0 ; โดยจะเท่ากับ 1 ก็ต่อเมื่อรถขนส่งจากลูกค้า i ไปที่ลูกค้า j โดยรถขนส่ง k กรณีอื่นจะเท่ากับ 0

และสามารถเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สมการวัตถุประสงค์ $$Min \sum_i \sum_j \sum_k C_{ij} X_{ijk}$$

สมการเงื่อนไข ดังนี้

$$\sum_i q_i Y_{ik} \le Q \qquad \forall k \in M \tag{14}$$

(ปริมาณการขนส่งต้องไม่มากกว่าปริมาณบรรจุได้ของรถขนส่ง)

$$\sum_{k=1}^{M} Y_{ik} = \begin{cases} M(i=0) \\ 1(i \in N) \end{cases} \tag{15}$$

(เป็นเงื่อนไขที่ระบุว่าในแต่ละลูกค้าจะมีรถที่ให้บริการเพียงคันเดียวเท่านั้น)

$$\sum_i X_{ijk} = Y_{jk} \qquad j \in N, \forall k \tag{16}$$

$$\sum_j X_{ijk} = Y_{ik} \qquad i \in N, \forall k \tag{17}$$

(สมการที่ 16 และ 17 นั้น เป็นข้อกำหนดที่ว่าแต่ละลูกค้านั้นจะมีรถขนส่งไปรับได้เพียงคันเดียวเท่านั้น)

สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนเช่นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งนั้น หากเป็นปัญหาที่มีขนาดของปัญหาใหญ่จะไม่สามารถแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตสาสตร์ได้ เนื่องจากอาจจะใช้เวลานานมาก หรือไม่สามารถหาคำตอบได้เลย จึงนิยมใช้วิธีการฮิวริสติกเข้ามาเพื่อใช้ช่วยในการหาคำตอบ ดังจะเห็นได้จาก Gang Zhao et al. [6] ได้มีการนำเสนอการใช้ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการแม็กมินแอนท์ซิสเต็ม (Max-Min Ant Aystem) โดยใช้วิธีการนี้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีข้อจำกัดเรื่องจำนวนที่บรรทุกได้ และจัดเส้นทางที่มีเรื่องเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ให้การใช้รถเกิดขึ้นน้อยที่สุด เวลาที่ใช้รวมน้อยสุด A.E.Rizzoli et al. [7] และ Ashek Ahmmed et al. [16]ได้มีการเสนอทฤษฎีการประยุกต์ใช้แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น (Ant Colony Optimization) สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีเวลาในการเดินทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งใช้วิธีการแอนท์โคโลนีซิสเต็ม เพื่อมาประยุกต์ใช้ โดยได้สรุปว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้ ในส่วนของการ

แก้ปัญหาด้านการจัดเส้นทางเพื่อให้ต้นทุนการขนส่งน้อยที่สุด และจำนวนรถมีจำกัด เพื่อส่งของไปยังลูกค้านั้น Luca Maria Gambardella et al.[16] ก็ได้มีการนำเสนอการเขียนโปรแกรม C++ โดยประยุกต์ใช้แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น (Ant Colony Optimization) ในการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปลักษณะปัญหา ผู้ทำการวิจัย และวิธีการหาคำตอบได้ดังตารางที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบรูปแบบปัญหาและวิธีการหาคำตอบจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหา	นักวิจัย	วิธีการ
การจัดเส้นทาง - จำกัดจำนวนรถ เพื่อส่งของไปยังลูกค้า	Luca Maria Gambardella et al.(1999) Pupong Pongcharoen et al.(2007)	ACO AS+แบบจำลองคณิตศาสตร์
การจัดเส้นทาง - จำกัดจำนวนรถ - คำนึงถึงเวลาในการขนส่ง	Gang Zhao et al.(2008) Mei Chen et al.(2007)	MMAS แบบจำลองคณิศาสตร์
การจัดเส้นทาง - คำนึงถึงเวลาในการขนส่ง	A.E.Rizzoli et al.(2004) Jianling Chen, Songyan Chen (2008)	ACO แบบจำลองคณิศาสตร์
การจัดเส้นทาง - ระยะทางรวมน้อยสุด - ไม่กล่าวถึงต้นทุนการจัดเก็บ	Suxin Wang, Dingwei Wang (2008)	แบบจำลองคณิศาสตร์
การจัดเส้นทาง - จำนวนรถมีไม่จำกัด - ไม่คำนึงเรื่องเวลาในการขนส่ง	Lawrence D.Burns et al.(1985)	แบบจำลองคณิศาสตร์
การจัดตารางการผลิต - เพื่อให้เกิดการทำงานน้อยสุด	Kwanniti Khammuang et al.(2008)	MMAS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แบบจำลองคณิตศาสตร์

3.1 รูปแบบปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่งที่คำนึงถึงการจัดเก็บพัสดุคงคลังและเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งต้องการให้ต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วนและต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังน้อยที่สุด ซึ่งแต่ละบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจะจัดส่งชิ้นส่วนเพียงประเภทเดียวเท่านั้น โดยที่รถขนส่งมีไม่จำกัด ขนาดรถขนส่งมี 2 ขนาดคือ 6 ล้อ และ 10 ล้อ สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดว่าต้องมีชิ้นส่วนเพื่อใช้ในการผลิตตามจำนวนที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลา สำหรับช่วงเวลาจะคิดทั้งหมด 4 ช่วงเวลา (4 สัปดาห์) และจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลามีปริมาณคงที่

ในการพิจารณาเลือกเส้นทางและกำหนดปริมาณชิ้นส่วนที่จัดส่ง และปริมาณพัสดุคงคลังมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมลดลง โดยการคำนวณต้นทุนรวมจะเป็นไปดังนี้

ต้นทุนรวม = ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน + ต้นทุนการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลัง โดยที่

ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน = {ระยะทางรวมของการขนส่งแต่ละเส้นทาง (กม ./เดือน) x ค่าขนส่งชิ้นส่วน (บาท/กม.) + ต้นทุนคงที่รวมที่เกิดจากการขนส่งแต่ละรอบ (บาท/เดือน)

ต้นทุนการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลัง = ต้นทุนในการดูแลเก็บรักษาชิ้นส่วนคงคลัง (บาท/ชิ้น) x จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บต่อเดือน (ชิ้น/เดือน)

เงื่อนไขต่างๆที่ใช้เพื่อทำการกำหนดเส้นทาง ปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่งและปริมาณพัสดุคงคลังโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นดังนี้

1.ปริมาณของชิ้นส่วนในการขนส่งแต่ละรอบ ไม่เกินจากน้ำหนักที่บรรจุได้ของรถขนส่ง โดยจะพิจารณารถที่ 2 ขนาดคือ รถบรรทุก 6 ล้อ และ 10 ล้อ

2.จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งมีไม่จำกัด

3.ในแต่ละช่วงเวลา ไม่จำเป็นต้องกำหนดเส้นทางรถวิ่งที่เหมือนกัน

4.ไม่อนุญาตให้เกิดสินค้าขาดมือขึ้น

5.เมื่อรถขนส่งไปถึงบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนสามารถรับชิ้นส่วนได้ทันที

6.ในหนึ่งวันสามารถไปรับชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนได้หลายรอบ

7. หนึ่งรอบการขนส่ง เริ่มจากโรงงาน ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนและกลับมายังโรงงาน อนุญาตให้รถออกจากโรงงานได้เวลา 8.00 น. และกลับถึงโรงงานได้ไม่เกิน 20.00 น.

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การกำหนดดัชนี

$S = \{1,2,\ldots,n\}$ เป็นเซตของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน

$T = \{1,\ldots,t\}$ เป็นเซตของช่วงเวลา(4 สัปดาห์)

$N = \{0,1,\ldots,n\}$ เป็นเซตของจุดในการเดินทางทั้งหมด โดยที่ 0 คือ โรงงานตัวอย่าง

$V = \{1,2,\ldots,v\}$ เป็นเซตของรถขนส่ง ซึ่งรวมรถทั้ง 2 ประเภท

การกำหนดพารามิเตอร์

h_i = ต้นทุนการดูแลรักษาชิ้นส่วนคงคลังของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนส่วน i (บาท/ชิ้น)

Fx^v = แทนต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้รถขนส่ง v (บาท/รอบ)

d_{ij} = แทนต้นทุนการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน j (บาท)

D_i^t = แทนจำนวนชิ้นส่วนของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ที่ต้องการ ในช่วงเวลา t (ชิ้น)

q^v = แทนน้ำหนักมากสุดที่บรรทุกได้ของรถขนส่งคันที่ v (กิโลกรัม)

t_{ij} = แทนเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน j (นาที)

w_i = แทนน้ำหนักชิ้นส่วนของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i (กิโลกรัม/ชิ้น)

ตัวแปรตัดสินใจ

I_i^t = แทนจำนวนชิ้นส่วนคงคลังของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ในช่วงเวลา t (คิดที่สิ้นช่วงเวลานั้นๆ)

G_i^{tv} = แทนจำนวนชิ้นส่วนของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ที่ขนส่งโดยรถ v ในช่วงเวลา t

x_{ij}^{tv} = 0 กรณีที่ไม่เกิดการขนส่งขึ้น, x_{ij}^{tv} = 1 กรณีมีการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน j ($i \neq j$) โดยรถ v ในช่วงเวลา t

f_{ij}^{tv} = น้ำหนักบรรทุก (กิโลกรัม) ในการขนส่งชิ้นส่วนจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน j โดยรถ v ในช่วงเวลา t

ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ สมการ (1) เป็นสมการวัตถุประสงค์ จากสมการจะประกอบด้วยต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน รวมกับต้นทุนคงที่ในการขนส่ง และต้นทุนใน

การจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง สมการ (2) เป็นสมการเพื่อคำนวณระดับชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นช่วงเวลานั้นๆ โดยคิดจากชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้นของช่วงเวลานั้น รวมกับจำนวนที่ขนส่งในช่วงเวลาเดียวกัน และหักความต้องการใช้ชิ้นส่วนในช่วงเวลานั้น ซึ่งปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บนี้ไม่ใช่จำนวนชิ้นส่วนคงคลังเพื่อป้องกันชิ้นส่วนขาดมือ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น เช่นเครื่องจักรเสีย หรือพนักงานลาหยุด เป็นต้น แต่เป็นปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตตามแผนผลิตเท่านั้นสมการ (3) เป็นสมการที่กำหนดตามเงื่อนไขว่าจุดเริ่มต้นต้องออกจากโรงงานตัวอย่างเท่านั้น สมการ (4) เป็นสมการที่แสดงความต่อเนื่องกันของเส้นทางการขนส่ง กล่าวคือเมื่อมีรถวิ่งเข้ามายังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้น ก็ต้องมีรถออกจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นด้วย สมการ (5) เป็นสมการที่ป้องกันการวนซ้ำ เช่น บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน 1 ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน 2 และไม่มีการวนกลับจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน 2 ไปยังบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน 1 เป็นต้น ซึ่งกำหนดโดยน้ำหนักบรรทุก และเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่บรรทุกสะสมกับจำนวนที่ขนส่ง สมการ (6) น้ำหนักที่บรรทุกในการขนส่งต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ สมการ (7) เวลาที่ใช้ในการขนส่งต้องไม่เกิน 720 นาที โดยคิดจากการออกโรงงาน 8.00 น. และกลับถึงโรงงานไม่เกิน 20.00 น. สมการ (8) พัสดุคงคลังต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ สมการ (9) จำนวนที่ขนส่งต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ สมการ (10) น้ำหนักที่บรรทุกสะสมต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ สมการ (11) ค่า x_{ij}^{tv} มีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยัง j โดยรถขนส่ง v ที่เวลา t กรณีที่ไม่เกิดการขนส่งขึ้นจะมีค่าเป็นศูนย์

$$MinZ = \sum_{t\in T}\sum_{v\in V}\sum_{j\in N}\sum_{i\in N} d_{ij} * x_{ij}^{tv} + \sum_{t\in T}\sum_{v\in V}\sum_{j\in S} Fx^{v} * x_{0j}^{tv} + \sum_{t\in T}\sum_{i\in S} h_i I_i^t \quad (1)$$

$$I_i^t = I^{t-1}{}_i + \sum_{v\in V} G_i^{tv} - D_i^t \qquad \forall\, i \in S,\ t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{j\in S} x_{0j}^{tv} \le 1 \qquad \forall\, v \in V,\ t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j\in N-\{i\}} x_{ji}^{tv} = \sum_{h\in N-\{i\}} x_{ih}^{tv} \qquad \forall\, i \in S,\ v \in V,\ t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{i\in N-\{j\}} f_{ij}^{tv} + G_j^{tv} * w_j = \sum_{h\in N-\{j\}} f_{jh}^{tv} \qquad \forall\, j \in S,\ v \in V,\ t \in T \quad (5)$$

$$f_{ij}^{tv} \le q^{v} * x_{ij}^{tv} \qquad \forall\, i, j \in N,\ v \in V,\ t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{j\in N}\sum_{i\in N} t_{ij} * x_{ij}^{tv} \le 720 \qquad \forall\, v \in V,\ t \in T \quad (7)$$

$$I_i^t \ge 0 \qquad \forall\, i \in S,\ t \in T \quad (8)$$

$$G_j^{tv} \ge 0 \qquad \forall\ j \in S,\ v \in V,\ t \in T \quad (9)$$

$$f_{ij}^{tv} \ge 0 \qquad \forall\, i, j \in N,\ v \in V,\ t \in T \quad (10)$$

$$x_{ij}^{tv} = \{0,1\} \qquad \forall\, i, j \in N,\ v \in V,\ t \in T \qquad (11)$$

3.3 ผลลัพธ์จากแบบจำลอง

3.3.1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้า

ในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบ โดยใช้โปรแกรม CPLEX โดยใช้คอมพิวเตอร์ Intel Core 2 CPU 2 GHz, RAM 1GB เพื่อช่วยในการหาคำตอบ ซึ่งจะมีรูปแบบตัวอย่างข้อมูลนำเข้าต่างๆที่ต้องใช้ ดังตารางที่ 3.1-3.4

ตารางที่ 3.1 ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน (บาท)

บริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	12	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน น้ำหนักของชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน

บริษัท \ ช่วงเวลา	1	2	3	4	น้ำหนัก (กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5
9	120	120	120	120	2	0.44
10	35	35	35	35	2	0.5

ตารางที่ 3.3 เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (นาที)

บริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	12	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

(ในเบื้องต้นให้เวลาที่ใช้ในการขนส่งเท่ากับต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วน)

ตารางที่ 3.4 ต้นทุนคงที่ และน้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่งแต่ละชนิด

	นน.ที่สามารถบรรทุกได้ (กก.)	ต้นทุนคงที่ (บาท)
รถชนิดที่ 1	600	300
รถชนิดที่ 2	1,000	600

3.3.2 ตัวอย่างผลลัพธ์

จากตัวอย่างข้อมูลนำเข้าข้างต้น จะได้รูปแบบของคำตอบดังตารางที่ 3.5-3.8

ตารางที่ 3.5 เส้นทางการขนส่ง

ช่วงเวลา	เส้นทางขนส่ง	ชนิดของรถ	น้ำหนักที่บรรทุก (กก.)
1	0-1-9-2-0	รถชนิดที่ 1	600
	0-9-5-4-7-6-0	รถชนิดที่ 1	600
	0-3-8-1-0	รถชนิดที่ 1	600
	0-10-9-0	รถชนิดที่ 1	600
2	0-5-3-6-0	รถชนิดที่ 1	540
3	0-8-9-0	รถชนิดที่ 1	600
	0-3-6-0	รถชนิดที่ 1	440
4	0-2-4-5-10-9-0	รถชนิดที่ 1	540
	0-6-7-0	รถชนิดที่ 1	120

ตารางที่ 3.6 จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง

	ปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่งแต่ละช่วงเวลา			
บริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน	1	2	3	4
1	240	0	0	0
2	60	0	0	20
3	90	90	180	0
4	75	0	0	25
5	70	140	0	70
6	40	40	40	40
7	60	0	0	20
8	200	0	200	0
9	260	0	100	120
10	105	0	0	35

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 ชิ้นส่วนคงคลังที่จัดเก็บ

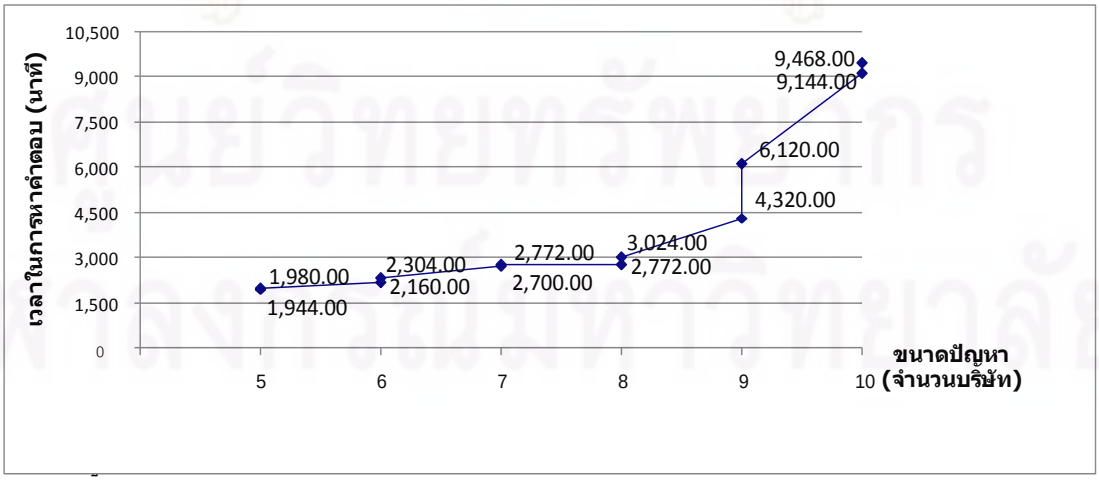
	ปริมาณชิ้นส่วนคลังที่จัดเก็บแต่ละช่วงเวลา			
บริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน	1	2	3	4
1	180	120	60	0
2	40	20	0	0
3	0	0	90	0
4	50	25	0	0
5	0	70	0	0
6	0	0	0	0
7	40	20	0	0
8	100	0	100	0
9	140	20	0	0
10	70	35	0	0

ตารางที่ 3.8 ต้นทุนที่เกิดขึ้น

ต้นทุนที่เกิดขึ้น	มูลค่า (บาท)
ต้นทุนการขนส่ง	1,112.00
ต้นทุนคงที่	2,700.00
ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน	325.65

3.3.3 ผลการทดลองแก้ปัญหาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์

ได้มีการทดลองแก้ปัญหาจากปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ที่ขนาดปัญหา 5-10 บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ทดลองขนาดปัญหาละ 2 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถแสดงผลในกราฟรูปที่ 3.1



จะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน เช่นปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่งนี้ ใช้เวลาในการหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นานมาก ทั้งที่ขนาดของปัญหาไม่ใหญ่นัก และเมื่อขนาดของปัญหายิ่งใหญ่ขึ้นก็จะยิ่งใช้เวลาในการแก้ปัญหานานมากขึ้น หากขนาดของปัญหาใหญ่มากๆ ก็อาจจะแก้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ได้ ดังนั้นจึงได้เสนอการใช้วิธีการฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหา ดังจะกล่าวในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การประยุกต์ใช้ฮิวริสติก

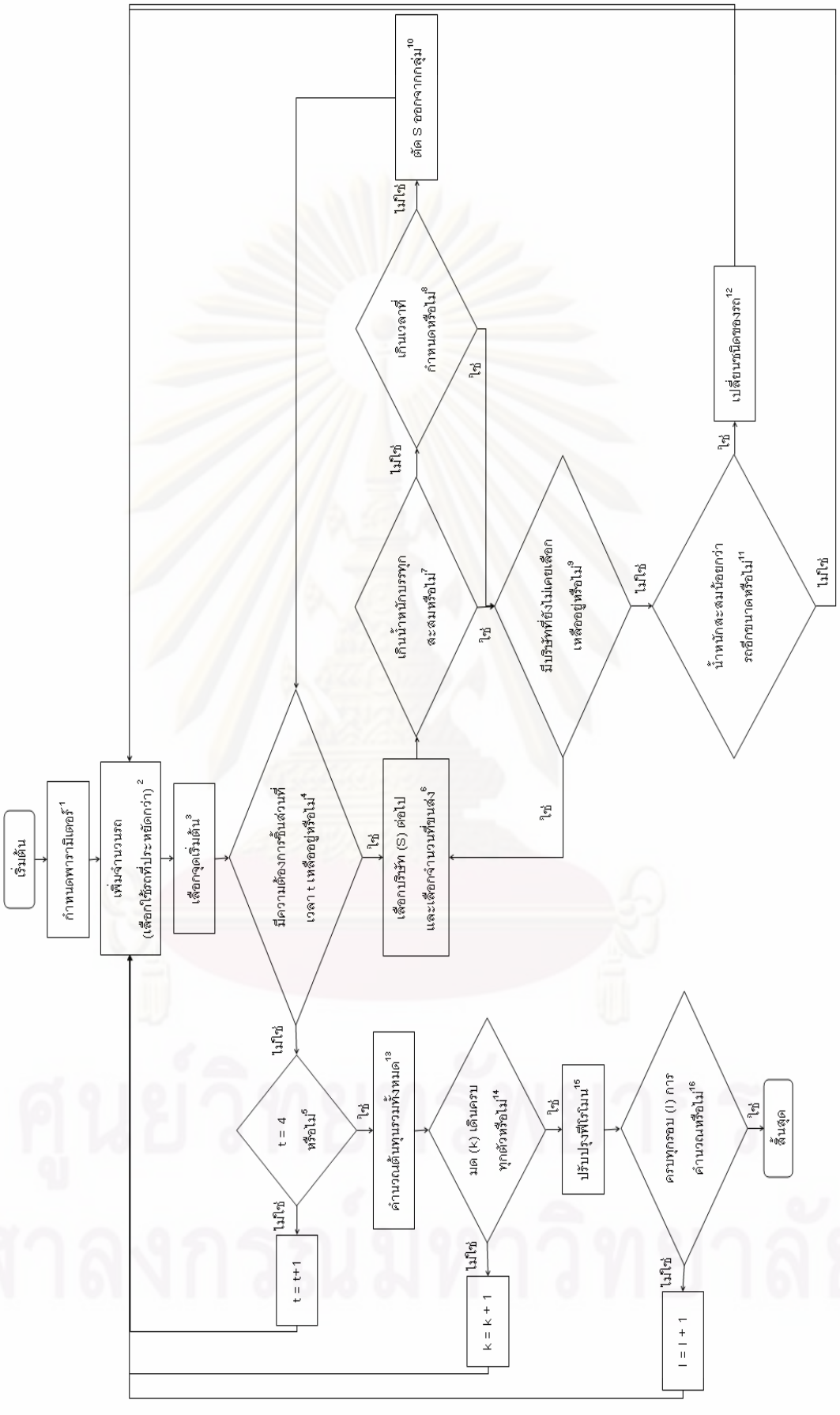
ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติก เพื่อแก้ปัญหาของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการประยุกต์ แม็กมินแอนท์ซิสเต็ม (Max-Min Ant System) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและการจัดการพัสดุคงคลัง โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางจากการประยุกต์ใช้ทฤษฎี แอนท์โคโลนีออฟติไมเซชั่น เป็นจำนวนมาก ซึ่งลักษณะก็จะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะปัญหาจริงของแต่ละกรณีศึกษา เช่น จำกัดจำนวนรถ [8], คำนึงถึงเวลาในการขนส่ง[7] เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้แม็กมินแอนท์ซิสเต็ม เนื่องจากแม็กมินแอนท์ซิสเต็มได้มีการพัฒนาปรับปรุงมาจาก Ant System โดยมีการกำหนดค่าฟีโรโมนให้อยู่ในช่วงค่าที่กำหนดเพื่อให้สามารถหาเส้นทางที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีแม็กมินแอนท์ซิสเต็ม ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาเส้นทางในการขนส่งที่จำกัดจำนวนรถ [6] มาแล้ว แต่ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ไม่ได้จำกัดเรื่องจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง

4.1 การประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System

4.1.1 แผนผังการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System

มีการแสดงแผนผังการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System ดังรูปที่ 4.1 โดยจะทำการแก้ปัญหาจากโปรแกรม Visual Basic โดยใช้คอมพิวเตอร์ Intel Core 2 CPU 2 GHz, RAM 1GB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แผนผังการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System

1. การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0), ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน (α), ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (β), ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ), จำนวนมด (k), จำนวนรอบการคำนวณ (I) และช่วงเวลา (t) ดังนี้

ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0) = $1/\rho C^{nn}$ โดยที่ค่า C^{nn} เป็นผลเฉลยหรือระยะทางทั้งหมด (Tour) ที่ได้จากการหาโดยใช้หลักการเลือกเมืองที่อยู่ใกล้เคียงที่มีระยะทางสั้นที่สุดไปจนครบทุกเมือง (Nearest Neighbor)

ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน (α) = 1.0

ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (β) = 0.5

ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) = 0.4

จำนวนมด (k) : กำหนดให้เป็นมดตัวที่ 1 (k=1) และทำการกำหนดจำนวนมดที่จะใช้คำนวณว่าจะใช้มดทั้งหมดกี่ตัว ซึ่งมด 1 ตัวแทนผลเฉลย 1 คำตอบ โดยค่า k ทั้งหมดคือ 60 ตัว ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในการทดสอบพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 4.2

จำนวนรอบการคำนวณ (I) : กำหนดให้เป็นรอบที่ 1 (I=1) และทำการกำหนดจำนวนรอบที่จะใช้คำนวณว่าจะใช้จำนวนรอบเป็นเท่าไหร่ โดย 1 รอบ จะได้จำนวนคำตอบเท่ากับจำนวนมดทั้งหมด โดยที่ I มากสุดเท่ากับ 60 รอบ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดในการทดสอบพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 4.2

จำนวนช่วงเวลา (t) : เป็นการกำหนดช่วงเวลาที่พิจารณาในการหาคำตอบ ในที่นี้จะกำหนดช่วงเวลาทั้งหมด 4 ช่วงเวลา โดยที่ 1 ช่วงเวลา คือ 1 สัปดาห์

2. การเพิ่มจำนวนรถ เนื่องจากรถมี 2 ขนาด ซึ่งจะทำการเพิ่มจำนวนรถโดยการเลือกพิจารณาจากความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ กับต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้รถชนิดนั้นๆ โดยเทียบความสามารถในการบรรทุกได้เทียบกับต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้น ว่ารถชนิดใดประหยัดกว่า ก็จะเลือกใช้รถชนิดนั้น กล่าวคือต้นทุนคงที่ในการใช้รถ 6 ล้อ อยู่ที่ 1,300 บาท สามารถบรรทุกได้ 12,000 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็น 9.23 กิโลกรัม/บาท สำหรับต้นทุนคงที่ในการใช้รถ 10 ล้อ อยู่ที่ 2,000 บาท สามารถบรรทุกได้ 21,000 กิโลกรัม คิดเป็น 10.5 กิโลกรัม/บาท ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้รถ 10 ล้อ จะประหยัดกว่านั่นเอง ดังนั้นการเลือกเพิ่มจำนวนรถจะเลือกเพิ่มเป็นรถ 10 ล้อก่อน ภายหลังจึงทำการพิจารณารถขนาดอื่นต่อไป

3. การเลือกจุดเริ่มต้นนั้นจะเลือกที่โรงงานตัวอย่างเท่านั้น เนื่องจากจุดเริ่มต้นของทุกเส้นทางต้องออกจากโรงงานตัวอย่าง

4. ทำการตรวจสอบว่าที่เวลา t ยังมีความต้องการชิ้นส่วนอีกหรือไม่ โดย

ถ้ายังมีความต้องการชิ้นส่วนอยู่ก็จะทำการเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนต่อไป หากไม่มีความต้องการชิ้นส่วนแล้ว จะไปทำการตรวจสอบว่าช่วงเวลาที่คำนวณครบทั้งหมดแล้วหรือไม่

5. หากไม่มีความต้องการชิ้นส่วนที่ช่วงเวลา t แล้วจะทำการตรวจสอบว่าคำนวณครบทุกช่วงเวลาแล้วหรือไม่ ถ้ายังไม่ครบจะกำหนดให้ t=t+1 แล้วไปเพิ่มจำนวนรถใหม่ตามขั้นตอนที่ 2 ใหม่ จนกระทั่งครบทุกช่วงเวลา หากครบทุกช่วงเวลาแล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 13

6. การเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะเป็นเส้นทางต่อไป จะเลือกเส้นทางโดยใช้กฎการสุ่มโดยความน่าจะเป็นดังสมการที่ 1

$$p_{ij}^{k} = \frac{\left[\tau_{ij}\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{l \in N_i^k}\left[\tau_{il}\right]^{\alpha}\left[\eta_{il}\right]^{\beta}} \qquad ,if \;\; j \in N_i^k \tag{1}$$

และทำการสุ่มเลือกจำนวนที่ขนส่ง (G) โดยจำนวนที่ขนส่งน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนความต้องการชิ้นส่วนนั้นในช่วงเวลาที่เหลือทั้งหมด หักออกด้วยจำนวนพัสดุคงคลัง เพื่อไม่ให้เกิดการเก็บพัสดุคงคลังในช่วงเวลาสุดท้าย ดังสมการที่ (2)

จำนวนที่ขนส่ง $\leq$ จำนวนความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลาที่เหลือทั้งหมด–จำนวนพัสดุคงคลัง (2)

7. ทำการตรวจสอบว่าชิ้นส่วนที่ขนส่งเกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถขนส่งหรือไม่โดยดูจากจำนวนที่ขนส่งสะสมของรถคันนั้น ซึ่งสามารถหาได้จากผลรวมของการนำจำนวนที่ขนส่ง (G) ของแต่ละบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนในรถคันนั้น * น้ำหนักชิ้นส่วนนั้นเปรียบเทียบกับความสามารถในการบรรทุกได้ของรถขนส่ง ดังสมการที่ 3

ผลรวมของจำนวนที่ขนส่งของแต่ละบริษัท x น้ำหนักชิ้นส่วนของแต่ละบริษัท $\leq$ ความสามารถในการบรรทุกได้ของรถขนส่ง (3)

หากทำการตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกสะสมแล้วเกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ จะไปทำขั้นตอนที่ 9 หากยังไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้จะไปทำการตรวจสอบเงื่อนไขเรื่องเวลาในการขนส่งในขั้นตอนที่ 8

8. ทำการตรวจสอบว่าเวลาที่ใช้ในการขนส่ง(T)สะสม นั้นเกินกว่าเงื่อนไขเวลาที่กำหนดหรือไม่ คือเวลารวมที่ใช้ในการขนส่งของแต่ละบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนของรถคันนั้น ต้องรวมแล้วน้อยกว่าหรือเท่ากับ 720 นาที เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเวลาในการรับชิ้นส่วนของโรงงานตัวอย่าง โดยที่ถ้าเกินเวลาที่กำหนดจะทำการตรวจสอบว่ายังมีบริษัทที่ยังไม่เคยไปเหลืออยู่หรือไม่ในขั้นตอนที่ 9 เพื่อเลือกบริษัทใหม่ หากไม่เกินเวลาที่กำหนดจะทำการตัดบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นออกจากกลุ่มบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนในขั้นตอนที่ 10

9. ทำการตรวจสอบว่ายังมีบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ยังไม่เคยเลือกหรือไม่ ถ้ามีไปทำขั้นตอนที่ 6 ถ้าไม่มีเหลือไปทำขั้นตอนที่ 11

10. เมื่อตรวจสอบเงื่อนไขแล้วพบว่าไม่เกินเวลาที่กำหนด จะทำการตัดบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน (S) นั้นออกจากกลุ่มของบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วนที่จะเลือกเส้นทางต่อไป แล้วไปทำขั้นตอนที่ 4

11. ทำการตรวจสอบว่าน้ำหนักที่บรรทุกทั้งหมด น้อยกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักที่บรรทุกได้ของรถอีกขนาดหรือไม่ กล่าวคือหากน้ำหนักที่บรรทุกได้ไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ 6 ล้อ ก็จะทำการเปลี่ยนชนิดของรถที่ใช้ในเส้นทางนั้น ตามขั้นตอนที่ 12

12. ทำการเปลี่ยนการใช้รถเป็นรถ 6 ล้อ เมื่อน้ำหนักที่ขนส่งสะสมน้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ 6 ล้อ จากนั้นจึงไปทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

13. เมื่อทำการคำนวณครบทุกช่วงเวลาแล้ว (t = 4) จะทำการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดย

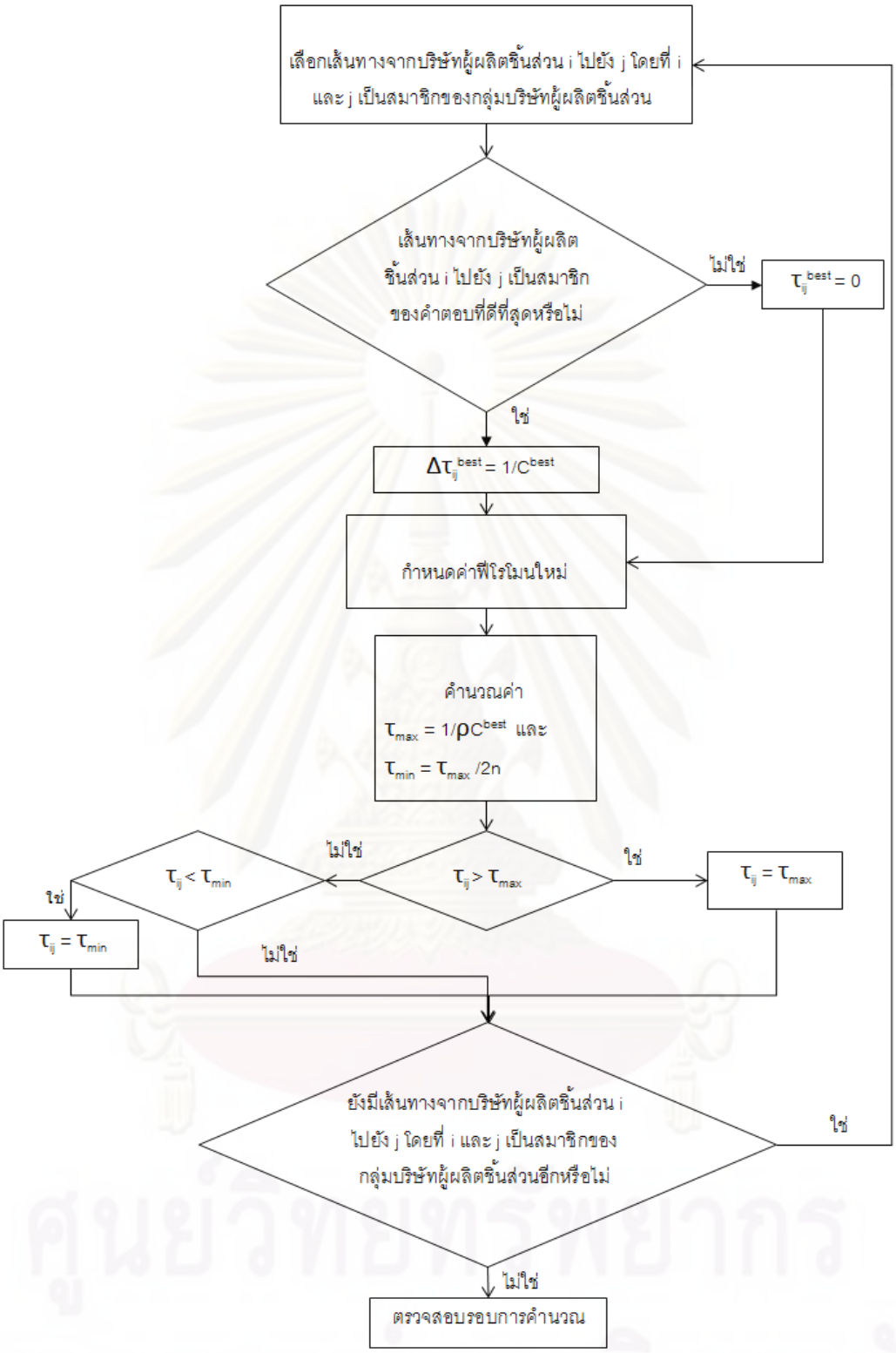
คำนวณหาต้นทุนในการขนส่งทุกเส้นทางทุกช่วงเวลาที่เกิดขึ้น รวมกับต้นทุนคงที่ที่เกิดเมื่อมีการใช้รถขนาดต่างๆ และรวมกับต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วนทั้งหมด แล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 14

14. ตรวจสอบว่ามดหาคำตอบครบทุกตัวแล้วหรือไม่ (k ทั้งหมด = 60)หากยังไม่ครบทำการกำหนด k = k+1 แล้วทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ซึ่งมดหนึ่งตัวหมายถึงหนึ่งคำตอบ ที่ได้ผลรวมของต้นทุนทั้งหมดออกมา หากคำนวณครบทุกตัวแล้วจะทำการปรับปรุงฟีโรโมนในขั้นตอนที่ 15 ต่อไป

15. หากมดหาคำตอบครบทุกตัวแล้วนั้น จะทำการปรับปรุงฟีโรโมน สำหรับการปรับปรุงฟีโรโมนนั้น ทำโดยการเลือกเส้นทางจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน i ไปยัง j โดยที่ j เป็นสมาชิกของกลุ่มบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน โดยที่หากเส้นทางจาก i ไปยัง j ไม่ได้เป็นเส้นทางที่เป็นส่วนประกอบของคำตอบที่ดีที่สุดนั้นค่า $\tau_{ij}^{best} = 0$ คือค่าฟีโรโมโมนของเส้นทางนั้นมีค่าเป็นศูนย์ หากเส้นทางจาก i ไปยัง j เป็นเส้นทางที่เป็นส่วนประกอบของคำตอบที่ดีที่สุด จะทำการหาค่า $\Delta\tau_{ij}^{best} = 1/c^{best}$ โดยที่ c^{best} คือ ระยะทางหรือผลเฉลยของคำตอบที่ดีที่สุดจากมดทุกตัว เพื่อกำหนดค่าฟีโรโมนใหม่ ดังนี้

$\tau_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{best}$ โดยที่หากค่าฟีโรโมนใหม่ที่ได้ มากกว่าค่าฟีโรโมนมาก ($\tau_{\max}$) ค่าฟีโรโมนใหม่จะใช้ค่าเดียวกับค่าฟีโรโมนมาก โดยหาค่าฟีโรโมนมากจาก $\tau_{\max} = 1/\rho c^{best}$ หากค่าฟีโรโมนใหม่ที่ได้ น้อยกว่าค่าฟีโรโมนน้อย ($\tau_{\min}$) ค่าฟีโรโมนใหม่จะใช้ค่าเดียวกับค่าฟีโรโมนน้อย ซึ่งค่าฟีโรโมนน้อยหาได้จาก $\tau_{\min} = \tau_{\max}/2n$ ซึ่ง n คือ จำนวนเมืองทั้งหมด ส่วนถ้าค่าฟีโรโมนใหม่ที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างค่าฟีโรโมนมากและฟีโรโมนน้อยก็จะใช้ค่าฟีโรโมนใหม่ที่คำนวณได้เลย

เมื่อได้ค่าฟีโรโมนใหม่แล้วนั้นก็เลือกเส้นทางอื่นๆที่เหลือเพื่อทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมนเช่นเดียวกัน ดังแสดงในแผนผังการปรับปรุงฟีโรโมนรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การปรับปรุงฟีโรโมน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16. ตรวจสอบว่าครบทุกรอบการคำนวณแล้วหรือไม่ (ค่า I ที่กำหนด = 60 รอบ) ถ้ายังไม่ครบกำหนดให้ I = I+1 แล้วทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ถ้าครบแล้วสิ้นสุดการหาคำตอบ

4.1.2 ตัวอย่างการแก้ปัญหาจากการประยุกต์ใช้ Max-Min Ant System

- ตัวอย่างการจัดเส้นทาง

พิจารณาที่ขนาดปัญหา 5 บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน โดยมีข้อมูลนำเข้าต่างๆ ดังตารางที่ 4.1-4.4 เพื่อหาเส้นทางการจัดส่งชิ้นส่วน จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ รวมถึงต้นทุนต่างๆที่เกิดขึ้น โดยให้ 0 = โรงงานตัวอย่าง และ 1-5 เป็นบริษัทผู้ลิตชิ้นส่วน โดยที่เวลาในการขนส่งรวมต่อเส้นทางไม่เกิน 720 นาที และห้ามเกิดสินค้าขาดมือขึ้น

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนในการขนส่ง (บาท)

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	**0**	**50**	**30**	**20**	**40**	**20**
1	**50**	**0**	**60**	**70**	**35**	**25**
2	**30**	**60**	**0**	**80**	**45**	**20**
3	**20**	**70**	**80**	**0**	**30**	**22**
4	**40**	**35**	**45**	**30**	**0**	**16**
5	**20**	**25**	**20**	**22**	**16**	**0**

ตารางที่ 4.2 ความต้องการชิ้นส่วนแต่ละช่วงเวลา น้ำหนักชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บ

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12

ตารางที่ 4.3 เวลาในการขนส่ง (นาที)

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	**0**	**50**	**30**	**20**	**40**	**20**
1	**50**	**0**	**60**	**70**	**35**	**25**
2	**30**	**60**	**0**	**80**	**45**	**20**
3	**20**	**70**	**80**	**0**	**30**	**22**
4	**40**	**35**	**45**	**30**	**0**	**16**
5	**20**	**25**	**20**	**22**	**16**	**0**

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการบรรทุก และต้นทุนคงที่

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	400	600
รถชนิดที่ 2	600	700

ขั้นตอนที่ 1 : ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (τ_0) = $1/\rho c^{nn}$ โดยที่ค่า

c^{nn} = 20+16+30+70+60+30 = 226 (เส้นทาง 0-5-4-3-1-2-0) ซึ่งหามาจากการเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่อยู่ใกล้สุดไปเรื่อยๆ

ดังนั้นค่า τ_0 = 1/(0.4*226) = 0.011

ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน (α) = 1.0

ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (β) = 2.5

ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) = 0.4

จำนวนมด (k) : กำหนดให้เป็นมดตัวที่ 1 (k=1) และทำการกำหนดจำนวนมดที่จะใช้คำนวณทั้งหมดเป็น 2 ตัว

จำนวนรอบการคำนวณ (I) : กำหนดให้เป็นรอบที่ 1 (I=1) และทำการกำหนดจำนวนรอบที่จะใช้คำนวณทั้งหมดเป็น 2 รอบ

จำนวนช่วงเวลา (t) : กำหนดช่วงเวลาทั้งหมด 4 ช่วงเวลา โดยที่ 1 ช่วงเวลา คือ 1 สัปดาห์

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการเพิ่มจำนวนรถ โดยพิจารณาจากความสามารถในการบรรทุกได้ของรถต่อต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้รถชนิดนั้นๆ จากตารางที่ 4.4 จะเห็นว่ารถชนิดที่ 1 = 400/600 = 0.67 กิโลกรัมต่อบาท รถชนิดที่ 2 = 600/700 = 0.86 กิโลกรัมต่อบาท ดังนั้นจะเลือกใช้รถชนิดที่ 2 ก่อน

ขั้นตอนที่ 3 : เลือกจุดเริ่มต้นที่โรงงานตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 4 : ตรวจสอบว่ามีความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลา t=1 และช่วงเวลาที่เหลือหรือไม่ เนื่องจากที่ช่วงเวลาเริ่มต้นไม่มีการเก็บชิ้นส่วนคงคลังดังนั้นจึงยังมีความต้องการชิ้นส่วนอยู่ แต่หากเป็นช่วงเวลาอื่น ต้องพิจารณาว่ามีชิ้นส่วนคงคลังจากช่วงเวลาก่อนหน้าที่พอกับความต้องการใช้ชิ้นส่วนในช่วงเวลานั้นหรือไม่ หากไม่มีชิ้นส่วนคงคลังหรือมีชิ้นส่วนคงคลังน้อยกว่าความต้องการใช้ชิ้นส่วน แสดงว่ายังมีความต้องการใช้ชิ้นส่วนอยู่ จึงทำขั้นตอนที่ 6 ต่อ หากไม่มีความต้องการแล้วจะไปทำขั้นตอนที่ 5 ในที่นี้ต้องไปทำขั้นตอนที่ 6 เนื่องจากช่วงเลาที่คำนวณคือช่วงเวลาที่ t=1 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเริ่มต้นจึงยังมีความต้องการชิ้นส่วนอยู่ เนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนคงคลังเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 5 : ตรวจสอบว่าครบทุกช่วงเวลาที่คำนวณแล้วหรือไม่ (t=4) โดยจะทำการตรวจสอบเมื่อไม่มีความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลานั้นๆแล้ว ซึ่งหาก $t \neq 4$ จะทำการกำหนดให้ t=t+1 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

ขั้นตอนที่ 6 : เลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อ และกำหนดจำนวนที่ขนส่ง โดยทำการเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อโดยใช้กฎการสุ่มโดยความน่าจะเป็น โดยทำการหาค่า P_{ij}^{k} ในแต่ละเส้นทางที่สามารถไปได้ ดังนี้

$$p_{ij}^{k} = \frac{\left[\tau_{ij}\right]^{\alpha}\left[\eta_{ij}\right]^{\beta}}{\sum_{l \in N_i^k}\left[\tau_{il}\right]^{\alpha}\left[\eta_{il}\right]^{\beta}} \qquad ,if \;\; j \in N_i^k$$

โดยที่ $\tau_{ij} = \tau_0 = 1/\rho c^{nn}$ = 1/(0.4*226) = 0.011 ; ค่า c^{nn} = 226 (ได้จากเส้นทาง 0-5-4-3-1-2-0)

ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน (α) = 1.0

ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (β) = 2.5

ค่า $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ เช่น d_{01} = 50 (จากตารางที่ 4.1) ดังนั้น η_{ij} = 1/50

สามารถหาค่า P_{ij}^{k} ได้ดังนี้

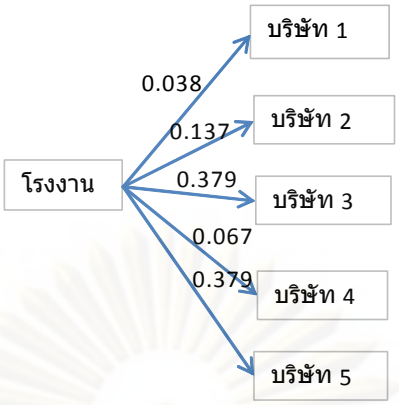
P_{01}^{1}=[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$]/[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$
+(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$] = 0.038

P_{02}^{1}=[(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$]/[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$
+(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$] = 0.137

P_{03}^{1}=[(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$]/[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$
+(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$] = 0.379

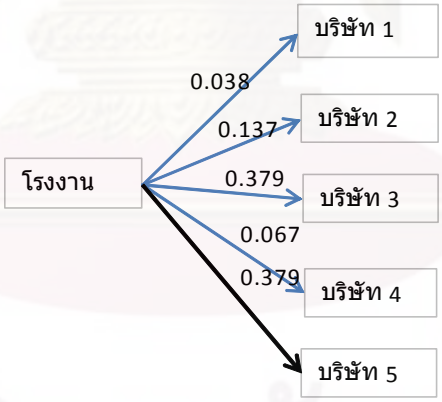
P_{04}^{1}=[(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$]/[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$
+(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$] = 0.067

P_{05}^{1}=[(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$]/[(0.011)^{1}(1/50)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/30)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$
+(0.011)^{1}(1/40)$^{2.5}$+(0.011)^{1}(1/20)$^{2.5}$] = 0.379



รูปที่ 4.3 ค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทาง

เมื่อได้ค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทางแล้วก็จะทำการสุ่ม เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ โดยการสุ่มค่าขึ้นมา 1 ค่าที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 เพื่อดูว่าจะไปยังเส้นทางไหนต่อ โดยใช้ความน่าจะเป็นสะสม กล่าวคือถ้าค่าที่สุ่มขึ้นมา มีค่าระหว่าง 0-0.038 ก็จะเลือกไปยังบริษัทที่ 1 หากค่าสุ่มอยู่ระหว่าง 0.038-0.175 ก็จะเลือกไปยังบริษัทที่ 2 หากค่าสุ่มอยู่ระหว่าง 0.175-0.554 ก็จะเลือกไปยังบริษัทที่ 3 หากค่าสุ่มอยู่ระหว่าง 0.554-0.621 ก็จะเลือกไปยังบริษัทที่ 4 หากค่าสุ่มอยู่ระหว่าง 0.621-1 ก็จะเลือกไปยังบริษัทที่ 5 สมมุติว่าสุ่มได้ค่า 0.7 ซึ่งอยู่ระหว่างช่วง 0.621-1 ดังนั้นจึงเลือกไปยังบริษัทที่ 5 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เส้นทางจากโรงงานไปยังบริษัทที่ 5

เมื่อได้เส้นทางแล้วจากนั้นจึงทำการเลือกจำนวนชิ้นส่วนที่จะขนส่ง โดยที่จำนวนที่ขนส่งจะน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนความต้องการชิ้นส่วนทั้งหมดในทุกช่วงเวลา หักชิ้นส่วนคงคลังออก ซึ่งในที่นี้ชิ้นส่วนของบริษัทที่ 5 ในทุกช่วงเวลา ต้องการชิ้นส่วนทั้งหมด 280 ชิ้น และไม่มีชิ้นส่วนคงคลังเริ่มต้น ดังนั้นในการขนส่งสามารถขนส่งได้มากสุด 280 ชิ้น ในที่นี้สุ่มเลือกที่จะขน

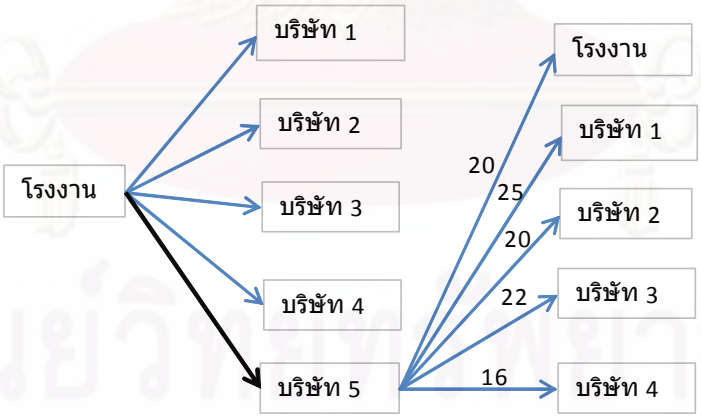
ชิ้นส่วนของบริษัทที่ 5 จำนวน 35 ชิ้น คิดเป็นน้ำหนักสะสม 70 กิโลกรัม เมื่อได้เส้นทางและจำนวนที่จะขนส่งของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นแล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 7 ต่อ

ขั้นตอนที่ 7 : ตรวจสอบว่าจำนวนที่ขนส่งสะสมเกินความสามารถในการขนส่งได้ของรถขนส่งหรือไม่ ซึ่ง 70 กิโลกรัม ยังไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถที่ 600 กิโลกรัม จึงไปทำขั้นตอนที่ 8 แต่หากปริมาณที่ขนส่งเกินความสามารถในการบรรทุกได้ก็จะไปทำขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 8 : ทำการตรวจสอบเงื่อนไขเรื่องเวลาที่ใช้ในการขนส่งว่าเกินเวลาที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งจากโรงงานไปบริษัทที่ 5 ใช้เวลา 20 นาที ซึ่งก็ยังไม่เกินเวลาที่กำหนดตามเงื่อนไข จึงไปทำขั้นตอนที่ 10 หากเกินเวลาที่ขนส่งจะไปทำขั้นตอนที่ 9

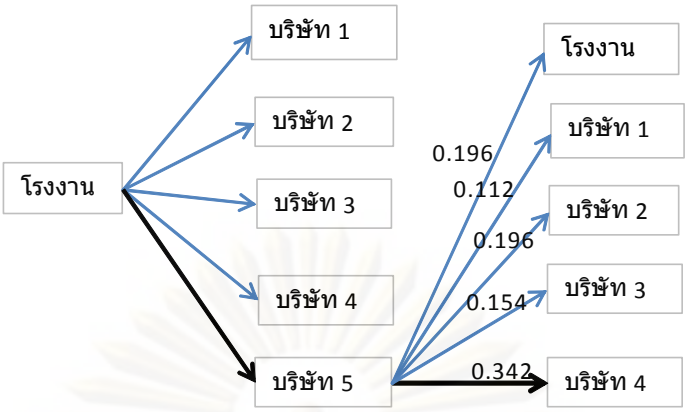
ขั้นตอนที่ 9 : ตรวจสอบว่ายังมีบริษัทที่ไม่เคยเลือกเหลืออยู่หรือไม่ หากมีเหลืออยู่จะไปทำขั้นตอนที่ 6 หากไม่มีบริษัทที่ไม่เคยเลือกเหลืออยู่จะไปทำขั้นตอนที่ 11

ขั้นตอนที่ 10 : ตัดบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ 5 ออกจากกลุ่มของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เหลือ แล้วไปทำขั้นตอนที่ 4 เพื่อพิจารณาว่ายังมีความต้องการชิ้นส่วนอีกหรือไม่ในช่วงเวลา t=1 พบว่ายังมีความต้องการอยู่ จึงทำขั้นตอนที่ 6 ใหม่เพื่อหาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อ จากรูปที่ 4.5 แสดงเส้นทางที่ยังสามารถไปได้



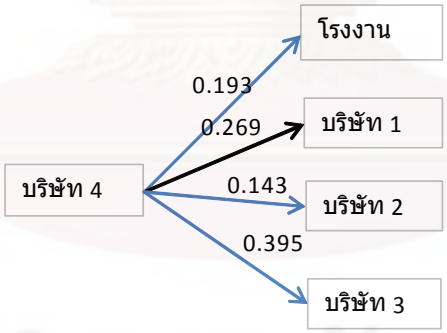
รูปที่ 4.5 เส้นทางที่สามารถไปได้

หลังจากได้เส้นทางที่สามารถไปได้ ก็ทำการหาค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทาง เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ ซึ่งได้แสดงเส้นทางที่ถูกเลือกเป็นเส้นทางต่อไป ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงเส้นทางลำดับต่อไป

จะเห็นว่าเส้นทางในลำดับต่อไปคือจากบริษัทที่ 5 ไปยังบริษัทที่ 4 โดยปริมาณที่ขนส่งที่สุ่มขึ้นมาคือ 25 ชิ้น (50 กก.) ซึ่งน้ำหนักสะสมรวมเป็น 120 กก. (70+50) จากนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 7 ซึ่งยังไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถชนิดที่ 2 จึงทำขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขเรื่องเวลาเวลาที่ใช้สะสมรวม 36 นาที (20+16) ซึ่งยังไม่เกินเวลาที่กำหนด ดังนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 10 โดยทำการตัดบริษัทที่ 4 ออกจากลุ่ม และทำขั้นตอนที่ 4 ใหม่ ทำการหาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่สามารถไปได้ต่อ โดยทำการหาค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทางเหมือนในขั้นตอนที่ 5 เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ ซึ่งได้แสดงเส้นทางที่ถูกเลือกเป็นเส้นทางต่อไป ดังรูปที่ 4.7 ได้เส้นทางที่จะไปต่อคือบริษัทที่ 1

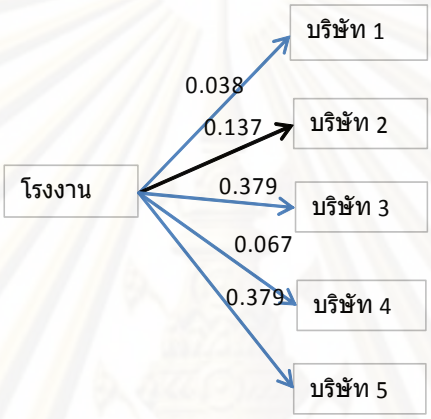


รูปที่ 4.7 แสดงเส้นทางลำดับต่อจากบริษัทที่ 4

และปริมาณการขนชิ้นส่วนของบริษัทที่ 1 ที่สุ่มขึ้นมาคือ 240 ชิ้น (480 กก.) จึงทำขั้นตอนที่ 7 ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักสะสม 600 กก. ยังไม่เกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถชนิดที่ 2 จึงทำขั้นตอนที่ 8 ใหม่ เมื่อตรวจสอบเวลาสะสมรวมเป็น 71 นาทีซึ่งไม่เกินจากเงื่อนไข ดังนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 10 โดยทำการตัดบริษัทที่ 1 ออกจากกลุ่ม แล้วทำขั้นตอนที่ 4 ซ้ำใหม่อีกครั้ง ทำให้ได้เส้นทางที่จะเลือกต่อไปคือ บริษัทที่ 2 ที่ปริมาณขนส่ง 20 ชิ้น (40 กก.) เมื่อตรวจสอบขั้นตอนที่ 7 พบว่าน้ำหนักรวมสะสมเป็น 640 กก. ซึ่งเกินจากความสามารถในการบรรทุกได้ของรถชนิดที่ 2

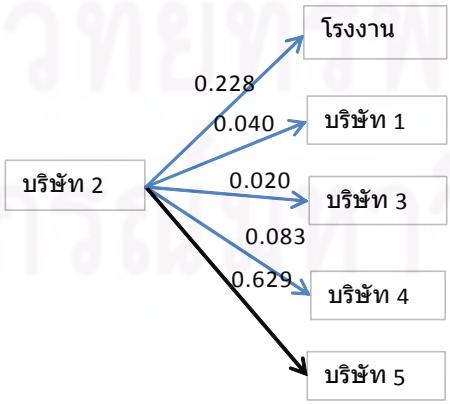
ดังนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 9 ซ้ำ ซึ่งปรากฏว่าไม่สามารถเพิ่มบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนได้แล้ว เนื่องจากไม่ว่าจะเพิ่มบริษัทอะไรก็จะเกินความสามารถในการบรรทุกได้ของรถขนส่ง จึงไปทำขั้นตอนที่ 11

ขั้นตอนที่ 11 : ตรวจสอบว่าน้ำหนักสะสมน้อยกว่ารถขนส่งอีกขนาดหรือไม่ ซึ่งปรากฏว่าขนส่ง 600 กก. จึงไม่น้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกได้ของรถชนิดที่ 1 ที่ 500 กก. ดังนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ทำการเลือกใช้รถชนิดที่ 2 (คันที่ 2) และเลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อไป โดยทำการหาค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทางเหมือนในขั้นตอนที่ 6 เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ ซึ่งได้แสดงเส้นทางที่ถูกเลือกเป็นเส้นทางต่อไป ดังรูปที่ 4.8 ได้เส้นทางที่จะไปต่อคือบริษัทที่ 2



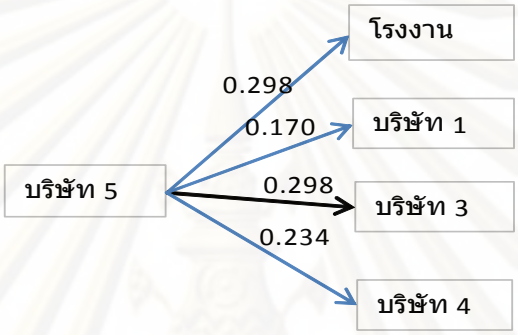
รูปที่ 4.8 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากโรงงาน

และปริมาณชิ้นส่วนที่ขนของบริษัทที่ 2 คือ 80 ชิ้น (160 กก.) ทำขั้นตอนที่ 7 พบว่าไม่เกินความสามารถในการขนได้ จึงทำขั้นตอนที่ 8 ต่อ เมื่อตรวจสอบเวลาสะสมรวมเป็น 30 นาทีซึ่งไม่เกินจากเงื่อนไข จึงทำขั้นตอนที่ 10 ทำการตัดบริษัทที่ 2 ออกจากกลุ่ม แล้วทำการตรวจสอบว่ายังมีความต้องการชิ้นส่วนที่เวลา t=1 เหลืออยู่หรือไม่ในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งพบว่ายังมีความต้องการอยู่ ดังนั้นจึงทำการเลือกหาบริษัทที่จะไปต่อในขั้นตอนที่ 6 เลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อไป โดยทำการหาค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทางเหมือนในขั้นตอนที่ 5 เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ ซึ่งได้แสดงเส้นทางที่ถูกเลือกเป็นเส้นทางต่อไป ดังรูปที่ 4.9 ได้เส้นทางที่จะไปต่อคือบริษัทที่ 5



รูปที่ 4.9 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากบริษัทที่ 2

และปริมาณชิ้นส่วนที่ขนของบริษัทที่ 5 คือ 35 ชิ้น (70 กก.) คิดเป็นน้ำหนักรวมสะสม 230 กก. ทำขั้นตอนที่ 7 พบว่าไม่เกินความสามารถในการขนได้ของรถ จึงทำขั้นตอนที่ 8 เมื่อตรวจสอบเวลาสะสมรวมเป็น 50 นาทีซึ่งไม่เกินจากเงื่อนไข ดังนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 10 ตัดบริษัทที่ 5 ออกจากกลุ่ม แล้วทำการตรวจสอบว่ายังมีความต้องการชิ้นส่วนที่เวลา t=1 เหลืออยู่หรือไม่ในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งพบว่ายังมีความต้องการอยู่ ดังนั้นจึงทำการเลือกหาบริษัทที่จะไปต่อที่ขั้นตอนที่ 6 เลือกบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะไปต่อไป โดยทำการหาค่า P_{ij}^{k} ของแต่ละเส้นทางเหมือนในขั้นตอนที่ 6 เพื่อหาเส้นทางที่จะไปต่อ ซึ่งได้แสดงเส้นทางที่ถูกเลือกเป็นเส้นทางต่อไป ดังรูปที่ 4.10 ได้เส้นทางที่จะไปต่อคือบริษัทที่ 3



รูปที่ 4.10 แสดงเส้นทางที่เลือกต่อจากบริษัทที่ 5

และปริมาณชิ้นส่วนที่ขนของบริษัทที่ 3 คือ 180 ชิ้น (360 กก.) คิดเป็นน้ำหนักรวมสะสม 590 กก. ทำขั้นตอนที่ 7 พบว่าไม่เกินความสามารถในการขนได้ของรถ จึงทำขั้นตอนที่ 8 เมื่อตรวจสอบเวลาสะสมรวมเป็น 72 นาทีซึ่งไม่เกินจากเงื่อนไข ดังนั้นจึงจึงทำขั้นตอนที่ 10 ทำการตัดบริษัทที่ 3 ออกจากกลุ่ม แล้วทำการตรวจสอบว่ายังมีความต้องการชิ้นส่วนที่เวลา t=1 เหลืออยู่หรือไม่ในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งพบว่าไม่มีความต้องการแล้ว ดังนั้นจึงทำการคำนวณที่ช่วงเวลาต่อไปคือช่วงเวลา ที่ 2 กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

เมื่อไม่มีความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลาที่ 1 แล้วจะทำการตรวจสอบว่าทำการคำนวณครบทุกช่วงเวลาหรือไม่ ถ้ายังต้องทำการคำนวณที่ช่วงเวลาที่ 2 ต่อ โดยทำในลักษณะเดียวกับขั้นตอนที่ 1-12 ทำให้ได้เส้นทางในช่วงเวลาที่ 2 ดังนี้ คือ 0-5-4-0 โดยที่ปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนของบริษัทที่ 5 คือ 130 ชิ้น และปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนของบริษัทที่ 4 คือ 75 ชิ้น

เมื่อไม่มีความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลาที่ 2 แล้วจะทำการตรวจสอบว่าทำการคำนวณครบทุกช่วงเวลาหรือไม่ ถ้ายังต้องทำการคำนวณที่ช่วงเวลาที่ 3 ต่อ โดยทำในลักษณะเดียวกับขั้นตอนที่ 1-12 ทำให้ได้เส้นทางในช่วงเวลาที่ 3 ดังนี้ คือ 0-3-5-0 โดยที่ปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนของบริษัทที่ 3 คือ 180 ชิ้น และปริมาณการขนส่งชิ้นส่วนของบริษัทที่ 5 คือ 80 ชิ้น

เมื่อไม่มีความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลาที่ 3 แล้วจะทำการตรวจสอบว่าทำการคำนวณครบทุกช่วงเวลาหรือไม่ ถ้ายังต้องทำการคำนวณที่ช่วงเวลาที่ 4 ต่อ แต่ในช่วงเวลาที่ 4 ไม่เกิดการขนส่งขึ้นเนื่องจากช่วงเวลาก่อนหน้ามีชิ้นส่วนคงคลังเหลือพอสำหรับความต้องการชิ้นส่วนในช่วงเวลาที่ 4 ซึ่งสามารถสรุปเส้นทางที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณชิ้นส่วนที่ขนส่ง และปริมาณชิ้นส่วนที่จัดเก็บ รวมถึงชนิดของรถที่ใช้ได้ดังตารางที่ 4.5-4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงเส้นทางแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลา	เส้นทาง	ชนิดรถ
t=1	0-5-4-1-0	ชนิดที่ 2
	0-2-5-3-0	ชนิดที่ 2
t=2	0-5-4-0	ชนิดที่ 2
t=3	0-3-5-0	ชนิดที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4.6 แสดงจำนวนที่ขนส่งและจำนวนที่จัดเก็บ

ช่วงเวลา	บริษัท	จำนวนขนส่ง	จำนวนจัดเก็บ
t=1	1	240	180
	2	80	60
	3	180	90
	4	25	0
	5	70	0
t=2	1	-	120
	2	-	40
	3	-	0
	4	75	50
	5	130	60
t=3	1	-	60
	2	-	20
	3	180	90
	4	-	25
	5	80	70
t=4	1	-	0
	2	-	0
	3	-	0
	4	-	0
	5	-	0

ขั้นตอนที่ 12 : การเปลี่ยนชนิดของรถจะเกิดขึ้นในกรณี เมื่อทำขั้นตอนที่ 11 แล้วพบว่าน้ำหนักสะสมน้อยกว่ารถอีกชนิดที่ไม่ได้เลือก จึงจะทำการเปลี่ยนชนิดของรถ ซึ่งกรณีนี้ไม่น้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกได้ของรถชนิดที่ 1 จึงไม่ทำการเปลี่ยนชนิดของรถ

ขั้นตอนที่ 13 : เมื่อคำนวณครบทุกช่วงเวลาแล้วนั้นจะทำการคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมด ได้แก่ ต้นทุนการขนส่งในทุกช่วงเวลา ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังทั้งหมด และต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้น ดังนี้ ต้นทุนการขนส่งจากตารางที่ 4.5 0-5-4-1-0 = 121, 0-2-5-3-0 = 92, 0-5-4-0 = 76, 0-3-5-0 = 62 รวมต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมด 351 บาท จากตารางที่ 4.6 ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง

ทั้งหมด 137.25 บาท และจากตารางที่ 4.5 ต้นทุนคงที่ทั้งหมด 2,800 บาท (ใช้รถชนิดที่ 2 ทั้งหมด 4 คัน) รวมเป็นต้นทุนทั้งหมด 3,288.25 บาท จากนั้นจึงทำขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 14 : ตรวจสอบว่ามดหาคำตอบครบทุกตัวแล้วหรือไม่ ในที่นี้เป็นมดตัวที่ 1 ซึ่งกำหนดไว้ว่ามีมดทั้งหมด 2 ตัว ดังนั้นต้องทำการปรับค่า k เป็น k=2 นั่นก็คือมดตัวที่สอง แล้วเริ่มหาคำตอบใหม่โดยไปเริ่มทำในขั้นตอนที่ 2 ใหม่ จนกว่าจะได้คำตอบจากมดครบทุกตัว จึงจะทำการปรับปรุงฟีโรโมน

- ตัวอย่างการปรับปรุงฟีโรโมน

ขั้นตอนที่ 15 : เมื่อได้คำตอบจากมดทั้ง 2 ตัวแล้ว ซึ่งครบตามจำนวนมดที่กำหนด จึงทำการปรับปรุงฟีโรโมน เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากมดแต่ละตัว ดังตารางที่ 4.7-4.8

ตารางที่ 4.7 เส้นทางของคำตอบของมดแต่ละตัว

	เส้นทาง	
ช่วงเวลา	**มด 1**	**มด 2**
t=1	0-5-4-1-0	**0-4-3-1-5-2-0**
	0-2-5-3-0	
t=2	0-5-4-0	**0-3-2-5-1-0**
t=3	0-3-5-0	**0-4-3-1-5-0**
t=4	_	**0-5-3-4-1-0**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลคำตอบของมดแต่ละตัว

		มด 1		มด 2	
ช่วงเวลา	บริษัท	จำนวนขนส่ง	จำนวนจัดเก็บ	จำนวนขนส่ง	จำนวนจัดเก็บ
t=1	1	240	180	60	0
	2	80	60	20	0
	3	180	90	90	0
	4	25	0	50	25
	5	70	0	70	0
t=2	1	-	120	60	0
	2	-	40	60	40
	3	-	0	90	0
	4	75	50	0	0
	5	130	60	70	0
t=3	1	-	60	60	0
	2	-	20	0	20
	3	180	90	90	0
	4	-	25	25	0
	5	80	70	70	0
t=4	1	-	0	60	0
	2	-	0	0	0
	3	-	0	90	0
	4	-	0	25	0
	5	-	0	70	0

ซึ่งต้นทุนรวมของคำตอบของมดตัวที่ 1 เป็น 3,288.25 บาท ต้นทุนรวมของคำตอบของมดตัวที่สองเป็น 3,571.75 บาท ดังนั้นคำตอบของมดตัวที่ 1 จึงเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจากมดทั้ง 2 ตัว

ยกตัวอย่างเส้นทาง 0-5-4-1-0 ซึ่งเป็นหนึ่งในเส้นทางที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในจำนวนมดทั้งหมดก็จะทำการปรับปรุงฟีโรโมน โดยค่าฟีโรโมนที่เป็นเส้นทางของคำตอบที่ดีที่สุด จะถูกทำ

การหาค่า $\Delta\tau_{ij}^{best} = 1/c^{best}$ แต่หากเส้นทางนั้นไม่ได้เป็นเส้นทางของคำตอบที่ดีที่สุดค่า $\tau_{ij}^{best} = 0$ เช่นเส้นทาง 0-5 เป็นเส้นทางที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดจากจำนวนมดทั้งหมด ในหนึ่งรอบการคำนวณจะต้องทำการหาค่าฟีโรโมนใหม่จาก $\tau_{ij} = (1-\rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{best}$ โดยที่

$\Delta\tau_{05}^{best} = 1/c^{best}$ = 1/351 = 0.0028 โดยที่ค่า c^{best} เลือกมาจากคำตอบที่ได้จากมดแต่ละตัว ดังนี้ มดตัวที่ 1 ใช้ระยะทาง 351 มดตัวที่ 2 ใช้ระยะทาง 752 จะเห็นว่าค่า 351 เป็นค่าที่ดีที่สุดในกลุ่ม จึงเลือกค่านี้เป็นค่า c^{best}

ดังนั้นค่าฟีโรโมนใหม่

$\tau_{05} = (1-\rho)\tau_{05} + \Delta\tau_{05}^{best}$ = (1-0.4)(0.011)+0.0028 = 0.0094

ซึ่งค่า τ_{05} = 0.0094 เป็นค่าฟีโรโมนใหม่ที่มีค่ามากกว่าค่า $\tau_{\max}$ =1/(0.4*351)=0.0071 ดังนั้นค่าฟีโรโมนใหม่จะเท่ากับค่าฟีโรโมนมากนั่นเอง สำหรับค่า $\tau_{\min}$ =0.0071/(2*5)=0.00071และจะทำการหาค่าฟีโรโมนใหม่ทุกเส้นทาง ในลักษณะเดียวกันนี้ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางนั้นในรอบการคำนวณต่อไป

ขั้นตอนที่ 16 : ทำการตรวจสอบว่าการคำนวณครบตามรอบที่กำหนดไว้หรือไม่ ในที่นี้เป็นรอบการคำนวณที่ 1 ซึ่งกำหนดไว้ว่าคำนวณ 2 รอบ ดังนั้นต้องทำการปรับค่า I เป็น I=2 นั่นก็คือรอบการคำนวณที่สอง แล้วเริ่มหาคำตอบใหม่โดยไปเริ่มทำในขั้นตอนที่ 2 ใหม่ จนกว่าจะครบทุกรอบการคำนวณจึงจะสิ้นสุดการคำนวณ

4.2 ทดสอบพารามิเตอร์

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบพารามิเตอร์ ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน (α), ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลของปัญหา (β) และอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) เพื่อพิจารณาว่าค่าเหล่านี้ควรเป็นเท่าไหร่จึงจะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด โดยจะพิจารณาที่ขนาดปัญหาที่ 10 บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ทำการทดสอบ 10 ปัญหาแล้วหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ และทำการหาจำนวนมด (n) กับจำนวนรอบ (I) ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและการจัดการพัสดุคงคลังของโรงงานตัวอย่างด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.2

	ρ = 0.2			
α \ β	0.5	1.5	2.5	5.0
0.5	3.71%	3.63%	1.69%	3.72%
1.0	2.54%	3.10%	3.32%	3.16%
1.5	2.82%	4.69%	3.65%	4.76%
2.5	4.53%	4.99%	3.67%	2.92%

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.4

	ρ = 0.4			
α \ β	0.5	1.5	2.5	5.0
0.5	3.05%	4.01%	4.85%	3.49%
1.0	0.89%	3.30%	3.13%	3.67%
1.5	2.97%	3.80%	3.94%	3.83%
2.5	3.89%	3.73%	3.05%	3.04%

ตารางที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.5

	ρ = 0.5			
α \ β	0.5	1.5	2.5	5.0
0.5	3.06%	2.54%	2.90%	3.63%
1.0	2.92%	2.55%	3.14%	3.10%
1.5	3.94%	2.69%	1.96%	2.79%
2.5	3.26%	3.73%	3.85%	4.95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อค่า ρ =0.9

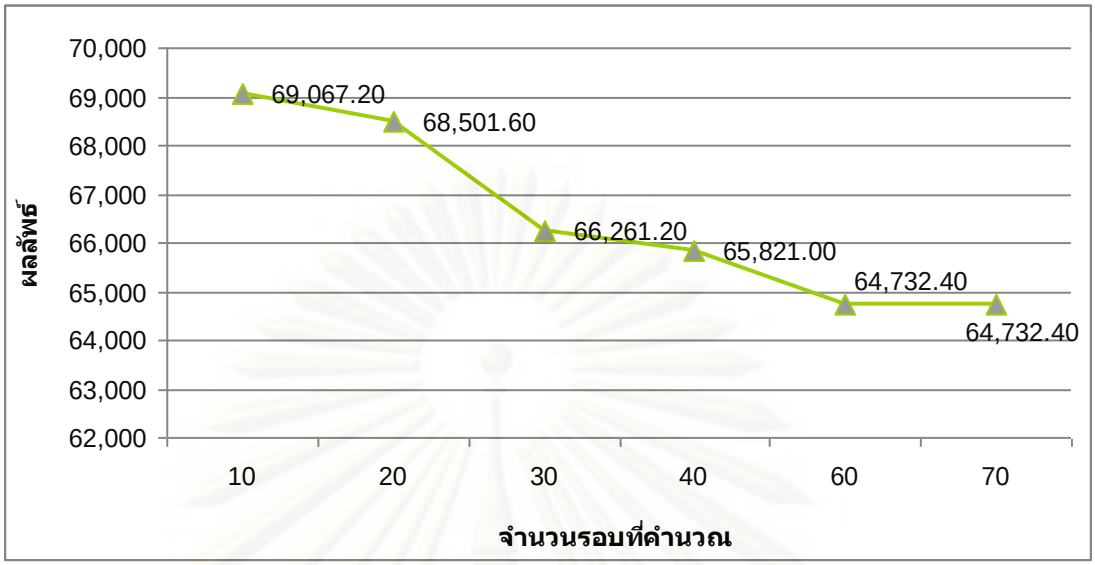
	ρ = 0.9			
α \ β	0.5	1.5	2.5	5.0
0.5	3.53%	3.03%	3.99%	3.08%
1.0	3.45%	3.36%	4.17%	3.69%
1.5	3.04%	4.01%	3.45%	3.69%
2.5	4.83%	3.30%	2.74%	2.83%

จากตารางที่ 4.9-4.12 จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ ค่า α =1 β =0.5 ρ =0.4 ให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ได้จาก CPLEX มากที่สุด ดังนั้น ในการแก้ปัญหาของโรงงานตัวอย่างจะเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามนี้

นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบหาจำนวนมดของปัญหากรณีศึกษา ที่บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน 69 บริษัท และจำนวนรอบที่เหมาะสมของปัญหากรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.13-4.14 และแสดงดังกราฟรูปที่ 4.11-4.12 โดยใช้ค่า α =1 β =0.5 ρ =0.4

ตารางที่ 4.13 คำตอบจากฮิวริสติกเมื่อจำนวนมดคงที่

จำนวนรอบที่คำนวณ	จำนวนมด	ผลลัพธ์	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)
10	10	69,067.2	21.724
20	10	68,501.6	25.929
30	10	66,261.2	36.379
40	10	65,821	50.173
50	10	65,677.2	60.396
60	10	64,732.4	72.265
70	10	64,732.4	82.513

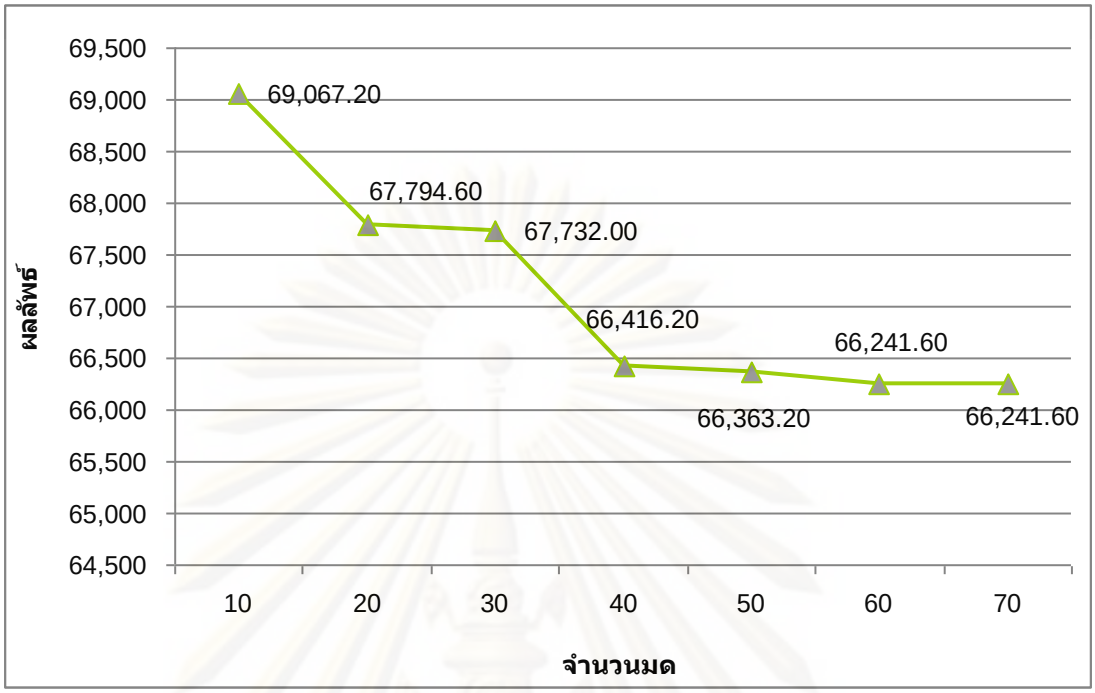


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่คำนวณและผลลัพธ์ที่ได้

จากตารางที่ 4.13 และกราฟรูปที่ 4.11 นั้น แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบการคำนวณที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคำตอบที่ดีขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบจนเท่ากับ 60 แล้ว คำตอบที่ได้ก็ไม่มีการพัฒนาต่อคือไม่ได้คำตอบที่ดีขึ้นแล้วนั่นเอง ดังนั้นในการแก้ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษานั้นจะใช้การคำนวณที่จำนวนรอบเท่ากับ 60 รอบ

ตารางที่ 4.14 คำตอบจากฮิวริสติกเมื่อจำนวนรอบคำนวณคงที่

จำนวนรอบที่คำนวณ	จำนวนมด	ผลลัพธ์	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)
10	10	69,067.2	21.724
10	20	67,794.6	27.810
10	30	67,732	39.151
10	40	66,416.2	50.393
10	50	66,363.2	62.489
10	60	66,241.6	74.905
10	70	66,241.6	87.320



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนมดและผลลัพธ์ที่ได้

จากตารางที่ 4.14 และกราฟรูปที่ 4.12 นั้น แสดงให้เห็นว่าจำนวนมดที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อคำตอบที่ดีขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนมดจนเท่ากับ 60 แล้ว คำตอบที่ได้ก็ไม่มีการพัฒนาต่อคือไม่ได้คำตอบที่ดีขึ้นแล้วนั่นเอง ดังนั้นในการแก้ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษานั้นจะใช้การคำนวณที่จำนวนมดเท่ากับ 60 ตัว

การเพิ่มจำนวนมด และจำนวนรอบการคำนวณนั้น จะเห็นว่ามีผลกับคำตอบที่ได้ เนื่องจากการใช้ Max-Min Ant Systems นั้นหากจำนวนมดเพิ่มขึ้น หรือจำนวนรอบการคำนวณเพิ่มขึ้น เท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่หลากหลายมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้นเช่นกัน และจะเห็นได้ว่าจำนวนมดที่ใกล้เคียงกับจำนวนบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจะให้ผลคำตอบที่ดีกว่าจำนวนมดที่ขนาดอื่นๆ

4.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ฮิวริสติกกับแบบจำลองคณิตศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการฮิวริสติก โดยใช้ค่า α =1 β =0.5 ρ =0.4 เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์จากตัวอย่างปัญหาที่ขนาดปัญหาแตกต่างกันทั้งหมดจำนวน 12 ปัญหา ที่ขนาดปัญหาตั้งแต่ 5-10 บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ขนาดปัญหาละ 2 ปัญหา เพื่อทดสอบว่าอัลกอริทึมที่กำหนดสามารถหาผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์และฮิวริสติก

ปัญหาที่	ขนาดปัญหา (จำนวนบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน)	ผลจากแบบจำลองคณิตศาสตร์	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)	ผลจากวิธีฮิวริสติก	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)	% ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์
1	5	1,683.45	116,640	1,688.25	1.045	0.29%
2	5	3,996.50	118,800	4,010.30	3.278	0.35%
3	6	2,545.30	129,600	2,551.30	3.214	0.24%
4	6	3,596.80	138,240	3,616.80	3.474	0.56%
5	7	2,998.40	162,000	3,012.40	3.656	0.47%
6	7	2,645.80	166,320	2,663.80	3.403	0.68%
7	8	3,038.20	166,320	3,059.20	3.883	0.69%
8	8	4,355.40	181,440	4,387.80	3.831	0.74%
9	9	4,439.35	259,200	4,473.55	4.210	0.77%
10	9	4,528.80	367,200	4,573.80	4.167	0.99%
11	10	4,137.65	548,640	4,171.65	4.771	0.82%
12	10	6,434.20	568,080	6,495.20	4.530	0.95%

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกนี้สามารถแก้ปัญหาได้โดยให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่ไม่ได้เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีความแตกกต่างกันอยู่น้อยกว่า 1% ซึ่งยิ่งขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วย แต่เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นวิธีการฮิวริสติกจะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการแก้ปัญหาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์มาก และจะเห็นได้ว่าการใช้การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง และการจัดการพัสดุคงคลังนั้น สามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์แก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่หากเป็นปัญหาที่ซับซ้อน หรือมีเงื่อนไขมาก การใช้วิธีนี้อาจจะได้คำตอบเฉพาะขนาดปัญหาเล็ก หากเป็นขนาดปัญหาใหญ่อาจจะไม่สามารถหาคำตอบได้ หรือใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานมาก ซึ่งในธุรกิจปัจจุบันนี้ ต้องการคำตอบที่รวดเร็ว การใช้การแก้ปัญหาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์อาจจะไม่เหมาะสม

สำหรับวิธีการฮิวริสติกนั้น จะใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่รวดเร็วมากกว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์มาก แต่คำตอบที่ได้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด หากแต่เป็นเพียงคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่ยอมรับได้ ในเวลาที่เหมาะสม จึงเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ๆ ซึ่งมีความซับซ้อน อย่างเช่น การจัดเส้นทางและการจัดการพัสดุคงคลังมากกว่า และวิธีการฮิวริสติกนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนอื่นๆ ได้

4.4 การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกกับปัญหาตัวอย่าง

หลังจากที่โรงงานได้ริเริ่มการทำโครงการมิลค์รันขึ้น เพื่อลดปริมาณชิ้นส่วนที่จัดเก็บอันเนื่องมาจากการจัดส่งชิ้นส่วนที่ไม่แน่นอนของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน ทำให้ต้องเก็บชิ้นส่วนคงคลังในปริมาณมาก และลดต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนลง เนื่องจากปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนหลายรายที่จัดส่งชิ้นส่วนมาแบบไม่เต็มคันรถ ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่สูง ในเบื้องต้นจึงได้ทำการสรุป

จำนวนบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่จะสามารถ เข้าร่วมโครงการมิลค์รันได้ทั้งหมด 69 บริษัท จากทั้งหมด 130 บริษัท เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนบางรายมาส่งชิ้นส่วนเต็มคันรถ มีรอบความถี่ที่มากอยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องเก็บชิ้นส่วนคงคลังมาก และมีบางบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ไม่สนใจเข้าร่วมโครงการมิลค์รัน จึงต้องทำการเลือกบริษัทที่จะเข้าร่วมโครงการมิลค์รันก่อน ตามเงื่อนไขดังนี้

1. เป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ยอมรับเข้าร่วมโครงการมิลค์รัน
2. เป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่อยู่ใกล้เคียงกับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรายอื่น โดยโรงงานตัวอย่างกำหนดให้ห่างกันได้ไม่เกิน 250 กิโลเมตร
3. การขนส่งแต่ละครั้งของผู้ผลิตชิ้นส่วนรายนี้ มีการขนส่งที่ไม่เต็มความสามารถในการบรรทุกได้ของรถ ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลเรื่องการจัดส่งในอดีต
4. รอบการจัดส่งชิ้นส่วนที่ไม่แน่นอน ทำให้ต้องเก็บชิ้นส่วนคงคลังในปริมาณมากเพื่อป้องกันชิ้นส่วนขาดมือ

จากการใช้วิธีฮิวริสติกแก้ปัญหาทำให้สามารถหา เส้นทางในการขนส่ง จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บแต่ละช่วงเวลา จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง ขนาดรถที่ใช้การขนส่ง ความถี่ในการขนส่ง และต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ ดังตารางที่ 4.16-4.20

ตารางที่ 4.16 เส้นทางการขนส่ง ชนิดของรถที่ใช้ น้ำหนักที่ขนส่ง และเวลารวมในการขนส่ง

ช่วงเวลา	เส้นทาง	ชนิดของรถ	นน.ทั้งหมด	เวลารวม
1	0-52-34-21-14-60-44-46-54-27-41-0	ชนิดที่ 1	7,340	694
	0-6-23-56-55-45-37-58-35-26-0	ชนิดที่ 2	15,420	687
	0-9-33-67-64-68-65-25-2-19-22-11-3-0	ชนิดที่ 2	15,210	662
	0-66-62-17-57-1-8-7-47-31-43-42-0	ชนิดที่ 2	20,990	662
	0-29-15-12-10-39-18-20-38-32-36-51-69-0	ชนิดที่ 2	20,780	713
	0-5-40-24-28-13-63-30-0	ชนิดที่ 1	11,260	591
	0-50-48-53-49-16-61-4-59-0	ชนิดที่ 1	11,880	342
2	0-5-62-46-42-52-7-20-58-45-16-66-0	ชนิดที่ 2	20,810	574
	0-36-18-41-3-27-39-2-11-19-38-0	ชนิดที่ 2	19,480	476
	0-34-61-23-63-31-57-4-0	ชนิดที่ 2	14,515	518
3	0-37-56-42-17-57-12-32-23-58-0	ชนิดที่ 1	9,400	572
	0-19-49-24-68-67-63-8-2-45-0	ชนิดที่ 2	15,560	687
	0-31-14-15-4-53-52-38-39-0	ชนิดที่ 2	19,665	508
	0-13-11-47-59-0	ชนิดที่ 1	7,000	130
4	0-22-58-39-26-55-16-35-29-3-2-49-52-0	ชนิดที่ 2	14,360	716
	0-43-14-62-10-34-11-50-53-7-54-9-41-17-21-15-0	ชนิดที่ 1	11,250	679
	0-64-46-31-20-4-61-69-18-40-48-0	ชนิดที่ 2	12,685	573

รถชนิดที่ 1 คือรถ 6 ล้อ, รถชนิดที่ 2 คือรถ 10 ล้อ

ตารางที่ 4.17 จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ (ชิ้น)

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4
1	1500	1000	500	0
2	0	0	0	0
3	0	60	0	0
4	0	0	0	0
5	60	140	70	0
6	720	480	240	0
7	0	500	0	0
8	240	0	240	0
9	140	70	0	0
10	1000	500	0	0
11	0	0	0	0
12	120	0	120	0
13	480	0	480	0
14	120	0	0	0
15	500	0	0	0
16	0	2000	0	0
17	60	0	0	0
18	0	120	0	0
19	0	0	1000	0
20	0	500	0	0
21	480	240	0	0
22	240	120	0	0
23	0	0	140	0
24	70	0	70	0
25	180	120	60	0
26	1500	1000	500	0
27	0	480	240	0
28	900	600	300	0
29	400	200	0	0
30	360	240	120	0
31	0	0	0	0
32	130	0	130	0
33	360	240	120	0
34	0	300	0	0
35	600	300	0	0
36	0	120	0	0
37	240	0	240	0
38	0	0	500	0
39	0	0	0	0
40	520	260	0	0
41	0	600	0	0
42	0	0	400	0
43	1000	500	0	0
44	180	120	60	0
45	0	0	120	0
46	0	70	0	0
47	140	0	140	0
48	560	280	0	0
49	140	0	0	0
50	560	280	0	0
51	420	280	140	0
52	0	0	0	0
53	120	0	0	0
54	200	100	0	0
55	240	120	0	0
56	140	0	140	0
57	0	0	70	0
58	0	0	0	0
59	60	0	60	0
60	300	200	100	0
61	0	500	0	0
62	0	1000	0	0
63	0	0	300	0
64	400	200	0	0
65	180	120	60	0
66	0	280	140	0
67	70	0	70	0
68	500	0	500	0
69	120	60	0	0

ตารางที่ 4.18 จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง (ชิ้น)

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4
1	2000	0	0	0
2	1000	1000	1000	1000
3	60	120	0	60
4	60	25	25	25
5	120	210	0	0
6	960	0	0	0
7	500	1000	0	500
8	480	0	480	0
9	210	0	0	70
10	1500	0	0	500
11	140	140	140	140
12	240	0	240	0
13	960	0	960	0
14	240	0	120	120
15	1000	0	500	500
16	2000	4000	0	2000
17	120	0	60	60
18	120	240	0	120
19	1000	1000	2000	0
20	500	1000	0	500
21	720	0	0	240
22	360	0	0	120
23	140	140	280	0
24	140	0	140	0
25	240	0	0	0
26	2000	0	0	0
27	240	720	0	0
28	1200	0	0	0
29	600	0	0	200
30	480	0	0	0
31	1000	1000	1000	1000
32	260	0	260	0
33	480	0	0	0
34	300	600	0	300
35	900	0	0	300
36	120	240	0	120
37	480	0	480	0
38	500	500	1000	0
39	1000	1000	1000	1000
40	780	0	0	260
41	600	1200	0	600
42	400	400	800	0
43	1500	0	0	500
44	240	0	0	0
45	120	120	240	0
46	70	140	0	70
47	280	0	280	0
48	840	0	0	280
49	280	0	140	140
50	840	0	0	280
51	560	0	0	0
52	60	60	60	60
53	240	0	120	120
54	300	0	0	100
55	360	0	0	120
56	280	0	280	0
57	70	70	140	0
58	250	250	250	250
59	120	0	120	0
60	400	0	0	0
61	500	1000	0	500
62	1000	2000	0	1000
63	300	300	600	0
64	600	0	0	200
65	240	0	0	0
66	140	420	0	0
67	140	0	140	0
68	1000	0	1000	0
69	180	0	0	60

ตารางที่ 4.19 ความถี่ในการขนส่ง

ช่วงเวลา	ความถี่การขนส่ง (รอบ)
1	7
2	3
3	4
4	3

ตารางที่ 4.20 ต้นทุนที่เกิดขึ้น

	ต้นทุน(บาท)
ต้นทุนการขนส่ง	13,049
ต้นทุนคงที่	29,800
ต้นทุนจัดเก็บชิ้นส่วน	20,098
ต้นทุนรวม	62,947

จากผลคำตอบของปัญหาของโรงงานตัวอย่างที่ได้ ตารางที่ 4.17 ซึ่งแสดงจำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาสุดท้ายที่พิจารณานั้นจะไม่มีการเก็บชิ้นส่วนคงคลังเอาไว้เลย เพื่อให้เกิดต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังน้อยที่สุด และการขนส่งในแต่ละเส้นทางที่เกิดขึ้นนั้นก็จะพยายามให้เกิดการใช้ความสามารถในการบรรทุกของรถให้เกิดประโยชน์มากที่สุดซึ่งจะเห็นได้ว่าการขนส่งแต่ละเส้นทางปริมาณที่ขนส่งจะใกล้เคียงกับความสามารถในการขนส่งได้ของรถบรรทุกดังตารางที่ 4.16

สำหรับการทำโครงการมิลค์รันนี้สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง และต้นทุนการขนส่งได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบต้นทุนที่ลดลง

	ต้นทุนจัดเก็บชิ้นส่วน	ต้นทุนการขนส่ง	ต้นทุนรวม
มิลค์รัน	20,098.00	42,849.00	62,947.00
บริษัทผู้ผลิตจัดส่งชิ้นส่วนเอง	50,532.80	53,094.09	103,626.89
ต้นทุนลดลง	30,434.80	10,245.09	40,679.89

ต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วนเมื่อบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจัดส่งชิ้นส่วนเองนั้น เดิมจะมีการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังไว้ทุกช่วงเวลา ด้วยปริมาณเท่ากับความต้องการใช้ชิ้นส่วนที่ช่วงเวลานั้น ซึ่งคิดเป็น ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนทั้งหมด 50,532.80 บาท แต่หากทำโครงการมิลค์รันแล้วต้นทุน

การจัดเก็บชิ้นส่วนจะลดลงเหลือ 20,098.00 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังลงได้ 30,434.80 บาท ดังนั้นคิดเป็นต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนที่ลดลงไปได้เท่ากับ 60.23 % ในส่วนของต้นทุนการขนส่งนั้น กรณีที่บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจัดส่งชิ้นส่วนเอง จะเสียค่าการขนส่งซึ่งแฝงอยู่ในต้นทุนชิ้นส่วนทุกชิ้น คิดเป็น 1.5% ของต้นทุนชิ้นส่วนแต่ละชิ้น ทำให้ต้องเสียต้นทุนในการขนส่งทั้งหมดเป็น 53,094.09 บาท โดยคิดจากจำนวนที่ขนส่งมายังโรงงานในทุกช่วงเวลา แต่โครงการมิลค์รันนั้นจะเสียต้นทุนในการขนส่งทั้งหมด 42,849.00 บาท โดยประกอบด้วยต้นทุนคงที่ที่เกิดจากการใช้รถนั้นๆ 29,800.00 บาท และต้นทุนในการขนส่งจากเส้นทางต่างๆอีก 13,049.00 บาท ดังนั้นการทำโครงการมิลค์รันสามารถลดต้นทุนการขนส่งลงไปได้ 10,245.09 บาท คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต้นทุนการขนส่งที่ลดลงไปได้ เท่ากับ 19.29 %

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองแก้ปัญหากรณีศึกษาโดยใช้โปรแกรม CPLEX ซึ่งมีการกำหนดเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาไว้ประมาณ 48 ชั่วโมง ได้ผลต้นทุนรวมทั้งหมดเป็น 62,574.40 บาท ซึ่งเมื่อเทียบกับผลต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการฮิวริสติกที่ได้ต้นทุนรวม 62,947.00 บาทนั้น พบว่าวิธีการฮิวริสติกให้คำตอบต้นทุนรวมสูงกว่า CPLEX อยู่ 0.6% ซึ่งในความเป็นจริงแล้วนั้นคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกจะแตกต่างจาก CPLEX มากกว่า 0.6% เนื่องจากหากใช้ CPLEX หาคำตอบโดยไม่กำหนดเวลาจะหาคำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดได้ ซึ่งจะดีกว่าคำตอบที่กำหนดช่วงเวลา แต่จะต้องใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากเนื่องจากปัญหาซับซ้อนและขนาดปัญหาใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การที่โรงงานตัวอย่างจัดทำโครงการมิลค์รัน โดยเปลี่ยนระบบการขนส่งจากเดิมที่บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจัดส่งชิ้นส่วนไปยังโรงงานตัวอย่างเอง เป็นการใช้รถไปรับชิ้นส่วนจากหลายบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนด้วยรถคันเดียวกัน เพื่อลดต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนลง โดยทำการจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่คัดเลือกเข้าร่วมโครงการมิลค์รันทั้งหมด 69 บริษัท และทำการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้วิธีฮิวริสติก (Max-Min Ant Systems) โดยทำการสร้างอัลกอริทึมเพื่อใช้แก้ปัญหา

ผลที่ได้จากฮิวริสติกได้มีการทดลองแก้ปัญหาที่ขนาดปัญหาเล็กๆจำนวน 12 ปัญหาเพื่อเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ผลที่ได้คือคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกแตกต่างจาก CPLEX น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ฮิวริสติกใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่ามาก และสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเช่นนี้ได้เร็วกว่าการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

โดยได้มีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาของโรงงานตัวอย่าง ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าถ่วงน้ำหนักฟีโรโมน (α)=1 ค่าถ่วงน้ำหนักข้อมูลของปัญหา (β)=0.5 ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ)=0.4 จำนวนมด (n) = 60 ตัว จำนวนรอบการคำนวณ (I) = 60 รอบ ซึ่งใช้ค่าเหล่านี้แก้ปัญหาของโรงงานตัวอย่างเพื่อหาเส้นทางการขนส่ง จำนวนชิ้นส่วนที่ขนส่ง จำนวนชิ้นส่วนที่จัดเก็บ ขนาดของรถที่ใช้ รวมถึงต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการขนส่งชิ้นส่วนแบบเดิมคือ สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนลงได้ 30,434.80 บาท ซึ่งคิดเป็น 60% และยังสามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ 10,245.09 บาท ซึ่งคิดเป็น 19.29%

การใช้วิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหานั้นคำตอบที่ได้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด เพียงแต่เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น ดังนั้นการจะนำวิธีฮิวริสติกไปใช้เพื่อแก้ปัญหาจะต้องยอมรับได้กับผลเฉลยที่ได้ซึ่งไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังจะเห็นได้จากเมื่อทดลองแก้ปัญหากรณีศึกษาโดยใช้โปรแกรม CPLEX ซึ่งกำหนดเวลาการแก้ปัญหาเอาไว้ที่ 48 ชั่วโมง แล้วทำการเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก พบว่าวิธีการฮิวริสติกให้คำตอบต้นทุนรวมสูงกว่า CPLEX อยู่ 0.6%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางการขนส่งของโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆได้ โดยที่อาจจะนำไปประยุกต์ปรับปรุงเงื่อนไขเพิ่มเติมเช่น ประยุกต์ใช้กับการขนส่งที่จำกัดจำนวนรถ หรือการขนส่งที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนส่งชิ้นส่วนมากกว่าหนึ่งชนิดมายังโรงงานตัวอย่าง เป็นต้น

2. ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เวลาในการรับชิ้นส่วนสามารถรับได้ถึง 2 ทุ่ม ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ อาจจะกำหนดช่วงเวลาในการรับชิ้นส่วนที่แตกต่างไป ก็สามารถประยุกต์ใช้โดยการปรับเงื่อนไขเรื่องเวลาได้

3. งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการขนส่งที่เสียไปกับช่วงเวลาที่รถติด ตามสภาพจริงซึ่งอาจจะทำให้เวลาที่ใช้ในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในแต่ละเส้นทางเมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงเวลาที่ใช้ในการขนส่งอาจจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเวลารวมที่ได้จากงานวิจัย

4. การนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอาจจะล่าช้า เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเจรจาต่อรองเพื่อขอลดราคาต้นทุนการขนส่งที่แฝงอยู่ในต้นทุนค่าชิ้นส่วน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนอาจจะไม่สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งที่แฝงอยู่ในค่าชิ้นส่วนลงได้ทั้งหมด เนื่องจากที่ผ่านมาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนไม่ได้ทำการขึ้นราคาค่าชิ้นส่วนมาเป็นเวลานาน รวมถึงต้นทุนการขนส่งที่แฝงอยู่ด้วย ถึงแม้ว่าต้นทุนการขนส่งจริงของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนนั้นๆจะสูงขึ้นแต่ก็ไม่ได้มีการขอปรับราคาต้นทุนในส่วนนี้ ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มโครงการมิลค์รันควรเจรจาต่อรองราคากับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนให้จบก่อน ว่าสุดท้ายแล้วบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจะสามารถลดราคาต้นทุนการขนส่งที่แฝงอยู่ลงได้หรือไม่ เพื่อคำนวณว่าสามารถลดต้นทุนเท่าไหร่ ก่อนที่จะตัดสินใจ

5. ก่อนที่จะเริ่มทำโครงการมิลค์รันนั้นต้องทำการแจ้งขั้นตอนในการทำงานให้กับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง ทั้งหมดเพื่อให้เข้าใจขั้นตอนต่างๆก่อนที่จะเริ่มใช้ โดยต้องมีการแจ้งผู้ติดต่อประสานงานเรื่องที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจน รวมถึงแจ้งเวลาที่จะไปถึงบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละบริษัท เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เตรียมชิ้นส่วนไว้ให้ เมื่อรถไปถึงก็จะสามารถจัดชิ้นส่วนขึ้นรถได้ทันที

6. สำหรับวิธีการฮิวริสติก ที่แก้ปัญหาโดยการสร้างอัลกอริทึม เพื่อหาคำตอบนั้นจะเห็นได้ว่าคำตอบจะไม่เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด จะได้เพียงคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้น แต่ก็มีความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในลักษณะเดียวกันได้ โดยที่ต้นทุนที่ใช้ในการสร้างอัลกอริทึม เพื่อแก้ปัญหานั้นน้อยกว่าการที่เราจะลงทุนซื้อโปรแกรม CPLEX มาใช้ในการหาคำตอบมาก เนื่องจากโปรแกรม CPLEX มีราคาสูงมากหากต้องการนำมาใช้แต่ก็ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดได้ ในส่วนของวิธีการฮิวริสติกนี้จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ไม่ต้องการการลงทุนสูงนัก

7. อัลกอริทึมในงานวิจัยนี้เน้นไปที่อัลกอริทึมในการจัดเส้นทาง มากกว่าอัลกอริทึมของการจัดเก็บพัสดุคงคลัง ทำให้ในอนาคตอาจจะมีการพัฒนาปรับปรุงอัลกอริทึมในส่วนของการจัดเก็บพัสดุคงคลังนี้ได้ เนื่องจากอัลกอริทึมของการจัดเก็บพัสดุคงคลังปัจจุบันเป็นการสุ่มตามความต้องการใช้ชิ้นส่วนเท่านั้น

8. อัลกอริทึมในงานวิจัยนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้ในช่วงต้นก่อนเริ่มทำมิลค์รันมากกว่า เนื่องจากเมื่อเริ่มทำมิลค์รัน จะต้องมีการเจรจาต่อรองเรื่องเวลาในการรับชิ้นส่วน เรื่องราคาเป็นต้น กับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน โดยที่หลังจากการเจรจาแล้วนั้นเรื่องรอบเวลาต่างๆ หรือลำดับที่จะไปรับชิ้นส่วนอาจจะไม่ตรงกับคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมนี้ โดยอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนในเรื่องของเส้นทาง หรือรอบเวลาที่จะไปรับชิ้นส่วนเพื่อให้เป็นที่ยอมรับร่วมกันได้ ซึ่งคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมนี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในช่วงที่เจรจาต่อรองกับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] วิทยา สุหฤทดำรง. ลอจิสติกส์แบบลีน. อี ไอ สแควร์, 2550.

[2] Mei Chen, Yu-chen Fu, Juan Ge, Xiao-ke Zhou, and Zhi-ming Cui. Study of Logistic Vehicle Routing Problem Based on GIS. Workshop on Intelligent Information Technology Application, pp. 129-132, 2007.

[3] Lawrence, D. Burns, Randolph W. Hall, Dennis E. Blumenfeld, and Carlos F.Daganzo. Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs. Operation Research 33 (May-Jun.,1985): 469-490.

[4] Suxin Wang, Leizhen Wang, and Dingwei Wang. Particle Swarm Optimization for Multi-Depots Single Vehicle Routing Problem. Chinese Control and Decision Conference. pp. 4659-4661. 2008.

[5] Wang Xuefeng. Model and algorithm for inventory/routing decision in a two-echelon distribution system of chain enterprise. School of Statistics Jiangxi University of Finance & Economics Nanchang. China: 2008.

[6] Gang Zhao, Wenjuan Luo , Ruoying Sun, and Chunhua Yin. A Modified Max-Min Ant System for Vehicle Routing Problems. School of Information Management. Beijing Information Science and Technology University. Beijing, China: 2008.

[7] Rizzoli, A.E., Oliverio, F., Montemanni, R., and Gembardella, L.M. Ant Colony Optimization for vehicle routing problems: from theory to applications. Manno, Switzerland: 2004.

[8] Luca Maria Gambardella, Andrea E. Rizzoli, Fabrizio Oliverio, Norman Casagrande, Alberto V. Donati, Roberto Montemanni, and Enzo Lucibello. Ant Colony Optimization for Vehicle routing in advanced logistics systems. Manno, Switzerlan: 1999.

[9] วรธัช สิทธิมงคล. การจัดการคลังสินค้า. เทคนิค 20,232. (กุมภาพันธ์ 2527): 121-128.

[10] ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น).2546.

[11] เบญมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ. การบริหารสินค้าคงเหลือ. วารสารธรรมนิติ 22,258 (มีนาคม 2546): 47-59.

[12] Macro Dorigo, and Thomas Stutzle. Ant Colony Optimization. The MIT Press Combridge. Massachusetts London. England: 2004.

[13] Thomas Stutzle, and Holger H. Hoos. MAX-MIN Ant System. Future Generation Computer Systems 16(2000): 889–914.

[14] Marcro Dorigo, and Luca Maria Gambardella. Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. IEEE translation on Evolutionary Computation. Vol.1. No.1,1997.

[15] Jianling Chen, and Songyan Chen. Optimization of Vehicles Routing Problem with Load Balancing and Time windows in Distribution. Department of Transportation and Logistics Engineering Shandong Jiaotong University. China, 2008.

[16] Ashek Ahmmed, Md. Ali Ahsan Rana, Abul Ahsan, Md. Mahmudul Haque, and Md. Al Mamun. A Multiple Ant Colony System for Dynamic Vehicles Routing Problem with Time Window. Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008.

[17] Pupong Pongcharoen. Designing Supply Chain Network Using Ant System. 12th Annual Symposium on Computational Science and Engineering. 2007.

[18] Kwanniti Khammuang. A Max-Min Ant System Algorithm For Cell Formation Problem. 13th Annual Symposium on Computational Science and Engineering. 2008.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลนำเข้าของ 12 ปัญหาตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 1

ตารางที่ ก-1 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 1

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	0	50	30	20	40	20
1	50	0	60	70	35	25
2	30	60	0	80	45	20
3	20	70	80	0	30	22
4	40	35	45	30	0	16
5	20	25	20	22	16	0

ตารางที่ ก-2 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 1

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12

ตารางที่ ก-3 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 1

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	0	50	30	20	40	20
1	50	0	60	70	35	25
2	30	60	0	80	45	20
3	20	70	80	0	30	22
4	40	35	45	30	0	16
5	20	25	20	22	16	0

ตารางที่ ก-4 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 1

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	300
รถชนิดที่ 2	1000	600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 2

ตารางที่ ก-5 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 2

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	0	50	30	20	40	20
1	50	0	60	70	35	25
2	30	60	0	80	45	20
3	20	70	80	0	30	22
4	40	35	45	30	0	16
5	20	25	20	22	16	0

ตารางที่ ก-6 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 2

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12

ตารางที่ ก-7 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 2

บริษัท	0	1	2	3	4	5
0	0	50	30	20	40	20
1	50	0	60	70	35	25
2	30	60	0	80	45	20
3	20	70	80	0	30	22
4	40	35	45	30	0	16
5	20	25	20	22	16	0

ตารางที่ ก-8 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 2

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	1000
รถชนิดที่ 2	1000	1500

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 3

ตารางที่ ก-9 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 3

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6
0	0	50	30	20	40	20	10
1	50	0	60	70	35	25	12
2	30	60	0	80	45	20	30
3	20	70	80	0	30	22	20
4	40	35	45	30	0	16	15
5	20	25	20	22	16	0	20
6	10	12	30	20	15	20	0

ตารางที่ ก-10 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 3

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3

ตารางที่ ก-11 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 3

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6
0	0	50	30	20	40	20	10
1	50	0	60	70	35	25	12
2	30	60	0	80	45	20	30
3	20	70	80	0	30	22	20
4	40	35	45	30	0	16	15
5	20	25	20	22	16	0	20
6	10	12	30	20	15	20	0

ตารางที่ ก-12 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 3

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	700	500
รถชนิดที่ 2	1200	800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 4

ตารางที่ ก-13 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 4

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6
0	0	50	30	20	40	20	10
1	50	0	60	70	35	25	12
2	30	60	0	80	45	20	30
3	20	70	80	0	30	22	20
4	40	35	45	30	0	16	15
5	20	25	20	22	16	0	20
6	10	12	30	20	15	20	0

ตารางที่ ก-14 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 4

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3

ตารางที่ ก-15 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 4

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6
0	0	50	30	20	40	20	10
1	50	0	60	70	35	25	12
2	30	60	0	80	45	20	30
3	20	70	80	0	30	22	20
4	40	35	45	30	0	16	15
5	20	25	20	22	16	0	20
6	10	12	30	20	15	20	0

ตารางที่ ก-16 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 4

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	600
รถชนิดที่ 2	1000	1300

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 5

ตารางที่ ก-17 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 5

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	50	30	20	40	20	10	40
1	50	0	60	70	35	25	12	20
2	30	60	0	80	45	20	30	10
3	20	70	80	0	30	22	20	30
4	40	35	45	30	0	16	15	19
5	20	25	20	22	16	0	20	14
6	10	12	30	20	15	20	0	13
7	40	20	10	30	19	14	13	0

ตารางที่ ก-18 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 5

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14

ตารางที่ ก-19 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 5

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	50	30	20	40	20	10	40
1	50	0	60	70	35	25	12	20
2	30	60	0	80	45	20	30	10
3	20	70	80	0	30	22	20	30
4	40	35	45	30	0	16	15	19
5	20	25	20	22	16	0	20	14
6	10	12	30	20	15	20	0	13
7	40	20	10	30	19	14	13	0

ตารางที่ ก-20 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 5

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	500
รถชนิดที่ 2	1000	800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 6

ตารางที่ ก-21 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 6

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	50	30	20	40	20	10	40
1	50	0	60	70	35	25	12	20
2	30	60	0	80	45	20	30	10
3	20	70	80	0	30	22	20	30
4	40	35	45	30	0	16	15	19
5	20	25	20	22	16	0	20	14
6	10	12	30	20	15	20	0	13
7	40	20	10	30	19	14	13	0

ตารางที่ ก-22 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 6

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14

ตารางที่ ก-23 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 6

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	50	30	20	40	20	10	40
1	50	0	60	70	35	25	12	20
2	30	60	0	80	45	20	30	10
3	20	70	80	0	30	22	20	30
4	40	35	45	30	0	16	15	19
5	20	25	20	22	16	0	20	14
6	10	12	30	20	15	20	0	13
7	40	20	10	30	19	14	13	0

ตารางที่ ก-24 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 6

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	700	500
รถชนิดที่ 2	1200	800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 7

ตารางที่ ก-25 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 7

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0

ตารางที่ ก-26 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 7

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5

ตารางที่ ก-27 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 7

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0

ตารางที่ ก-28 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 7

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	300
รถชนิดที่ 2	1000	600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 8

ตารางที่ ก-29 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 8

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0

ตารางที่ ก-30 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 8

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5

ตารางที่ ก-31 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 8

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0

ตารางที่ ก-32 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 8

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	500
รถชนิดที่ 2	1000	800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 9

ตารางที่ ก-33 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 9

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0

ตารางที่ ก-34 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 9

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5
9	120	120	120	120	2	0.44

ตารางที่ ก-35 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 9

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0

ตารางที่ ก-36 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 9

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	400
รถชนิดที่ 2	1000	800

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 10

ตารางที่ ก-37 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 10

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0

ตารางที่ ก-38 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 10

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5
9	120	120	120	120	2	0.44

ตารางที่ ก-39 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 10

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0

ตารางที่ ก-40 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 10

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	700	500
รถชนิดที่ 2	1000	1000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาที่ 11

ตารางที่ ก-41 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 11

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

ตารางที่ ก-42 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 11

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5
9	120	120	120	120	2	0.44
10	35	35	35	35	2	0.5

ตารางที่ ก-43 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 11

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

ตารางที่ ก-44 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 11

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	600	300
รถชนิดที่ 2	1000	600

ปัญหาที่ 12

ตารางที่ ก-45 ต้นทุนในการขนส่งปัญหาที่ 12

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

ตารางที่ ก-46 ความต้องการใช้ชิ้นส่วน นน.ชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนปัญหาที่ 12

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก(กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	60	60	60	60	2	0.1
2	20	20	20	20	2	0.25
3	90	90	90	90	2	0.23
4	25	25	25	25	2	0.19
5	70	70	70	70	2	0.12
6	40	40	40	40	2	0.3
7	20	20	20	20	2	0.14
8	100	100	100	100	2	0.5
9	120	120	120	120	2	0.44
10	35	35	35	35	2	0.5

ตารางที่ ก-47 เวลาที่ใช้ในการขนส่งปัญหาที่ 12

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	50	30	20	40	20	10	40	45	80	20
1	50	0	60	70	35	25	12	20	22	37	23
2	30	60	0	80	45	20	30	10	36	20	34
3	20	70	80	0	30	22	20	30	40	25	54
4	40	35	45	30	0	16	15	19	39	33	33
5	20	25	20	22	16	0	20	14	20	30	21
6	10	12	30	20	15	20	0	13	50	33	45
7	40	20	10	30	19	14	13	0	30	20	47
8	45	22	36	40	39	20	50	30	0	10	34
9	80	37	20	25	33	30	33	20	10	0	23
10	20	23	34	54	33	21	45	47	34	23	0

ตารางที่ ก-48 ความสามารถในการบรรทุกได้ และต้นทุนคงที่ ปัญหาที่ 12

	ความสามารถในการบรรทุก (Kg)	ต้นทุนคงที่
รถชนิดที่ 1	500	500
รถชนิดที่ 2	1000	1000

ภาคผนวก ข
ข้อมูลนำเข้าของปัญหากรณีศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-1 ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนปัญหากรณีศึกษา

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	0	49	55	39	62	115	138	123	185	190	55	21	33	9	13	49	10	41	15	66	41	70	96	94	91	51	75	78	71	59	48	105	68	82	69	48
1	49	0	12	31	10	97	127	110	161	166	109	63	61	84	80	46	83	84	85	34	52	11	37	35	160	139	33	35	37	38	35	37	39	102	32	15
2	55	12	0	37	2	78	109	92	142	137	105	53	76	61	65	80	61	83	62	19	50	70	24	22	137	103	16	18	28	19	54	40	28	86	16	20
3	39	31	37	0	24	72	111	104	159	154	81	36	39	40	42	48	45	59	44	28	39	10	30	52	108	109	30	32	38	44	34	56	37	87	30	16
4	62	10	2	24	0	65	100	120	140	145	43	33	30	45	44	44	35	40	32	58	54	33	30	34	80	85	46	78	30	65	55	64	24	65	45	65
5	115	97	78	72	65	0	50	30	30	35	120	110	125	115	116	120	122	132	145	75	47	87	60	77	170	180	60	45	65	76	45	79	46	75	98	20
6	138	127	109	111	100	50	0	10	30	34	30	100	120	111	123	111	120	123	119	30	43	29	59	65	190	130	59	58	60	85	46	77	48	15	100	125
7	123	110	92	104	120	30	10	0	20	24	20	90	110	101	113	101	110	113	109	20	33	19	49	55	180	120	49	48	50	75	36	67	38	5	90	115
8	185	161	142	159	140	30	30	20	0	5	23	93	113	104	116	104	113	116	112	23	36	22	52	58	183	123	52	51	53	78	39	70	41	8	93	118
9	190	166	137	154	145	35	34	24	5	0	22	92	112	103	115	103	112	115	111	22	35	21	51	57	182	122	51	50	52	77	38	69	40	7	92	117
10	55	109	105	81	43	120	30	20	23	22	0	30	27	42	41	41	32	37	29	55	51	30	27	31	77	82	43	75	27	62	52	61	21	62	42	62
11	21	63	53	36	33	110	100	90	93	92	30	0	10	9	5	7	9	15	20	52	48	27	24	28	74	79	40	72	24	59	49	58	18	59	39	59
12	33	61	76	39	30	125	120	110	113	112	27	10	0	8	4	6	8	14	19	51	47	26	23	27	73	78	39	71	23	58	48	57	17	58	38	58
13	9	84	61	40	45	115	111	101	104	103	42	9	8	0	16	52	13	44	18	69	44	73	99	97	94	54	78	81	74	62	51	108	71	85	72	51
14	13	80	65	42	44	116	123	113	116	115	41	5	4	16	0	51	12	43	17	68	43	72	98	96	93	53	77	80	73	61	50	107	70	84	71	50
15	49	46	80	48	44	120	111	101	104	103	41	7	6	52	51	0	14	45	19	70	45	74	100	98	95	55	79	82	75	63	52	109	72	86	73	52
16	10	83	61	45	35	122	120	110	113	112	32	9	8	13	12	14	0	46	20	71	46	75	101	99	96	56	80	83	76	64	53	110	73	87	74	53
17	41	84	83	59	40	132	123	113	116	115	37	15	14	44	43	45	46	0	22	73	48	77	103	101	98	58	82	85	78	66	55	112	75	89	76	55
18	15	85	62	44	32	145	119	109	112	111	29	20	19	18	17	19	20	22	0	76	51	80	106	104	101	61	85	88	81	69	58	115	78	92	79	58
19	66	34	19	28	58	75	30	20	23	22	55	52	51	69	68	70	71	73	76	0	10	14	20	23	115	117	100	114	105	89	75	149	101	119	102	75
20	41	52	50	39	54	47	43	33	36	35	51	48	47	44	43	45	46	48	51	10	0	11	15	17	86	87	75	85	78	66	56	111	75	89	76	56
21	70	11	70	10	33	87	29	19	22	21	30	27	26	73	72	74	75	77	80	14	11	0	30	34	150	160	150	170	156	132	112	116	150	128	152	112
22	96	37	24	30	30	60	59	49	52	51	27	24	23	99	98	100	101	103	106	20	15	30	0	37	165	176	165	187	171	145	123	110	165	150	167	129
23	94	35	22	52	34	77	65	55	58	57	31	28	27	97	96	98	99	101	104	23	17	34	37	0	180	183	28	30	32	40	45	20	181	165	183	144
24	91	160	137	108	80	170	190	180	183	182	77	74	73	94	93	95	96	98	101	115	86	150	165	180	0	149	32	34	36	45	51	23	205	186	207	163
25	51	139	103	109	85	180	130	120	123	122	82	79	78	54	53	55	56	58	61	117	87	160	176	183	149	0	155	176	161	136	116	103	155	141	157	121
26	75	33	16	30	46	60	59	49	52	51	43	40	39	78	77	79	80	82	85	100	75	150	165	28	32	155	0	163	149	127	108	96	144	131	146	113
27	78	35	18	32	78	45	58	48	51	50	75	72	71	81	80	82	83	85	88	114	85	170	187	30	34	176	163	0	138	117	99	88	133	121	134	104
28	71	37	28	38	30	65	60	50	53	52	27	24	23	74	73	75	76	78	81	105	78	156	171	32	36	161	149	138	0	54	61	27	245	224	248	195
29	59	38	19	44	65	76	85	75	78	77	62	59	58	62	61	63	64	66	69	89	66	132	145	40	45	136	127	117	54	0	57	25	231	210	233	184
30	48	35	54	34	55	45	46	36	39	38	52	49	48	51	50	52	53	55	58	75	56	112	123	45	51	116	108	99	61	57	0	24	221	202	224	176
31	105	37	40	56	64	79	77	67	70	69	61	58	57	108	107	109	110	112	115	149	111	116	110	20	23	103	96	88	27	25	24	0	177	162	179	141
32	68	39	28	37	24	46	48	38	41	40	21	18	17	71	70	72	73	75	78	101	75	150	165	181	205	155	144	133	245	231	221	177	0	130	145	112
33	82	102	86	87	65	75	15	5	8	7	62	59	58	85	84	86	87	89	92	119	89	128	150	165	186	141	131	121	224	210	202	162	130	0	124	96
34	69	32	16	30	45	98	100	90	93	92	42	39	38	72	71	73	74	76	79	102	76	152	167	183	207	157	146	134	248	233	224	179	145	124	0	117
35	48	15	20	16	65	20	125	115	118	117	62	59	58	51	50	52	53	55	58	75	56	112	129	144	163	121	113	104	195	184	176	141	112	96	117	0
36	50	11	53	12	65	46	110	100	103	102	62	59	58	53	52	54	55	57	60	78	58	116	130	143	162	122	114	105	194	182	175	140	113	97	118	116
37	47	12	18	11	67	66	125	115	118	117	64	61	60	50	49	51	52	54	57	74	55	110	121	133	150	114	106	97	180	170	163	130	105	90	110	108
38	52	3	16	12	44	47	120	110	113	112	41	38	37	55	54	56	57	59	62	81	60	120	132	145	164	124	115	106	197	185	177	142	114	98	120	118
39	43	31	34	12	35	190	115	105	108	107	32	29	28	46	45	47	48	50	53	69	51	102	112	123	139	105	98	90	167	157	151	120	97	83	102	100
40	78	62	55	47	54	124	116	106	109	108	51	48	47	81	80	82	83	85	88	114	85	170	187	154	174	176	163	150	209	196	188	151	162	139	170	167
41	38	101	89	80	56	120	140	130	113	112	53	50	49	41	40	42	43	45	48	62	46	92	101	111	125	95	88	81	151	141	136	109	87	75	92	90
42	55	6	14	26	46	60	125	115	118	117	43	40	39	58	57	59	60	62	65	84	63	126	138	151	171	130	121	111	205	192	185	148	119	103	125	123
43	59	64	26	13	67	46	114	104	107	106	64	61	60	62	61	63	64	66	69	89	66	132	145	140	158	136	127	117	190	178	171	137	125	108	132	129
44	62	12	25	17	16	56	134	124	127	126	13	10	17	65	64	66	67	69	72	93	69	138	151	140	158	142	132	121	190	178	171	137	131	112	137	134
45	25	63	75	34	36	35	160	150	153	152	33	30	29	28	27	29	30	32	35	45	33	66	72	80	90	68	63	58	108	102	98	78	62	54	65	64
46	60	35	58	39	45	98	100	90	93	92	42	39	38	68	67	69	70	72	75	97	72	144	158	178	201	149	138	127	241	227	218	174	137	118	144	141
47	123	110	92	105	100	26	15	5	8	7	97	94	93	128	127	129	130	132	135	175	131	120	130	143	162	122	114	105	194	182	175	140	113	97	118	116
48	36	23	18	29	30	140	115	105	108	107	27	24	23	39	38	40	41	43	46	59	44	88	96	105	119	90	84	77	142	134	128	103	83	71	87	85
49	63	18	19	18	45	130	125	115	118	117	42	35	34	66	65	67	68	70	73	94	70	140	132	145	164	124	115	106	197	185	177	142	114	98	120	118
50	32	83	105	72	45	160	140	130	133	132	42	60	59	35	34	36	37	39	42	54	40	80	88	96	108	83	77	71	130	122	117	94	76	65	80	78
51	85	52	51	48	33	24	125	115	118	117	30	27	26	88	87	89	90	92	95	123	92	184	202	111	125	190	177	162	151	141	136	109	175	150	184	180
52	47	12	40	13	25	53	117	107	110	109	22	19	18	50	49	51	52	54	57	74	55	110	121	133	150	114	106	97	180	170	163	130	105	90	110	108
53	75	15	16	31	36	64	120	110	113	112	33	30	29	78	77	79	80	82	85	110	82	164	180	80	90	169	157	145	108	102	98	78	156	134	164	160
54	120	110	92	101	130	67	15	5	8	7	127	124	123	123	122	124	125	127	130	169	120	125	128	124	140	120	112	103	168	158	152	121	111	95	116	114
55	49	12	18	14	13	30	135	125	128	127	10	24	23	52	51	53	54	56	59	76	57	114	125	60	68	118	109	101	81	76	73	59	108	93	114	111
56	125	113	92	103	110	10	20	10	13	12	107	104	103	128	127	129	130	132	135	175	131	124	144	120	136	135	126	116	163	153	147	117	125	107	131	128
57	92	62	55	58	33	69	100	90	93	92	30	27	26	95	94	96	97	99	102	132	99	198	115	55	62	108	101	92	75	70	67	54	100	86	105	102
58	37	37	27	47	43	70	115	105	108	107	40	37	36	40	39	41	42	44	47	61	46	92	101	59	67	95	88	81	80	75	72	58	87	75	92	90
59	2	69	57	33	44	115	130	120	123	122	41	38	37	5	4	6	7	9	12	16	12	24	26	49	55	24	23	21	66	62	60	48	23	19	24	23
60	49	46	79	39	49	125	125	115	118	117	46	43	42	52	51	53	54	56	59	76	57	114	125	45	51	118	109	101	61	57	55	44	108	93	114	111
61	39	26	37	2	34	110	125	116	119	118	31	28	27	42	41	43	44	46	49	63	47	94	103	113	128	97	90	83	153	144	138	111	89	77	94	92
62	71	18	16	53	40	70	124	114	117	116	37	34	33	74	73	75	76	78	81	105	78	156	132	145	164	124	115	106	197	185	177	142	114	98	120	118
63	48	14	18	15	35	130	135	125	128	127	32	29	28	51	50	52	53	55	58	75	56	112	123	135	153	116	108	99	183	172	165	132	106	92	112	110
64	45	11	20	14	54	135	124	114	117	116	51	48	47	48	47	49	50	52	55	71	53	106	116	127	144	109	101	93	172	162	155	124	100	86	105	103
65	70	34	13	20	65	100	119	109	112	111	62	59	58	73	72	74	75	77	80	104	78	156	120	132	149	113	105	97	179	168	162	129	104	89	109	107
66	73	56	27	45	45	89	105	95	98	97	42	39	38	76	75	77	78	80	83	107	80	160	142	156	176	133	124	114	212	199	191	153	123	106	129	126
67	135	127	109	44	110	25	24	14	17	16	107	104	103	138	137	139	140	142	145	125	93	186	100	110	124	94	87	80	149	140	135	108	87	74	91	89
68	10	84	61	56	65	120	129	119	112	111	62	59	58	13	12	14	15	17	20	26	19	38	60	66	75	56	52	48	89	84	81	65	52	45	55	53
69	50	54	50	67	43	120	135	125	128	127	40	37	36	53	52	54	55	57	60	78	58	116	111	122	138	104	97	89	165	156	149	119	96	83	101	99

ตารางที่ ข-1 ต้นทุนการขนส่งชิ้นส่วนปัญหากรณีศึกษา(ต่อ)

บริษัท	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
0	50	47	52	43	78	38	55	59	62	25	60	123	36	63	32	85	47	75	120	49	125	92	37	2	49	39	71	48	45	70	73	135	10	50
1	11	12	3	31	62	101	6	64	12	63	35	110	23	18	83	52	12	15	110	12	113	62	37	69	46	26	18	14	11	34	56	127	84	54
2	53	18	16	34	55	89	14	26	25	75	58	92	18	19	105	51	40	16	92	18	92	55	27	57	79	37	16	18	20	13	27	109	61	50
3	12	11	12	12	47	80	26	13	17	34	39	105	29	18	72	48	13	31	101	14	103	58	47	33	39	2	53	15	14	20	45	44	56	67
4	65	67	44	35	54	56	46	67	16	36	45	100	30	45	45	33	25	36	130	13	110	33	43	44	49	34	40	35	54	65	45	110	65	43
5	46	66	47	190	124	120	60	46	56	35	98	26	140	130	160	24	53	64	67	30	10	69	70	115	125	110	70	130	135	100	89	25	120	120
6	110	125	120	115	116	140	125	114	134	160	100	15	115	125	140	125	117	120	15	135	20	100	115	130	125	125	124	135	124	119	105	24	129	135
7	100	115	110	105	106	130	115	104	124	150	90	5	105	115	130	115	107	110	5	125	10	90	105	120	115	116	114	125	114	109	95	14	119	125
8	103	118	113	108	109	113	118	107	127	153	93	8	108	118	133	118	110	113	8	128	13	93	108	123	118	119	117	128	117	112	98	17	112	128
9	102	117	112	107	108	112	117	106	126	152	92	7	107	117	132	117	109	112	7	127	12	92	107	122	117	118	116	127	116	111	97	16	111	127
10	62	64	41	32	51	53	43	64	13	33	42	97	27	42	42	30	22	33	127	10	107	30	40	41	46	31	37	32	51	62	42	107	62	40
11	59	61	38	29	48	50	40	61	10	30	39	94	24	35	60	27	19	30	124	24	104	27	37	38	43	28	34	29	48	59	39	104	59	37
12	58	60	37	28	47	49	39	60	17	29	38	93	23	34	59	26	18	29	123	23	103	26	36	37	42	27	33	28	47	58	38	103	58	36
13	53	50	55	46	81	41	58	62	65	28	68	128	39	66	35	88	50	78	123	52	128	95	40	5	52	42	74	51	48	73	76	138	13	53
14	52	49	54	45	80	40	57	61	64	27	67	127	38	65	34	87	49	77	122	51	127	94	39	4	51	41	73	50	47	72	75	137	12	52
15	54	51	56	47	82	42	59	63	66	29	69	129	40	67	36	89	51	79	124	53	129	96	41	6	53	43	75	52	49	74	77	139	14	54
16	55	52	57	48	83	43	60	64	67	30	70	130	41	68	37	90	52	80	125	54	130	97	42	7	54	44	76	53	50	75	78	140	15	55
17	57	54	59	50	85	45	62	66	69	32	72	132	43	70	39	92	54	82	127	56	132	99	44	9	56	46	78	55	52	77	80	142	17	57
18	60	57	62	53	88	48	65	69	72	35	75	135	46	73	42	95	57	85	130	59	135	102	47	12	59	49	81	58	55	80	83	145	20	60
19	78	74	81	69	114	62	84	89	93	45	97	175	59	94	54	123	74	110	169	76	175	132	61	16	76	63	105	75	71	104	107	125	26	78
20	58	55	60	51	85	46	63	66	69	33	72	131	44	70	40	92	55	82	120	57	131	99	46	12	57	47	78	56	53	78	80	93	19	58
21	116	110	120	102	170	92	126	132	138	66	144	120	88	140	80	184	110	164	125	114	124	198	92	24	114	94	156	112	106	156	160	186	38	116
22	130	121	132	112	187	101	138	145	151	72	158	130	96	132	88	202	121	180	128	125	144	115	101	26	125	103	132	123	116	120	142	100	60	111
23	143	133	145	123	154	111	151	140	140	80	178	143	105	145	96	111	133	80	124	60	120	55	59	49	45	113	145	135	127	132	156	110	66	122
24	162	150	164	139	174	125	171	158	158	90	201	162	119	164	108	125	150	90	140	68	136	62	67	55	51	128	164	153	144	149	176	124	75	138
25	122	114	124	105	176	95	130	136	142	68	149	122	90	124	83	190	114	169	120	118	135	108	95	24	118	97	124	116	109	113	133	94	56	104
26	114	106	115	98	163	88	121	127	132	63	138	114	84	115	77	177	106	157	112	109	126	101	88	23	109	90	115	108	101	105	124	87	52	97
27	105	97	106	90	150	81	111	117	121	58	127	105	77	106	71	162	97	145	103	101	116	92	81	21	101	83	106	99	93	97	114	80	48	89
28	194	180	197	167	209	151	205	190	190	108	241	194	142	197	130	151	180	108	168	81	163	75	80	66	61	153	197	183	172	179	212	149	89	165
29	182	170	185	157	196	141	192	178	178	102	227	182	134	185	122	141	170	102	158	76	153	70	75	62	57	144	185	172	162	168	199	140	84	156
30	175	163	177	151	188	136	185	171	171	98	218	175	128	177	117	136	163	98	152	73	147	67	72	60	55	138	177	165	155	162	191	135	81	149
31	140	130	142	120	151	109	148	137	137	78	174	140	103	142	94	109	130	78	121	59	117	54	58	48	44	111	142	132	124	129	153	108	65	119
32	113	105	114	97	162	87	119	125	131	62	137	113	83	114	76	175	105	156	111	108	125	100	87	23	108	89	114	106	100	104	123	87	52	96
33	97	90	98	83	139	75	103	108	112	54	118	97	71	98	65	150	90	134	95	93	107	86	75	19	93	77	98	92	86	89	106	74	45	83
34	118	110	120	102	170	92	125	132	137	65	144	118	87	120	80	184	110	164	116	114	131	105	92	24	114	94	120	112	105	109	129	91	55	101
35	116	108	118	100	167	90	123	129	134	64	141	116	85	118	78	180	108	160	114	111	128	102	90	23	111	92	118	110	103	107	126	89	53	99
36	0	111	121	103	172	93	127	133	139	66	145	119	88	121	81	185	111	165	117	115	132	105	93	24	115	94	121	113	106	110	130	92	55	102
37	111	0	122	104	173	94	128	134	140	67	146	120	89	122	82	187	112	167	119	116	133	107	94	24	116	95	122	114	107	111	132	93	56	103
38	121	122	0	106	177	95	130	137	143	68	149	123	91	125	83	191	114	170	121	118	136	109	95	25	118	97	125	116	110	113	134	94	57	105
39	103	104	106	0	150	81	111	116	121	58	127	104	77	106	71	162	97	144	103	100	115	92	81	21	100	83	106	99	93	96	114	80	48	89
40	172	173	177	150	0	76	104	109	114	54	119	98	72	99	66	152	91	136	96	94	108	87	76	20	94	78	99	93	87	90	107	75	45	84
41	93	94	95	81	76	0	74	78	81	39	85	70	51	71	47	108	65	96	68	67	77	62	54	14	67	55	71	66	62	64	76	53	32	59
42	127	128	130	111	104	74	0	13	17	34	39	104	29	18	71	48	13	31	100	14	102	57	47	33	39	33	52	15	14	20	45	44	55	66
43	133	134	137	116	109	78	13	0	20	40	46	125	34	21	86	57	15	37	120	17	122	69	56	39	46	12	63	18	17	24	53	52	67	80
44	139	140	143	121	114	81	17	20	0	48	56	150	41	26	103	68	19	44	144	20	147	83	67	47	56	15	76	21	20	29	64	63	80	96
45	66	67	68	58	54	39	34	40	48	0	67	180	50	31	123	82	22	53	173	24	176	99	80	56	67	65	91	26	24	34	77	75	96	115
46	145	146	149	127	119	85	39	46	56	67	0	167	46	29	115	76	21	49	161	22	164	92	75	53	62	36	84	24	22	32	72	70	89	107
47	119	120	123	104	98	70	104	125	150	180	167	0	152	95	150	120	68	163	19	74	30	49	44	59	105	11	130	79	74	67	59	40	75	96
48	88	89	91	77	72	51	29	34	41	50	46	152	0	32	126	84	23	54	177	25	180	102	82	58	68	35	93	26	25	35	79	77	98	117
49	121	122	125	106	99	71	18	21	26	31	29	95	32	0	118	79	21	51	166	23	169	95	77	54	64	22	87	25	23	33	74	72	92	110
50	81	82	83	71	66	47	71	86	103	123	115	150	126	118	0	82	22	53	173	24	176	99	80	56	67	54	91	26	24	34	77	75	96	115
51	185	187	191	162	152	108	48	57	68	82	76	120	84	79	82	0	27	64	107	29	105	104	96	68	80	63	109	31	29	41	92	90	115	138
52	111	112	114	97	91	65	13	15	19	22	21	68	23	21	22	27	0	72	115	32	190	134	109	76	90	20	122	35	32	46	104	102	129	155
53	165	167	170	144	136	96	31	37	44	53	49	163	54	51	53	64	72	0	85	24	141	99	80	56	67	30	91	26	24	34	77	75	96	115
54	117	119	121	103	96	68	100	120	144	173	161	19	177	166	173	107	115	85	0	102	118	94	83	21	102	84	108	101	95	98	116	82	49	91
55	115	116	118	100	94	67	14	17	20	24	22	74	25	23	24	29	32	24	102	0	131	104	92	24	113	93	120	112	105	109	129	91	54	101
56	132	133	136	115	108	77	102	122	147	176	164	30	180	169	176	105	190	141	118	131	0	102	90	23	111	92	117	109	103	107	126	89	53	99
57	105	107	109	92	87	62	57	69	83	99	92	49	102	95	99	104	134	99	94	104	102	0	40	54	96	10	118	72	67	61	54	36	68	87
58	93	94	95	81	76	54	47	56	67	80	75	44	82	77	80	96	109	80	83	92	90	40	0	53	95	10	117	71	67	60	53	49	68	86
59	24	24	25	21	20	14	33	39	47	56	53	59	58	54	56	68	76	56	21	24	23	54	53	0	20	11	129	78	73	66	58	125	74	95
60	115	116	118	100	94	67	39	46	56	67	62	105	68	64	67	80	90	67	102	113	111	96	95	20	0	13	120	94	88	80	70	120	89	114
61	94	95	97	83	78	55	33	12	15	65	36	11	35	22	54	63	20	30	84	93	92	10	10	11	13	0	90	55	51	46	41	128	52	67
62	121	122	125	106	99	71	52	63	76	91	84	130	93	87	91	109	122	91	108	120	117	118	117	129	120	90	0	54	51	46	41	127	52	66
63	113	114	116	99	93	66	15	18	21	26	24	79	26	25	26	31	35	26	101	112	109	72	71	78	94	55	54	0	24	35	33	110	50	33
64	106	107	110	93	87	62	14	17	20	24	22	74	25	23	24	29	32	24	95	105	103	67	67	73	88	51	51	24	0	42	40	132	60	40
65	110	111	113	96	90	64	20	24	29	34	32	67	35	33	34	41	46	34	98	109	107	61	60	66	80	46	46	35	42	0	44	120	66	44
66	130	132	134	114	107	76	45	53	64	77	72	59	79	74	77	92	104	77	116	129	126	54	53	58	70	41	41	33	40	44	0	115	30	43
67	92	93	94	80	75	53	44	52	63	75	70	40	77	72	75	90	102	75	82	91	89	36	49	125	120	128	127	110	132	120	115	0	39	53
68	55	56	57	48	45	32	55	67	80	96	89	75	98	92	96	115	129	96	49	54	53	68	68	74	89	52	52	50	60	66	30	39	0	45
69	102	103	105	89	84	59	66	80	96	115	107	96	117	110	115	138	155	115	91	101	99	87	86	95	114	67	66	33	40	44	43	53	45	0

ตารางที่ ข-2 ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน น้ำหนักของชิ้นส่วน และต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วน

ช่วงเวลา / บริษัท	1	2	3	4	น้ำหนัก (กก./ชิ้น)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท/ชิ้น)
1	500	500	500	500	2.5	0.5
2	1000	1000	1000	1000	3	0.6
3	60	60	60	60	5	1
4	60	25	25	25	1	0.2
5	60	70	70	70	3	0.6
6	240	240	240	240	2	0.4
7	500	500	500	500	0.5	0.1
8	240	240	240	240	5	1
9	70	70	70	70	7	1.4
10	500	500	500	500	2	0.4
11	140	140	140	140	10	2
12	120	120	120	120	4	0.8
13	480	480	480	480	5	1
14	120	120	120	120	2	0.4
15	500	500	500	500	1	0.2
16	2000	2000	2000	2000	2.5	0.5
17	60	60	60	60	2	0.4
18	120	120	120	120	3	0.6
19	1000	1000	1000	1000	1	0.2
20	500	500	500	500	4	0.8
21	240	240	240	240	3.2	0.64
22	120	120	120	120	4.4	0.88
23	140	140	140	140	1	0.2
24	70	70	70	70	2	0.4
25	60	60	60	60	6	1.2
26	500	500	500	500	2	0.4
27	240	240	240	240	3	0.6
28	300	300	300	300	1	0.2
29	200	200	200	200	3	0.6
30	120	120	120	120	1	0.2
31	1000	1000	1000	1000	6	1.2
32	130	130	130	130	2	0.4
33	120	120	120	120	1.5	0.3
34	300	300	300	300	2	0.4
35	300	300	300	300	3	0.6
36	120	120	120	120	5	1
37	240	240	240	240	6	1.2
38	500	500	500	500	10	2
39	1000	1000	1000	1000	2	0.4
40	260	260	260	260	3	0.6
41	600	600	600	600	1.5	0.3
42	400	400	400	400	2.5	0.5
43	500	500	500	500	2.6	0.52
44	60	60	60	60	3	0.6
45	120	120	120	120	6	1.2
46	70	70	70	70	4	0.8
47	140	140	140	140	2	0.4
48	280	280	280	280	1	0.2
49	140	140	140	140	4.5	0.9
50	280	280	280	280	2	0.4
51	140	140	140	140	6	1.2
52	60	60	60	60	2.6	0.52
53	120	120	120	120	6	1.2
54	100	100	100	100	2	0.4
55	120	120	120	120	2.2	0.44
56	140	140	140	140	3	0.6
57	70	70	70	70	5	1
58	250	250	250	250	6	1.2
59	60	60	60	60	2	0.4
60	100	100	100	100	1	0.2
61	500	500	500	500	5	1
62	1000	1000	1000	1000	2	0.4
63	300	300	300	300	6	1.2
64	200	200	200	200	2	0.4
65	60	60	60	60	3	0.6
66	140	140	140	140	1	0.2
67	70	70	70	70	2	0.4
68	500	500	500	500	2	0.4
69	60	60	60	60	1	0.2

ตารางที่ ข-3 เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (นาที)

บริษัท	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
0	0	37	41	29	47	86	104	92	139	143	41	16	25	7	10	37	8	31	11	50	31	53	72	71	68	38	56	59	53	44	36	79	51	62	52	36
1	37	0	9	23	8	73	95	83	121	125	82	47	46	63	60	35	62	63	64	26	39	8	28	26	120	104	25	26	28	29	26	28	29	77	24	11
2	41	9	0	28	2	59	82	69	107	103	79	40	57	46	49	60	46	62	47	14	38	53	18	17	103	77	12	14	21	14	41	30	21	65	12	15
3	29	23	28	0	18	54	83	78	119	116	61	27	29	30	32	36	34	44	33	21	29	8	23	39	81	82	23	24	29	33	26	42	28	65	23	12
4	47	8	2	18	0	49	75	90	105	109	32	25	23	34	33	33	26	30	24	44	41	25	23	26	60	64	35	59	23	49	41	48	18	49	34	49
5	86	73	59	54	49	0	38	23	23	26	90	83	94	86	87	90	92	99	109	56	35	65	45	58	128	135	45	34	49	57	34	59	35	56	74	15
6	104	95	82	83	75	38	0	8	23	26	23	75	90	83	92	83	90	92	89	23	32	22	44	49	143	98	44	44	45	64	35	58	36	11	75	94
7	92	83	69	78	90	23	8	0	15	18	15	68	83	76	85	76	83	85	82	15	25	14	37	41	135	90	37	36	38	56	27	50	29	4	68	86
8	139	121	107	119	105	23	23	15	0	4	17	70	85	78	87	78	85	87	84	17	27	17	39	44	137	92	39	38	40	59	29	53	31	6	70	89
9	143	125	103	116	109	26	26	18	4	0	17	69	84	77	86	77	84	86	83	17	26	16	38	43	137	92	38	38	39	58	29	52	30	5	69	88
10	41	82	79	61	32	90	23	15	17	17	0	23	20	32	31	31	24	28	22	41	38	23	20	23	58	62	32	56	20	47	39	46	16	47	32	47
11	16	47	40	27	25	83	75	68	70	69	23	0	8	7	4	5	7	11	15	39	36	20	18	21	56	59	30	54	18	44	37	44	14	44	29	44
12	25	46	57	29	23	94	90	83	85	84	20	8	0	6	3	5	6	11	14	38	35	20	17	20	55	59	29	53	17	44	36	43	13	44	29	44
13	7	63	46	30	34	86	83	76	78	77	32	7	6	0	12	39	10	33	14	52	33	55	74	73	71	41	59	61	56	47	38	81	53	64	54	38
14	10	60	49	32	33	87	92	85	87	86	31	4	3	12	0	38	9	32	13	51	32	54	74	72	70	40	58	60	55	46	38	80	53	63	53	38
15	37	35	60	36	33	90	83	76	78	77	31	5	5	39	38	0	11	34	14	53	34	56	75	74	71	41	59	62	56	47	39	82	54	65	55	39
16	8	62	46	34	26	92	90	83	85	84	24	7	6	10	9	11	0	35	15	53	35	56	76	74	72	42	60	62	57	48	40	83	55	65	56	40
17	31	63	62	44	30	99	92	85	87	86	28	11	11	33	32	34	35	0	17	55	36	58	77	76	74	44	62	64	59	50	41	84	56	67	57	41
18	11	64	47	33	24	109	89	82	84	83	22	15	14	14	13	14	15	17	0	57	38	60	80	78	76	46	64	66	61	52	44	86	59	69	59	44
19	50	26	14	21	44	56	23	15	17	17	41	39	38	52	51	53	53	55	57	0	8	11	15	17	86	88	75	86	79	67	56	112	76	89	77	56
20	31	39	38	29	41	35	32	25	27	26	38	36	35	33	32	34	35	36	38	8	0	8	11	13	65	65	56	64	59	50	42	83	56	67	57	42
21	53	8	53	8	25	65	22	14	17	16	23	20	20	55	54	56	56	58	60	11	8	0	23	26	113	120	113	128	117	99	84	87	113	96	114	84
22	72	28	18	23	23	45	44	37	39	38	20	18	17	74	74	75	76	77	80	15	11	23	0	28	124	132	124	140	128	109	92	83	124	113	125	97
23	71	26	17	39	26	58	49	41	44	43	23	21	20	73	72	74	74	76	78	17	13	26	28	0	135	137	21	23	24	30	34	15	136	124	137	108
24	68	120	103	81	60	128	143	135	137	137	58	56	55	71	70	71	72	74	76	86	65	113	124	135	0	112	24	25	27	34	38	17	153	140	155	122
25	38	104	77	82	64	135	98	90	92	92	62	59	59	41	40	41	42	44	46	88	65	120	132	137	112	0	116	132	121	102	87	78	116	106	118	91
26	56	25	12	23	35	45	44	37	39	38	32	30	29	59	58	59	60	62	64	75	56	113	124	21	24	116	0	123	112	95	81	72	108	98	109	85
27	59	26	14	24	59	34	44	36	38	38	56	54	53	61	60	62	62	64	66	86	64	128	140	23	25	132	123	0	103	87	74	66	100	90	101	78
28	53	28	21	29	23	49	45	38	40	39	20	18	17	56	55	56	57	59	61	79	59	117	128	24	27	121	112	103	0	41	46	20	184	168	186	146
29	44	29	14	33	49	57	64	56	59	58	47	44	44	47	46	47	48	50	52	67	50	99	109	30	34	102	95	87	41	0	43	19	173	158	175	138
30	36	26	41	26	41	34	35	27	29	29	39	37	36	38	38	39	40	41	44	56	42	84	92	34	38	87	81	74	46	43	0	18	166	151	168	132
31	79	28	30	42	48	59	58	50	53	52	46	44	43	81	80	82	83	84	86	112	83	87	83	15	17	78	72	66	20	19	18	0	133	121	134	106
32	51	29	21	28	18	35	36	29	31	30	16	14	13	53	53	54	55	56	59	76	56	113	124	136	153	116	108	100	184	173	166	133	0	97	108	84
33	62	77	65	65	49	56	11	4	6	5	47	44	44	64	63	65	65	67	69	89	67	96	113	124	140	106	98	90	168	158	151	121	97	0	93	72
34	52	24	12	23	34	74	75	68	70	69	32	29	29	54	53	55	56	57	59	77	57	114	125	137	155	118	109	101	186	175	168	134	108	93	0	88
35	36	11	15	12	49	15	94	86	89	88	47	44	44	38	38	39	40	41	44	56	42	84	97	108	122	91	85	78	146	138	132	106	84	72	88	0
36	38	8	40	9	49	35	83	75	77	77	47	44	44	40	39	41	41	43	45	59	44	87	98	107	121	92	85	78	145	137	131	105	84	73	89	87
37	35	9	14	8	50	50	94	86	89	88	48	46	45	38	37	38	39	41	43	56	41	83	91	100	113	85	79	73	135	127	122	98	79	68	82	81
38	39	2	12	9	33	35	90	83	85	84	31	29	28	41	41	42	43	44	47	61	45	90	99	109	123	93	87	80	147	139	133	106	86	74	90	88
39	32	23	26	9	26	143	86	79	81	80	24	22	21	35	34	35	36	38	40	52	38	77	84	92	104	79	73	68	125	118	113	90	73	63	76	75
40	59	47	41	35	41	93	87	80	82	81	38	36	35	61	60	62	62	64	66	86	64	128	140	116	131	132	123	113	157	147	141	113	121	104	127	125
41	29	76	67	60	42	90	105	98	85	84	40	38	37	31	30	32	32	34	36	47	35	69	76	83	94	71	66	61	113	106	102	81	66	56	69	67
42	41	5	11	20	35	45	94	86	89	88	32	30	29	44	43	44	45	47	49	63	47	95	104	113	128	97	90	83	154	144	139	111	90	77	94	92
43	44	48	20	10	50	35	86	78	80	80	48	46	45	47	46	47	48	50	52	67	50	99	109	105	119	102	95	87	142	134	128	103	94	81	99	97
44	47	9	19	13	12	42	101	93	95	95	10	8	13	49	48	50	50	52	54	70	52	104	113	105	119	106	99	91	142	134	128	103	98	84	103	101
45	19	47	56	26	27	26	120	113	115	114	25	23	22	21	20	22	23	24	26	34	25	50	54	60	68	51	47	43	81	76	73	59	47	40	49	48
46	45	26	44	29	34	74	75	68	70	69	32	29	29	51	50	52	53	54	56	73	54	108	119	134	151	111	104	95	181	170	163	131	103	88	108	106
47	92	83	69	79	75	20	11	4	6	5	73	71	70	96	95	97	98	99	101	131	98	90	98	107	121	92	85	78	145	137	131	105	84	73	89	87
48	27	17	14	22	23	105	86	79	81	80	20	18	17	29	29	30	31	32	35	44	33	66	72	79	89	68	63	58	107	100	96	77	62	54	65	64
49	47	14	14	14	34	98	94	86	89	88	32	26	26	50	49	50	51	53	55	71	53	105	99	109	123	93	87	80	147	139	133	106	86	74	90	88
50	24	62	79	54	34	120	105	98	100	99	32	45	44	26	26	27	28	29	32	41	30	60	66	72	81	62	58	53	98	92	88	70	57	49	60	59
51	64	39	38	36	25	18	94	86	89	88	23	20	20	66	65	67	68	69	71	92	69	138	152	83	94	142	132	122	113	106	102	81	131	113	138	135
52	35	9	30	10	19	40	88	80	83	82	17	14	14	38	37	38	39	41	43	56	41	83	91	100	113	85	79	73	135	127	122	98	79	68	82	81
53	56	11	12	23	27	48	90	83	85	84	25	23	22	59	58	59	60	62	64	83	62	123	135	60	68	127	118	109	81	76	73	59	117	100	123	120
54	90	83	69	76	98	50	11	4	6	5	95	93	92	92	92	93	94	95	98	127	90	94	96	93	105	90	84	77	126	119	114	91	83	71	87	85
55	37	9	14	11	10	23	101	94	96	95	8	18	17	39	38	40	41	42	44	57	43	86	94	45	51	88	82	75	61	57	55	44	81	70	85	83
56	94	85	69	77	83	8	15	8	10	9	80	78	77	96	95	97	98	99	101	131	98	93	108	90	102	102	94	87	122	115	110	88	93	80	98	96
57	69	47	41	44	25	52	75	68	70	69	23	20	20	71	71	72	73	74	77	99	74	149	86	41	47	81	75	69	56	53	50	40	75	64	78	77
58	28	28	20	35	32	53	86	79	81	80	30	28	27	30	29	31	32	33	35	46	35	69	76	44	50	71	66	61	60	56	54	43	66	56	69	67
59	2	52	43	25	33	86	98	90	92	92	31	29	28	4	3	5	5	7	9	12	9	18	20	37	42	18	17	16	50	47	45	36	17	15	18	17
60	37	35	59	29	37	94	94	86	89	88	35	32	32	39	38	40	41	42	44	57	43	86	94	34	38	88	82	75	46	43	41	33	81	70	85	83
61	29	20	28	2	26	83	94	87	89	89	23	21	20	32	31	32	33	35	37	47	35	71	77	85	96	73	68	62	115	108	104	83	67	57	70	69
62	53	14	12	40	30	53	93	86	88	87	28	26	25	56	55	56	57	59	61	79	59	117	99	109	123	93	87	80	147	139	133	106	86	74	90	88
63	36	11	14	11	26	98	101	94	96	95	24	22	21	38	38	39	40	41	44	56	42	84	92	101	114	87	81	74	137	129	124	99	80	69	84	82
64	34	8	15	11	41	101	93	86	88	87	38	36	35	36	35	37	38	39	41	53	40	80	87	95	108	82	76	70	129	121	117	93	75	65	79	77
65	53	26	10	15	49	75	89	82	84	83	47	44	44	55	54	56	56	58	60	78	59	117	90	99	112	85	79	72	134	126	121	97	78	67	82	80
66	55	42	20	34	34	67	79	71	74	73	32	29	29	57	56	58	59	60	62	80	60	120	107	117	132	100	93	86	159	149	143	115	92	79	97	95
67	101	95	82	33	83	19	18	11	13	12	80	78	77	104	103	104	105	107	109	94	70	140	75	83	93	71	66	60	112	105	101	81	65	56	68	67
68	8	63	46	42	49	90	97	89	84	83	47	44	44	10	9	11	11	13	15	20	14	29	45	50	56	42	39	36	67	63	61	48	39	33	41	40
69	38	41	38	50	32	90	101	94	96	95	30	28	27	40	39	41	41	43	45	59	44	87	83	92	103	78	73	67	124	117	112	90	72	62	76	74

ตารางที่ ข-3 เวลาที่ใช้ในการขนส่ง (นาที) (ต่อ)

บริษัท	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
0	38	35	39	32	59	29	41	44	47	19	45	92	27	47	24	64	35	56	90	37	94	69	28	2	37	29	53	36	34	53	55	101	8	38
1	8	9	2	23	47	76	5	48	9	47	26	83	17	14	62	39	9	11	83	9	85	47	28	52	35	20	14	11	8	26	42	95	63	41
2	40	14	12	26	41	67	11	20	19	56	44	69	14	14	79	38	30	12	69	14	69	41	20	43	59	28	12	14	15	10	20	82	46	38
3	9	8	9	9	35	60	20	10	13	26	29	79	22	14	54	36	10	23	76	11	77	44	35	25	29	2	40	11	11	15	34	33	42	50
4	49	50	33	26	41	42	35	50	12	27	34	75	23	34	34	25	19	27	98	10	83	25	32	33	37	26	30	26	41	49	34	83	49	32
5	35	50	35	143	93	90	45	35	42	26	74	20	105	98	120	18	40	48	50	23	8	52	53	86	94	83	53	98	101	75	67	19	90	90
6	83	94	90	86	87	105	94	86	101	120	75	11	86	94	105	94	88	90	11	101	15	75	86	98	94	94	93	101	93	89	79	18	97	101
7	75	86	83	79	80	98	86	78	93	113	68	4	79	86	98	86	80	83	4	94	8	68	79	90	86	87	86	94	86	82	71	11	89	94
8	77	89	85	81	82	85	89	80	95	115	70	6	81	89	100	89	83	85	6	96	10	70	81	92	89	89	88	96	88	84	74	13	84	96
9	77	88	84	80	81	84	88	80	95	114	69	5	80	88	99	88	82	84	5	95	9	69	80	92	88	89	87	95	87	83	73	12	83	95
10	47	48	31	24	38	40	32	48	10	25	32	73	20	32	32	23	17	25	95	8	80	23	30	31	35	23	28	24	38	47	32	80	47	30
11	44	46	29	22	36	38	30	46	8	23	29	71	18	26	45	20	14	23	93	18	78	20	28	29	32	21	26	22	36	44	29	78	44	28
12	44	45	28	21	35	37	29	45	13	22	29	70	17	26	44	20	14	22	92	17	77	20	27	28	32	20	25	21	35	44	29	77	44	27
13	40	38	41	35	61	31	44	47	49	21	51	96	29	50	26	66	38	59	92	39	96	71	30	4	39	32	56	38	36	55	57	104	10	40
14	39	37	41	34	60	30	43	46	48	20	50	95	29	49	26	65	37	58	92	38	95	71	29	3	38	31	55	38	35	54	56	103	9	39
15	41	38	42	35	62	32	44	47	50	22	52	97	30	50	27	67	38	59	93	40	97	72	31	5	40	32	56	39	37	56	58	104	11	41
16	41	39	43	36	62	32	45	48	50	23	53	98	31	51	28	68	39	60	94	41	98	73	32	5	41	33	57	40	38	56	59	105	11	41
17	43	41	44	38	64	34	47	50	52	24	54	99	32	53	29	69	41	62	95	42	99	74	33	7	42	35	59	41	39	58	60	107	13	43
18	45	43	47	40	66	36	49	52	54	26	56	101	35	55	32	71	43	64	98	44	101	77	35	9	44	37	61	44	41	60	62	109	15	45
19	59	56	61	52	86	47	63	67	70	34	73	131	44	71	41	92	56	83	127	57	131	99	46	12	57	47	79	56	53	78	80	94	20	59
20	44	41	45	38	64	35	47	50	52	25	54	98	33	53	30	69	41	62	90	43	98	74	35	9	43	35	59	42	40	59	60	70	14	44
21	87	83	90	77	128	69	95	99	104	50	108	90	66	105	60	138	83	123	94	86	93	149	69	18	86	71	117	84	80	117	120	140	29	87
22	98	91	99	84	140	76	104	109	113	54	119	98	72	99	66	152	91	135	96	94	108	86	76	20	94	77	99	92	87	90	107	75	45	83
23	107	100	109	92	116	83	113	105	105	60	134	107	79	109	72	83	100	60	93	45	90	41	44	37	34	85	109	101	95	99	117	83	50	92
24	121	113	123	104	131	94	128	119	119	68	151	121	89	123	81	94	113	68	105	51	102	47	50	42	38	96	123	114	108	112	132	93	56	103
25	92	85	93	79	132	71	97	102	106	51	111	92	68	93	62	142	85	127	90	88	102	81	71	18	88	73	93	87	82	85	100	71	42	78
26	85	79	87	73	123	66	90	95	99	47	104	85	63	87	58	132	79	118	84	82	94	75	66	17	82	68	87	81	76	79	93	66	39	73
27	78	73	80	68	113	61	83	87	91	43	95	78	58	80	53	122	73	109	77	75	87	69	61	16	75	62	80	74	70	72	86	60	36	67
28	145	135	147	125	157	113	154	142	142	81	181	145	107	147	98	113	135	81	126	61	122	56	60	50	46	115	147	137	129	134	159	112	67	124
29	137	127	139	118	147	106	144	134	134	76	170	137	100	139	92	106	127	76	119	57	115	53	56	47	43	108	139	129	121	126	149	105	63	117
30	131	122	133	113	141	102	139	128	128	73	163	131	96	133	88	102	122	73	114	55	110	50	54	45	41	104	133	124	117	121	143	101	61	112
31	105	98	106	90	113	81	111	103	103	59	131	105	77	106	70	81	98	59	91	44	88	40	43	36	33	83	106	99	93	97	115	81	48	90
32	84	79	86	73	121	66	90	94	98	47	103	84	62	86	57	131	79	117	83	81	93	75	66	17	81	67	86	80	75	78	92	65	39	72
33	73	68	74	63	104	56	77	81	84	40	88	73	54	74	49	113	68	100	71	70	80	64	56	15	70	57	74	69	65	67	79	56	33	62
34	89	82	90	76	127	69	94	99	103	49	108	89	65	90	60	138	82	123	87	85	98	78	69	18	85	70	90	84	79	82	97	68	41	76
35	87	81	88	75	125	67	92	97	101	48	106	87	64	88	59	135	81	120	85	83	96	77	67	17	83	69	88	82	77	80	95	67	40	74
36	0	83	91	77	129	69	95	100	104	50	109	89	66	91	61	139	83	124	88	86	99	79	69	18	86	71	91	85	80	83	98	69	41	76
37	83	0	92	78	130	70	96	101	105	50	110	90	67	92	61	140	84	125	89	87	100	80	70	18	87	72	92	85	81	83	99	69	42	77
38	91	92	0	79	133	72	98	103	107	51	112	92	68	94	62	143	86	128	91	89	102	82	72	18	89	73	94	87	82	85	101	71	43	79
39	77	78	79	0	112	61	83	87	91	43	95	78	58	79	53	121	73	108	77	75	87	69	61	16	75	62	79	74	70	72	85	60	36	67
40	129	130	133	112	0	57	78	82	85	41	89	73	54	75	50	114	68	102	72	71	81	65	57	15	71	58	75	70	66	68	80	57	34	63
41	69	70	72	61	57	0	55	58	61	29	63	52	39	53	35	81	49	72	51	50	58	46	41	10	50	41	53	49	47	48	57	40	24	45
42	95	96	98	83	78	55	0	10	13	25	29	78	22	13	53	36	10	23	75	10	76	43	35	25	29	25	39	11	10	15	33	33	42	50
43	100	101	103	87	82	58	10	0	15	30	35	94	26	16	64	43	12	28	90	12	92	52	42	29	35	9	47	13	12	18	40	39	50	60
44	104	105	107	91	85	61	13	15	0	36	42	113	31	19	77	51	14	33	108	15	110	62	50	35	42	11	57	16	15	21	48	47	60	72
45	50	50	51	43	41	29	25	30	36	0	50	135	38	23	92	62	17	40	130	18	132	74	60	42	50	49	68	20	18	26	58	56	72	86
46	109	110	112	95	89	63	29	35	42	50	0	125	35	22	86	57	16	37	121	17	123	69	56	40	47	27	63	18	17	24	54	53	67	80
47	89	90	92	78	73	52	78	94	112	135	125	0	114	71	113	90	51	122	14	56	23	37	33	44	79	8	98	59	56	50	44	30	56	72
48	66	67	68	58	54	39	22	26	31	37	35	114	0	24	95	63	17	41	133	19	135	77	62	44	51	26	70	20	19	26	59	58	74	88
49	91	92	94	79	75	53	13	16	19	23	21	71	24	0	89	59	16	38	125	17	127	71	58	41	48	17	65	19	17	25	56	54	69	83
50	61	61	62	53	50	35	53	64	77	92	86	113	95	89	0	62	17	40	130	18	132	74	60	42	50	41	68	20	18	26	58	56	72	86
51	139	140	143	121	114	81	36	43	51	62	57	90	63	59	62	0	20	48	80	22	79	78	72	51	60	47	82	23	22	31	69	68	86	104
52	83	84	86	73	68	49	10	12	14	17	16	51	17	16	17	20	0	54	86	24	143	101	82	57	68	15	92	26	24	35	78	77	97	116
53	124	125	128	108	102	72	23	28	33	40	37	122	41	38	40	48	54	0	64	18	106	74	60	42	50	23	68	20	18	26	58	56	72	86
54	88	89	91	77	72	51	75	90	108	130	121	14	133	125	130	80	86	64	0	77	89	71	62	16	77	63	81	76	71	74	87	62	37	68
55	86	87	89	75	71	50	10	12	15	18	17	55	18	17	18	22	24	18	77	0	98	78	69	18	85	70	90	84	79	82	97	68	41	76
56	99	100	102	87	81	58	76	92	110	132	123	23	135	127	132	79	143	105	88	98	0	77	68	17	83	69	88	82	77	80	95	67	40	74
57	79	80	82	69	65	46	43	52	62	74	69	37	76	72	74	78	100	74	71	78	77	0	30	41	72	8	89	54	50	46	41	27	51	65
58	69	70	72	61	57	41	35	42	50	60	56	33	62	58	60	72	81	60	62	69	67	30	0	40	71	8	88	53	50	45	40	37	51	65
59	18	18	18	16	15	10	25	29	35	42	39	44	43	41	42	51	57	42	16	18	17	40	40	0	15	8	97	59	55	50	44	94	56	71
60	86	87	89	75	71	50	29	35	42	50	47	79	51	48	50	60	68	50	77	85	83	72	71	15	0	10	90	71	66	60	53	90	67	86
61	71	72	73	62	58	41	25	9	11	49	27	8	26	17	41	47	15	23	63	70	69	8	7	8	10	0	68	41	38	35	31	96	39	50
62	91	92	94	79	75	53	39	47	57	68	63	98	70	65	68	82	92	68	81	90	88	89	88	97	90	68	0	41	38	35	31	95	39	50
63	85	85	87	74	70	49	11	13	16	19	18	59	20	19	19	23	26	19	75	84	82	54	53	59	70	41	41	0	18	26	25	83	38	25
64	80	81	82	70	66	47	10	12	15	18	17	56	18	17	18	22	24	18	71	79	77	51	50	55	66	38	38	18	0	32	30	99	45	30
65	83	83	85	72	68	48	15	18	21	26	24	50	26	25	26	31	35	26	74	82	80	46	45	50	60	35	35	26	32	0	33	90	50	33
66	98	99	101	85	80	57	33	40	48	58	54	44	59	56	58	69	78	58	87	97	95	40	40	44	53	31	30	25	30	33	0	86	23	32
67	69	69	71	60	57	40	33	39	47	56	53	30	58	54	56	68	76	56	61	68	67	27	37	94	90	96	95	83	99	90	86	0	29	40
68	41	42	43	36	34	24	42	50	60	72	67	56	74	69	72	86	97	72	37	41	40	51	51	56	67	39	39	38	45	50	23	29	0	34
69	76	77	79	67	63	45	50	60	72	86	80	72	88	83	86	103	116	86	68	76	74	66	65	71	86	50	49	25	30	33	32	40	34	0

ตารางที่ ข-4 ต้นทุนคงที่ และน้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่งแต่ละชนิด

	นน.ที่สามารถบรรทุกได้ (กก.)	ต้นทุนคงที่ (บาท)
รถชนิดที่ 1	12,000	1,300
รถชนิดที่ 2	21,000	2,000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ข้อมูลต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง (บาท/เดือน)

บริษัท	ต้นทุนชิ้นส่วนคงคลังปัจจุบัน
1	1000
2	2400
3	240
4	48
5	144
6	384
7	200
8	960
9	392
10	800
11	1120
12	384
13	1920
14	192
15	400
16	4000
17	96
18	288
19	800
20	1600
21	614.4
22	422.4
23	112
24	112
25	288
26	800
27	576
28	240
29	480
30	96
31	4800
32	208
33	144
34	480
35	720
36	480
37	1152
38	4000
39	1600
40	624
41	720
42	800
43	1040
44	144
45	576
46	224
47	224
48	224
49	504
50	448
51	672
52	124.8
53	576
54	160
55	211.2
56	336
57	280
58	1200
59	96
60	80
61	2000
62	1600
63	1440
64	320
65	144
66	112
67	112
68	800
69	48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ เกิดวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ในปีการศึกษา 2548 และเมื่อปีการศึกษา 2550 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภาคนอกเวลาราชการ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย