การจัดตารางเวลาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา

นาย ภราดร เหลืองวิทิตกูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0967-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

25 ส.ค. 2546
I20470423

VEHICLE SCHEDULING UNDER TIME RESTRICTIONS

Mr. Paradorn Leungvititkoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-0967-6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดตารางเวลาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา
โดย	นาย ภราดร เหลืองวิทิตกูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

.....กรรมการ
(นาย อุดม ว่องขจรกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภราดร เหลืองวิทิตกูล : การจัดตารางเวลาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา. (VEHICLE SCHEDULING UNDER TIME RESTRICTIONS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์, 99 หน้า. ISBN 974-17-0967-6.

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดตารางเวลาการเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งหนึ่งไปยังจุดส่งหลายจุด ด้วยวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงค่าดีที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้จัดส่งสินค้าได้จำนวนเที่ยวมากที่สุด การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถ ใช้วิธีให้พนักงานขับรถกรอกข้อมูลเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของการจัดส่งสินค้า และสัมภาษณ์พนักงานจัดการเดินรถถึงเงื่อนไขในการทำงานและข้อจำกัดต่าง ๆ

การออกแบบแบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถแบ่งโครงสร้างออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) โครงสร้างหลักซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการด้วยวิธีวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm) 2) ส่วนที่รับมือกับข้อจำกัดใช้วิธีจัดการข้อจำกัด (Constraint-Handling Techniques) ซึ่งพิจารณาปริมาณการใช้ทรัพยากรและข้อจำกัดด้านเวลาการเดินรถ และ 3) ส่วนใช้วิธีค้นหาแบบทาบู (Tabu search) เพื่อปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น

แบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถได้ถูกพัฒนาเป็นระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจอันประกอบด้วย 1) ส่วนฐานข้อมูล 2) ส่วนสร้างตารางเวลาการเดินรถ และ 3) ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ระบบ ซึ่งแสดงผลด้วยแผนภูมิแท่ง ในการทดสอบแบบจำลอง ได้นำระบบที่ได้พัฒนาขึ้นไปจัดตารางการเดินรถในสถานการณ์จริง และทำการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการเดินรถด้วยแบบจำลองกับผลการจัดด้วยคน ซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่ แบบจำลองให้ตารางการเดินรถที่ดีกว่าการจัดด้วยพนักงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4270474621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: GOODS DISTRIBUTION / HEURISTIC / VEHICLE SCHEDULING / DSS

PARADORN LEUNGVITITKOON : VEHICLE SCHEDULING UNDER TIME RESTRICTIONS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SOMPONG SIRISOPONSILP, Ph.D., 99 pp. ISBN 974-17-0967-6.

The objective of this study is to develop a computerized vehicle scheduling system for full-truck-load distribution from a single depot to many delivery points. This research is applies heuristic techniques to determine relatively "good" vehicle schedules that maximize the number of completed loads. The required model data are collected by asking truck drivers to record the time consumed in each delivery-related activity and by interviewing truck scheduler about truck bans, operational environment, and other key operating constraints.

The vehicle scheduling model is structured into 3 basic parts. The first part involves the determination of a good scheduling solution using the Evolutionary Algorithm. The second part deals directly with the resource constraints and time-window constraints with the application of the Constraint-Handling Techniques. The last part adopts the Tabu Search to determine improvements over the original solution.

The resulting model is further transformed into a decision support system including 1) a database module, 2) a schedule generation module, and 3) a user interface module with Gantt chart reporting capacity. In validating the model, the developed scheduling system is applied to real-world data and the vehicle schedules generated by the model are compared with those set by the scheduler. The results indicate that the model generally provide better solutions than the exiting manual system.

Department..... Civil Engineering ..... Student's signature..... PARADORN LEUNGVITITKOON .....

Field of study..... Civil Engineering ..... Advisor's signature.....

Academic year ..... 2002 ..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นที่ปรึกษาตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ และคุณ อุดม ว่องขจรกิจ ผู้จัดการฝ่ายพลาธิการ บริษัท มหพันธ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่เข้มแข็งของผู้เขียน ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนสามารถศึกษาและทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณพี่ๆ บริษัท มหพันธ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ จำกัด (มหาชน) ที่โรงงานพุทธมณฑลสาย 5 และสำนักงานใหญ่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทั้งที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งบุคคลอื่นที่ได้มีส่วนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา

คุณความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนต่อท่านผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่
1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย 4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 แนวคิดและทฤษฎีการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน 5
2.2 เทคนิคในการหาคำตอบ 8
2.2.1 วิธีหาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) 8
2.2.2 วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) 10
2.2.3 วิธีผสมผสาน (Hybrid) 19
2.2.4 ข้อเปรียบเทียบของเทคนิคในการหาคำตอบ 20
2.3 การออกแบบระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน 21
2.3.1 ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) 21
2.3.2 ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) 22
2.3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) 23
2.4 ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในต่างประเทศ 26
2.5 ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในประเทศไทย 26
2.6 สรุป 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล
3.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น 30
3.2 การวิเคราะห์และกำหนดปัญหา 35
3.2.1 ทรัพยากร 36
3.2.2 งาน 36
3.2.3 กิจกรรม 36
3.2.4 วัตถุประสงค์ 38
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 39
3.3.1 ข้อมูลลูกค้า 39
3.3.2 ข้อมูลเวลาในการเดินทาง 39
3.3.3 ข้อมูลเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง 40
3.4 สรุป 41
4 การพัฒนาแบบจำลอง
4.1 การออกแบบ Evolutionary Algorithm 44
4.1.1 ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) 44
4.1.2 ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) 44
4.1.3 ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) 50
4.1.4 ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ (Population Size) 51
4.1.5 การกำหนดค่าตั้งต้น (Initialization) 52
4.1.6 กลไกการเลือก (Selection Mechanism) 52
4.2 การออกแบบ Tabu Search 54
4.3 สรุป 58
5 การออกแบบโปรแกรม
5.1 ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) 60
5.2 ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) 61
5.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) 64
5.4 สรุป 66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6 การทดสอบแบบจำลอง
6.1 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) 67
6.2 การทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation) 68
6.2.1 การตรวจสอบแต่ละส่วนของโปรแกรม (Analytical Validation) 68
6.2.2 การตรวจสอบภาพรวมทั้งหมด (Synoptic Validation) 70
6.3 สรุป 74
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7.1 สรุปผลการวิจัย 76
7.2 การทบทวนทฤษฎีการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน 76
7.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล 77
7.4 แบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถ 78
7.5 การออกแบบโปรแกรม 79
7.6 การทดสอบและวิเคราะห์ผล 80
7.7 ข้อเสนอแนะ 81
รายการอ้างอิง 82
ภาคผนวก 85
ประวัติผู้เขียน 99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 ลักษณะของเทคนิคต่างๆ ในการหาคำตอบ 20
3.1 จังหวัดในเขตการให้บริการของแต่ละโรงงาน 31
3.2 ข้อมูลของเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง 41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปภาพที่ หน้า

1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศ 2
2.1 ลักษณะของกิจกรรม (Activities) 5
2.2 รูปแบบต่างๆ ของทรัพยากร 6
2.3 โครงสร้างพื้นฐานของงาน 7
2.4 ขั้นตอนของ Evolutionary Algorithm 12
2.5 ขั้นตอนพื้นฐานของ Constraint-Handling Techniques 16
2.6 Gantt Chart 23
2.7 Dispatching List 24
2.8 Capacity Bucket 25
2.9 Throughput Diagram 25
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และพัฒนาระบบ 28
3.2 ขั้นตอนการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง 34
4.1 กิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละงาน 45
4.2 รูปแบบตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า 46
4.3 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 1 47
4.4 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 2 47
4.5 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 3 47
4.6 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 4 47
4.7 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 5 48
4.8 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 6 48
4.9 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 7 48
4.10 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 8 48
4.11 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 9 49
4.12 การปรับแก้ข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 1, 2, 5 และ 6 49
4.13 การปรับแก้ข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 3, 4, 7, 8 และ 9 49
4.14 การสับเปลี่ยนแบบเลือก 2 ตำแหน่ง 51
4.15 การสับเปลี่ยนแบบเลือก N ตำแหน่ง 51

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปภาพที่ หน้า

4.16 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง 55
4.17 แผนผังการทำงานของการใส่ข้อจำกัดของรถยก 56
4.18 แผนผังการทำงานของการใส่ข้อจำกัดด้านเวลา 57
5.1 ส่วนใส่ข้อมูลทรัพยากร 62
5.2 ส่วนใส่ข้อมูลข้อจำกัดด้านเวลา 62
5.3 ส่วนใส่ตัวแปรในการคำนวณ 62
5.4 ส่วนแสดงข้อมูลนำเข้า 63
5.5 Gantt Chart ของโปรแกรม 64
5.6 รายงานของโปรแกรม 65
5.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 65
6.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถยกกับจำนวนงาน 69
6.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถบรรทุกกับจำนวนงาน 70
6.3 แผนภูมิสัดส่วนของงานที่มีระยะทางต่างๆในแต่ละวันที่จัดได้จริง 72
6.4 แผนภูมิจำนวนงานที่สามารถจัดได้ใน 1 วัน 72
6.5 แผนภูมิจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ 73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

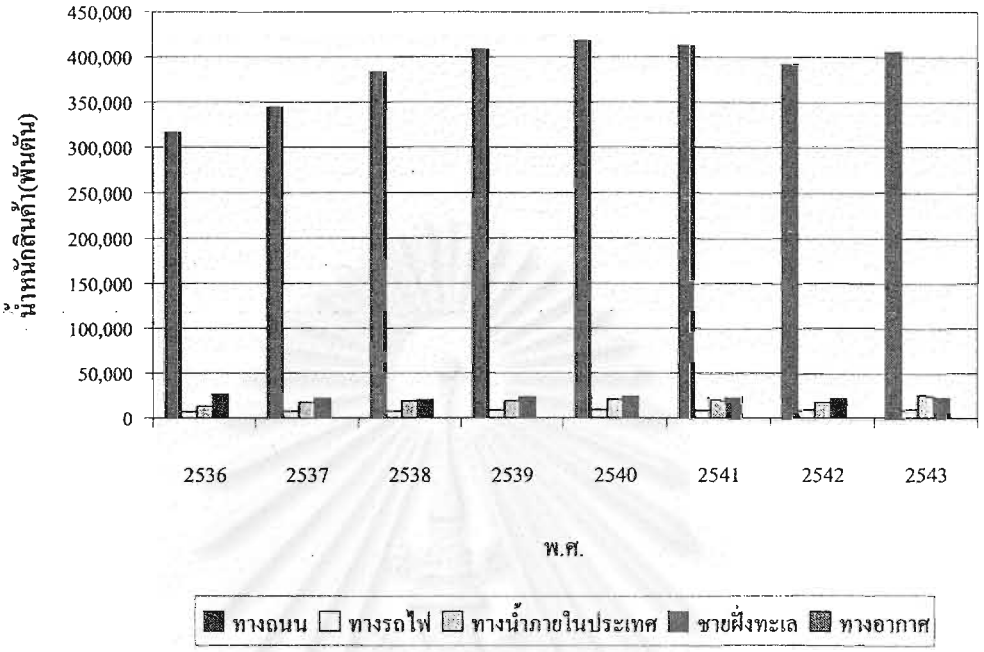
การขนส่งเป็นปัจจัยพื้นฐานอย่างหนึ่งที่เป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยการเคลื่อนย้ายผลผลิตหรือปัจจัยการผลิตจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งซึ่งอยู่ห่างไกลกันออกไปเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค ระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องให้บริการที่สะดวก รวดเร็ว ปลอดภัยและประหยัด ซึ่งในด้านธุรกิจจะทำให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขัน

รูปแบบการขนส่งสินค้าในประเทศไทยที่ได้รับความนิยมมากคือการขนส่งสินค้าโดยรถบรรทุก ซึ่งมีการใช้บริการขนส่งสินค้าคิดโดยน้ำหนักถึงร้อยละ 87.5 ในปี พ.ศ. 2543 (ภาพที่ 1.1) เนื่องจากสามารถขนส่งสินค้าได้ถึงผู้รับปลายทาง ทำการขนส่งทอดเดียว ขั้นตอนในการใช้บริการไม่ยุ่งยาก ทำให้ผู้ใช้บริการได้รับความสะดวกรวดเร็ว ทันต่อความต้องการ อย่างไรก็ดีการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกให้มีประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงทั้งต้นทุนการดำเนินงานและระดับการให้บริการที่ลูกค้าได้รับ

ต้นทุนในการดำเนินการจัดส่งสินค้าเป็นส่วนหนึ่งของราคาสินค้า สัดส่วนจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิ ชนิดสินค้า ที่ตั้งของผู้รับ เป็นต้น ในกรณีที่สัดส่วนค่าขนส่งสูง สินค้าจะได้รับผลกระทบจากค่าขนส่งที่เพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย ซึ่งภาระส่วนนี้จะตกอยู่กับผู้บริโภค เมื่อสินค้ามีราคาสูงขึ้น ลูกค้าอาจซื้อสินค้าน้อยลง ทำให้รายได้ของผู้ประกอบการลดต่ำลง นอกจากราคาสินค้าแล้วความน่าเชื่อถือในการจัดส่งสินค้าก็เป็นสิ่งที่ลูกค้าต้องการ การที่ไม่สามารถจัดส่งได้ภายในช่วงเวลาที่ตกลงไว้กับลูกค้า อาจทำให้ต้องเสียเวลารอจนกว่าลูกค้าจะพร้อมในการรับสินค้า ถูกปฏิเสธที่จะรับสินค้า หรืออาจต้องเสียค่าปรับในการขนส่งครั้งนั้น ดังนั้นการบริหารจัดการขนส่งให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างการบริการที่เชื่อถือได้ให้กับลูกค้า

ถ้าไม่มีการบริหารจัดการที่ดีพอ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าที่ปรับตัวขึ้นลงอยู่ตลอดเวลาย่อมเป็นไปได้ยาก ในการขนส่งสินค้านั้น การเพิ่มปริมาณทรัพยากรต่างๆ เช่น จำนวนรถบรรทุก ให้สนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งหมดไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนและยังไม่สามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน เนื่องมาจากราคาของสินค้าที่เพิ่มขึ้นจากต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้นและการสูญเสียโอกาสในการลงทุนด้านอื่นๆ ทำให้การ

บริหารจัดการเป็นสิ่งที่สำคัญต่อความสามารถในการรักษาระดับการให้บริการที่ดีไว้ได้ และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า



รูปที่ 1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศ
ที่มา : กระทรวงคมนาคม (2543)

ทั้งนี้ขั้นตอนวิธีในการบริหารจัดการขนส่งสินค้าอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ ระดับกลยุทธ์ (Strategic) ระดับยุทธวิธี (Tactical) และระดับปฏิบัติการ (Operational)

- การจัดการระดับกลยุทธ์ ได้แก่ การเลือกที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า การกำหนดจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้
- การจัดการระดับยุทธวิธี ได้แก่ การกำหนดโครงข่ายเส้นทางที่ใช้จัดส่งสินค้า การจัดสรรทรัพยากรต่างๆ
- การจัดการระดับปฏิบัติการ ได้แก่ การจัดเส้นทางและตารางเวลาการเดินรถ การจัดสินค้าให้กับรถบรรทุก

จะเห็นได้ว่างานระดับปฏิบัติการเป็นงานที่ต้องกระทำเป็นประจำทุกวันและมีเวลาในการตัดสินใจจำกัด ซึ่งการจัดตารางเวลาการเดินรถเป็นงานหลักที่มีความสำคัญ เมื่อพิจารณาถึงความซับซ้อนของปัจจัยต่างๆ อาทิ จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ข้อจำกัดของช่วงเวลาที่

อนุญาตให้รถบรรทุกสามารถวิ่งได้ เป็นต้น ความสามารถในการจัดตารางเวลาให้ใช้รถได้อย่างเต็มที่ สามารถส่งได้จำนวนเที่ยวมากขึ้น จึงเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญในการดำเนินธุรกิจ

การจัดตารางเวลาการเดินรถให้สามารถขนส่งสินค้าได้ตามเวลาและสถานที่ ด้วยค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกัน ยิ่งในกรณีที่มีจุดที่ต้องส่งสินค้าหลายจุด ยิ่งทำให้การบริหารจัดการให้สามารถเวียนรถให้เกิดประสิทธิภาพโดยใช้คนวางแผนเป็นเรื่องยากลำบาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบที่จะช่วยสนับสนุนการจัดตารางเวลาการเดินรถ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการศึกษา ดังต่อไปนี้

- เพื่อทบทวนทฤษฎี แนวความคิด และการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางเวลาการเดินรถ
- เพื่อศึกษาลักษณะและกระบวนการในการจัดตารางเวลาการเดินรถและปล่อยรถของผู้ประกอบการอย่างละเอียด จนเกิดความรู้และความเข้าใจเพียงพอที่จะกำหนดแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบงาน
- เพื่อศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดตารางเวลาการเดินรถ
- เพื่อพัฒนาแบบจำลองและทดสอบแบบจำลองก่อนนำมาใช้ภายใต้สถานการณ์จริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการพัฒนาแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้จัดตารางเวลาการเดินรถในการขนส่งสินค้าแบบเต็มคัน (Truck Load, TL) ถึงลูกค้า จากโรงงานของบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่ายวัสดุก่อสร้างซึ่งตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เนื่องจากเป็นการขนส่งแบบเต็มคันที่การขนส่งแต่ละเที่ยวจะเป็นการขนส่งจากโรงงานไปยังจุดส่งเพียงจุดเดียว ทำให้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อแวะส่งหลายจุด

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

ขั้นตอนของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำงานของบริษัทตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษา
- ศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้ศึกษาไว้ในเบื้องต้น
- ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางเวลาการเดินรถ ภายใต้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง และผลงานที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- ออกแบบและพัฒนาแบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถที่สอดคล้องกับสภาพของปัญหาและเงื่อนไขที่เกิดขึ้น
- เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ตามแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น
- ทดสอบการทำงาน ปรับปรุงแบบจำลองและโปรแกรม
- วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้และเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้อยู่จริง
- สรุปผลจากงานวิจัยและเสนอแนะ
- จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

- ทำให้เข้าใจถึงปัญหาในการจัดตารางเวลาการเดินรถของผู้ประกอบการ
- ข้อมูลที่ได้ระหว่างการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงระบบงานขนส่งเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น
- สามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการวางแผนและจัดตารางเวลาการเดินรถได้อย่างเหมาะสม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การทบทวนความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยได้ดำเนินการทบทวนทฤษฎี แนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน (Scheduling) เพื่อรวบรวมข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์แก่การกำหนดแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัย การทบทวนดังกล่าวได้แบ่งแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านั้นออกเป็น 5 กลุ่มคือ

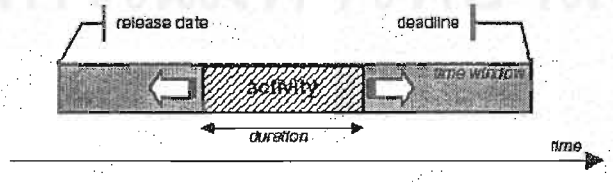
- ทฤษฎีและแนวความคิดที่เป็นพื้นฐานของการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน
- เทคนิคในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน
- แนวคิดในการออกแบบระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน
- ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในต่างประเทศ
- ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในประเทศไทย

2.1 แนวคิดและทฤษฎีการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน

Pinedo (1995) ได้กล่าวไว้ว่าการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน (Scheduling) คือ การจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับงานในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเพื่อให้ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้สูงสุด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการจัดตารางเวลาการดำเนินงานประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ กิจกรรม งาน ทรัพยากร และวัตถุประสงค์ โดยส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กิจกรรม (Activities)

หมายถึง ขั้นตอนหรือการดำเนินการที่ประกอบกันขึ้นเป็นงาน (Tasks) หนึ่งๆ ลักษณะสำคัญของกิจกรรมประกอบไปด้วย ระยะเวลาของกิจกรรม (Duration) และกรอบเวลาของกิจกรรม (Time Window) ซึ่งแสดงขอบเขตของช่วงเวลาที่กิจกรรมนั้นสามารถทำได้ ดังรูปที่ 2.1



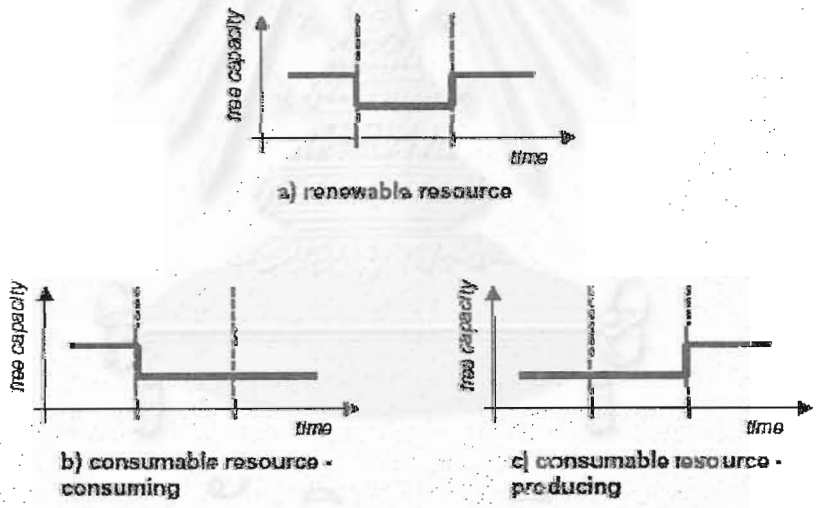
รูปที่ 2.1 ลักษณะของกิจกรรม (Activities)

ที่มา : Bartak และ Rudova (2001)

- ทรัพยากร (Resources)

หมายถึง สิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ทรัพยากรนั้นมีได้หลายรูปแบบ อาจหมายถึง เครื่องจักรในโรงงาน คนงานในสถานที่ก่อสร้าง หน่วยประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือรถบรรทุกสินค้า เป็นต้น โดยอาจจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ทรัพยากรที่สามารถใช้ได้ใหม่ (Renewable Resource) ทรัพยากรแบบนี้เมื่อถูกใช้โดยกิจกรรม จะทำให้ความจุ (Capacity) ลดลง เมื่อกิจกรรมนั้นเสร็จสิ้น ความจุ (Capacity) ก็จะกลับมาสู่สภาพเดิม
2. ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมด (Consumable Resource) เมื่อถูกใช้โดยกิจกรรม ความจุ (Capacity) ของทรัพยากรแบบนี้จะหายไปโดยไม่เพิ่มกลับมาใหม่อีก เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง หรือในกรณีที่กิจกรรมช่วยเพิ่มความจุ (Capacity) เช่น การเติมน้ำมันเชื้อเพลิง ความจุ (Capacity) ของทรัพยากรจะเพิ่มขึ้นเมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมนั้น ดังรูปที่ 2.2



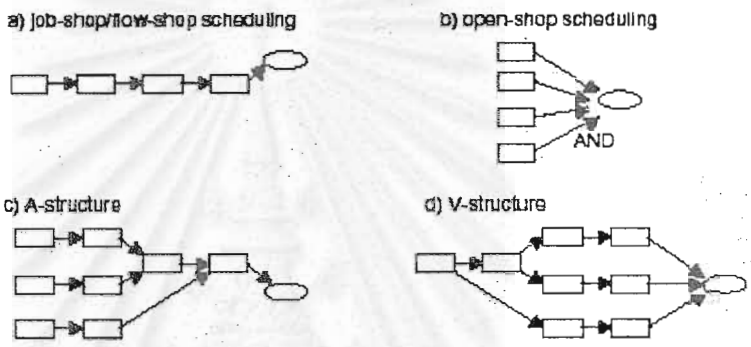
รูปที่ 2.2 รูปแบบต่างๆ ของทรัพยากร

ที่มา : Bartak และ Rudova (2001)

- งาน (Tasks)

งานประกอบไปด้วยกิจกรรมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันตามลักษณะของปัญหา เช่น การดำเนินงานในกระบวนการผลิต ขั้นตอนในโครงการก่อสร้าง การดำเนินการในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การขนส่งสินค้า เป็นต้น โครงสร้างของงานสามารถแบ่งออกตามลักษณะของปัญหาที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ ปัญหาแบบ Job-shop หรือ Flow-shop (รูปที่ 2.3 a) งานจะประกอบด้วยลำดับของกิจกรรมที่ต้องกระทำต่อเนื่องกัน ในขณะที่ปัญหาแบบ Open-shop (รูปที่

2.3 b) จะไม่มีเงื่อนไขของกิจกรรมที่ต้องกระทำก่อน แต่ละกิจกรรมสามารถกระทำพร้อมกันไปได้ ดังนั้นงานจะไม่มีลำดับของแต่ละกิจกรรม นอกจากโครงสร้างพื้นฐานของงานที่ได้กล่าวไป ยังมีกลุ่มของกิจกรรมที่ซับซ้อนขึ้น ประกอบไปด้วยกิจกรรมที่ขนานกันและเรียงลำดับผสมกันอยู่ ได้แก่ รูปแบบ A-structure (รูปที่ 2.3 c) เป็นรูปแบบโครงสร้างของงานที่ใช้แสดงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิ้นหนึ่งจากวัตถุดิบหลายประเภท เช่น ในกรณีของการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น งานในลักษณะนี้หลายกิจกรรมจำเป็นต้องกระทำก่อน รูปแบบ V-structure (รูปที่ 2.3 d) เป็นรูปแบบที่ใช้แสดงกระบวนการซึ่งใช้วัตถุดิบชนิดหนึ่งกับหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ในงานกลั่นปิโตรเลียม เป็นต้น งานรูปแบบนี้หลายกิจกรรมเริ่มต้นจากกิจกรรมหนึ่ง



รูปที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของงาน

ที่มา : Bartak และ Rudova (2001)

- วัตถุประสงค์ (Objectives)

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางเวลาการดำเนินงานอาจแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ 1) วัตถุประสงค์ที่ต้องการหาตารางเวลาการดำเนินงานที่ดีที่สุด (Optimization) เช่น เพื่อให้งานสุดท้ายเสร็จโดยใช้เวลาน้อยที่สุด หรือให้งานที่เสร็จไม่ทันวันที่กำหนดเหลือจำนวนน้อยที่สุด และ 2) วัตถุประสงค์เพื่อหาตารางเวลาการดำเนินงานที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง (Feasibility) ในกรณีที่ดำเนินการภายใต้ข้อจำกัดของงานหรือทรัพยากรที่มีความซับซ้อน

การจัดตารางเวลาการดำเนินงานยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบ Deterministic ที่ทราบปริมาณและลักษณะทั้งของทรัพยากรและของงานแน่นอน กับแบบ Stochastic ซึ่งพิจารณาถึงความไม่แน่นอนต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น เครื่องจักรหรือทรัพยากรขัดข้อง งานเร่งด่วนที่ไม่คาดคิด เป็นต้น โดยนำทฤษฎีความน่าจะเป็นเข้ามาประยุกต์ใช้

2.2 เทคนิคในการหาคำตอบ

เทคนิคในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานมีหลายวิธี โดยทั่วไปที่นิยมใช้กันสามารถจำแนกได้ 2 วิธี คือ วิธีหาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) และวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics)

2.2.1 วิธีหาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization)

การแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด นิยมใช้วิธี Mathematical Programming สำหรับปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานที่แต่ละงานมีเงื่อนไขของเวลาซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดตารางเวลาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาได้ โดยจำลองปัญหาด้วย Integer Programming เป็นสมการคณิตศาสตร์ดังนี้

กำหนดให้

$$x'_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้างาน j เป็นงานลำดับที่ s ที่ดำเนินการด้วยทรัพยากร i} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นกรณีอื่น} \end{cases}$$

$N = \{1, \ldots, n\}$ และ $M = \{i, \ldots, m\}$ เป็นเซตของงาน j และทรัพยากร i ตามลำดับ

ω_j เป็นเวลาเริ่มต้นการดำเนินการของงาน j

$\Gamma(j)$ เป็นเซตของงานที่ต้องกระทำก่อนงาน j

SP เป็นจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาที่งานบางงานสามารถดำเนินการได้

EP เป็นจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่งานบางงานสามารถดำเนินการได้

c_{max} เป็นเวลาที่งานสุดท้ายเสร็จสิ้น (Makespan)

p_{ji} เป็นเวลาดำเนินการของงาน j ด้วยทรัพยากร i

งานในสมการในที่นี้อาจหมายถึงกิจกรรมในการจัดส่งสินค้า ซึ่งมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ข้อจำกัดของช่วงเวลาห้ามรถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมือง ลำดับของงานย่อยที่ต้องกระทำต่อเนื่องกัน เป็นต้น

หาค่าต่ำที่สุดของ c_{max} (2-1)

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{s=1}^{n} x_{jk}^{s} = 1 \qquad \forall j \in N \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{jk}^{1} \leq 1 \qquad \forall k \in M \qquad (2\text{-}3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{jk}^{s} \leq \sum_{j=1}^{n} x_{jk}^{s-1} \qquad \forall k \in M, \forall s = 2,\ldots,n \qquad (2\text{-}4)$$

$$\omega_j = \omega_i + \sum_{k=1}^{m}\sum_{s=1}^{n} p_{ik} x_{ik}^{s} \qquad \forall i \in \Gamma(j),\ \exists j \in N \qquad (2\text{-}5)$$

$$c_{max} \geq \omega_j + \sum_{k=1}^{m}\sum_{s=1}^{n} p_{jk} x_{jk}^{s} \qquad \forall j \in N \qquad (2\text{-}6)$$

$$EP \geq \omega_j + \sum_{k=1}^{m}\sum_{s=1}^{n} p_{jk} x_{jk}^{s} \qquad \exists j \in N \qquad (2\text{-}7)$$

$$\omega_j \geq SP \qquad \exists j \in N \qquad (2\text{-}8)$$

$$x_{ik}^{r} = \sum_{r=s+1}^{n} x_{jk}^{r} = 1 \qquad \forall i \in \Gamma(j),\ \forall j \in N,\ \forall k \in M, \forall s = 1,\ldots,n \qquad (2\text{-}9)$$

$$x_{jk}^{s} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in N, \forall k \in M, \forall s = 1,\ldots,n \qquad (2\text{-}10)$$

$$\omega_j \geq 0 \qquad \forall j \in N \qquad (2\text{-}11)$$

แต่ละสมการมีความหมายดังนี้

- สมการที่ 2-2 เพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละงานถูกกำหนดให้กับทรัพยากรเพียงชิ้นเดียวเท่านั้น
- สมการที่ 2-3 เพื่อให้มีเพียง 1 งานเท่านั้นที่เป็นงานแรกสุด
- สมการที่ 2-4 เพื่อให้แน่ใจว่าถ้ามีงานลำดับที่ s ($s \geq 2$) ถูกดำเนินการด้วยทรัพยากรชิ้นหนึ่ง จะต้องมีงานอื่นถูกดำเนินการเป็นลำดับที่ s-1บนทรัพยากรชิ้นเดียวกัน
- สมการที่ 2-5 กำหนดให้งานบางงานที่มีการกระทำต่อเนื่องกันจะไม่ถูกเริ่มดำเนินการถ้างานที่ต้องดำเนินการก่อนไม่ได้กระทำเสร็จสิ้นแล้ว
- สมการที่ 2-6 หมายถึงเวลาที่งานสุดท้ายเสร็จ (Makespan)
- สมการที่ 2-7 หมายถึงเวลาที่บางงานต้องดำเนินการเสร็จ (Due Date)
- สมการที่ 2-8 หมายถึงเวลาที่งานบางงานต้องเริ่มดำเนินการภายหลัง (Release Date)
- สมการที่ 2-9 เพื่อให้แน่ใจว่างานที่ต้องทำต่อเนื่องกันดำเนินการด้วยทรัพยากรชิ้นเดียวกัน

2.2.2 วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics)

ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานส่วนมากเป็นการยากที่จะกำหนดวิธีการที่แน่นอนในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) และมักใช้เวลานานในการหาผลลัพธ์ วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) จึงถูกนำเข้ามาใช้ แต่ไม่ได้รับประกันว่าวิธีการดังกล่าว จะให้คำตอบซึ่งเป็นผลลัพธ์ดีที่สุด แต่จะให้คำตอบที่ใกล้เคียงผลลัพธ์ดีที่สุด ภายในเวลาวิเคราะห์ที่เหมาะสม ในที่นี้จะได้กล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้กัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ Dispatching Rules, Local Search และ Constraint-Handling Techniques

ก) Dispatching Rules

เป็นวิธีการที่จัดระดับความสำคัญของงานตามเงื่อนไขที่ต้องการ อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Static Rules หมายถึงระดับความสำคัญที่ใช้กับงานไม่เปลี่ยนไปตามเวลา และ Dynamic Rules หมายถึงระดับความสำคัญที่ให้กับงานนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การใช้ Dispatching Rules ขึ้นอยู่กับลักษณะของทรัพยากรและวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีดังต่อไปนี้

- Shortest Processing Time Rule (SPT)

จัดลำดับของงานตามเวลาดำเนินการที่เพิ่มขึ้น เมื่อทรัพยากรว่างงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดจะถูกจัดสรรให้ดำเนินการก่อน วิธีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้งานทั้งหมดเสร็จเร็วที่สุด หรือเวลาที่เสร็จช้ากว่ากำหนดเฉลี่ยของงาน เหลือน้อยที่สุด

- Earliest Due Date Rule (EDD)

จัดลำดับงานโดยเริ่มจัดจากงานที่ถึงกำหนดเวลาต้องเสร็จก่อนไปจนถึงงานที่มีกำหนดเวลาต้องเสร็จช้าที่สุด มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาที่เสร็จช้ากว่ากำหนดมากที่สุดของงานทั้งหมดเหลือน้อยที่สุด

- Weighted Shortest Processing Time Rule (WSPT)

เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของ SPT โดยให้ $p(i)$ และ $w(i)$ เป็นเวลาดำเนินงานและค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งสัมพันธ์กับงานที่ i จะถูกทำ จัดลำดับงานดังนี้

$$\frac{p(1)}{W(1)} \leq \frac{p(2)}{W(2)} \cdots \leq \frac{p(n)}{W(n)}$$

กฎนี้จะใช้เพื่อให้งานทั้งหมด ซึ่งได้มีการกำหนดระดับความสำคัญ (ถ่วงน้ำหนัก) เสร็จสมบูรณ์เร็วที่สุด

- Shortest Setup Time Rule (SST)

เมื่อใดก็ตามที่ทรัพยากรว่าง จะเลือกเอางานที่ใช้เวลาตั้งการดำเนินงานเริ่มต้น (Setup Time) น้อยที่สุดก่อน

- Minimum Slack (MS)

เมื่อทรัพยากรว่าง ขณะเวลา t ใดๆ ความล่าช้า (Slack) ของงาน j คือ ค่าสูงสุดของ d_j-p_j-t เมื่อ d_j และ p_j คือ เวลาที่งาน j ต้องเสร็จ และเวลาในการดำเนินงาน j ตามลำดับ กฎนี้จัดลำดับงานด้วยความล่าช้า (Slack) ต่ำที่สุดก่อนเพื่อให้เวลาที่เสร็จช้ากว่ากำหนดของงานทั้งหมด เหลือน้อยที่สุด

- Longest Processing Time Rule (LPT)

จัดลำดับของงานตามเวลาดำเนินงานที่ลดลง นั่นคือเมื่อใดก็ตามที่ทรัพยากรว่าง งานที่ใช้เวลาดำเนินการมากที่สุดจะถูกเริ่มดำเนินงานก่อน กฎนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้งานสุดท้ายเสร็จเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Minimum Makespan)

จากกฎต่างๆ ที่ได้กล่าวมา กฎ EDD เป็นตัวอย่างของกฎแบบ Static เพราะระดับความสำคัญของงานไม่ได้เปลี่ยนไปตามเวลา ส่วนกฎ MS เป็นกฎแบบ Dynamic เพราะที่เวลา t ต่างกัน ระดับความสำคัญของงานจะเปลี่ยนไป

บางครั้งเมื่อวัตถุประสงค์ของปัญหาซับซ้อนขึ้น กฎเหล่านี้อาจไม่ให้คำตอบที่ดีนัก จึงได้มีการนำกฎต่างๆ มาใช้ร่วมกันเรียกว่า Composite Dispatching Rules ซึ่งเป็นการรวมเอากฎพื้นฐานต่างๆ โดยถ่วงน้ำหนักตามที่ต้องการ มี Scaling Parameter ใช้ในการออกแบบกฎ ซึ่งวิเคราะห์มาจากการจำลอง (Simulation) หรือวิธีการทางสถิติ ตัวอย่างเช่น Apparent Tardiness Cost Rule (ATC) เป็นการรวมกันระหว่างกฎ WSPT และ MS มีวัตถุประสงค์เพื่อให้งานทั้งหมด ซึ่งได้มีการกำหนดระดับความสำคัญ (ถ่วงน้ำหนัก) เสร็จสมบูรณ์เร็วที่สุด โดยให้ค่าลำดับความสำคัญด้วยดัชนี

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} exp\left(-\frac{max\left(d_j - p_j - t, 0\right)}{K\overline{p}} \right) \qquad (2\text{-}12)$$

เมื่อ p_j คือเวลาดำเนินการของงาน j

w_j คือค่าถ่วงน้ำหนักที่ให้กับงาน j

t คือเวลาขณะใดๆ

$\bar{p}$ คือเวลาดำเนินการเฉลี่ยของงานที่เหลืออยู่

K คือ Scaling Parameter หาได้จากการทดลอง

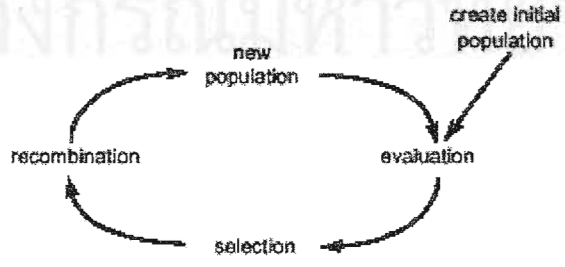
จะเห็นได้ว่าถ้าค่า K มาก อิทธิพลของกฎ WPST จะลดลง กลับกัน ถ้า K มีค่าน้อยอิทธิพลของกฎ MS จะลดลง นั่นคือค่า K สามารถเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาได้

ข) Local Search

Local Search หรือ Neighborhood Search เป็นวิธีการที่ใช้การเปลี่ยนคำตอบของปัญหาที่มีอยู่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความเข้าใจโครงสร้างของปัญหาอย่างลึกซึ้งเหมือนวิธี Mathematical Programming วิธีที่นิยมใช้ในปัญหาการจัดตารางเวลามีอยู่ 3 วิธี คือ Evolutionary Algorithm, Simulated Annealing และ Tabu Search

- Evolutionary Algorithm

Evolutionary Algorithm เป็นวิธีการที่เลียนแบบการวิวัฒนาการ (Evolution) ตามธรรมชาติ หลักการทำงานเริ่มจากเลือกผลลัพธ์เริ่มต้น (Initial Population) ขึ้นมากลุ่มหนึ่ง ซึ่งอาจได้มาจากการสุ่มขึ้นมาหรือใช้วิธีการวิเคราะห์อื่นๆ แล้วส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) จะกำหนดคุณภาพ (Fitness) เพื่อแยกความแตกต่างของกลุ่มผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ จากนั้นจะสุ่มเลือก (Selection) ผลลัพธ์ที่ดีกว่าผลลัพธ์อื่นขึ้นมาคู่หนึ่ง เพื่อเป็นผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) ได้จากการนำบางส่วนของผลลัพธ์ที่ให้กำเนิดทั้งคู่มาผสมกันด้วยวิธีการต่างๆ (Recombination) กระบวนการจะกระทำซ้ำไปจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนของ Evolutionary Algorithm

ที่มา : Tsang (1995)

Evolutionary Algorithm มีขอบเขตในการค้นหาคำตอบมากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากทำงานกับกลุ่มผลลัพธ์ แต่การเลือกผลลัพธ์ในแต่ละรอบจากค่าคุณภาพ (Fitness) ทำให้มีโอกาสที่จะวนอยู่ในค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) ได้

- Simulated Annealing

วิธี Simulated Annealing เริ่มใช้ครั้งแรกในงานด้านวัสดุศาสตร์ (Material Science) เพื่อจำลองอุณหภูมิขณะเข้าสู่สมดุลในการเปลี่ยนสถานะของของแข็ง ภายหลังเริ่มนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา Combinatorial Optimization ขั้นตอนดำเนินการพยายามหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) ด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ถ้ารอบที่ k กระบวนการอยู่ที่ตารางเวลาการดำเนินงาน S_k และตารางเวลาการดำเนินงานที่เป็นไปได้ (Neighborhood Schedule) S_c ถูกพิจารณาเลือกเข้ามา S_c จะยอมรับเป็นตารางเวลาการดำเนินงานในรอบถัดไป ถ้าค่าวัตถุประสงค์ $G(S_c)$ น้อยกว่า (ดีกว่า) ค่าวัตถุประสงค์ของ S_k, $G(S_k)$ แต่ถ้า $G(S_c)$ มีค่ามากกว่า (แย่กว่า) $G(S_k)$ S_c อาจยังคงยอมรับเป็นผลลัพธ์ถัดไปด้วยความน่าจะเป็น

$$P(s_k, s_c) = \exp\left(\frac{G(s_k) - G(s_c)}{\beta_k}\right) \qquad (2\text{-}13)$$

และปฏิเสธด้วยความน่าจะเป็น 1- $P(S_k, S_c)$ โดย

- พารามิเตอร์ $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \ldots \geq 0$ เป็นพารามิเตอร์ควบคุมเรียกว่า Cooling Parameter
- β_k อาจใช้เป็น α^k เมื่อ α เป็นค่าคงที่ซึ่งน้อยกว่า 1 มักมีค่าระหว่าง 0.8-0.99 หรืออาจกำหนดให้ $\beta_{k+1} = \alpha\beta_k$, $\beta_0 = \Delta G_{max}$ เมื่อ ΔG_{max} คือค่าวัตถุประสงค์ที่แตกต่างมากที่สุดระหว่าง 2 ตารางเวลาการดำเนินงานที่เป็นไปได้ (Neighborhood Schedule) ใดๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ k = 1 และเลือก β_1 เลือกตารางเวลาการดำเนินงานเริ่มต้น S_1 ด้วยวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) กำหนดให้ $S_0 = S_1$

ขั้นตอนที่ 2 เลือกตารางเวลาการดำเนินงาน S_c จากกลุ่มของตารางเวลาการดำเนินงานที่เป็นไปได้ (Neighborhood Schedule) ของ S_k

ถ้า $G(S_0) < G(S_c) < G(S_k)$, ให้ $S_{k+1} = S_c$ ไปขั้นตอนที่ 3

ถ้า $G(S_c) < G(S_0)$, ให้ $S_0 = S_{k+1} = S_c$ ไปขั้นตอนที่ 3

ถ้า $G(S_k) < G(S_c)$, สุ่มตัวเลข U_k จากความน่าจะเป็นแบบ Uniform (0,1) ; ถ้า $U_k \leq P(S_k, S_c) = \exp([G(S_k)-G(S_c)]/\beta_K)$ ให้ $S_{k+1} = S_c$ หรือมิฉะนั้นให้ $S_{k+1} = S_k$ ไปขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 เลือก $\beta_{k+1} < \beta_k$ เพิ่ม k อีก 1, ถ้า k = N ให้หยุด หรือมิฉะนั้นไปขั้นตอนที่ 2

เมื่อ

S_k = ผลลัพธ์ปัจจุบัน

S_0 = ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่เคยพบ

S_c = ผลลัพธ์ที่เลือกขึ้นมา

β_k = พารามิเตอร์ควบคุม

$G(S_i)$ = ค่าวัตถุประสงค์

ในกระบวนการจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่แย่กว่าเดิมมีโอกาสเข้ามาเป็นผลลัพธ์รอบต่อไป เพื่อให้สามารถเคลื่อนออกจากค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima)

- Tabu Search

วิธี Local Search ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนคำตอบในแต่ละครั้งเมื่อคำตอบนั้นให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าครั้งก่อน จึงทำให้เกิดข้อเสียอย่างหนึ่งคือการทำซ้ำอาจจะวนกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงข้อด้อยดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาวิธี Tabu Search ขึ้น ขั้นตอนของ Tabu Search เริ่มต้นจากผลลัพธ์ที่ดีชุดหนึ่ง แล้วพยายามหาผลลัพธ์ที่ดีกว่าโดยการสลับเปลี่ยนโครงสร้างผลลัพธ์ การหลีกเลี่ยงการวนกลับเข้าสู่ค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) จะมีการเก็บคำตอบที่เคยเลือกไว้ใน Tabu List ในการตรวจสอบเพื่อจะไม่กลับมาพิจารณาผลลัพธ์เหล่านั้นได้อีก จนกระทั่งถึงจำนวนรอบวนซ้ำ (Iteration) ที่กำหนดไว้ หรือไม่มีผลลัพธ์ที่ดีกว่าในจำนวนรอบวนซ้ำ (Iteration) ค่าหนึ่ง จึงสิ้นสุดการดำเนินการ

ขั้นตอนของ Tabu Search แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดรูปแบบการแสดงผลลัพธ์เพื่อใช้ในกระบวนการ
2. การออกแบบกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood)
3. กระบวนการค้นหาภายในกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood)
4. เงื่อนไขการยอมรับหรือปฏิเสธ

การเลือกรูปแบบการแสดงผลลัพธ์ที่ดีจะทำให้เกิดความสะดวกในการดำเนินงาน และจะมีความสำคัญมากขึ้นสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก

การออกแบบกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้หรือ Neighborhood เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ถ้าออกแบบให้ย้ายไปหาคำตอบที่ดีกว่าหรือออกจากจุดดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) ได้ง่ายกว่า จะทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพ ในเทคนิค Tabu Search ที่นำมาประยุกต์กับปัญหาการจัดตารางเวลามีรูปแบบที่ใช้อยู่ดังต่อไปนี้

1. การสับเปลี่ยนระหว่างคู่ที่ติดกัน (Adjacent Pairwise Interchange) งานหนึ่งจะถูกสับเปลี่ยนกับงานทางด้านซ้ายหรือขวาในตารางเวลาการดำเนินงาน
2. การสับเปลี่ยนคู่งานที่ตำแหน่งใดๆ (Swap) งาน 2 งานใดๆ ในตารางเวลาการดำเนินงานจะถูกสับเปลี่ยน
3. การแทรก (Insert) งานหนึ่งจะถูกนำไปแทรกข้างหน้างานอื่นในตารางเวลาการดำเนินงาน

จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีหากลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) 3 วิธีนี้พบว่าวิธีการแทรกให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการสลับคู่ที่ติดกัน อย่างไรก็ตามรูปแบบที่ใช้การผสมผสานกันระหว่างการสลับคู่และการแทรกมีแนวโน้มที่จะให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีที่กล่าวมาข้างต้น

การค้นหาภายในกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) เพื่อนำผลลัพธ์เข้ามาใหม่และเริ่มทำกระบวนการซ้ำต่อไปนั้น วิธีที่ง่ายที่สุดคือสุ่มขึ้นมาจากกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) ที่มีอยู่ แล้วตัดสินใจว่าจะยอมรับผลลัพธ์ใด หรืออาจจะใช้การค้นหาอย่างมีรูปแบบ เช่น ในกรณีปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน ใช้การพิจารณาคู่ของงานที่มีผลต่อวัตถุประสงค์มากที่สุด

เงื่อนไขการยอมรับหรือปฏิเสธ เป็นขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับขั้นตอนการค้นหาภายในกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) ในวิธี Tabu Search นี้ มีลักษณะที่ตายตัวกว่าวิธี Simulated Annealing การค้นหาภายในกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) จะถูกควบคุมด้วย Tabu List ซึ่งมีจำนวนคงที่ค่าหนึ่ง Lee (1997) ได้กล่าวไว้ว่าอาจมีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 และทุกครั้งที่มีการสับเปลี่ยนเพื่อสร้างกลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) ค่าที่เคยเป็นผลลัพธ์ในครั้งก่อนจะถูกนำมาเก็บไว้ใน Tabu List ผลลัพธ์เก่าที่สุดจะถูกลบออกไป เพื่อใช้ในการตรวจสอบที่จะไม่ให้ค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) ที่เคยผ่านเข้ามาแล้วย้อนมาพิจารณาอีกครั้ง การวนกลับมาหาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) นั้นอาจเกิดขึ้นได้หาก Tabu List มีขนาดเล็กเกินไป ถ้า Tabu List มีขนาดใหญ่เกินไป การค้นหาอาจถูกจำกัด ทำให้ยากที่จะได้คำตอบที่ดี

Pinedo (1995) ได้แนะนำว่าในทางปฏิบัติ มักใช้หลายเทคนิครวมกันในการแก้ปัญหา วิธีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าใช้แก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานได้ดี คือ การผสมระหว่าง Composite Dispatching Rules กับวิธี Simulated Annealing หรือ Tabu Search ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. คำนวณค่าทางสถิติที่จำเป็น
2. หา Scaling Parameter จากค่าสถิติที่ได้จากขั้นตอนแรก เพื่อใช้ใน Composite Dispatching Rules
3. นำตารางเวลาการดำเนินงานที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเป็นคำตอบเริ่มต้นในวิธี Simulated Annealing หรือ Tabu Search

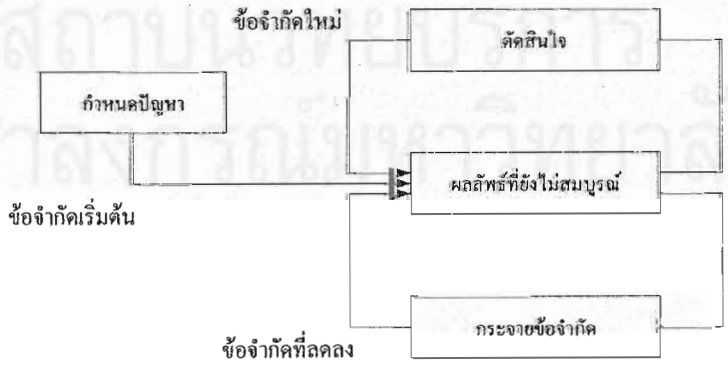
ค) Constraint-Handling Techniques

ปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานในสถานการณ์จริง บางครั้งไม่ได้มีวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานเพียงวัตถุประสงค์เดียว ผลลัพธ์อาจต้องการเพียงตารางเวลาการดำเนินงานที่เป็นไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดหรือกฎต่างๆ วิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือ Constraint-Handling Techniques มีขั้นตอน คือ จะจัดลำดับความสำคัญของงานหรือทรัพยากรตามความสำคัญหรือความยืดหยุ่น งานที่มีความยืดหยุ่นน้อยที่สุดจะมีความสำคัญมากที่สุด

ความยืดหยุ่นของงานหาได้หลายวิธี ในกรณีของความยืดหยุ่นด้านเวลา อาจใช้ช่วงเวลาระหว่างเวลาที่สามารถเริ่มงานได้กับเวลาที่ต้องเสร็จงานเทียบกับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการของงาน ความยืดหยุ่นของทรัพยากรอาจพิจารณาจากจำนวนงานที่สามารถดำเนินการบนทรัพยากรนั้นได้ เมื่อกำหนดงานให้กับทรัพยากรแล้วจะตรวจสอบความเป็นไปได้เพื่อดำเนินการต่อจนเสร็จ

หลักการสำคัญของวิธีนี้คือการกระจายข้อจำกัด (Constraint Propagation) ซึ่งหมายความถึง การกำหนดงานใดให้กับทรัพยากรหนึ่งๆ จะมีผลถึงการกำหนดงานที่เหลือให้กับทรัพยากรอื่น โดยจะชี้ให้เห็นถึงการละเมิดข้อจำกัดและพื้นที่ในการหาคำตอบบางส่วนที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณา

ในบางครั้งเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการในรอบแรก อาจไม่ได้คำตอบที่เป็นไปได้ ต้องดำเนินการต่ออีก อาจใช้วิธีการสลับคู่งานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนพื้นฐานของ Constraint-Handling Techniques

ที่มา : Pinedo (1995)

นอกจากนี้วิธี Constraint-Handling Techniques ยังสามารถนำวิธี Evolutionary Algorithm มาประยุกต์ใช้จัดการกับปัญหาที่ต้องการคำตอบซึ่งไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัดหรือเงื่อนไขได้ โดยใช้ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยงที่สำคัญระหว่างปัญหากับผลลัพธ์ที่ได้ ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) ที่ดีสามารถบ่งบอกถึงคุณลักษณะของผลลัพธ์และยังสามารถจัดการกับผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดได้ ดังนั้นวิธีรับมือกับปัญหาที่มีข้อจำกัดเข้ามาเกี่ยวข้องสามารถออกแบบไว้ในส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) โดยมีประเด็นที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

- การออกแบบส่วนประเมินคุณภาพสำหรับผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ($eval_f$) ค่อนข้างตรงไปตรงมา คือ ให้สามารถประเมินคุณภาพตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่ในบางครั้งก็ไม่จำเป็นจะต้องประเมินคุณภาพออกมาเป็นค่าเฉพาะของแต่ละผลลัพธ์ อาจใช้การประเมินเปรียบเทียบกันแทน
- การออกแบบส่วนประเมินคุณภาพสำหรับผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด ($eval_u$) นิยมใช้วิธีขยายขอบเขตของ $eval_f$ อาจแสดงอยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$eval_u(x) = eval_f(x) \pm Q(x) \qquad (2\text{-}14)$$

เมื่อ $Q(x)$ คือค่าปรับ (Penalty) ของผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด

- กรณีที่ต้องการประเมินทั้งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้และขัดแย้งกับข้อจำกัด อาจพิจารณาใช้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$eval(p) \rightarrow \begin{cases} q_1 \cdot eval_f(p) & if\ p \in f \\ q_2 \cdot eval_u(p) & if\ p \in u \end{cases} \qquad (2\text{-}15)$$

เมื่อ q_1 และ q_2 คือค่าถ่วงน้ำหนัก f และ u คือกลุ่มคำตอบทั้งหมดของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้และขัดแย้งกับข้อจำกัดตามลำดับ วิธีนี้อาจทำให้คำตอบที่ได้ขัดแย้งกับข้อจำกัด เพราะเป็นไปได้ที่ $eval_u$ จะให้ค่าที่ดีกว่า $eval_f$ แต่การให้ค่าคุณภาพของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ดีกว่าผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดเสมอนั้นอาจทำให้การค้นหาคำตอบมีประสิทธิภาพลดลง

วิธีการต่างๆ ที่ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) ใช้จัดการกับปัญหาที่มีข้อจำกัดเข้ามาเกี่ยวข้องมีหลายวิธี ได้แก่

- การปฏิเสธผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด ทำได้โดยใส่ค่าปรับเต็มที่ (Death Penalty) เพื่อกำจัดผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดในทุกขั้นตอน เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมและกระทำได้ง่ายเพราะอย่างน้อยที่สุดก็ไม่จำเป็นต้องออกแบบ $eval_u$ และยังทำให้ได้คำตอบอย่างรวดเร็วกับส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) โดยส่วนใหญ่ เพราะสามารถข้ามพื้นที่ของคำตอบที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดไป แต่วิธีนี้จะใช้การได้ดีเมื่อพื้นที่ของคำตอบทั้งหมดลู่เข้าสู่คำตอบค่าหนึ่งเท่านั้น ในกรณีอื่นนั้นจะทำให้พื้นที่ในการหาคำตอบจำกัดมาก โดยเฉพาะกับปัญหาที่เริ่มต้นด้วยผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด

- การปรับแก้ผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด ใช้การเปลี่ยนผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดให้เป็นผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ อาจใช้แค่เพื่อประเมินคุณภาพหรือแทนกลับไปยังผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดนั้น แสดงได้ดังสมการ

$$eval_u(y) = eval_f(x) \qquad (2\text{-}16)$$

เมื่อ x คือรูปแบบที่ปรับแก้แล้วของผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด y จุดอ่อนของวิธีนี้คือไม่มีขั้นตอนการปรับแก้ที่เป็นมาตราฐาน การออกแบบวิธีปรับแก้มีลักษณะเฉพาะกับแต่ละปัญหา ซึ่งบางครั้งอาจยุ่งยากเท่าๆ กับการแก้ปัญหาโดยตรง

- การใส่ค่าปรับให้กับผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด วิธีการพื้นฐานที่ใช้จัดการกับผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด คือการให้ค่าปรับของความขัดแย้งโดยขยายขอบเขตการประเมินคุณภาพของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ดังสมการ

$$eval_u(x) = eval_f(x) \pm Q(x) \qquad (2\text{-}17)$$

เมื่อ $Q(x)$ คือค่าปรับ (Penalty) ของผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด หรือค่าความยากง่ายในการเปลี่ยนผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดให้เป็นไปได้ $Q(x)$ ควรให้ค่าต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้แต่ต้องไม่ทำให้ค่าคุณภาพของผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดเป็นค่าดีที่สุด สิ่งที่ควรนำมาพิจารณาในการใช้ค่าปรับ (Penalty) ได้แก่ ขนาดและลักษณะพื้นที่ในการหาคำตอบของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้กับผลลัพธ์ทั้งหมด จำนวนและรูปแบบของข้อจำกัด เป็นต้น

- การใช้การแปลงรูปแบบ วิธีนี้โครงสร้างข้อมูลจะไม่ถูกแสดงออกในรูปผลลัพธ์โดยตรง แต่จะแปลงให้อยู่ในรูปที่ใช้สร้างผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ด้วยตัวแปลงรหัส (Decoders) โดยสิ่งที่ต้องเน้นมากเป็นพิเศษ คือตัวแปลงรหัส (Decoders) ต้องแปลงผลลัพธ์แล้วส่งค่ากลับได้ทุกรูปแบบ รวมทั้งต้องสามารถบ่งบอกความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของผลลัพธ์แบบปกติได้ด้วย
- การแยกผลลัพธ์กับข้อจำกัด ได้ถูกนำมาใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยนำเอาส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) และข้อจำกัดรวมไว้ในเวคเตอร์

  $v = (f, f_1, f_2, \ldots, f_m)$ ซึ่งประกอบไปด้วย f หมายถึงส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) และส่วนข้อจำกัดคือ $f_i(x) = 0$ เมื่อ $1 \leq i \leq m$
- การใช้ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) และส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) แบบพิเศษเพื่อให้แต่ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องจัดการกับผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด
- การหาคำตอบเฉพาะผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Constraint Satisfaction Problems) ในบางครั้งที่ปัญหาด้านข้อจำกัดมีความสำคัญมากกว่าการหาค่าดีที่สุด จึงได้มีการเลือกใช้การตรวจหาผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดน้อยที่สุดเป็นการประเมินคุณภาพของผลลัพธ์แทน

2.2.3 วิธีผสมผสาน (Hybrid)

การกำหนดวิธีการให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาเป็นสิ่งจำเป็น และเนื่องจากไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาได้ดีที่สุด การนำหลายๆ วิธีมาผสมผสานกันเพื่อจัดการกับปัญหาจึงเป็นทางเลือกที่ดี จากวิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ได้มีการนำเอาแต่ละวิธีมาใช้ร่วมกันและแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Bufe และคณะ (2001) ได้ใช้วิธี Evolutionary Algorithm ในการสร้างตารางเวลาให้สอดคล้องกับข้อจำกัดที่สำคัญ (Hard Constraints) และ Local Search เพื่อปรับตารางเวลาให้ฝ่าฝืนข้อจำกัดที่ไม่สำคัญนัก (Soft Constraints) ให้น้อยที่สุด ในปัญหาการสร้างตารางเวลาของชั้นเรียน ห้องเรียน และอาจารย์ของโรงเรียนระดับมัธยม และยังได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละวิธีกับการใช้ 2 วิธีร่วมกัน พบว่าการใช้วิธีแบบผสมผสานให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

Grobner และ Wilke (2001) ได้จัดตารางเวลาของคนงาน โดยพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ เช่น จำนวนคนงาน ลักษณะของสัญญาว่าจ้าง ด้วยวิธี Genetic Algorithm ซึ่งใช้ค่าปรับ (Penalty Cost) และการปรับตารางเวลาให้เป็นไปได้ (Repair Operator)

2.2.4 ข้อเปรียบเทียบของเทคนิคในการหาคำตอบ

Tsang (1995) และ Reklaitis (1999) ได้สรุปถึงข้อดี ข้อเสีย และลักษณะเฉพาะของเทคนิคในการแก้ปัญหาแต่ละวิธีไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของเทคนิคต่างๆ ในการหาคำตอบ

วิธีการ	ข้อเปรียบเทียบ
Mathematical Programming	• ปัญหาต้องถูกกำหนดด้วยกลุ่มสมการที่ทำหน้าที่ร่วมกัน • หาค่าดีที่สุด (Optima) แต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน
Dispatching Rules	• ไม่มีความแน่นอนทั้งในการหาคำตอบที่เป็นไปได้และค่าดีที่สุด (Optima) • เวลาในการคำนวณไม่นานมาก โดยเฉพาะกรณีที่ความเป็นไปได้ของคำตอบไม่ใช่สิ่งสำคัญ • ประสิทธิภาพของวิธีการขึ้นอยู่กับความเข้าใจในปัญหาที่พิจารณา
Evolutionary Algorithm	• กรณีที่มีข้อจำกัดมาก ความน่าจะเป็นที่จะพบคำตอบที่เป็นไปได้จะน้อยลง • เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของปัญหาและคุณภาพของคำตอบ • SA และ TS หลีกเลี่ยงการกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima)
Simulated Annealing	
Tabu Search	
Constraint-Handling Techniques	• มุ่งที่จะหาคำตอบที่เป็นไปได้มากกว่าหาค่าดีที่สุด (Optima) • ประสิทธิภาพของวิธีการจะลดลงหากข้อจำกัดมีจำนวนมากขึ้น

จะเห็นได้ว่าแต่ละวิธีมีคุณสมบัติ ประสิทธิภาพ ข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการนำวิธีการต่างๆ มาใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของปัญหา วัตถุประสงค์และรูปแบบการใช้งาน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การออกแบบระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน

การวิเคราะห์และพัฒนาวิธีการสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงานเท่านั้น นอกจากวิธีการวิเคราะห์แล้วยังต้องการตัวระบบให้ผู้จัดตารางเวลาสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง ตัวระบบต้องสามารถรวมเข้ากับระบบข้อมูลขององค์กรได้ ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงานจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและหลีกเลี่ยงไม่ได้

ระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน ประกอบด้วยส่วนสำคัญพื้นฐานอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database)
2. ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation)
3. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) มีหน้าที่ทำให้ข้อมูลมีความเหมาะสมก่อนนำเข้าระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน ตั้งแต่การตรวจสอบความถูกต้อง จัดการข้อมูลให้สอดคล้องกับระบบที่ออกแบบไว้ รวมถึงวิเคราะห์ค่าสถิติและข้อมูลต่างๆ ที่ต้องแสดงให้กับผู้จัดตารางเวลาด้วยส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) เกี่ยวข้องกับสูตรการคำนวณ แบบจำลอง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และกฎต่าง ๆ

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) มีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะในขั้นตอนการประยุกต์ใช้จริง ถ้าปราศจากส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ดี อาจทำให้ใช้ระบบได้ไม่สะดวกและไร้ประสิทธิภาพ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ดีต้องสามารถให้ผู้จัดตารางเวลาแก้ไขและจัดตารางเวลาการดำเนินงานใหม่ได้ตามความจำเป็นและความเหมาะสม รวมทั้งสามารถแสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงนั้น

2.3.1 ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database)

ระบบจัดการฐานข้อมูลมีหน้าที่ใช้งานโดยทั่วไปคือ แก้ไข คัดเลือก และค้นหาข้อมูลที่ต้องการ ข้อมูลที่จำเป็นต่อกระบวนการจัดตารางเวลา อาจจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ฐานข้อมูลหลัก (Master Files) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นประจำ ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวทรัพยากร ข้อมูลสินค้า เป็นต้น
2. ฐานข้อมูลการดำเนินธุรกรรม (Transaction Files) เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เป็นประจำ ได้แก่ รายการคำสั่งซื้อ ปริมาณสินค้าคงคลัง เป็นต้น

2.3.2 ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation)

เทคนิคที่ใช้กันมีอยู่ 2 วิธี คือ Algorithm และ Knowledge-based ซึ่งมักนิยมใช้ควบคู่กันไป

วิธี Algorithm ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์จัดการกับปัญหา ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดต่างๆ อาจแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. Preprocessing วิเคราะห์กรณีปัญหา และรวบรวมค่าทางสถิติต่างๆ
2. Algorithm Structure นำค่าสถิติที่ได้จากส่วนแรกมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) เป็นต้น
3. Postprocessing นำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเข้ากระบวนการวิเคราะห์ต่อ เช่น ใช้วิธี Simulated Annealing หรือ Tabu Search เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้

วิธี Knowledge-based ต่างจาก วิธี Algorithm คือ มักใช้กับโครงสร้างของปัญหาที่ไม่สามารถอธิบายได้ง่ายด้วยวิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ใช้ความรู้และประสบการณ์ของผู้จัดตารางเวลาสร้างเป็นกฎที่ใช้กับระบบ เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ ได้แก่ วิธี Forward Chaining และ Backward Chaining

- Forward Chaining วิเคราะห์ข้อมูลและกฎเพื่อสร้างตารางเวลาการดำเนินงานที่เป็นไปได้
- Backward Chaining เริ่มจากตารางเวลาการดำเนินงานที่คาดไว้ แล้วพยายามตรวจสอบความเป็นไปได้

รูปแบบของ Algorithm จึงเหมาะกับปัญหาที่มีรูปแบบแน่นอน ปริมาณงานมาก ความไม่แน่นอนน้อย ต้องจัดตารางเวลาบ่อยครั้ง แต่ถ้าสภาพของการจัดตารางเวลาเปลี่ยนแปลงไป จะต้องออกแบบระบบใหม่จำนวนมาก ในขณะที่ วิธี Knowledge-based ปรับเปลี่ยนตามสภาพตารางเวลาได้ง่ายกว่า ข้อเสียที่สำคัญของวิธี Knowledge-based คือต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับวิธี Algorithm

2.3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

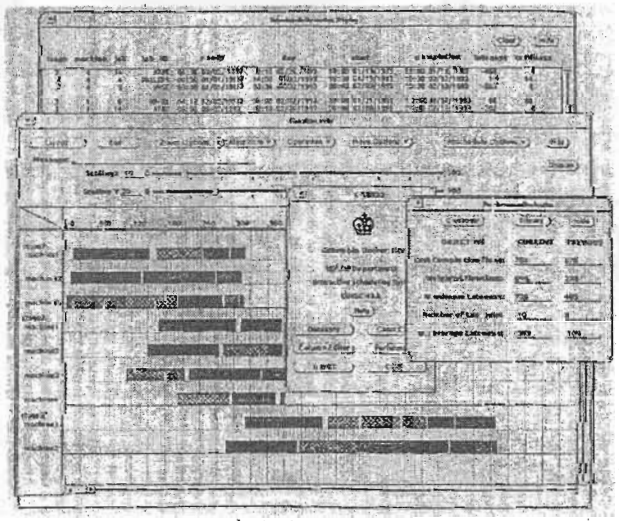
ส่วนติดต่อกับผู้ใช้เป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะผู้จัดตารางเวลาใช้งานบ่อยที่สุด หน้าที่หลักคือ ให้ผู้จัดตารางเวลาเห็นกลุ่มข้อมูลด้วยรูปแบบที่แตกต่างในเวลาเดียวกัน และยังต้องแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์และการคำนวณต่างๆ ภายในส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) เพื่อให้สามารถเลือกกลวิธีที่เหมาะสมหรือแม้กระทั่งเพื่อออกแบบระบบใหม่ ส่วนติดต่อผู้ใช้ที่นิยมกันแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักคือ

1. Gantt Chart
2. Dispatching List
3. Capacity Bucket
4. Throughput Diagram

แต่ละวิธีก็มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจะเลือกนำวิธีใดวิธีหนึ่งมาใช้จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละวิธีว่ามีความเหมาะสมกับปัญหามากน้อยแค่ไหน

1. Gantt Chart

Gantt Chart (รูปที่ 2.6) เป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ใช้แผนภูมิแท่งตามแนวนอน โดยแกนตั้งแสดงทรัพยากรต่างๆ แกนนอนแสดงเวลา สีหรือลวดลายอาจนำมาใช้เพื่อแสดงลักษณะหรือสถานะของงานนั้น Gantt Chart มีความสามารถที่ให้ผู้จัดตารางเวลาเลื่อนเวลาของงานให้เร็วขึ้นหรือช้าลงตามความต้องการ หลังจากนั้นจะปรับตำแหน่งของงานที่เหลือให้อยู่ในความเป็นไปได้ และทำการประมวลผลใหม่เพื่อหาผลลัพธ์จากการปรับเปลี่ยนนั้น



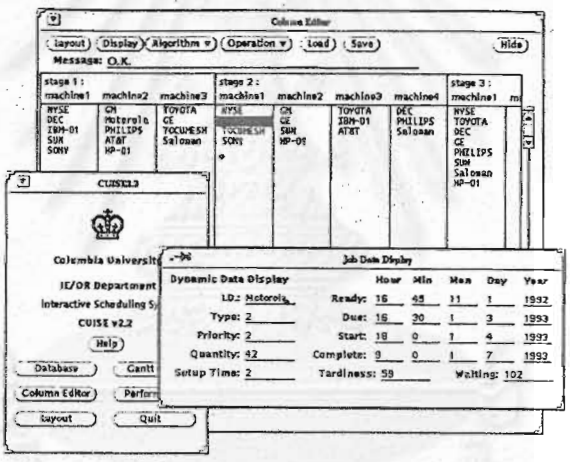
รูปที่ 2.6 Gantt Chart

ที่มา : Pinedo (1995)

ข้อเสียอย่างหนึ่งของวิธีนี้คือในกรณีที่มีปริมาณงานหรือทรัพยากรมาก ยากที่แสดงรายละเอียดของงานบนแท่ง (bar) แสดงความสัมพันธ์ของงานได้ เพราะพื้นที่อันจำกัดของหน้าจอหรือกระดาษ แต่ Gantt Chart อาจถูกออกแบบให้สามารถที่จะแสดงรายละเอียดเมื่อเลือกไปยังงานที่ต้องการ หรือความสามารถแสดงเฉพาะงานที่เลือกไว้

2. Dispatching List

Dispatching List (รูปที่ 2.7) มักใช้เมื่อผู้จัดตารางเวลาต้องการเห็นรายการของงานที่ดำเนินการบนทรัพยากรแต่ละชิ้น อำนวยความสะดวกในการเปลี่ยนลำดับงานหรือแก้ไขความจุ ซึ่งนับเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับ Gantt Chart เพราะงานจะถูกแสดงรายละเอียดที่ต้องการได้ อาจเพิ่มตารางเพื่อแสดงข้อมูลจำเพาะที่ต้องการของงานแต่ละงานได้ ข้อเสียของส่วนติดต่อกับผู้ใช้รูปแบบนี้คือไม่สามารถให้ภาพรวมของตารางเวลาในแง่ของเวลาได้ และมองไม่เห็นงานที่ล่าช้าหรือทรัพยากรที่ว่างอยู่

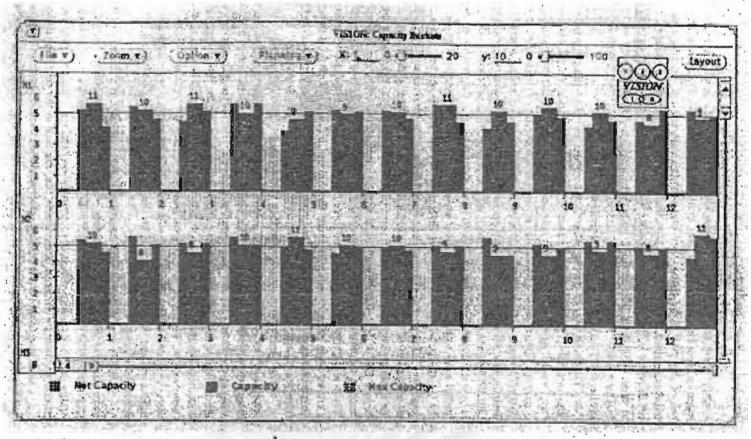


รูปที่ 2.7 Dispatching List

ที่มา : Pinedo (1995)

3. Capacity Bucket

Capacity Bucket (รูปที่ 2.8) แกนของเวลาถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งเรียกว่า ช่องเวลา (Buckets) อาจเป็นวัน สัปดาห์ หรือเดือน แต่ละทรัพยากรจะทราบความจุสำหรับดำเนินงานในช่องเวลา (Buckets) หนึ่ง ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) จะจัดงานให้กับทรัพยากรตามช่องเวลา (Buckets) ซึ่ง Capacity Bucket จะแสดงเป็นสัดส่วนของความจุที่ใช้ของแต่ละทรัพยากรในช่องเวลา (Buckets) Capacity Bucket ต่างจาก Gantt Chart ตรงที่ Gantt Chart นั้นจะแสดงถึงการจัดสรรงานและการจัดสรรความจุเพื่อการวางแผนในระยะสั้น แต่ Capacity Bucket จะให้ประโยชน์กับผู้จัดตารางเวลาในการวางแผนระยะกลางและระยะยาว

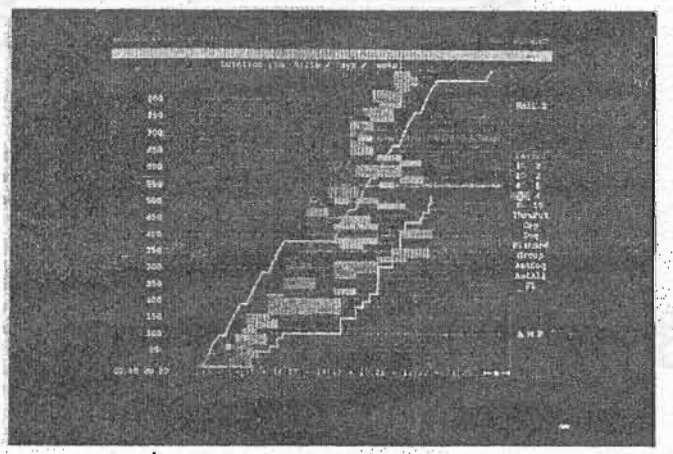


รูปที่ 2.8 Capacity Bucket

ที่มา : Pinedo (1995)

4. Throughput Diagram

Throughput Diagram หรือ Input-output Diagram (รูปที่ 2.9) เหมาะกับระบบการผลิตเพื่อเก็บ (Make to Stock) แผนภูมิแบบนี้จะให้ค่าสะสมของคำสั่งซื้อรวมที่ได้รับต่อเวลา ปริมาณสินค้ารวมที่ผลิตได้ และปริมาณสินค้าที่จัดส่ง ความแตกต่างของคำสั่งซื้อกับปริมาณสินค้าที่ผลิตได้แสดงถึงคำสั่งซื้อที่ต้องรอการผลิต ความแตกต่างระหว่างปริมาณสินค้าที่ผลิตได้กับปริมาณสินค้าที่จัดส่งเท่ากับปริมาณสินค้าคงคลังของสินค้าสำเร็จรูป แผนภูมิแบบนี้ไม่ได้แสดงถึงความล่าช้าของงาน แต่ให้ข้อมูลด้านการใช้ทรัพยากรและงานที่อยู่ในกระบวนการ



รูปที่ 2.9 Throughput Diagram

ที่มา : Pinedo (1995)

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ควรมีความยืดหยุ่นและต้องเชื่อมต่อกับส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) และส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ผู้จัดตารางเวลาสามารถปรับตารางเวลาการดำเนินงานได้ตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป และสร้างตารางเวลาการดำเนินงานใหม่ได้ตามความต้องการ ซึ่งเกิดขึ้นบ่อยครั้งในทางปฏิบัติ

2.4 ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในต่างประเทศ

Shen และ Kwan (2000) ทำการจัดตารางเวลาการดำเนินงานของคนขับรถประจำทางในสหราชอาณาจักรโดยใช้วิธี Tabu Search ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อให้จำนวนงานและค่าจ้างรวมน้อยที่สุด เริ่มสร้างตารางเวลาการดำเนินงานด้วยจำนวนงานต่ำไว้ก่อน แล้วค้นหากลุ่มผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Neighborhood) ด้วย 4 ขั้นตอน คือ Swap Link, Swap Spell, Insert Spell และ Recutting Block ขนาดของ Tabu List ให้เท่ากับจำนวน Link ในตารางเวลาการดำเนินงานปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธี Branch and Bound และวิธี Genetic Algorithm พบว่าแตกต่างกันเพียง เล็กน้อย

Weintraub (1996) ได้พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางการตัดสินใจโดยใช้การจำลองสภาพจริง (Simulation) จาก Heuristics Rules เพื่อใช้ในการจัดตารางเวลาการเดินรถบรรทุกขนส่งไม้ ซึ่งแต่เดิมใช้วิธีการจับคู่ต้นทางปลายทางแล้วจัดกลุ่มให้กับคนขับรถไปตัดสินใจเอง การขนไม้ขึ้นรถแต่ละครั้งจะใช้เครนยกไม้ขึ้นรถ แบบจำลองใช้กฎที่ได้จากการทดสอบปัญหาจริงในหลายบริษัทเป็นเวลา 1 ปี จนสามารถสรุปเป็นกฎนำไปใช้ งานจะถูกกำหนดระดับความสำคัญด้วยค่าใช้จ่าย ซึ่งประกอบด้วยค่าน้ำมัน ค่าดูแลรักษารถ ค่าจ้างคนขับรถ เป็นต้น และความล่าช้า ซึ่งประมาณจากความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกจะใช้เครนพร้อมกัน รถบรรทุกคันอื่นที่หาได้ และเที่ยวงานที่มีเส้นทางขัดแย้งกัน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมได้ร้อยละ 18-26 ใช้จำนวนรถบรรทุกน้อยลง อัตราการเข้ามาใช้เครนของคนขับสม่ำเสมอขึ้น ทำให้สามารถใช้เครนได้เต็มประสิทธิภาพ และยังให้ผลดีทางอ้อมต่อสุขภาพของคนขับที่ไม่ต้องเสียเวลาโดยไม่จำเป็น

2.5 ตัวอย่างการจัดตารางเวลาการเดินรถในประเทศไทย

Suchada (1992) ได้ทำการศึกษาการจัดตารางเวลาการเดินรถขนส่งน้ำมัน จากคลังแห่งหนึ่งไปยังสถานีบริการต่างๆ ที่อยู่ในเขตกรุงเทพ ฯ และปริมณฑล ด้วยรถ 2 ชนิดคือ รถพ่วงและรถบรรทุก ได้แบ่งช่วงเวลาในการจัดส่งออกเป็น 6 ช่วงตามข้อจำกัดด้านเวลาการอนุญาตให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมืองและช่วงเวลาที่สถานีบริการยอมรับ เพื่อความสะดวกในการจัดส่งน้ำมัน

ให้กับสถานีบริการซึ่งมีทั้งที่สามารถนำรถพ่วงเข้าไปได้และไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับรถพ่วง แบบจำลองที่ใช้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การจับคู่ 2 สถานีบริการที่อยู่ในเส้นทางใกล้กัน เพื่อให้ประหยัดค่าขนส่ง ด้วยวิธี Greedy Algorithm และ Temporary Prohibition และการจัดตารางเวลาการเดินทางให้กับรถขนส่ง ซึ่งใช้วิธีการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) วัตถุประสงค์ของแบบจำลองคือเพื่อใช้เวลาการขนส่งให้น้อยที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยสามารถช่วยให้การจัดตารางเวลาการเดินรถมีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่าย

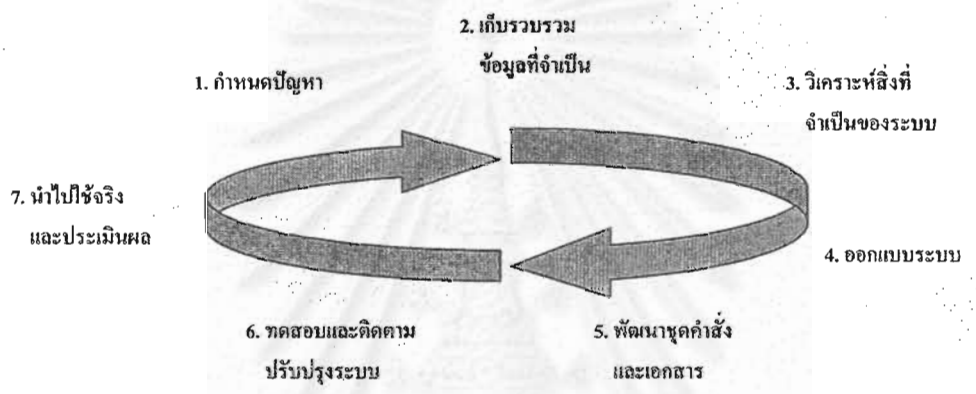
2.6 สรุป

จากการทบทวนแนวคิดและผลงานที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อมูลสำคัญที่ใช้เป็นแนวทางในการวิจัยได้ ดังนี้

- เนื่องจากจำนวนงานและจำนวนรถมีปริมาณมาก ทำให้ปัญหามีขนาดใหญ่ อีกทั้งการจัดตารางเวลาของการเดินรถเป็นงานที่ต้องกระทำทุกวัน ดังนั้นวิธีหาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) จึงยุ่งยากและใช้เวลาในการหาคำตอบนาน วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) จึงมีความเหมาะสมกว่า
- วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) แบบ Evolutionary Algorithm มีความยืดหยุ่นและมีโครงสร้างที่เข้าใจง่าย อีกทั้งยังสามารถประยุกต์เอาวิธี Constraint-Handling Techniques มาใช้ประกอบการวิเคราะห์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของปัญหาในงานวิจัยนี้ที่ต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ และเพื่อป้องกันการวนกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optima) หลักการของ Tabu Search จึงสมควรที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ด้วย
- การวิจัยนี้ควรพัฒนาการจัดตารางเวลาการเดินรถด้วยระบบคอมพิวเตอร์เนื่องจากขนาดและความซับซ้อนของปัญหามีมาก
- การออกแบบระบบการจัดตารางเวลาการดำเนินงานในส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) พบว่าเทคนิคแบบ Algorithm เหมาะกับปัญหาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีรูปแบบการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างแน่นอน ปริมาณงานมาก ต้องจัด ตารางเวลาของการเดินรถเป็นประจำ
- Gantt Chart เป็นการแสดงผลที่เหมาะสมกับปัญหา เพราะเกี่ยวข้องกับเวลาเป็นหลัก และไม่จำเป็นต้องแสดงรายละเอียดของแต่ละงานมากนัก

บทที่ 3
การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการและพัฒนาระบบการจัดตารางเวลาประกอบด้วยหลายขั้นตอน Kendall (1999) ได้แบ่งวงจรการพัฒนาระบบออกเป็น 7 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนไม่ได้แยกจากกันอย่างเด็ดขาด อาจดำเนินการไปพร้อมๆ กันได้ มีดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และพัฒนาระบบ

ที่มา : Kendall (1999)

1. กำหนดปัญหา

ขั้นตอนแรกของวงจรการพัฒนาระบบ เป็นการศึกษาสภาพแวดล้อมของระบบเพื่อพิจารณาถึงปัญหาตลอดจนมองหาโอกาสที่จะพัฒนาและความเป็นไปได้ที่จะนำเอาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมาช่วยในการดำเนินงาน ถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จในการพัฒนาระบบ และไม่มีใครต้องการเสียเวลาเพราะระบุปัญหาผิด หลังจากนั้นจึงกำหนดวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบหรือแบบจำลอง แล้วจึงทำการสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในระดับการจัดการ รวบรวมข้อมูลและความรู้ต่างๆ ที่จำเป็นมาประมาณขอบเขตในการพัฒนาระบบเพื่อตัดสินใจว่าควรจะดำเนินการหรือไม่และด้วยวิธีใด

2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น

ขั้นตอนต่อมาเป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนาระบบ เพื่อให้ทราบรายละเอียดของระบบที่ใช้อยู่ ตั้งแต่ผู้เกี่ยวข้องในระดับต่างๆ กิจกรรมและกระบวนงานที่เกิดขึ้น จังหวะเวลาของแต่ละกิจกรรม สภาพแวดล้อมในการทำงาน รวมถึงเหตุผลที่ใช้ระบบปัจจุบันอยู่เพื่อประกอบการพิจารณาในการออกแบบระบบใหม่ วิธีต่างๆ ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การสำรวจและสุ่มเก็บตัวอย่าง สัมภาษณ์ ให้ตอบแบบสอบถาม เป็นต้น

3. วิเคราะห์สิ่งที่จำเป็นของระบบ

เป็นการเตรียมโครงสร้างของระบบเบื้องต้น วิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ ประเมินและตัดสินใจโดยใช้เงื่อนไขต่างๆ มาพิจารณา นำเสนอแนวทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากแต่ละระบบมีลักษณะเฉพาะตัว จึงไม่มีวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมเพียงวิธีการเดียว วิธีการจะถูกปรับเปลี่ยนตามคุณภาพที่ต้องการและประสบการณ์ของนักวิเคราะห์

4. ออกแบบระบบ

ใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาออกแบบระบบตั้งแต่ ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้ามาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลนำเข้า การออกแบบฐานข้อมูลเพื่อเก็บรวมรวบและจัดการข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดสินใจ กระบวนการวิเคราะห์ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งต้องออกแบบร่วมกับผู้ใช้ รวมไปถึงการสำรองข้อมูล ขั้นตอนและรายละเอียดในการออกแบบเพื่อป้องกันระบบ

5. พัฒนาชุดคำสั่งและเอกสาร

ผู้พัฒนาระบบทำงานร่วมกับผู้ใช้เพื่อออกแบบระบบและเขียนชุดคำสั่ง รวมทั้งเอกสารและคู่มือ เพื่อบอกวิธีการใช้งานโปรแกรมและสิ่งที่ต้องกระทำเมื่อโปรแกรมเกิดปัญหาการตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆ และปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

6. ทดสอบและติดตามปรับปรุงระบบ

ก่อนที่ระบบจะถูกนำมาใช้จะต้องมีการทดสอบก่อน ซึ่งเป็นการง่ายกว่าที่จะแก้ปัญหาหลังจากระบบถูกใช้โดยผู้ใช้แล้ว โดยการนำข้อมูลที่สำรวจและเก็บรวมรวบจากระบบปัจจุบัน มาทดสอบการใช้งาน จัดการกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและปรับเปลี่ยนแก้ไขระบบให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน

ตารางที่ 3.1 จังหวัดในเขตการให้บริการของแต่ละโรงงาน

โรงงาน	เขต	จังหวัดที่อยู่ในเขตการให้บริการ
ลาดหลุมแก้ว ปทุมธานี (กระเบื้องคอนกรีต)	1 วัน	กรุงเทพฯ สมุทรปราการ ชลบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ราชบุรี เพชรบุรี นครปฐม กาญจนบุรี (ยกเว้น สังขละบุรี ไม่ลง) สุพรรณบุรี นนทบุรี ปทุมธานี นครนายก ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี อยุธยา สระบุรี ลพบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท อุทัยธานี
	3 วัน	ประจวบคีรีขันธ์ ระยอง จันทบุรี ตราด สระแก้ว เพชรบูรณ์ ชัยภูมิ ขอนแก่น นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ นครสวรรค์ กำแพงเพชร พิจิตร สุโขทัย พิษณุโลก
พุทธมณฑลสาย 5 นครปฐม (กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์)	1 วัน	กรุงเทพฯ สมุทรปราการ ชลบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ราชบุรี เพชรบุรี นครปฐม กาญจนบุรี (ยกเว้น สังขละบุรี ไม่ลง) สุพรรณบุรี นนทบุรี ปทุมธานี นครนายก ฉะเชิงเทรา อยุธยา สระบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท
	3 วัน	ประจวบคีรีขันธ์ ระยอง จันทบุรี ตราด สระแก้ว เพชรบูรณ์ ชัยภูมิ ขอนแก่น นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ นครสวรรค์ กำแพงเพชร พิจิตร สุโขทัย พิษณุโลก ลพบุรี ปราจีนบุรี อุทัยธานี
พัฒนานิคม ลพบุรี (กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์)	1 วัน	ลพบุรี สระบุรี อยุธยา นครนายก ปราจีนบุรี ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพฯ สมุทรปราการ นครปฐม สุพรรณบุรี อ่างทอง สิงห์บุรี ชัยนาท อุทัยธานี นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ นครราชสีมา สมุทรสาคร
	3 วัน	ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด สระแก้ว ชัยภูมิ ขอนแก่น บุรีรัมย์ สุรินทร์ กำแพงเพชร พิจิตร สุโขทัย พิษณุโลก สมุทรสงคราม ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี (ยกเว้น สังขละบุรี ไม่ลง)
นาบอน นครศรีธรรมราช (กระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์)	1 วัน	นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ตรัง พัทลุง สงขลา
	3 วัน	ระนอง ชุมพร กระบี่ พังงา ภูเก็ต สตูล ยะลา นราธิวาส ปัตตานี

ในการขนส่งสินค้าของโรงงานแต่ละแห่งจะแบ่งนโยบายการให้บริการออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ลูกค้าที่มีตำแหน่งอยู่ภายในรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้า จะส่งให้ภายใน 1 วัน
2. ลูกค้าที่มีตำแหน่งอยู่นอกรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้า จะส่งให้ภายใน 3 วัน

รถบรรทุกหลักที่ใช้ในการขนส่งมากที่สุด มีอยู่ 2 ประเภท คือ รถบรรทุก 6 ล้อ และ รถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งจะมีการกำหนดน้ำหนักสินค้าขั้นต่ำในการส่งแต่ละครั้ง คือ 6.5 ตัน และ 13 ตัน ตามลำดับ กรณีที่สั่งสินค้าไม่ถึงน้ำหนักขั้นต่ำก็จะจัดส่งให้ด้วยค่าบริการในอัตราขั้นต่ำ ต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก 6 ล้อสูงกว่ารถบรรทุก 10 ล้ออยู่ประมาณร้อยละ 10

ผู้ประกอบการขนส่งรถบรรทุกที่ทางบริษัทได้ว่าจ้างมี 2 ประเภท คือ

1. ขนส่งขาเดียว คือ รถจะมาประจำที่ศูนย์กระจายสินค้าพร้อมที่จะขนส่ง เมื่อทำการขนส่งเสร็จ เที่ยวกลับจะเดินรถเปล่ากลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า
2. ขนส่ง 2 ขา คือ ผู้ประกอบการจะรับสินค้าอื่นมาส่งในเที่ยวรถเปล่าด้วย จึงมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแบบขนส่งขาเดียว

กระบวนการในการจัดคำสั่งซื้อให้กับรถบรรทุกจะทำกันในช่วงเย็นเพื่อพร้อมที่จะส่งในเช้าวันรุ่งขึ้น สำหรับลูกค้าที่ตั้งอยู่ภายในรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้าที่พุทธมณฑลสาย 5 ซึ่งเป็นเป้าหมายของการศึกษาครั้งนี้ มีประมาณร้อยละ 30-35 จำเป็นต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดในการอนุญาตให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมืองด้วย โดยจะให้ความสำคัญในการส่งสินค้าให้ถึงมือลูกค้าให้ทันและเร็วที่สุดเป็นหลัก จนทำให้ในบางครั้งอาจเสียโอกาสในการกลับมาส่งสินค้าเที่ยวต่อไป เนื่องจากต้องจอดคอยจนกว่าจะผ่านช่วงเวลาที่ไม่อนุญาตให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมือง

โดยปกติการส่งสินค้าจะดำเนินการระหว่างเวลา 8.00-17.00 นาฬิกา โดยส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่อยู่ภายในรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้าก่อน เมื่อทำการส่งสินค้าเสร็จจะกลับมาถึงศูนย์กระจายสินค้าก่อนช่วงเวลาที่ไม่อนุญาตให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมือง เพื่อใช้เวลาช่วงนั้นทำการจัดสินค้าขึ้นรถ ก่อนที่จะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่อยู่ภายนอกรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้าในช่วงเย็น

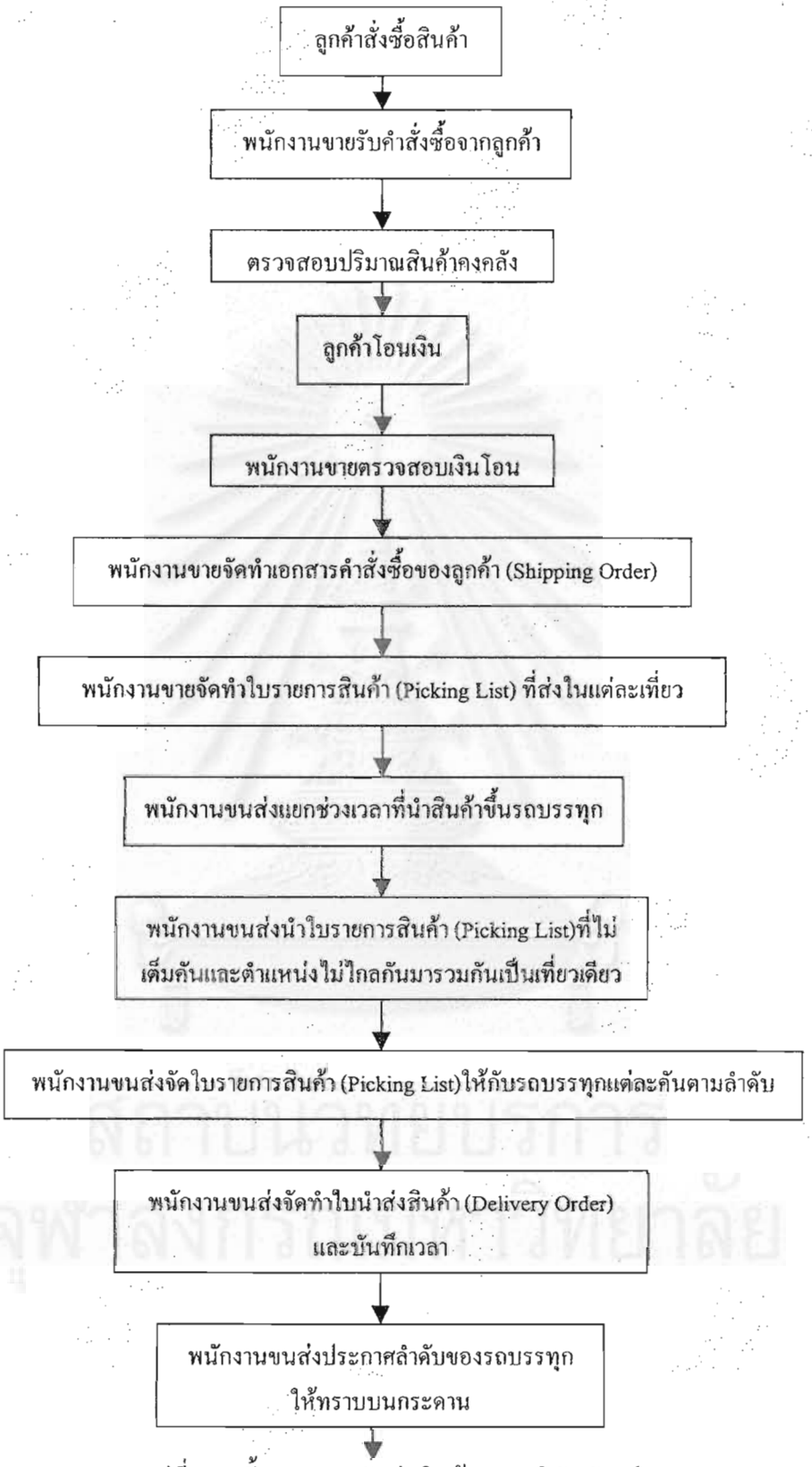
ขั้นตอนการจัดส่งสินค้าจะเริ่มต้นจากลูกค้าแจ้งความประสงค์ที่จะสั่งซื้อสินค้า โดยพนักงานขายจะตรวจสอบปริมาณและชนิดสินค้าที่สั่งว่ามีพอหรือไม่ กรณีที่ลูกค้าใช้วิธี

โทรศัพท์มาหรือไม่ได้มาสั่งซื้อด้วยตัวเอง พนักงานจะทำการตรวจสอบการชำระเงินที่โอนให้บริษัทก่อนจะทำการจัดทำเอกสารคำสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า (Shipping Order) หลังจากนั้นจะจัดทำใบรายการสินค้า (Picking List) ซึ่งแสดงรายละเอียดต่างๆ ได้แก่ จุดที่ทำการจัดส่งหรือโรงงาน ชื่อและที่อยู่ของลูกค้า วันที่ออกเอกสาร ลูกค้านำรถบรรทุกมารับสินค้าเองหรือใช้บริการจัดส่งของทางบริษัท รหัสสินค้า ชื่อสินค้า ราคาสินค้า และน้ำหนักสินค้า กรณีที่ปริมาณสินค้ามีจำนวนมากจะแบ่งการจัดส่งสินค้าออกเป็นหลายเที่ยวตามน้ำหนักที่สามารถจัดส่งได้ในแต่ละครั้ง แล้วนำใบรายการสินค้า ส่งให้กับฝ่ายขนส่งเพื่อดำเนินการจัดส่งต่อไป

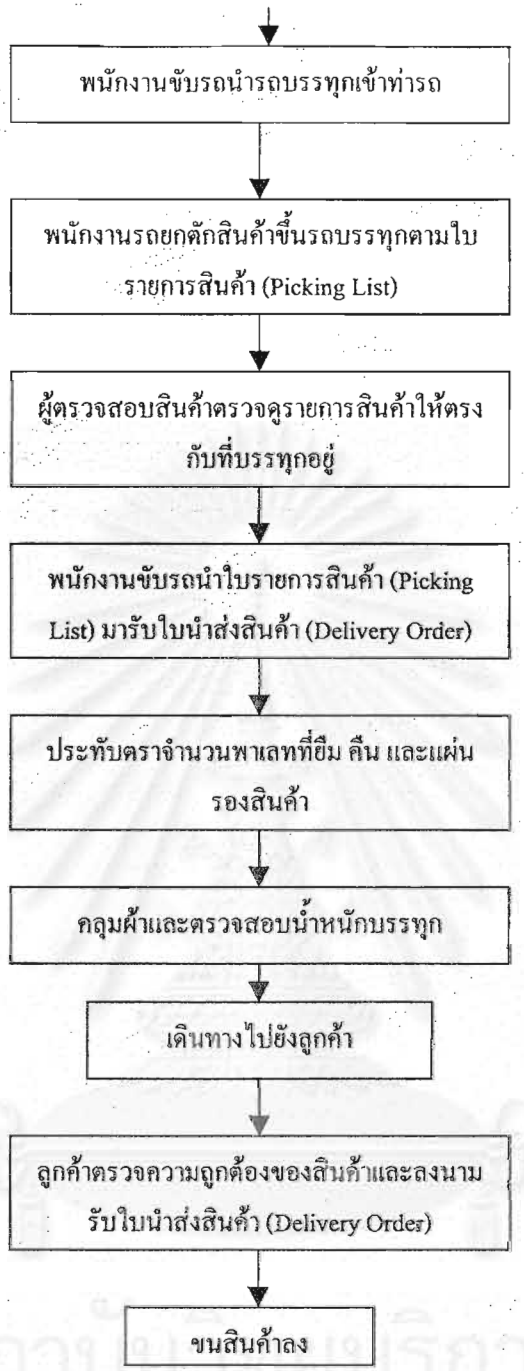
เมื่อฝ่ายขนส่งรับใบรายการสินค้ามา จะแบ่งช่วงเวลาในการนำสินค้าขึ้นรถบรรทุกออกเป็น 4 ช่วง คือ เวลา 8:00-9:00 น., 9:00-11:00 น., 12:00-14:00 น. และ 15:00-17:00 น. โดยลูกค้าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ช่วงรับมอบสินค้าภายใน 1 วัน จะถูกจัดไว้ก่อนใน 3 ช่วงเวลาแรก ลูกค้าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ช่วงรับมอบสินค้าภายใน 3 วัน จะถูกจัดอยู่ในช่วงเวลาส่วนที่เหลือ (สำหรับรายชื่อเขตที่ถูกกำหนดให้จัดในแต่ละช่วงเวลาจะแสดงในภาคผนวก) จากนั้นจะนำใบรายการสินค้าที่มีปริมาณสินค้าไม่เต็มคันและตำแหน่งที่จัดส่งอยู่ไม่ห่างกันมากมารวมจัดส่งไว้ในเที่ยวเดียวกัน ใบรายการสินค้าที่ถูกจัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะจัดให้กับรถบรรทุกตามลำดับก่อนหลัง โดยจะแสดงลำดับในการนำรถบรรทุกมาจอดที่ท่ารถเพื่อทำการขนสินค้าขึ้นบนกระดาน

หลังจากนำรถบรรทุกเข้าท่ารถเรียบร้อยแล้ว ผู้ตรวจสอบสินค้าจะนำใบรายการสินค้าไปเพื่อคอยตรวจสอบความถูกต้องขณะที่รถยกตักสินค้าขึ้นรถบรรทุก ขณะเดียวกันพนักงานฝ่ายขนส่งจะจัดทำใบนำส่งสินค้า (Deliver Order) ซึ่งแสดงรายละเอียดต่างๆ เช่นเดียวกับใบรายการสินค้า (Picking List) โดยมี 3 ชุด สำหรับฝ่ายบริการลูกค้า ฝ่ายขนส่ง และลูกค้า เพื่อเป็นหลักฐานในการติดต่อธุรกรรม นอกจากนั้นใบนำส่งสินค้ายังแสดงจำนวนพาเลทที่ยืมมาและนำส่งคืนกับทางบริษัทในรถเที่ยวกลับ รวมทั้งแผ่นรองกันสินค้าเสียหาย เพื่อป้องกันการสูญหาย เมื่อคลุมผ้าใบกันสินค้าตกหล่นเรียบร้อยแล้วจะไปชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งก่อนที่จะเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งนี้ขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 (ต่อ) ขั้นตอนการจัดส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง

3.2 การวิเคราะห์และกำหนดปัญหา

การศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานสามารถแบ่งองค์ประกอบของปัญหาได้ดังนี้

I20470423

3.2.1 ทรัพยากร

ทรัพยากรหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการจัดตารางเวลาการเดินรถที่ศูนย์กระจายสินค้าพุทธมณฑลสาย 5 ได้แก่ รถบรรทุก และรถยก มีรายละเอียดดังนี้

- รถบรรทุก มีเวลาเข้าโรงงาน เพื่อรับสินค้าไปส่งไม่พร้อมกันทุกคัน เนื่องจากบางคันไปส่งสินค้าข้ามวันสำหรับลูกค้าที่อยู่ไกล มีรถบรรทุกอยู่ 6 ประเภท คือ รถบรรทุก 4 ล้อขนาดเล็ก รถบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุกพ่วงคู่ และรถบรรทุกพ่วงเดี่ยว การศึกษานี้เลือกพิจารณารถบรรทุก 6 ล้อ ซึ่งเป็นแบบที่ใช้มากที่สุด รถบรรทุก 6 ล้อมีประมาณ 40 คันส่วนใหญ่จะใช้จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล เนื่องจากมีความคล่องตัวกว่า รถบรรทุก 10 ล้อมีประมาณ 10 คัน จะใช้จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างจังหวัดเพื่อให้คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการจัดส่ง รถบรรทุกชนิดอื่นจะใช้ตามปริมาณสินค้าที่สั่ง จำนวนรถบรรทุกสามารถเรียกเสริมได้ถ้ามีคำสั่งซื้อมาก
- รถยก โดยปกติมีจำนวน 4 คัน สามารถปรับเพิ่มหรือลดจำนวนได้ตามความต้องการ ทำหน้าที่หลายอย่าง เช่น หยิบและจัดสินค้า ยกวัสดุอุปกรณ์ ยกสินค้าขึ้นรถบรรทุก เป็นต้น ทำให้บางครั้งจำเป็นต้องรอรถยกในการทำกิจกรรมหนึ่งๆ

3.2.2 งาน

งานในที่นี้หมายถึงการจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าของรถแต่ละคัน งานหนึ่งๆ ไม่จำเป็นจะต้องกระทำต่อเนื่องกันในรถบรรทุกคันเดียว อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ งานที่ต้องส่งภายใน 1 วัน และงานที่ต้องส่งภายใน 3 วัน ตามเงื่อนไขการบริการจัดส่งสินค้าของบริษัท ซึ่งงาน 1 วันจะถูกจัดส่งก่อนงาน 3 วัน งานจะประกอบไปด้วยกิจกรรมต่างๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป

3.2.3 กิจกรรม

ได้แก่ ขั้นตอนในการจัดส่งสินค้า แบ่งออกเป็นกิจกรรมต่างๆ ดังนี้

3.2.3.1 จัดคำสั่งซื้อ

หลังจากได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้าแล้วจะนำใบนำส่งสินค้า (Delivery order) ที่ได้จากแผนกให้บริการลูกค้ามากำหนดงานให้กับรถบรรทุก ทำการแยกประเภทรถบรรทุก

ตามน้ำหนักสินค้าที่ส่ง จากนั้นจะแยกเขตการส่งโดยแบ่งจากรัศมี 200 กิโลเมตรจากศูนย์กระจายสินค้า และจับคู่ลูกค้าในกรณีที่สั่งสินค้าไม่เต็มคันและที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะจัดส่งพร้อมกันในคันเดียว จะทำการจัดแบ่งสินค้าให้กับรถแต่ละคัน โดยจะเลือกจัดให้ไปส่งลูกค้าที่อยู่ใกล้กับศูนย์กระจายสินค้าก่อน หลังจากนั้นจึงจัดส่งให้กับลูกค้าที่อยู่ไกลออกไป เพื่อให้โอกาสที่จะส่งสินค้าให้ลูกค้าช้ากว่ากำหนดเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3.2.3.2 จัดสินค้าขึ้นรถ

หลังจากจัดใบสั่งซื้อเสร็จ จะนำมาส่งให้รถยกไปหยิบสินค้ามาจัดวางไว้ที่ท่ารถแล้วทำการตรวจนับสินค้า ก่อนที่จะนำขึ้นรถบรรทุก เมื่อปิดผ้าคลุมเพื่อป้องกันสินค้าตกหล่นก็จะเดินทางออกไปส่งสินค้าให้ลูกค้า แต่เนื่องจากรถยกมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนรถบรรทุก ทำให้รถบรรทุกคันท้ายๆ ต้องเสียเวลาในการรอคอยเพื่อที่จะจัดสินค้าขึ้นรถ

3.2.3.3 เดินทางไปและกลับ

ในการจัดส่งสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้าพุทธมณฑลสาย 5 ได้แบ่งประเภทการจัดส่งออกเป็นภายใน 1 วันและ 3 วัน ตามตำแหน่งของลูกค้า ลูกค้าในเขตการส่ง 1 วัน ส่วนใหญ่จะอยู่ภายในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ซึ่งมีการจำกัดด้านเวลาการเดินรถของรถบรรทุกขนาดใหญ่ ในกรณีของรถบรรทุก 6 ล้อ จะมีช่วงเวลาห้ามวิ่งอยู่ระหว่าง 6:00-9:00 น. และ 16:00-20:00 น. ขณะที่ช่วงเวลาที่ลูกค้ารับสินค้าโดยส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 8:00-17:00 น. นั่นคือช่วงเวลาที่ต้องพิจารณาข้อจำกัดด้านเวลาคือ 8:00-9:00 น. และ 16:00-17:00 น. นอกจากนั้นยังมีปัจจัยเรื่องการจำกัดความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การจราจรติดขัด และอื่นๆ อีกมาก ทำให้การจัดส่งบางครั้งมีความล่าช้า และไม่สามารถใช้รถบรรทุกได้เต็มที่

3.2.3.4 การขนสินค้าลงที่ร้าน

เมื่อเดินทางไปถึงร้านลูกค้าแล้วจะทำการตรวจสอบสินค้า จัดการงานเอกสารต่างๆ หลังจากนั้นจะขนสินค้าลงจากรถบรรทุกไปไว้ในที่จัดเก็บของร้านลูกค้าซึ่งมีสภาพแตกต่างกันไป วิธีในการขนสินค้าลง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ใช้รถยกขนสินค้าทั้งพาเลท หรือให้คนขนด้วยมือ ทำให้เวลาที่ใช้แตกต่างกันไป และในบางครั้งต้องจอดรอจนกว่าลูกค้าจะพร้อมรับสินค้า

3.2.4 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางเวลาการเดินรถ คือ เพื่อให้สามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้มากที่สุดและทันเวลา โดยใช้รถบรรทุกให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาการทำงานที่เหลืออยู่หลังจากจัดงานให้กับรถบรรทุกเสร็จ เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของการจัดตารางเวลา เนื่องจากสามารถแบ่งแยกคุณภาพของตารางเวลาได้ชัดเจน และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ตารางเวลาซึ่งมีเวลาทำงานที่เหลืออยู่น้อยกว่า แสดงว่าสามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้ดีกว่า โดยกรณีที่เวลาที่ใช้ในการขนสินค้าลงที่ร้านลูกค้าของงานสุดท้ายเสร็จสิ้นเกินกว่าเวลาปิดร้านของลูกค้า จะถือว่าไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ทัน และจะไม่คิดเวลาการทำงานที่เหลืออยู่ ดัชนีชี้วัดดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{หาค่าต่ำที่สุดของ } \sum_{i=1}^{M} max(ET - c_i, 0)$$

เมื่อ

M = {1, ..., m} เป็นเซตของรถบรรทุก i

ET เป็นจุดสิ้นสุดของเวลาที่ลูกค้าสามารถรับสินค้า

c_i เป็นเวลาที่งานสุดท้ายเสร็จสิ้น (Makespan) ของรถบรรทุกคันที่ i

ข้อจำกัดที่พิจารณา ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ของการจัดตารางเวลาการเดินรถที่ได้กล่าวมาแล้ว ประกอบด้วย

- ข้อจำกัดของทรัพยากร

  ได้แก่

  - จำนวนรถบรรทุกที่สามารถดำเนินงานได้
  - เวลาพร้อมดำเนินงานของรถบรรทุก ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละคัน
  - จำนวนรถยกที่พร้อมดำเนินการ

- ข้อจำกัดของงาน

  งานที่ต้องส่งภายใน 1 วัน จะไม่สามารถจัดให้ดำเนินการได้ ถ้าเวลาสิ้นสุดของกิจกรรมขนสินค้าลงที่ร้านลูกค้าเกินกว่าเวลาที่ลูกค้าปิดร้าน คือ 17:00 น.

- ข้อจำกัดของกิจกรรม

  เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้ามีทั้งที่อยู่ในเขตที่มีและไม่มีข้อจำกัดในการเดินรถ ดังนั้นในการจัดตารางเวลาการเดินรถต้องไม่ให้กิจกรรมเดินทางไปและกลับสำหรับการไปส่งสินค้าให้ลูกค้าที่ตั้งอยู่ในเขตที่มีการจำกัดเวลาการเดินรถตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น. และ 16:00-17:00 น.

จากที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า การที่จะตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในขณะที่ยังสามารถใช้ทรัพยากรได้เต็มประสิทธิภาพเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก ประกอบกับมีข้อจำกัดต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าส่วนใหญ่ซึ่งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ต้องเผชิญกับการจำกัดเวลาการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ ดังนั้นแบบจำลองที่จะนำมาใช้จึงต้องสามารถช่วยให้จัดตารางการเดินรถภายใต้วัตถุประสงค์ที่ต้องการ ขณะเดียวกันก็ต้องสามารถรับมือกับข้อจำกัดต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การจัดตารางเวลาการเดินรถจะนำเวลาในแต่ละกิจกรรมของงานมาเพื่อจัดลำดับให้กับรถบรรทุกแต่ละคัน ตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่างๆ ดังนั้นข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อเปลี่ยน ข้อมูลนำเข้าให้อยู่ในรูปของเวลาและใช้แสดงผล ได้แก่

3.3.1 ข้อมูลลูกค้า

ประกอบไปด้วยชื่อลูกค้าและเลขรหัสชื่อ ตำแหน่งที่อยู่ของลูกค้า เลขรหัสแทนเขตหรืออำเภอและจังหวัดที่ตั้ง ข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากฐานข้อมูลของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาโดยตรง

3.3.2 ข้อมูลเวลาในการเดินทาง

เวลาในการเดินทางสามารถคำนวณได้โดยตรงจากระยะทางและความเร็วในการขนส่ง แต่ความเร็วในการขนส่งนั้นยังขึ้นอยู่กับสภาพการจราจร สภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางกายภาพของถนน และทักษะของผู้ขับด้วย เพื่อให้สามารถสะท้อนถึงปัจจัยดังกล่าว การหาความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ของเวลาในการเดินทางเทียบกับระยะทางจึงเป็นวิธีที่ประมาณค่าที่เหมาะสม

ระยะทางวิเคราะห์จากตำแหน่งของลูกค้าด้วยโปรแกรมแผนที่และจากฐานข้อมูลของบริษัท โดยแบ่งเป็นระยะทางส่วนที่มีและไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาการเดินรถของรถบรรทุกขนาดใหญ่ เนื่องจากแต่ละส่วนมีข้อจำกัดด้านการห้ามวิ่งของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน

เวลาในการเดินทางได้จากการตอบแบบสำรวจข้อมูลของพนักงานขับรถบรรทุกและการสัมภาษณ์พนักงานจัดการเดินรถของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษา ซึ่งแสดงในภาคผนวก ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับระยะทางดังนี้

เวลาในการเดินทาง (นาที) = 1.1032 x ระยะทาง (กิโลเมตร) + 22.816 (3-1)

$R^2 = 0.823$

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการจะพิจารณาจาก

- ขนาดของสัมประสิทธิ์ 1.1032 นาทีต่อกิโลเมตร หรือหมายถึงรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 60 / 1.1032 = 54.39 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนเส้นทางหลัก ซึ่งใกล้เคียงกับความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการสัมภาษณ์ คือ ประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ค่าคงที่จากสมการเท่ากับ 22.816 นาที หมายถึง ส่วนของเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนถนนแยกย่อยต่างๆ เพื่อเข้าถึงลูกค้า ทำให้ใช้เวลาในการเดินทางทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น

3.3.3 ข้อมูลเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อเวลาการขนสินค้าขึ้นและลงจากรถบรรทุก ได้แก่ ชนิดสินค้า ปริมาณสินค้า และวิธีในการขนย้ายสินค้า

- สินค้าแต่ละชนิดใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะรูปร่างและน้ำหนักของสินค้าชนิดนั้น ทำให้เกิดความยากง่ายในการขนย้ายแตกต่างกัน แต่เนื่องจากสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้มีความหลากหลายของรูปร่างและน้ำหนักน้อย ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าแต่ละชนิดมากนัก และชนิดสินค้าที่ลูกค้าส่วนใหญ่ไม่หลากหลายมาก
- ปริมาณสินค้าแปรผันโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการขนสินค้าขึ้นและลง ถ้าลูกค้าสั่งสินค้าเป็นจำนวนมากย่อมต้องใช้เวลาในการขนสินค้า

นานตามไปด้วย แต่เนื่องจากทางบริษัทมีเกณฑ์ค่าขนส่งขั้นต่ำ เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายของการขนส่งสินค้า ในกรณีที่ลูกค้าสั่งสินค้าปริมาณน้อย ดังนั้นลูกค้าส่วนใหญ่จึงสั่งสินค้าในแต่ละครั้งให้มีปริมาณเต็มจำนวนคันเท่าที่จะทำได้ ทำให้ปริมาณสินค้าที่ขนส่งในแต่ละครั้งไม่แตกต่างกันมาก

- วิธีในการขนย้ายสินค้าโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภทคือใช้แรงงานคนกับใช้รถยก การใช้รถยกขนสินค้าจะใช้กับลูกค้าที่มีสัญญาเช่าพาเลทกับทางบริษัท ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการขนย้ายสินค้าแต่ละครั้งน้อยกว่าการใช้แรงงานคน แต่เนื่องจากรถยกมีจำนวนน้อยและต้องทำหลายหน้าที่ ทำให้บ่อยครั้งต้องเสียเวลารอคอยนาน นอกจากนี้การตรวจสินค้าและการทำงานธุรกรรมต่างๆ รวมทั้งความพร้อมของลูกค้า ยังส่งผลทำให้เกิดความล่าช้าในการขนสินค้าลงได้

จากสาเหตุที่กล่าวมาทำให้เวลาในการขึ้นและลงสินค้าที่ร้านลูกค้าไม่แตกต่างกันมาก แม้ว่าจะใช้รถยกในการขนสินค้าหรือไม่ก็ตาม เพราะต้องเสียเวลารอขั้นตอนต่างๆ ดังนั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนในการคำนวณเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง สำหรับวิธีในการเก็บข้อมูลเหล่านี้จะใช้วิธีการให้พนักงานขับรถบรรทุกตอบแบบสำรวจข้อมูล ทำการสัมภาษณ์พนักงานและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่างๆ ในการจัดสินค้าขึ้นและลง รวมทั้งจากฐานข้อมูลของบริษัท ข้อมูลที่สำรวจได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค่าสถิติแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง

เวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง	ค่าเฉลี่ย (นาทีต่อคัน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน (นาทีต่อคัน)
เวลาในการขนสินค้าขึ้นรถบรรทุกที่ศูนย์กระจายสินค้า	28.41	10.87
เวลาในการขนสินค้าลงจากรถบรรทุกที่ร้านลูกค้า	57.55	19.70

3.4 สรุป

การวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางเวลาแบ่งออก 4 ส่วน คือ ทรัพยากร งาน กิจกรรม และวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

- ทรัพยากรประกอบด้วยรถบรรทุกและรถยก รถบรรทุกมีข้อจำกัดด้านเวลาพร้อมใช้งานและจำนวน รถยกมีข้อจำกัดด้านจำนวน

- งานแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ งานที่ต้องกระทำภายใน 1 วัน และ งานที่ต้องกระทำภายใน 3 วัน และต้องพิจารณาข้อจำกัดจากกิจกรรมในแต่ละงาน

- กิจกรรมแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

  1. การจัดคำสั่งซื้อ ประกอบไปด้วยขั้นตอนการแยกประเภทของคำสั่งซื้อ รวมรายการคำสั่งซื้อที่สามารถส่งพร้อมกันได้

  2. การจัดสินค้าขึ้นรถบรรทุก ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุกและรถยก ขั้นตอนประกอบด้วย การออกใบส่งสินค้า ไปจนถึงรถบรรทุกออกจากโรงงาน

  3. การเดินทางขนส่งสินค้า ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุก แบ่งเป็นส่วนที่มีข้อจำกัดด้านเวลาการห้ามเดินรถ และสามารถเดินรถได้ตลอดเวลา

  4. การจัดสินค้าลงที่ร้านลูกค้า ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุก

- วัตถุประสงค์ในการจัดตารางเวลาการเดินรถ คือ ให้เสร็จงานมากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด ด้วยเงื่อนไขด้านทรัพยากร งาน และกิจกรรม ที่ได้กล่าวมา

การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการให้ตอบแบบสอบถาม และสัมภาษณ์ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลลูกค้าได้มาจากฐานข้อมูลของบริษัทโดยตรง

- ข้อมูลเวลาในการเดินทางได้จากการนำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับระยะทางได้เป็นสมการดังนี้

  เวลาในการเดินทาง (นาที) = 1.1032 x ระยะทาง (กิโลเมตร) + 22.816

  $R^2 = 0.823$

- ข้อมูลเวลาในการขึ้นและลงสินค้าไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนในการคำนวณเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.41 นาที และ 57.55 นาทีตามลำดับ

บทที่ 4
การพัฒนาแบบจำลอง

การกำหนดแนวทางเพื่อสร้างแบบจำลอง จำเป็นต้องนำปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการจัดตารางเวลาการเดินรถเข้ามามีส่วนร่วม เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับปัญหาจริงมากที่สุด ปัจจัยหลักในการวิจัยนี้ได้แก่ ข้อจำกัดของเวลาการเดินรถในเมือง กระบวนการจัดส่งสินค้า ตั้งแต่การขนสินค้าขึ้นรถ การเดินทางไปร้านลูกค้า การลงสินค้าที่ร้านลูกค้า ไปจนถึงการเดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า จากการศึกษาปัญหาที่พบและวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ พบว่าวิธีที่เหมาะสม คือการนำวิธีการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) มาใช้เพราะรายละเอียดและข้อจำกัดต่างๆ ของปัญหามีมาก ทำให้วิธีหาค่าดีที่สุด (Optimization) มีความยุ่งยากซับซ้อนอย่างยิ่ง และยังใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน ไม่เหมาะกับงานจัดตารางเวลาที่ต้องกระทำทุกวัน และเพื่อให้ได้รูปแบบของแบบจำลองซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพ การนำวิธีการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) หลายๆ วิธีมาผสมผสานกันจึงเป็นทางเลือกดี เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้กำหนดโครงสร้างของวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น

- ส่วนโครงสร้างหลัก

ทำหน้าที่หาคำตอบตามเงื่อนไขและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ใช้วิธี Evolutionary Algorithm เนื่องจากมีโครงสร้างที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาได้หลายแบบ รวมทั้งปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ด้วย มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างตามลักษณะสภาพแวดล้อมของปัญหาได้ง่าย

- ส่วนข้อจำกัด

ข้อจำกัดที่สำคัญในงานวิจัยนี้ได้แก่ ข้อจำกัดด้านทรัพยากรและกิจกรรม โดยจะกำหนดไว้ในส่วนประเมินคุณภาพของผลลัพธ์ (Evaluation Function) แยกจากส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ของวิธี Evolutionary Algorithm เพื่อมิให้ขอบเขตในการหาคำตอบถูกจำกัด

- ส่วนป้องกันค่าดีที่สุดสัมพัทธ์

เลือกใช้วิธี Tabu Search เนื่องจากลำพังวิธี Evolutionary Algorithm เพียงวิธีเดียวอาจทำให้เกิดการวนกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ โดยขนาด Tabu List จะปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามขนาดของจำนวนผลลัพธ์ที่เป็นไปได้

4.1 การออกแบบ Evolutionary Algorithm

สิ่งที่สำคัญในการออกแบบ คือ ต้องเหมาะสมกับปัญหา ซึ่งวิธีนี้สามารถจัดการกับปัญหาได้หลายรูปแบบ โดยการเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่

ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation)

ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function)

ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator)

ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ (Population Size)

การกำหนดค่าตั้งต้น (Initialization)

กลไกการเลือก (Selection Mechanism)

4.1.1 ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation)

เป็นการจำลองรูปแบบของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปรหัสหรือชุดคำสั่งภายในโครงสร้างข้อมูลหนึ่ง ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) ที่ดีช่วยให้ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) สามารถใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) และผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) ได้ การที่ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) กับ ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ไม่สอดคล้องกันจะทำให้วิธีการนี้ไม่ต่างไปจากการสุ่มขึ้นมาอย่างลอยๆ (Blind Random Search) ซึ่งเลือกตัวแทนจากผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นมาทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงตัวแทนก่อนหน้านี้ ในบางครั้งอาจได้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าเดิม

สำหรับกรณีปัญหาการจัดตารางเวลา ซึ่งต้องจัดลำดับงานเข้าในกระบวนการ การจัดลำดับงานในรูป [1, 2, 3, ..., j] จัดเป็นวิธีที่สะดวกวิธีหนึ่ง โดยตัวเลขแต่ละตัวหมายถึงงาน ลำดับตำแหน่งของตัวเลขหมายถึงลำดับการดำเนินงาน การวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีนี้เป็นพื้นฐาน โดยเก็บค่าด้วยเมตริกซ์ 2 มิติ ตามลำดับของงานในรถบรรทุกแต่ละคัน ค่าที่เก็บไว้ในการคำนวณนั้นเป็นค่าก่อนที่จะใส่ข้อจำกัดลงไป เนื่องจากหลังจากใส่ข้อจำกัดแล้ว งานที่ทำได้จะเหลือน้อยกว่าเดิม ทำให้พื้นที่ในการหาคำตอบจำกัดลงไปด้วย

4.1.2 ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function)

เป็นส่วนซึ่งทำหน้าที่ตัดสินคุณภาพของผลลัพธ์ที่เปลี่ยนไปเรื่อยๆ ในแต่ละครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation function) กับ ส่วนสร้างผลลัพธ์

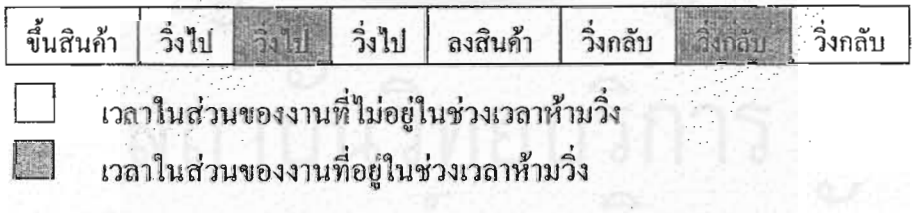
(Variation Operator) มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองจนอาจกล่าวได้ว่า คำตอบที่ดีที่สุดได้มาจากตัวประเมินผลที่ดีที่สุด

ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) ที่ดีต้องสามารถแสดงได้ว่าผลลัพธ์ในแต่ละรอบนั้นมีคุณภาพใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดมากเท่าใด ไม่ใช่เพียงแค่แสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์ดีที่สุด ในทางปฏิบัติ การประเมินคุณภาพของผลลัพธ์ของกลุ่มคำตอบเป็นส่วนที่ใช้เวลามากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ดำเนินการได้รวดเร็ว จึงไม่จำเป็นต้องประเมินให้เสร็จสมบูรณ์ เช่น อาจใช้การเปรียบเทียบหาค่าที่ดีกว่าหรือประมาณค่าเพื่อแสดงความแตกต่างของผลลัพธ์แต่ละตัวในการประเมินผลหาคำตอบที่เป็นตัวแทนของกลุ่มผลลัพธ์

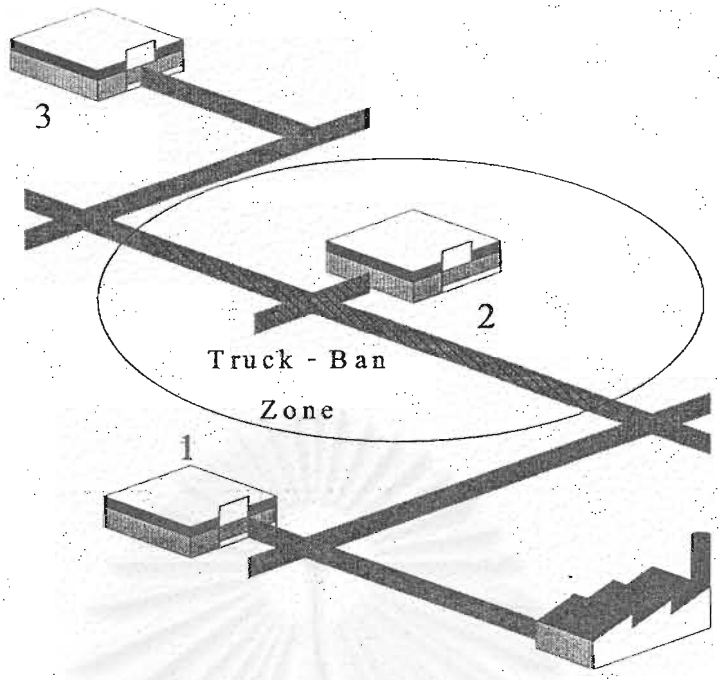
การใส่ข้อจำกัดได้ดำเนินการอยู่ในส่วนนี้ ข้อจำกัดของการขนสินค้าขึ้นรถบรรทุกด้วยรถยก ให้รถยกที่ว่างอยู่ขนสินค้าขึ้นรถบรรทุกที่พร้อมก่อน เพื่อลดเวลาการรอคอย ข้อจำกัดด้านเวลาการเดินรถบรรทุกใช้การปรับแก้ผลลัพธ์ที่ขัดแย้งกับข้อจำกัด โดยปรับแก้งานที่มีลำดับความสำคัญมากก่อน ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

- การใส่ข้อจำกัดด้านเวลา

การใส่ข้อจำกัดด้านเวลาจะพิจารณาจากงานที่ได้จัดให้รถบรรทุกแล้ว หลักการคือการตรวจสอบกรณีที่ฝ่าฝืนข้อจำกัด ซึ่งหมายถึงกรณีที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเดินทางไปและกลับในส่วนที่วิ่งอยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถ ตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น. และ 16:00-17:00 น. แล้วปรับเลื่อนกิจกรรมนั้นออกไปให้ส่วนที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถพ้นช่วงเวลาห้ามวิ่งดังกล่าว โดยกิจกรรมแต่ละส่วนของงานแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละงาน



รูปที่ 4.2 รูปแบบตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า

กิจกรรมที่นำมาใช้ในการจัดตารางเวลาการเดินรถถูกแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ ขึ้นสินค้า วิ่งไป ลงสินค้า และวิ่งกลับ ในส่วนของกิจกรรมวิ่งไปและวิ่งกลับจะถูกแบ่งออกเป็น 2 คุณสมบัติคือ ส่วนที่อยู่และไม่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกค้า และแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังรูปที่ 4.2

กรณีที่ 1 การเดินทางไปยังที่ตั้งของร้านลูกค้าไม่ต้องผ่านส่วนที่มีการกำหนดช่วงเวลาห้ามวิ่ง

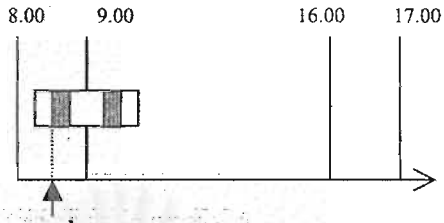
กรณีที่ 2 การเดินทางไปยังที่ตั้งของร้านลูกค้าต้องผ่านส่วนที่ไม่มีการกำหนดช่วงเวลาห้ามวิ่งเข้าไปสู่ส่วนที่มีการกำหนดช่วงเวลาห้ามวิ่ง

กรณีที่ 3 การเดินทางไปยังที่ตั้งของร้านลูกค้าต้องข้ามส่วนที่มีการกำหนดช่วงเวลาห้ามวิ่ง

ดังนั้นกิจกรรมการวิ่งไปและกลับจึงแบ่งออกเป็น 3 ช่วงโดย ช่วงที่ 1 และ 3 เป็นส่วนที่ไม่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง ช่วงที่ 2 อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง กรณีที่ตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าไม่ผ่านช่วงใดจะกำหนดให้เวลาในช่วงนั้นเป็น 0 สำหรับลูกค้ารายนั้น การปรับแก้การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลาจะแสดงดังรูปต่อไปนี้

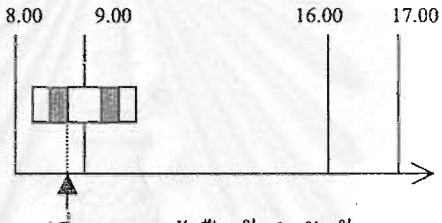
กรณีที่ฝ่าฝืนข้อจำกัดแบ่งออกทั้งหมด 9 กรณีคือ

- กรณีที่ 1 ขอบเขตบนของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางไป ตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.



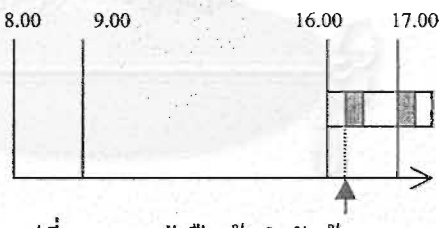
รูปที่ 4.3 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 1

- กรณีที่ 2 ขอบเขตล่างของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางไป ตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.



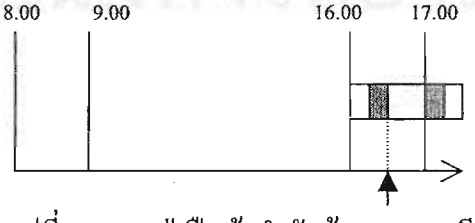
รูปที่ 4.4 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 2

- กรณีที่ 3 ขอบเขตบนของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางไป ตกอยู่ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น.



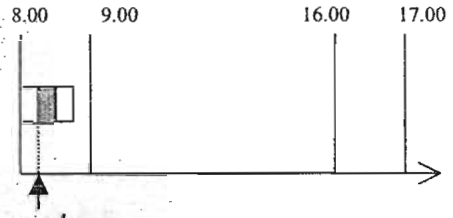
รูปที่ 4.5 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 3

- กรณีที่ 4 ขอบเขตล่างของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางไป ตกอยู่ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น.



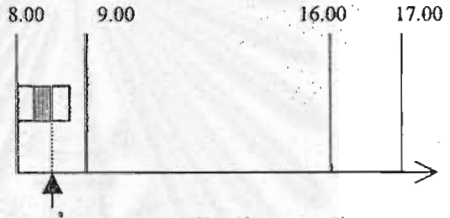
รูปที่ 4.6 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 4

- กรณีที่ 5 ขอบเขตบนของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางกลับ ตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.



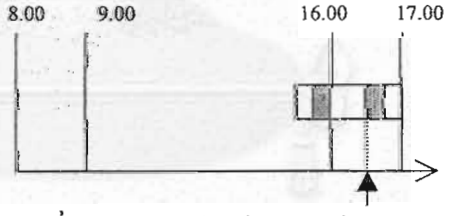
รูปที่ 4.7 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 5

- กรณีที่ 6 ขอบเขตล่างของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางกลับ ตกอยู่ในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.



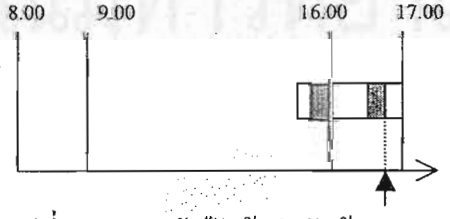
รูปที่ 4.8 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 6

- กรณีที่ 7 ขอบเขตบนของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางกลับ ตกอยู่ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น.



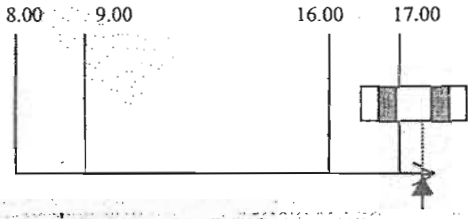
รูปที่ 4.9 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 7

- กรณีที่ 8 ขอบเขตล่างของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางกลับ ตกอยู่ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น.



รูปที่ 4.10 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 8

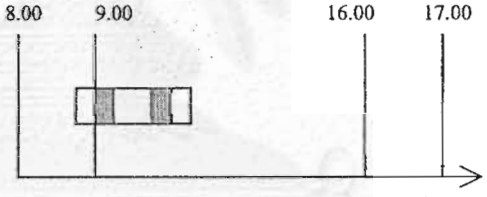
- กรณีที่ 9 ขอบเขตล่างของกิจกรรมลงสินค้าตกอยู่ในช่วงที่เกินเวลา 17:00 น.



รูปที่ 4.11 การฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 9

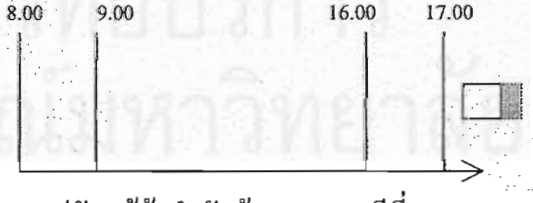
การปรับแก้ให้แต่ละกรณีไม่ฝ่าฝืนข้อจำกัดจะแปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาที่ฝ่าฝืนข้อจำกัด กล่าวคือ กรณีที่ฝ่าฝืนข้อจำกัดในช่วงเวลา 8:00-9:00 น. จะเลื่อนให้ขอบเขตบนของช่วงที่อยู่ในเขตจำกัดเวลาการเดินรถของกิจกรรมการเดินทางไปอยู่ที่เวลา 9:00 น. โดยงานอื่นๆ ที่อยู่ในลำดับถัดมาก็จะถูกเลื่อนตามไปด้วย สำหรับกรณีที่ฝ่าฝืนข้อจำกัดในช่วงเวลา 16:00-17:00 น. และช่วงที่เกินเวลา 17:00 น. จะถูกเลื่อนออกไปจากตารางเวลา และงานที่อยู่ในลำดับถัดมาก็จะถูกเลื่อนตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นสามารถสรุปการปรับแก้ของแต่ละกรณีได้ดังต่อไปนี้

- กรณีที่ 1, กรณีที่ 2, กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 จะถูกปรับแก้ดังรูป



รูปที่ 4.12 การปรับแก้ข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 1, 2, 5 และ 6

- กรณีที่ 3, กรณีที่ 4, กรณีที่ 7, กรณีที่ 8 และกรณีที่ 9 จะถูกปรับแก้ดังรูป



รูปที่ 4.13 การปรับแก้ข้อจำกัดด้านเวลากรณีที่ 3, 4, 7, 8 และ 9

เนื่องจากเมื่อเกิดกรณีที่ 2 กรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 จะเกิดกรณีที่ 1 ขึ้นด้วย และการปรับแก้กรณีที่ 1 สามารถจะปรับแก้ทั้ง 3 กรณีไปด้วย ดังนั้นไม่จำเป็นต้องคิด 3 กรณีนี้ เนื่องจากสามารถใช้กรณีที่ 1 ตรวจสอบแทนได้

นอกจากนี้หลังจากที่ปรับแก้สำหรับกรณีที่ 1 แล้วอาจเกิดกรณีที่ 7 และกรณีที่ 8 ด้วย ดังนั้นต้องตรวจสอบกรณีที่ 7 และกรณีที่ 8 หลังจากปรับแก้กรณีที่ 1 แล้วด้วย การสรุปรูปแบบของการฝ่าฝืนข้อจำกัดด้านเวลาและการปรับแก้ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งอยู่ท้ายบทนี้

ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เวลาดำเนินการที่เหลืออยู่หลังจากใส่ข้อจำกัดด้านเวลาการเดินรถบรรทุกและจำนวนรถยกเข้าไปแล้ว เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ (Fitness) เนื่องจากสามารถแยกคุณภาพที่แตกต่างกันของแต่ละผลลัพธ์ได้ดี และสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้

4.1.3 ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator)

ทำหน้าที่สร้างผลลัพธ์ในแต่ละรอบ โดยการเปลี่ยนผลลัพธ์ที่ได้มาจากรอบหนึ่งๆ ไปเป็นผลลัพธ์ในรอบต่อไป เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม การกำหนดรูปแบบของส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ที่นำมาใช้ขึ้นอยู่กับ ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) และลักษณะพื้นที่ของคำตอบ (Landscape) ที่ได้จากการประเมินคุณภาพ

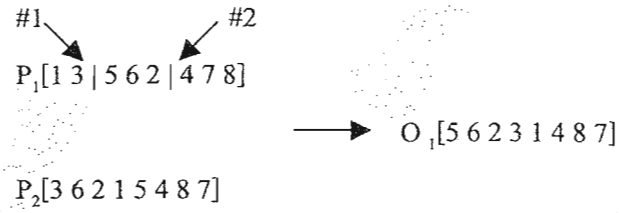
ในการจัดตารางเวลานั้น ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) มักจะใช้ประโยชน์จากการแสดงลำดับงานที่จัดจากตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี ได้แก่

กรณีที่ใช้ผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) 1 ค่า

- สุ่มเลือกจุดใดๆ ขึ้นมาแล้วแทรกกลับในตำแหน่งอื่นภายในตารางเวลานั้น
- เลือก 2 ตำแหน่งขึ้นมาแล้วสลับคู่กัน

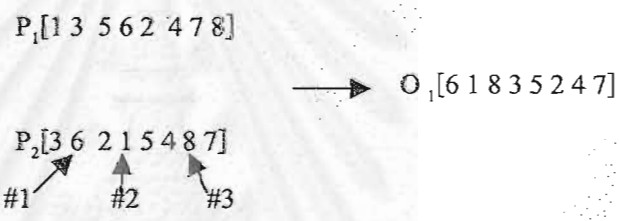
กรณีที่ใช้ผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) 2 ค่า

- เลือก 2 ตำแหน่งในผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ตัวแรก แล้วนำส่วนที่อยู่ระหว่าง 2 ตำแหน่งนั้นสับเปลี่ยนกับผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ตัวที่ 2 ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การสับเปลี่ยนแบบเลือก 2 ตำแหน่ง

- เลือก N ตำแหน่งใดๆ ในผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ตัวที่ 2 และนำส่วนที่ไม่ซ้ำกับจุดที่เลือกไว้ในผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ตัวที่ 2 ของผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ตัวที่ 1 มาจัดลำดับใหม่เป็นผลลัพธ์ในรอบต่อไป ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การสับเปลี่ยนแบบเลือก N ตำแหน่ง

ข้อแตกต่างของวิธีนี้กับวิธีแรกคือไม่ได้ใช้ประโยชน์จากผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ส่งต่อไปยังผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring)

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) กรณีที่ใช้ผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) 2 ค่าในแบบที่ 2 คือ เลือก N ตำแหน่งใดๆ ขึ้นมาสับเปลี่ยน เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดคำตอบซ้ำขึ้น การสับเปลี่ยนกระทำโดยเลือกลำดับของรถบรรทุก แล้วเลือกลำดับของงานจากลำดับของรถบรรทุกนั้นมาสับเปลี่ยนกับงานในผลลัพธ์อื่น ถ้าใช้ลำดับของงานบนรถบรรทุกแต่ละคันเป็นตัวสลับอาจจะไม่ทำให้เกิดคำตอบใหม่ เพราะในกรณีที่งานมีจำนวนน้อยตำแหน่งที่เลือกขึ้นมาจะมีโอกาสซ้ำกันสูง

4.1.4 ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ (Population Size)

ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ส่งผลโดยตรงต่อขอบเขตและความเร็วในการหาคำตอบ ยิ่งมีมากเท่าไรก็หมายถึงจำนวนผลลัพธ์ที่เข้ามาหาคำตอบมีมากขึ้น ความเป็นไปได้ที่จะพบ

คำตอบที่ดีได้เร็วก็มีมากขึ้นตามไปด้วย ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ 3 ค่า ตามผลลัพธ์เริ่มต้นที่ได้จากวิธี Dispatching Rules

4.1.5 การกำหนดค่าตั้งต้น (Initialization)

ก่อนการเริ่มกระบวนการของ Evolutionary Algorithm จำเป็นจะต้องมีค่าเริ่มต้นก่อน ซึ่งอาจใช้วิธีการสุ่มขึ้นมาอย่างลอยๆ (Blind Random Search) ก็ได้ แต่ในปัญหาจริงนั้นเราทราบข้อมูลและทิศทางของผลลัพธ์ที่ดี จึงไม่จำเป็นต้องเสียเวลากับสิ่งที่ทราบดีอยู่แล้ว

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกค่าตั้งต้น 3 ค่า ซึ่งใช้ในการค้นหาผลลัพธ์พร้อมกัน ดังนี้

- ใช้ Dispatching Rules แบบ Longest Processing Time Rule (LPT)คือ ให้จัดงานที่ใช้เวลาดำเนินการมากที่สุดก่อน เพื่อให้งานสุดท้ายเสร็จเร็วที่สุด
- ใช้ Dispatching Rules แบบ Shortest Processing Time Rule (SPT) คือให้จัดงานที่ใช้เวลาดำเนินการน้อยที่สุดก่อน เพื่อให้แต่ละงานเสร็จเร็วที่สุด
- จัดงานที่ใช้เวลาอยู่ในเขตที่จำกัดเวลาการอนุญาตให้รถบรรทุกเข้าเมืองน้อยที่สุดก่อน เพื่อทำให้โอกาสในการจัดตารางเวลาแล้วงานไม่ติดอยู่ในช่วงห้ามเดินรถมีมากขึ้น

เมื่อกำหนดลำดับความสำคัญของงานในรูปแบบต่างๆ แล้ว จะจัดงานตามลำดับความสำคัญจากมากไปน้อยให้กับรถบรรทุก โดยเฉลี่ยลำดับความสำคัญของงานให้ใกล้เคียงกันทุกคัน ด้วยการเลือกจัดงานให้กับรถบรรทุกคันที่ว่างก่อน หรือถ้ามีงานที่ได้กระทำไปแล้วจะจัดงานให้กับรถบรรทุกที่มีงานซึ่งมีลำดับความสำคัญต่ำกว่ารถบรรทุกคันอื่นก่อน

4.1.6 กลไกการเลือก (Selection Mechanism)

คือการเลือกหากลุ่มของผลลัพธ์เพื่อนำมาใช้สร้างผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) มักดำเนินการหลังจากผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) ได้ถูกสร้างขึ้นและประเมินคุณภาพแล้ว โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ประเภทคือ Deterministic กับ Stochastic

1. Deterministic

วิธีนี้จะดำเนินการและเข้าสู่คำตอบที่ต้องการได้เร็วกว่าวิธี Stochastic อาจจะมีประโยชน์หรือไม่ก็ตาม ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของกลุ่มของผลลัพธ์

รูปแบบที่ง่ายที่สุดของวิธีนี้ คือ เลือกจากผลลัพธ์จำนวน $\mu+\lambda$ ค่า โดย λ แทนจำนวนผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) ที่สร้างมาจากผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ที่มีจำนวนกลุ่มผลลัพธ์ μ ค่า หลังจากที่ทุกผลลัพธ์ในกลุ่มผลลัพธ์ $\mu+\lambda$ ค่า ถูกประเมินคุณภาพแล้ว จะเก็บผลลัพธ์ที่ดีที่สุดไว้ μ ค่า

อีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้คือ เลือกผลลัพธ์ μ ค่าที่ดีที่สุดจากผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) λ ค่าเท่านั้น แม้จะไม่ได้ใช้ประโยชน์จากผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) ในการค้นหาคำตอบครั้งต่อไปก็ตาม แต่วิธีนี้มีแนวโน้มที่จะลดโอกาสติดอยู่ในค่าดีที่สุดสัมพัทธ์

2. Stochastic

มีอยู่ 3 แบบหลักที่ใช้กันคือ

- วิธีที่ 1 Proportional Selection
  ผลลัพธ์แต่ละค่าจะถูกประเมินคุณภาพเป็นจำนวนบวก แล้วเลือกขึ้นมา μ ค่า ด้วยความน่าจะเป็น $P_i = F_i / F$ โดย F_i คือค่าคุณภาพของผลลัพธ์ค่าที่ i และ F คือค่าเฉลี่ยของค่าคุณภาพทั้งหมด คำตอบที่ได้จากวิธีนี้ไม่จำเป็นว่าจะเหลือคำตอบที่ดีไว้
- วิธีที่ 2
  เลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากกลุ่มของผลลัพธ์ทั้งหมดมาจำนวนหนึ่ง แล้วสุ่มเลือกค่าที่เหลือจนครบจำนวนที่กำหนด
- วิธีที่ 3
  เปรียบเทียบผลลัพธ์แต่ละค่ากับกลุ่มผลลัพธ์ย่อยที่ถูกสุ่มขึ้นมา ถ้าค่าคุณภาพดีกว่าผลลัพธ์แต่ละค่าในกลุ่มที่ถูกสุ่มขึ้นมานั้นก็จะได้คะแนนไปตามจำนวน ซึ่งวิธีนี้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีอาจได้คะแนนมากหากถูกสุ่มเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่แย่กว่า

กลไกการเลือก (Selection Mechanism) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้การเลือกผลลัพธ์รุ่นต่อมา (Offspring) ด้วยความน่าจะเป็นที่ได้จากค่าคุณภาพ (Fitness) ผลลัพธ์ที่มีค่าคุณภาพ (Fitness) มากจะมีโอกาสถูกเลือกมากตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์อื่นในกลุ่ม ทำให้ขอบเขตการเลือกไม่ได้จำกัดเฉพาะผลลัพธ์ค่าที่ดีเท่านั้น เพื่อป้องกันการวนกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์

4.2 การออกแบบ Tabu Search

ประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ คือ ขนาดของ Tabu List ซึ่งหมายถึงความสามารถในการจดจำคำตอบเก่าที่เคยผ่านมาได้มากแค่ไหน รวมทั้งการจดจำระยะยาวที่หมายถึงการจำจำนวนครั้งของการเปลี่ยนแปลงแต่ละตำแหน่งของคำตอบ ประเด็นเหล่านี้มีผลต่อความหลากหลายของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เลือกขนาดของ Tabu List เป็น

$$\text{Tabu List} = 0.1\text{x}(\text{จำนวนงาน}) \text{ x } (\text{จำนวนรถบรรทุก}) \qquad (4\text{-}1)$$

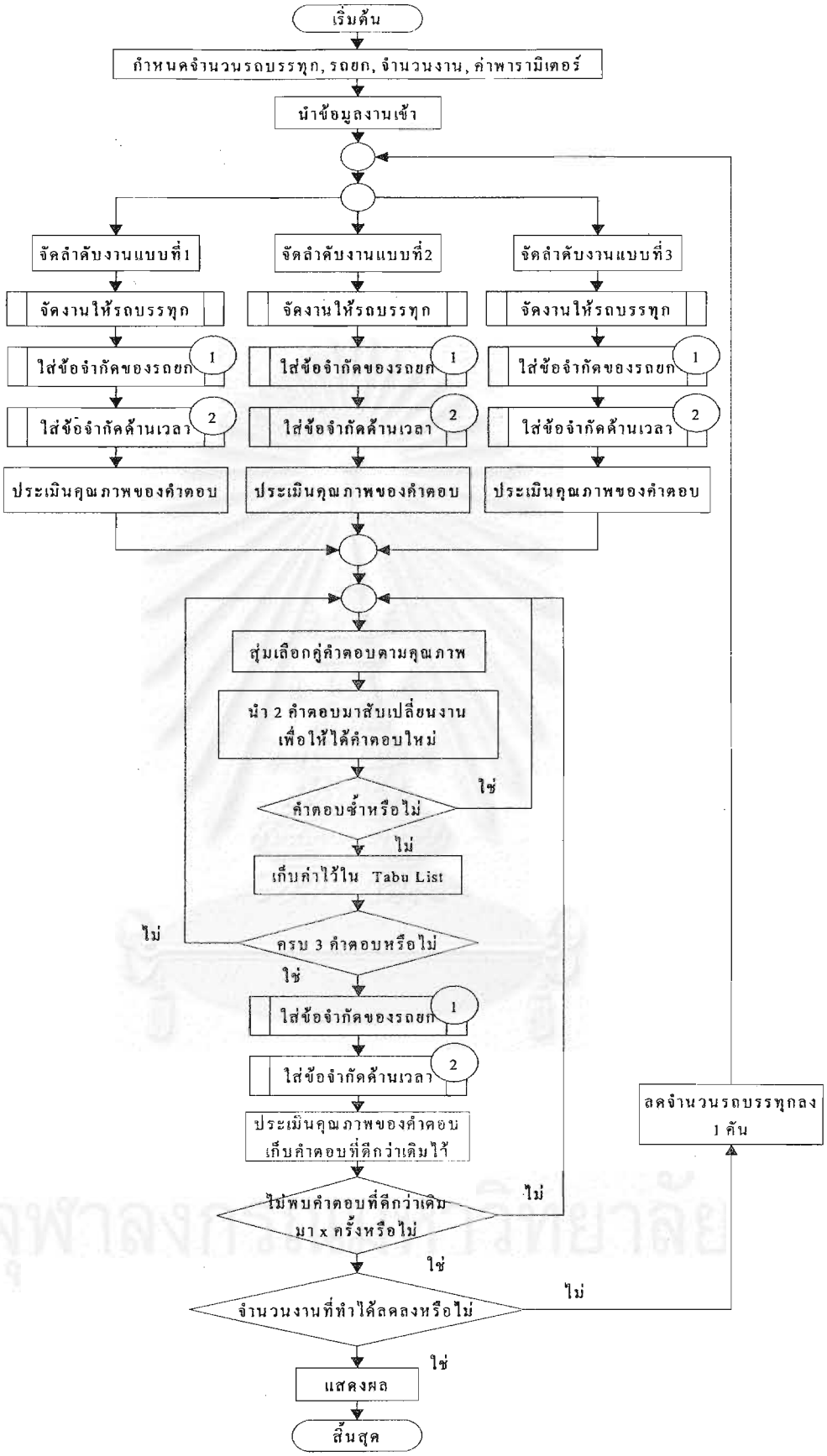
เนื่องจากขอบเขตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อนการประเมินคุณภาพขึ้นกับจำนวนงานและจำนวนรถบรรทุก กรณีที่จำนวนงานและจำนวนรถบรรทุกมีมาก ขอบเขตของคำตอบที่ได้จากจากการสลับตำแหน่งงานในลำดับของรถบรรทุกที่ถูกเลือกขึ้นจะมาเพิ่มมากขึ้น เมื่อคำตอบที่เป็นไปได้มีมากขึ้น ขนาดของ Tabu List จึงต้องเพิ่มตามจำนวนงานและจำนวนรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถเก็บผลลัพธ์ที่เคยผ่านเข้ามาพิจารณาแล้วมากพอที่จะไม่ให้เกิดการวนเข้ามาพิจารณาซ้ำได้อีก

ในการเปรียบเทียบค่าที่จะผ่านเข้ามาใน Tabu List จะเปรียบเทียบทั้งตำแหน่งและหมายเลขของงาน ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งไม่ตรงกับผลลัพธ์ทั้งหมดที่เก็บใน Tabu List จะเก็บค่านั้นไว้ แต่ถ้าผลลัพธ์นั้นตรงกับผลลัพธ์ใดผลลัพธ์หนึ่งในผลลัพธ์ทั้งหมดที่เก็บใน Tabu List ก็จะให้วนกลับไปทำยังขั้นตอนการสับเปลี่ยนเพื่อสร้างผลลัพธ์ใหม่อีกครั้ง

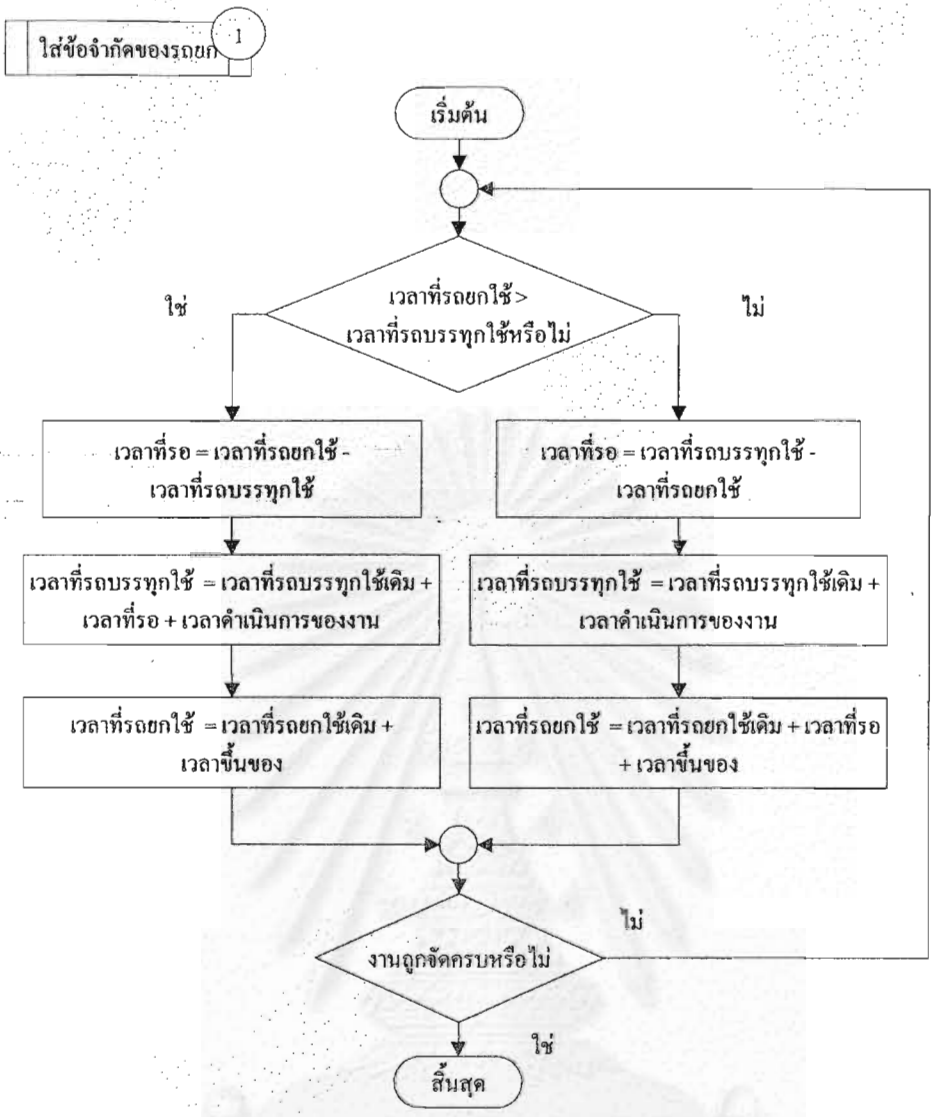
ส่วนที่เก็บค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จะทำการเลือกเก็บค่าที่ดีกว่าค่าที่เคยพิจารณามาหลังจากผ่าน Tabu List มาแล้ว เมื่อครบจำนวนครั้งที่ไม่พบคำตอบที่ดีกว่าตามที่กำหนดเงื่อนไขไว้จะเสร็จสิ้นการทำงาน

เงื่อนไขสิ้นสุดการทำงานจะแสดงถึงคุณภาพคำตอบที่ได้ ยิ่งใช้จำนวนรอบมากโอกาสที่จะได้คำตอบที่ดีก็มากตามไปด้วย แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็มากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาและความต้องการของผู้จัดตารางเวลาเป็นหลัก ในเบื้องต้นได้กำหนดให้จำนวนรอบที่ไม่พบคำตอบซึ่งดีขึ้นกว่าเดิมแปรผันตามขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ เท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนงานคูณกับจำนวนรถ

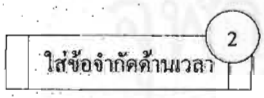
รายละเอียดการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองของการวิเคราะห์หาตารางเวลาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ นั้นสามารถแสดงออกมาเป็นแผนผังต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 4.16 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง

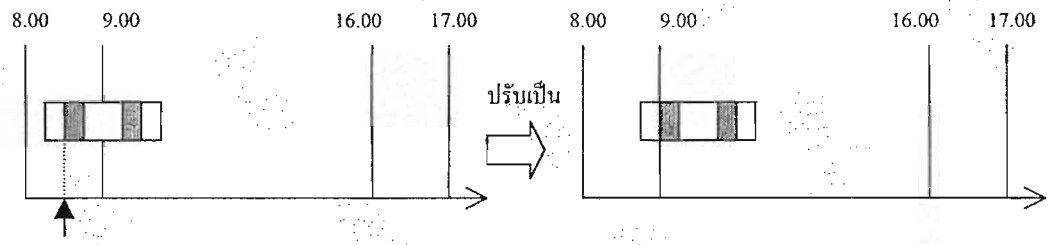


รูปที่ 4.17 แผนผังการทำงานของการใส่ข้อจำกัดของรถยก

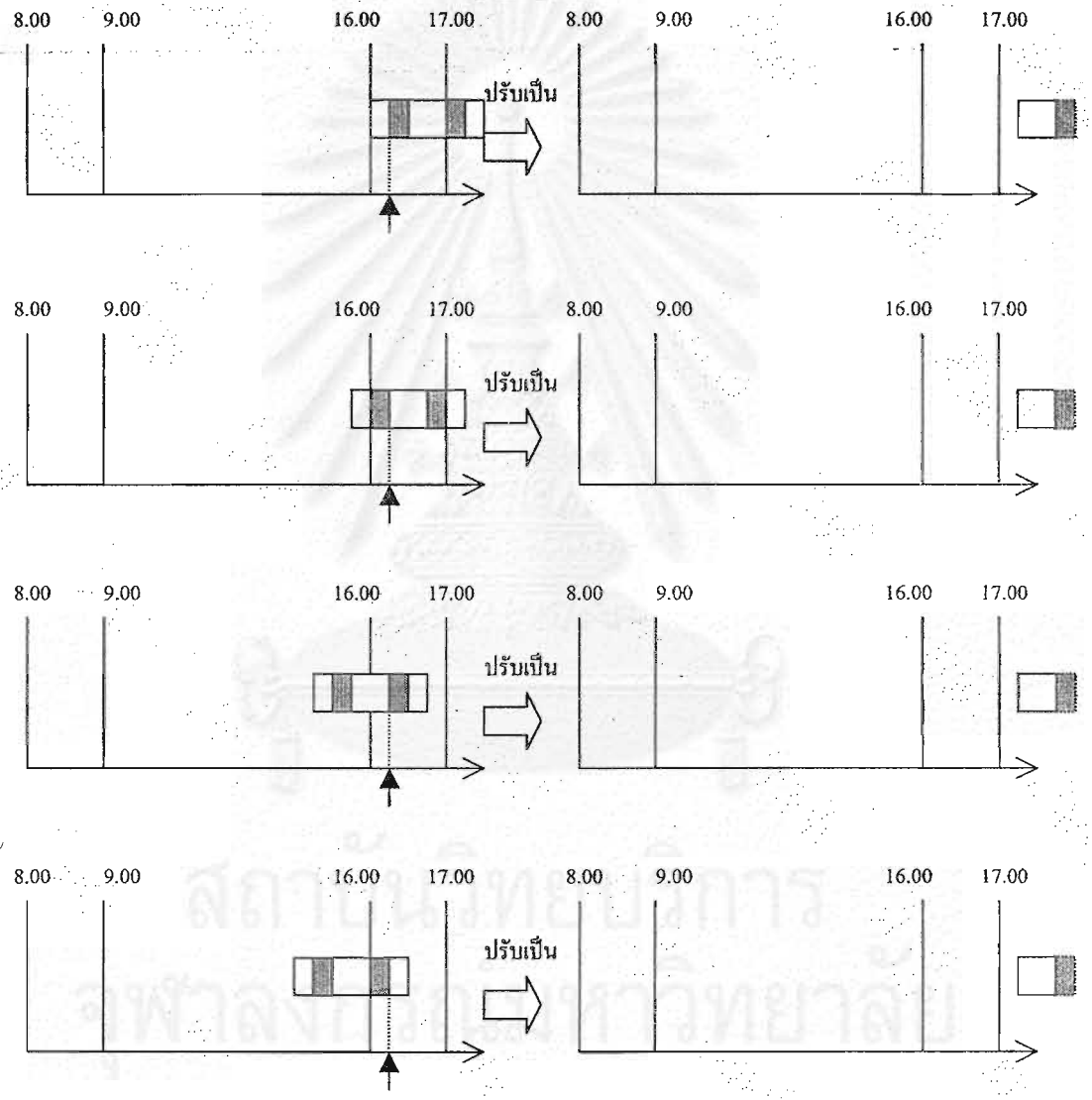


ในส่วนนี้จะเป็นการจัดการกับกรณีที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดด้านเวลาการเดินรถหลังจากกำหนดงานให้กับรถบรรทุกแล้ว แบ่งเป็นกรณีต่างๆ ดังนี้

กรณีที่ 1 ส่วนของงานที่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่งถูกจัดไว้ระหว่างเวลา 8.00 น. ถึง 9.00 น.

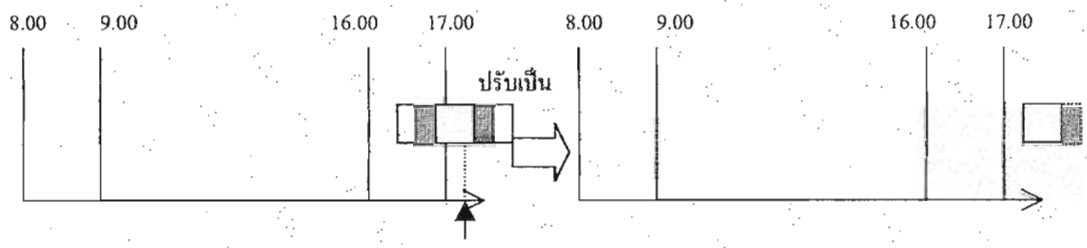


กรณีที่ 2 ส่วนของงานที่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่งถูกจัดไว้ระหว่างเวลา 16.00 น. ถึง 17.00 น.

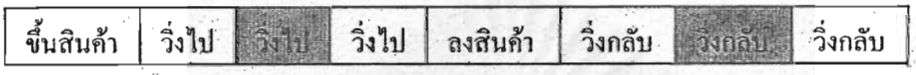


รูปที่ 4.18 แผนผังการทำงานของการใส่ข้อจำกัดด้านเวลา

กรณีที่ 3 ส่วนของงานที่อยู่ในช่วงของกิจกรรมการลงสินค้าถูกจัดเสร็จหลังเวลา 17.00 น.



ช่วงเวลาของกิจกรรมในแต่ละงานแสดงได้ดังรูป:



เวลาในส่วนของงานที่ไม่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง

เวลาในส่วนของงานที่อยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง

รูปที่ 4.18 (ต่อ) แผนผังการทำงานของการใส่ข้อจำกัดด้านเวลา

4.3 สรุป

แบบจำลองถูกออกแบบเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนข้อจำกัด และส่วนป้องกันค่าดีที่สุดสัมพัทธ์ แต่ละส่วนได้เลือกใช้วิธี Evolutionary Algorithm วิธี Constraint-Handling Techniques และวิธี Tabu Search ตามลำดับ การออกแบบในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

- ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) ใช้การจัดลำดับของงานในรูป [1, 2, 3, ..., j] ค่าตัวเลขหมายถึงงานที่กระทำ ตำแหน่งของตัวเลขหมายถึงลำดับงานบนรถบรรทุกคันนั้น

- ส่วนประเมินคุณภาพ (Evaluation Function) ทำหน้าที่ใส่ข้อจำกัดด้านการใช้รถยก และข้อจำกัดด้านเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก แล้วใช้เวลาทำงานของรถบรรทุกที่เหลืออยู่เป็นค่าคุณภาพ (Fitness)

- ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ใช้ผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) 2 ค่า โดยเลือก N ตำแหน่งใดๆ จากลำดับของรถบรรทุกขึ้นมาแล้วสับเปลี่ยนงานในลำดับที่เลือกมากับผลลัพธ์อีกค่า

- ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ (Population Size) และการกำหนดค่าตั้งต้น (Initialization) ใช้ค่าเริ่มต้น 3 แบบ คือ ให้ลำดับความสำคัญกับงานที่ใช้เวลามากก่อน (LPT) ให้ลำดับความสำคัญกับงานที่ใช้เวลาน้อยก่อน (SPT) และจัด

งานที่ใช้เวลาอยู่ในเขตที่จำกัดเวลาการอนุญาตให้รถบรรทุกเข้าเมืองน้อยที่สุดก่อน

- กลไกการเลือก (Selection Mechanism) สุ่มเลือกผลลัพธ์ตามค่าคุณภาพ เพื่อกระจายขอบเขตของคำตอบ
- ใช้ขนาดของ Tabu List ที่เปลี่ยนแปลงตามขอบเขตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ด้วยสมการ

  Tabu List = 0.1x(จำนวนงาน) x (จำนวนรถบรรทุก)

- จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบเปลี่ยนไปตามขอบเขตของผลลัพธ์เท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนงานคูณกับจำนวนรถบรรทุก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การออกแบบโปรแกรม

ในบทนี้จะนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมไว้กับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาใช้ออกแบบโปรแกรมที่ใช้เป็นระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

มีส่วนประกอบอยู่ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database)
2. ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation)
3. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

5.1 ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database)

การออกแบบการจัดการข้อมูลเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการจัดตารางเวลา และเนื่องจากบริษัทตัวอย่างได้มีการจัดระบบฐานข้อมูลต่างๆ ไว้แล้ว การนำข้อมูลมาใช้จึงเลือกเอาเฉพาะข้อมูลที่ต้องการเท่านั้น ข้อมูลที่จำเป็นต่อกระบวนการจัดตารางเวลาการเดินรถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ฐานข้อมูลหลัก (Master files) ได้แก่

   - ข้อมูลของรถบรรทุกขนส่งสินค้า เนื่องจากทางบริษัทตัวอย่างมีรถบรรทุกที่ใช้จัดส่งอยู่หลายประเภท ดังนั้นจึงมีการกำหนดเลขรหัสแทนประเภทของรถไว้ดังนี้

     10 หมายถึง รถบรรทุก 4 ล้อขนาดเล็ก
     11 หมายถึง รถบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก
     12 หมายถึง รถบรรทุก 6 ล้อ
     13 หมายถึง รถบรรทุก 10 ล้อ
     14 หมายถึง รถบรรทุกพ่วงคู่
     15 หมายถึง รถบรรทุกพ่วงเดี่ยว

     ในงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาเฉพาะรถบรรทุก 6 ล้อ จึงนำเอาเฉพาะข้อมูลที่มีเลขรหัสแสดงประเภทของรถบรรทุกเท่ากับ 11 และ 12 เท่านั้น

   - ข้อมูลตำแหน่งลูกค้า ประกอบด้วย รายชื่อลูกค้า เลขรหัสชื่อ ตำแหน่งที่ตั้ง

- ข้อมูลเส้นทางที่ไปส่ง แสดงด้วยเลขรหัส 6 หลัก ตามรูปแบบที่บริษัทใช้ แต่ละตำแหน่งของเลขรหัสมีความหมายดังต่อไปนี้

  2 หลักแรก แทน ตำแหน่งโรงงานที่ใช้ส่งสินค้า ได้แก่

  13 โรงงานลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

  11 โรงงานพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

  73 โรงงานพุทธมณฑลสาย 5 จังหวัดนครปฐม

  80 โรงงานนาบอน จังหวัดนครศรีธรรมราช

  2 หลักต่อมา แทน จังหวัดที่ตั้งของลูกค้าที่จะไปส่งสินค้า

  2 หลักสุดท้าย แทน เขตหรืออำเภอที่ตั้งของลูกค้าที่จะไปส่งสินค้า

  999999 หมายถึง ลูกค้ามารับสินค้าเอง

  แต่ละเส้นทางจะมีระยะทางกำกับอยู่ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาเดินทางต่อไป งานวิจัยนี้ได้เลือกโรงงานพุทธมณฑลสาย 5 เป็นกรณีศึกษา ดังนั้นจะเลือกข้อมูลเส้นทางเฉพาะ 73XXXX เท่านั้น

- สถานะการขนส่ง แบ่งเป็น การใช้บริการรถบรรทุกของบริษัท (CNF) และนำรถบรรทุกมารับสินค้าเอง (EXF)

2. ฐานข้อมูลการดำเนินธุรกรรม (Transaction files) ได้แก่

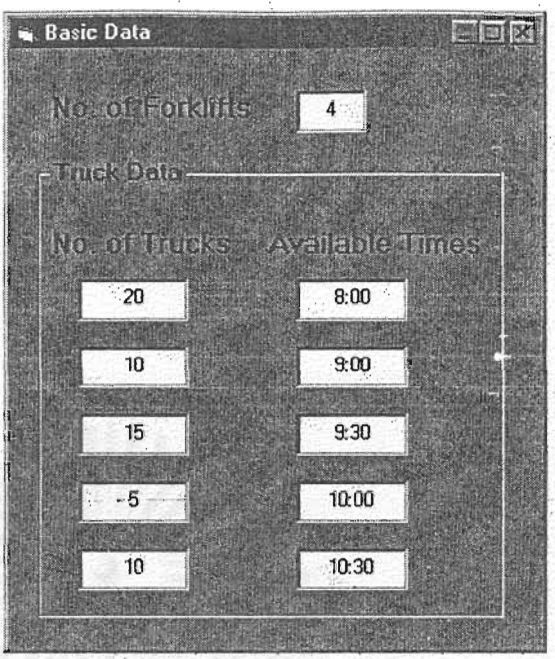
รายการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า ประกอบด้วย เลขใบสั่งซื้อสินค้า ชื่อลูกค้า ปริมาณและชนิดสินค้า เส้นทางที่ไปส่ง รูปแบบรถบรรทุกที่ใช้ส่ง สถานะการขนส่ง

5.2 ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation)

เป็นการนำข้อมูลจากส่วนฐานข้อมูลมาใช้จัดตารางเวลาการเดินรถ ตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

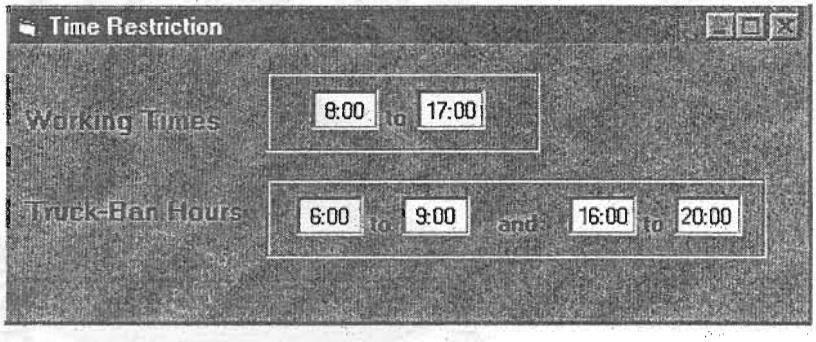
ก) Preprocessing จัดเตรียมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการจัดตารางเวลา มีขั้นตอนดังนี้

(1) ใส่ข้อมูลเริ่มต้น ได้แก่ จำนวนรถบรรทุก เวลาที่พร้อมดำเนินงาน และจำนวนรถยก



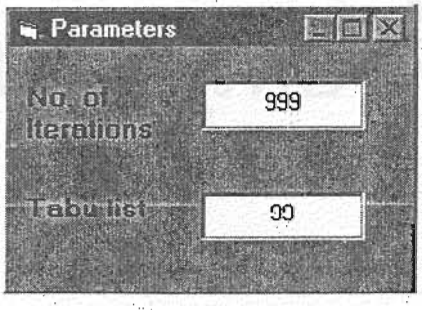
รูปที่ 5.1 ส่วนใส่ข้อมูลทรัพยากร

(2) ใส่ช่วงเวลาที่ไม่อนุญาตให้รถบรรทุกเข้าเมืองและช่วงเวลารับสินค้าของลูกค้า



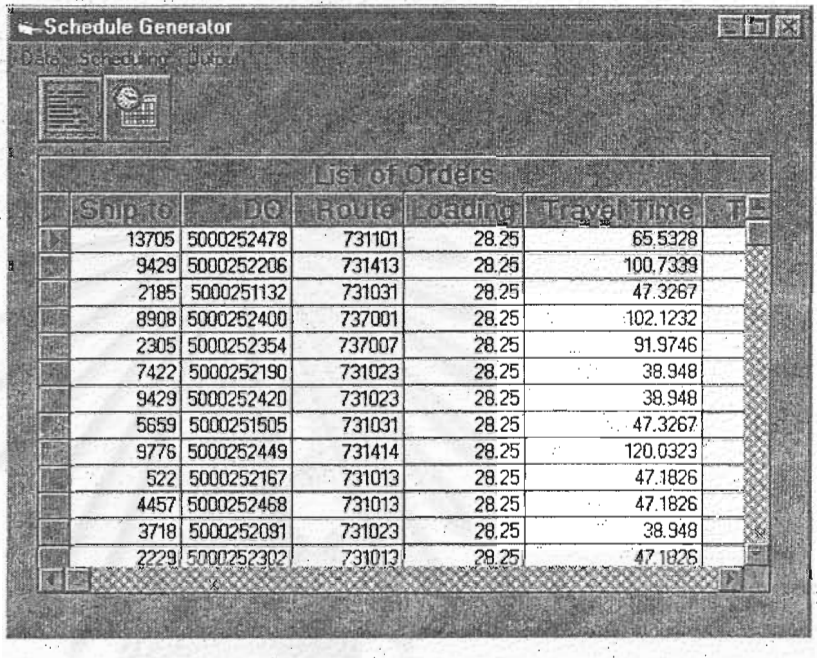
รูปที่ 5.2 ส่วนใส่ข้อมูลข้อจำกัดด้านเวลา

(3) ใส่ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ จำนวนรอบในการคำนวณหาคำตอบที่ดีขึ้นและขนาดของ Tabu List



รูปที่ 5.3 ส่วนใส่ตัวแปรในการคำนวณ

(4) นำข้อมูลที่ได้มาจากระบบฐานข้อมูลของบริษัทเข้าสู่การจัดตารางเวลา ซึ่งเป็นข้อมูลชนิด Text ที่ได้ทำการจัดแบ่งใบสั่งซื้อสินค้าของลูกค้าให้กับรถบรรทุกแต่ละคันไว้แล้ว เลือกเฉพาะข้อมูลที่ต้องการใช้จัดตารางเวลา ได้แก่ การใช้บริการรถบรรทุกของบริษัท (CNF) โรงงานที่ไปส่ง (73XXXX) ส่งภายในประเทศ (TH01) ประเภทรถบรรทุก 6 ล้อ (11 และ 12)



รูปที่ 5.4 ส่วนแสดงข้อมูลนำเข้า

(5) นำฐานข้อมูลหลักและข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลการดำเนินธุรกรรมมาใช้ในการคำนวณเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเวลาที่ใช้ของกิจกรรมในแต่ละงาน และนำไปใช้สร้างตารางเวลาต่อไป ข้อมูลอยู่ในรูป Microsoft Excel

ข) Algorithm Structure ใช้ข้อมูลที่ได้จากส่วน Preprocessing มาวิเคราะห์ด้วยวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) แบบ Evolutionary Algorithm ที่รวมเอาวิธี Constraint-Handling Techniques ไว้เพื่อจัดการกับข้อจำกัด โดยใช้โปรแกรมที่เขียนจาก Visual Basic 6.0 ในการนำข้อมูลที่ได้จาก Microsoft Excel มาใช้ในการคำนวณสร้างตารางเวลา

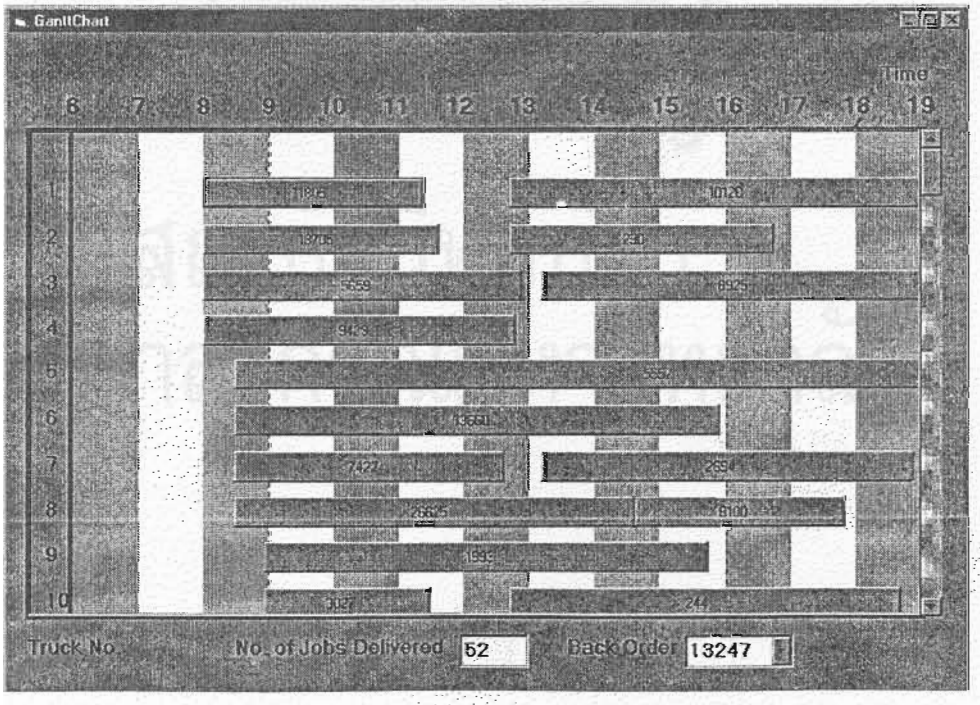
ค) Postprocessing นำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน Algorithm Structure มาเข้ากระบวนการวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Tabu Search เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมจะแสดงผลลัพธ์

5.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้เลือกใช้แบบ Gantt Chart เพื่อให้ผู้จัดตารางเวลาสามารถเห็นงานที่กระทำในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ บนรถบรรทุกแต่ละคันโดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) มาแสดงผล

Gantt Chart (รูปที่ 5.5) เป็นรูปแบบที่ใช้ในการนำเสนอผลของการจัดตารางเวลาการเดินรถ โดยแกนตั้งแสดงถึงรถบรรทุกแต่ละคัน แกนนอนแสดงเวลา และเส้นประแบ่งช่วงเวลาที่ห้ามรถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าเมือง สถานะของงานที่แสดงใน Gantt Chart หมายถึงงานที่สามารถส่งสินค้าได้ใน 1 วัน ส่วนสถานะของงานที่ไม่สามารถส่งได้ใน 1 วัน (Back Order) และจำนวนงานทั้งหมดที่สามารถจัดส่งได้ใน 1 วัน จะแสดงไว้ในรายการด้านล่าง ตัวเลขที่ใช้กำหนดชื่อของงานใน Gantt Chart เลือกใช้หมายเลขลูกค้าที่จัดส่ง เพราะสื่อความหมายได้ชัดเจนและไม่ยาวจนเกินไปที่จะแสดงไว้ในหน้าจอซึ่งมีพื้นที่จำกัด

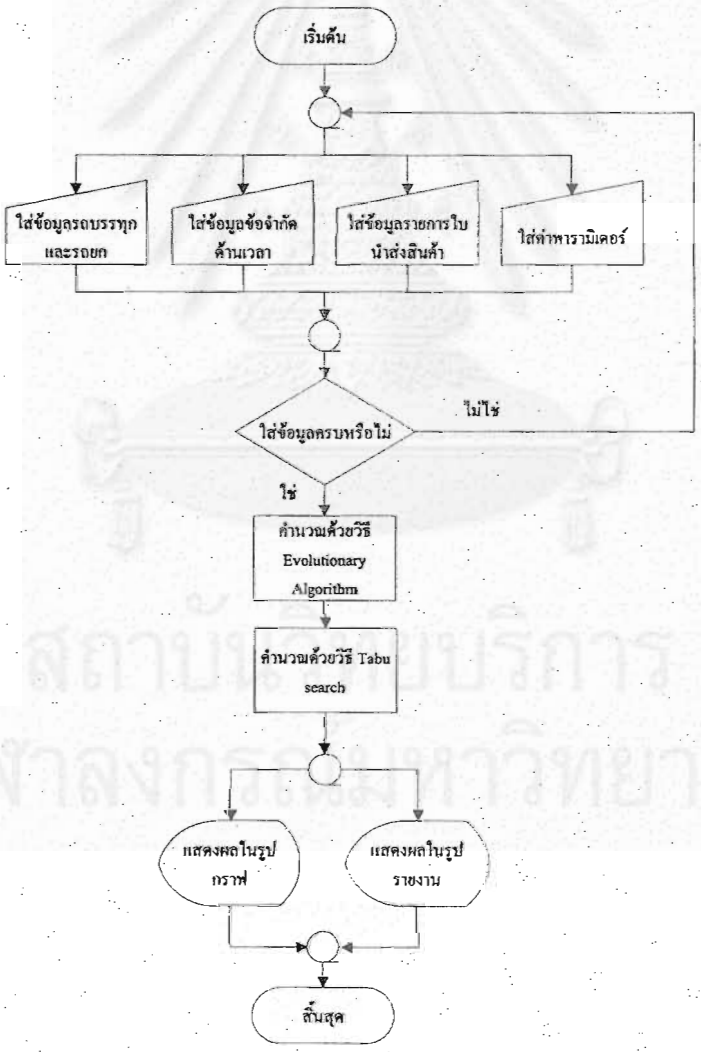
การแสดงผลลัพธ์ของการจัดตารางเวลาในรูปแบบนี้ เพื่อให้ผู้จัดตารางเวลาทราบสถานการณ์และวางแผนการใช้ทรัพยากรต่างๆ ได้แก่ รถบรรทุก และรถยก ได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 5.5 Gantt Chart ของโปรแกรม

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลออกเป็นรายงานซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลเก็บไว้หรือพิมพ์ให้พนักงานขับรถเพื่อให้สามารถจัดส่งตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.6

รูปที่ 5.6 รายงานของโปรแกรม



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

5.4 สรุป

การออกแบบโปรแกรมจัดตารางเวลามีส่วนประกอบอยู่ 3 ส่วนคือ

- ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) ทำหน้าที่กำหนดรูปแบบต่างๆ ที่จำเป็นของข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลของลูกค้า เส้นทางที่จัดส่ง ข้อมูลของรถบรรทุก สถานะของงานที่ส่ง และรายการคำสั่งซื้อ
- ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) จัดข้อมูลนำเข้าให้อยู่ในรูปที่ใช้สร้างตารางเวลา ทำการสร้างตารางเวลาจากแบบจำลองที่ได้พัฒนาไว้ และเตรียมผลลัพธ์ในรูปแบบที่ใช้แสดงผลต่อไป
- ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) แสดงผลลัพธ์ของการจัดตารางเวลาในรูปแบบ Gantt Chart ซึ่งแสดงถึงงานที่สามารถทำเสร็จภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้และงานค้างส่ง และในรูปแบบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบแบบจำลอง

หลังจากได้ศึกษาลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง เก็บข้อมูลที่จำเป็น พัฒนาแบบจำลอง และสร้างระบบจัดตารางเวลาแล้ว ต่อไปในบทนี้จะนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบหาระบบการจัดตารางเวลาการเดินรถที่เหมาะสม

กระบวนการทดสอบแบบจำลองกับระบบจริง เพื่อทดสอบความสามารถในการรับมือกับปัญหาในสภาพจริง ประกอบไปด้วยการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) และการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

6.1 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification)

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม หมายถึง การทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรม ให้การทำงานของโปรแกรมตั้งแต่การคำนวณจนถึงการรายงานผลเป็นไปอย่างถูกต้องตามที่กำหนดไว้ การทดสอบแบบนี้จะกระทำไปพร้อมกันระหว่างการสร้างแบบจำลองและโปรแกรม มีประเด็นต่างๆ ที่ต้องตรวจสอบดังต่อไปนี้

- ข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมต้องเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน ได้แก่ เวลาที่ใช้ในกิจกรรมของแต่ละงาน เลขรหัสลูกค้า จำนวนรายการคำสั่งซื้อ เป็นต้น สามารถตรวจสอบได้ด้วยการแสดงข้อมูลนำเข้าก่อนจะทำการจัดตารางเวลา
- การจัดลำดับงานให้รถบรรทุกในตอนเริ่มต้นต้องกำหนดให้ลำดับความสำคัญของงานที่จัดให้กับรถบรรทุกแต่ละคันเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ได้แก่ กฎ LPT, กฎ SPT และ จัดงานที่ใช้เวลาในเขตห้ามรถบรรทุกเข้าเมืองน้อยก่อน ขั้นตอนนี้ตรวจสอบในขณะพัฒนาโปรแกรม
- การกระจายข้อจำกัดของรถยกให้รถยกที่ว่างอยู่จัดให้กับรถบรรทุกที่พร้อมก่อน ตรวจดูขณะพัฒนาโปรแกรมให้รถยกที่มีเวลาดำเนินงานเสร็จก่อนทำงานให้กับรถบรรทุกที่พร้อมเป็นลำดับแรก
- การกระจายข้อจำกัดด้านเวลา ตรวจดูขณะทดสอบโปรแกรมให้งานที่มีส่วนที่จำกัดเวลาอยู่ภายในขอบเขตเวลาที่สามารถวิ่งได้เท่านั้น

6.2 การทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

Finlay (1989) แบ่งการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจสอบแต่ละส่วน (Analytical Validation) และการตรวจสอบภาพรวมทั้งหมด (Synoptic Validation)

6.2.1 การตรวจสอบแต่ละส่วนของโปรแกรม (Analytical Validation)

เป็นการตรวจสอบในส่วนย่อยของแบบจำลอง แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนคือ 1. การตรวจสอบความหมายของตัวแปร 2. การตรวจสอบความสอดคล้อง 3. การตรวจสอบความสัมพันธ์ และ 4. การตรวจสอบขอบเขตการใช้งาน

6.2.1.1 การตรวจสอบความหมายของตัวแปร

เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องกำหนดความหมายของตัวแปรแต่ละตัวให้ชัดเจน เพื่อมิให้ผู้ใช้งานสับสน ในงานวิจัยนี้มีความหมายของกิจกรรมที่ต้องกำหนดให้ชัดเจนดังนี้

- เวลาขึ้นสินค้า หมายถึง เวลานับตั้งแต่รถยกได้รับใบคำสั่งซื้อจนถึงรถบรรทุกแล่นออกจากโรงงาน
- เวลาเดินทางไป หมายถึง เวลาตั้งแต่รถบรรทุกออกจากโรงงานไปจนถึงร้านลูกค้าที่หมายในใบคำสั่งซื้อ
- เวลาลงสินค้า หมายถึง เวลาตั้งแต่รถบรรทุกเดินทางถึงร้านลูกค้าจนออกจากร้านลูกค้า

6.2.1.2 การตรวจสอบความสอดคล้อง

ในที่นี้หมายถึงการตรวจสอบความสอดคล้องของมิติและหน่วยของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน สิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับความสอดคล้องของมิติ คือ หน่วยที่ใช้กับข้อมูลนำเข้าเพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเวลาที่ใช้ในการจัดตารางเวลา และหน่วยของผลลัพธ์ที่ได้เพื่อป้องกันความสับสน หน่วยของเวลาที่ใช้คือนาที หน่วยของระยะทางเป็นกิโลเมตร จำนวนรถบรรทุกและรถยกเป็นคัน เวลาที่รถบรรทุกเข้าโรงงานบอกเป็นเวลาละเอียดถึงนาทีด้วยรูปแบบ 0:00 – 23:59

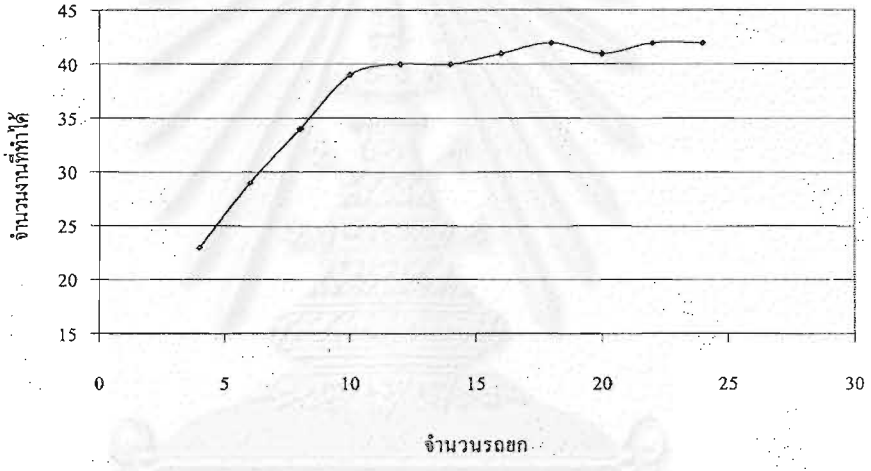
6.2.1.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์

การตรวจสอบความสอดคล้องจะสูญเปล่า ถ้าไม่มีการตรวจสอบความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ การตรวจสอบจะดูที่ค่าสูงสุดและค่า

ต่ำสุดของตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง เพื่อดูว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกันมีความเป็นไปได้หรือไม่

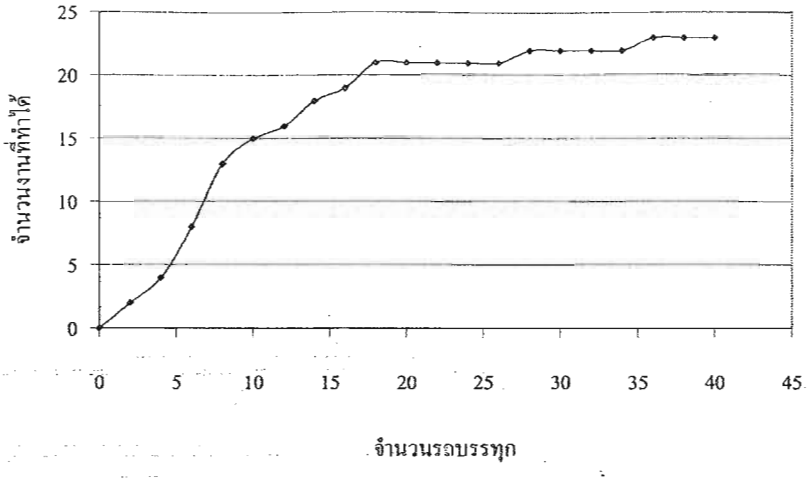
การตรวจสอบความสัมพันธ์ในการจัดตารางเวลานี้จะดูความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรกับงานที่ทำได้ ถ้ามีทรัพยากรมากงานที่กระทำได้ก็ย่อมต้องมากตามไปด้วย

ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างรถยกกับจำนวนงานจะใช้จำนวนรถบรรทุกคงที่ 40 คัน และจำนวนงาน 80 งาน จากนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนของรถยก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรถยก จำนวนงานที่ทำได้จะมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อเพิ่มจำนวนรถยกถึงค่าหนึ่งจำนวนงานที่ทำได้ก็ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนรถบรรทุก ข้อจำกัดด้านเวลา เป็นต้น ความสัมพันธ์ที่ได้ แสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถยกกับจำนวนงาน

ในทำนองเดียวกัน สำหรับการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างรถบรรทุกกับจำนวนงาน จะใช้จำนวนรถยกคงที่ 4 คัน และจำนวนงาน 40 งาน จากนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนของรถบรรทุก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรถบรรทุก จำนวนงานที่ทำได้จะมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อเพิ่มจำนวนรถบรรทุกถึงค่าหนึ่งจำนวนงานที่ทำได้ก็ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนรถยก ข้อจำกัดด้านเวลา เป็นต้น ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างรถยกกับจำนวนงาน ความสัมพันธ์ที่ได้ แสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรถบรรทุกกับจำนวนงาน

6.2.1.4 การตรวจสอบขอบเขตการใช้งาน

การใช้ตัวแปรแต่ละตัวต้องกำหนดขอบเขตที่สามารถใช้ได้ เนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถใช้ได้ดีในทุกกรณี โดยเฉพาะในช่วงที่ไม่มีข้อมูลมาสนับสนุนและช่วงที่แบบจำลองให้ค่าแตกต่างจากข้อมูลจริงที่เก็บมามาก และยังจำเป็นต้องกำหนดสมมติฐานที่ใช้อีกด้วย ดังต่อไปนี้

สมมุติฐานที่ใช้ประกอบไปด้วย

- รถบรรทุกและรถยกทุกคันพร้อมใช้งานที่เวลา 8:00 น.
- จำนวนรถยกใช้คงที่เท่ากับ 4 คัน
- ลูกค้าปิดร้านเวลา 17:00 น.
- เมื่อส่งให้ลูกค้าเสร็จแล้วจะกลับมายังศูนย์กระจายสินค้า
- กรณีที่มีการรวมคำสั่งซื้อ จะคิดเวลาเดินทางจากตำแหน่งของลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุด
- เส้นทางขาไปและขากลับใช้เวลาในการเดินทางเท่ากัน
- ทดสอบเฉพาะรถบรรทุก 6 ล้อเท่านั้น

6.2.2 การตรวจสอบภาพรวมทั้งหมด (Synoptic Validation)

การตรวจสอบภาพรวมทั้งหมดเป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนย่อยแต่ละส่วนเมื่อมาทำงานร่วมกัน หากผลลัพธ์สุดท้ายของแบบจำลองที่ได้จากชุดข้อมูลนำ

เข้าสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากระบบจริง ก็ทำให้มีความมั่นใจในการนำแบบจำลองไปใช้ในสถานการณ์จริง

ในการทดสอบแบบจำลองนั้น ดัชนีที่ใช้วัดเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับระบบจริง ต้องเลือกให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การจัดตารางเวลา คือสามารถส่งสินค้าได้ในระดับการบริการลูกค้าที่ตั้งไว้ และใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้แก่

- จำนวนงานที่สามารถทำได้เสร็จภายใน 1 วัน หมายถึง งานที่สามารถลงสินค้าให้ลูกค้าเสร็จในช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น.
- จำนวนงานที่รถบรรทุกเดินทางตอนกลางคืนเพื่อส่งสินค้าให้ลูกค้าในตอนเช้า หรือเรียกว่างานค้างส่ง โดยงานที่ถือว่าเป็นงานค้างส่งจะนับจากเวลาที่ออกใบส่งสินค้าตั้งแต่ 16:00 น. เป็นต้นไป เพราะเวลาที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่ใกล้ที่สุดประมาณ 1 ชั่วโมง ดังนั้นงานที่ใบส่งสินค้าออกหลังจากเวลา 16:00 น. จะไม่สามารถไปส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ทันก่อนเวลา 17:00 น.ซึ่งหลังจากเวลานี้ลูกค้าจะไม่รับสินค้า
- จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ สามารถสะท้อนประสิทธิภาพจากการจัดตารางเวลา และตรงกับวัตถุประสงค์ด้านการใช้รถบรรทุกให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ข้อมูลที่นำมาทดสอบเลือกในช่วงปกติและช่วงที่มีการส่งเสริมการขายระหว่างวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545 จนถึงวันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2545 เพื่อให้แบบจำลองสามารถใช้ในสถานการณ์จริงได้มากที่สุด ข้อมูลประกอบด้วยรายการคำสั่งซื้อที่ได้ส่งไปแล้วในแต่ละวัน จำนวนรถที่ใช้ และตำแหน่งที่จัดส่ง โดยแบ่งงานออกตามระยะทางที่ใช้จัดส่งเป็น 5 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กิโลเมตร

ช่วงที่ 2 มากกว่า 50 กิโลเมตร และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 กิโลเมตร

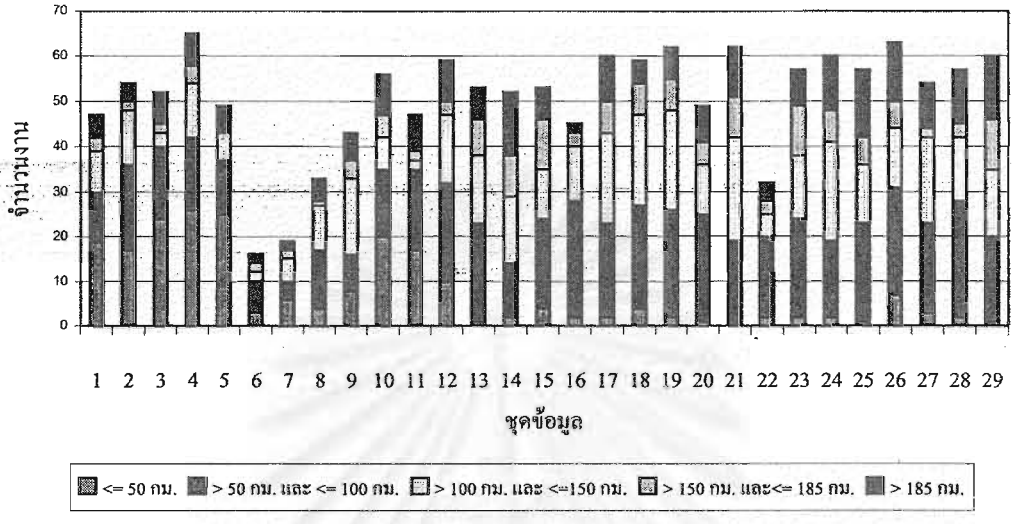
ช่วงที่ 3 มากกว่า 100 กิโลเมตร และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 กิโลเมตร

ช่วงที่ 4 มากกว่า 150 กิโลเมตร และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 185 กิโลเมตร

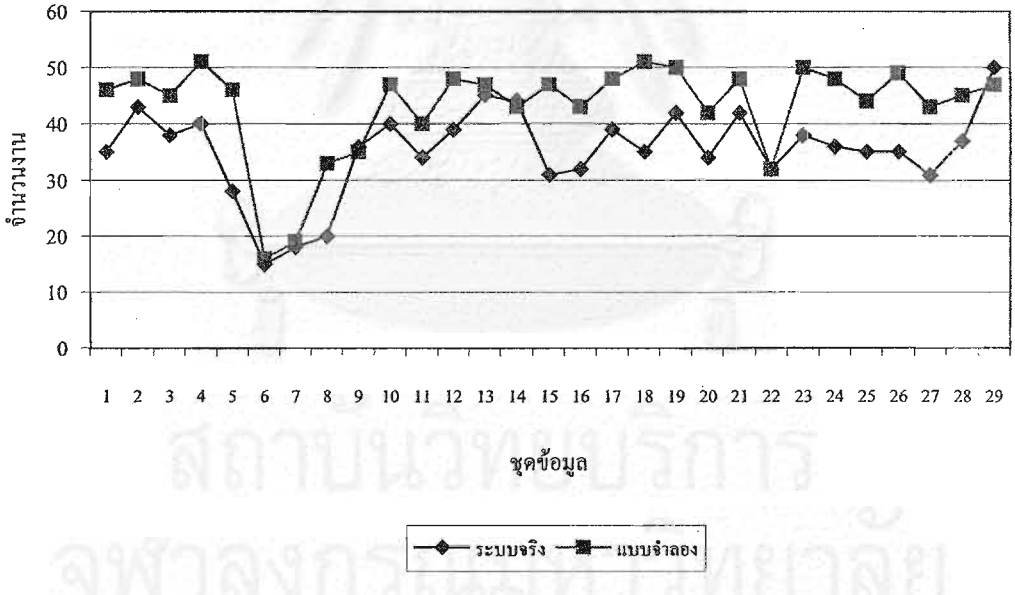
ช่วงที่ 5 มากกว่า 185 กิโลเมตร

งานที่มีระยะทางมากกว่า 185 กิโลเมตรถือเป็นงานที่ไม่สามารถส่งได้ภายใน 1 วัน ซึ่งหามาจากการนำเวลาที่ใช้ส่งสินค้าภายใน 1 วันคือช่วง 8:00-17:00 น. คิดเป็น 540 นาที หักเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการขนสินค้าขึ้นและลง (28.25+58) เหลือเวลาเดินทางไปและกลับ นำแทนค่าในสมการถดถอยเชิงเส้น (เวลาในการเดินทาง (นาที) = 1.1032 x ระยะทาง (กิโลเมตร) + 22.816)

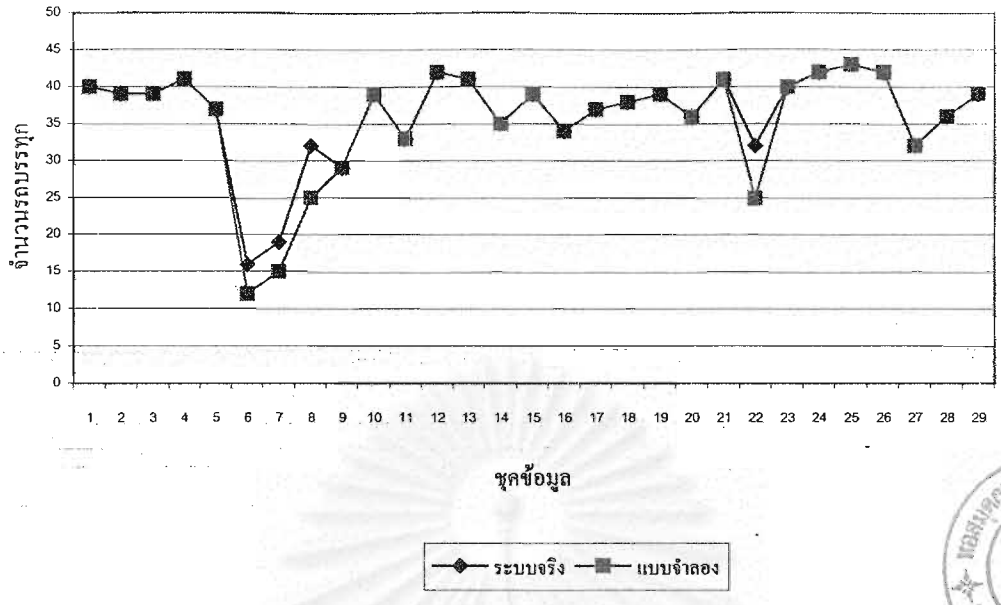
งานที่แบ่งออกตามระยะทางที่ใช้จัดส่งแสดงในรูปที่ 6.3 ส่วนผลเปรียบเทียบการจัดตารางเวลาด้วยแบบจำลองกับงานที่ทำได้จริง แสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.3 แผนภูมิสัดส่วนของงานที่มีระยะทางต่างๆ ในแต่ละวันที่จัดได้จริง



รูปที่ 6.4 แผนภูมิจำนวนงานที่สามารถจัดได้ใน 1 วัน



รูปที่ 6.5 แผนภูมิจำนวนรถบรรทุกที่ใช้

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

- แบบจำลองมีแนวโน้มที่จะจัดการเดินรถได้จำนวนเที่ยวมากกว่าการจัดด้วยพนักงาน โดยเฉพาะในกรณีของงานที่มีระยะทางน้อยกว่า 100 กิโลเมตร
- มีบางกรณีที่แบบจำลองจัดงานได้น้อยกว่าการจัดด้วยพนักงาน คือ ชุดข้อมูลที่ 9, 14 และ 29 เนื่องจากงานที่จัดส่วนมากเป็นงานที่มีระยะทางในการจัดส่งไกลและจำนวนรถที่ใช้มีจำกัด ทำให้การจัดด้วยพนักงานซึ่งมีความยืดหยุ่นมากกว่าและพิจารณาถึงปัจจัยอื่นนอกเหนือจากสมมุติฐานของแบบจำลอง เช่น การปิดร้านเกินกว่า 17:00 น. การจราจรติดขัด ทำให้สามารถจัดการใช้รถบรรทุกได้ดีกว่า
- กรณีที่จำนวนงานไม่มากกว่าจำนวนรถ แบบจำลองสามารถจัดการเดินรถโดยใช้จำนวนรถบรรทุกน้อยกว่า เพราะพนักงานจะพยายามจัดให้งานเสร็จเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วยจำนวนรถบรรทุกทั้งหมดที่มีอยู่ และกระจายงานให้กับรถบรรทุกให้มากที่สุดเพื่อไม่ให้มีความได้เปรียบเสียเปรียบกัน

- ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองทั้งเวลาในการเดินทางและเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลงเป็นค่าเฉลี่ย แต่ในสถานการณ์จริงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ อันเนื่องมาจากสภาพการจราจร สภาพร้านลูกค้า สถานการณ์ขณะที่ไปส่ง และชนิดของสินค้าที่ไปส่ง เป็นต้น

การทดสอบโดยผู้ที่ใช้ระบบเป็นสิ่งจำเป็นโดยเฉพาะแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากเกินกว่าจะแสดงผลออกมาเป็นแผนภาพหรือกราฟได้ ผู้ใช้ระบบจะต้องทดสอบและปรับเปลี่ยนจนแบบจำลองสามารถใช้ในสถานการณ์ปัจจุบันได้อย่างถูกต้องและยอมรับได้

สิ่งที่ลืมไม่ได้คือการทดสอบข้อมูลที่นำมาใช้ ทั้งในแง่ความถูกต้อง ความสอดคล้อง เนื่องจากตัวอย่างข้อมูลที่นำมาใช้ทดสอบเป็นเพียงส่วนเดียวของข้อมูลทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่คาดคิดกับการทดสอบแบบจำลองให้น้อยที่สุด

6.3 สรุป

การทดสอบแบบจำลองกับระบบจริง ประกอบไปด้วยการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) และการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

- การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) เป็นการทดสอบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูลนำเข้า กระบวนการทำงานของโปรแกรม เป็นต้น
- การทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้
  - การตรวจสอบแต่ละส่วนของโปรแกรม (Analytical Validation)

    1. การตรวจสอบความหมายของตัวแปร ให้คำจำกัดความของแต่ละกิจกรรมอย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ใช้มีความเข้าใจที่ถูกต้อง
    2. การตรวจสอบความสอดคล้อง ตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละค่าให้เป็นไปตามที่กำหนด ได้แก่ เวลาในการเดินทาง (นาที) ระยะทาง (กิโลเมตร) เป็นต้น
    3. การตรวจสอบความสัมพันธ์ ตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างงานที่ทำได้กับทรัพยากร ซึ่งได้แก่ รถบรรทุก และรถยก ซึ่งแปรผันตามกัน

4. การตรวจสอบขอบเขตการใช้งาน ตรวจสอบสมมติฐานที่ใช้ และขอบเขตของระยะทางที่ใช้ในการคำนวณเวลาในการเดินทาง

- การตรวจสอบภาพรวมทั้งหมด (Synoptic Validation) ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนย่อย ด้วยการพิจารณาจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ จำนวนงานที่ทำได้ใน 1 วัน และงานค้างส่ง พบว่าแบบจำลองมีแนวโน้มในการจัดตารางเวลาการเดินรถได้ดีกว่าระบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางเวลาการเดินรถ ได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานไว้ดังนี้

- เพื่อศึกษากิจกรรมและกระบวนการทำงานในการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกของผู้ประกอบการ
- เพื่อศึกษาวิธีจัดตารางเวลาการเดินรถของผู้ประกอบการ
- เพื่อพัฒนาแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดตารางเวลาการเดินรถให้สามารถนำมาใช้ภายใต้สถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้จัดตารางเวลาการเดินรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังลูกค้าที่อยู่ในเขตให้บริการ โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การทบทวนทฤษฎีการจัดตารางเวลา
2. การสำรวจและรวบรวมข้อมูล
3. การออกแบบแบบจำลอง
4. การทดสอบและวิเคราะห์ผล

7.2 การทบทวนทฤษฎีการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน

การจัดตารางเวลาใช้แนวคิดจากการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับงานในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเพื่อให้ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้สูงสุด ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ กิจกรรม หมายถึง การดำเนินการที่ประกอบกันขึ้นเป็นงาน งาน หมายถึง กิจกรรมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ทรัพยากร หมายถึง สิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ และวัตถุประสงค์ หมายถึง จุดมุ่งหมายที่ต้องการในการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน สำหรับวิธีที่นิยมใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางเวลามี 2 วิธีที่นิยมใช้ คือ วิธีหาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) และวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics)

การแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาด้วยการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ดีที่สุด (Optimization) ใช้เวลานานในการหาผลลัพธ์และมีความซับซ้อนมาก ไม่เหมาะกับงานจัดตารางเวลาที่ต้องกระทำทุกวัน วิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) จึงมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากให้คำตอบที่ใกล้เคียงผลลัพธ์ดีที่สุด ภายในเวลาที่รวดเร็ว ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีผสมผสาน (Hybrid) ระหว่าง 3 วิธี คือ Evolutionary Algorithm ซึ่งมีความยืดหยุ่นและมีโครงสร้างที่เข้าใจง่าย วิธี Constraint-Handling Techniques ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของปัญหาในงานวิจัยที่มีข้อจำกัด และวิธี Tabu Search เพื่อป้องกันมิให้วนกลับมาพิจารณาค่าดีที่สุดสัมพัทธ์

7.3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการของบริษัทตัวอย่างมีโรงงานอยู่ 4 แห่ง แต่ละแห่งมีพื้นที่การให้บริการลูกค้าซึ่งใกล้กับโรงงาน สำหรับศูนย์กระจายสินค้าที่พุทธมณฑลสาย 5 ซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษามีพื้นที่การให้บริการลูกค้าส่วนใหญ่อยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีช่วงเวลาในการรับมอบสินค้า 1 วัน และ 3 วัน มีขั้นตอนหลักในการจัดส่งสินค้าดังนี้

- หลังจากลูกค้าสั่งซื้อสินค้า พนักงานขายจะตรวจสอบปริมาณและชนิดสินค้าที่สั่งในคลังสินค้าแล้วจึงจัดทำเอกสารคำสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า (Shipping Order) จากนั้นจะจัดทำใบรายการสินค้า (Picking List) ซึ่งแสดงรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่ง และส่งเอกสารต่อไปยังฝ่ายขนส่ง
- ฝ่ายขนส่งรับใบรายการสินค้ามา เพื่อจัดแบ่งช่วงเวลาในการนำสินค้าขึ้นรถบรรทุกซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วง รวมทั้งนำใบรายการสินค้าที่มีปริมาณสินค้าไม่เต็มคันและตำแหน่งที่จัดส่งอยู่ไม่ห่างกันมากนักมารวมจัดส่งไว้ในเที่ยวเดียวกัน เมื่อจัดใบรายการสินค้าให้กับรถบรรทุกตามลำดับก่อนหลังเสร็จแล้วจึงแจ้งให้รถบรรทุกมาจอดที่ท่ารถเพื่อทำการขนสินค้าขึ้น
- ผู้ตรวจสอบสินค้าจะนำใบรายการสินค้าไปคอยตรวจสอบขณะที่รถยกตักสินค้าขึ้นรถบรรทุก เมื่อลูกค้าใบกันสินค้าตกหล่นเรียบร้อยแล้วจะไปชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งก่อนที่จะเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า

การวิเคราะห์ปัญหาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ ทรัพยากร งาน กิจกรรม และวัตถุประสงค์

1. ทรัพยากร ประกอบด้วยรถบรรทุก และรถยก โดยรถบรรทุกมีข้อจำกัดด้านเวลาพร้อมใช้งานและจำนวน รถยกมีข้อจำกัดด้านจำนวน

2. งาน แบ่งเป็น งานที่ต้องกระทำภายใน 1 วัน และงานที่ต้องกระทำภายใน 3 วัน รวมทั้งต้องพิจารณาข้อจำกัดของกิจกรรมที่ประกอบกันขึ้นเป็นงาน

3. กิจกรรมแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) การจัดขึ้นสินค้ารถบรรทุก ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุกและรถยก 2) การเดินทางขนส่งสินค้า ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุก แบ่งเป็นส่วนที่มีข้อจำกัดด้านเวลาการห้ามเดินรถ และสามารถเดินรถได้ตลอดเวลา และ 3) การจัดสินค้าลงที่ร้านลูกค้า ทรัพยากรที่ใช้ คือ รถบรรทุก

4. วัตถุประสงค์ในการจัดตารางเวลาการเดินรถ คือ ให้เสร็จงานมากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด ด้วยเงื่อนไขด้านทรัพยากร งาน และกิจกรรม ซึ่งในแบบจำลองใช้เวลาทำงานที่เหลืออยู่ของรถบรรทุกเป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพในการจัดตารางเวลาการเดินรถ เนื่องจากสามารถแยกคุณภาพของคำตอบได้ชัดเจนและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

จากการวิเคราะห์ปัญหา ทำให้สามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ได้ดังนี้

- ข้อมูลลูกค้า ได้มาจากฐานข้อมูลของบริษัทโดยตรง
- ข้อมูลเวลาในการเดินทาง ได้จากการนำข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเดินทางกับระยะทางได้เป็นสมการดังนี้

  เวลาในการเดินทาง (นาที) = 1.1032 x ระยะทาง (กิโลเมตร) + 22.816

  $R^2 = 0.823$

- ข้อมูลเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลงไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจะใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนในการคำนวณเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลง

7.4 แบบจำลองการจัดตารางเวลาการเดินรถ

การออกแบบแบบจำลองได้กำหนดโครงสร้างของวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนข้อจำกัด และส่วนป้องกันค่าดีที่สุดสัมพัทธ์

ส่วนโครงสร้างหลัก ซึ่งใช้หาผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ใช้วิธี Evolutionary Algorithm เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาได้หลายแบบ ในการออกแบบมีส่วนต้องที่พิจารณาดังนี้

- ตัวแทนของผลลัพธ์ (Representation) ใช้การจัดลำดับงานในรูปเมตริกซ์ ค่าตัวเลขหมายถึงงานที่กระทำ ตำแหน่งของตัวเลขหมายถึงลำดับงานบนรถบรรทุกแต่ละคัน

- ส่วนสร้างผลลัพธ์ (Variation Operator) ใช้ผลลัพธ์สำหรับให้กำเนิดผลลัพธ์รอบต่อไป (Parent) 2 ค่า โดยเลือกงานตำแหน่งใดๆ จากรถบรรทุกจำนวนหนึ่งขึ้นมาสับเปลี่ยนงานกับผลลัพธ์อีกค่า
- ขนาดของกลุ่มผลลัพธ์ (Population Size) และการกำหนดค่าตั้งต้น (Initialization) ใช้ค่าเริ่มต้น 3 แบบคือ ให้ลำดับความสำคัญกับงานที่ใช้เวลามากก่อน (LPT) ให้ลำดับความสำคัญกับงานที่ใช้เวลาน้อยก่อน (SPT) และจัดงานที่มีเวลาในส่วนที่ห้ามรถบรรทุกวิ่งน้อยที่สุดก่อน

- กลไกการเลือก (Selection Mechanism) สุ่มเลือกผลลัพธ์ตามค่าคุณภาพ เพื่อกระจายขอบเขตของคำตอบ

ส่วนข้อจำกัดในงานวิจัยนี้จะกำหนดไว้ในส่วนประเมินคุณภาพของผลลัพธ์ (Evaluation Function) ได้แก่ ข้อจำกัดด้านการใช้รถยก และข้อจำกัดด้านเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก แล้วคำนวณเวลาที่เหลืออยู่ของรถบรรทุกแต่ละคันหลังจากจัดงานเสร็จเป็นค่าคุณภาพ (Fitness)

ส่วนป้องกันค่าดีที่สุดสัมพัทธ์เลือกใช้วิธี Tabu Search โดยขนาด Tabu List จะปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามขนาดของจำนวนผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{Tabu List} = 0.1\text{x}(\text{จำนวนงาน}) \text{ x } (\text{จำนวนรถบรรทุก})$$

7.5 การออกแบบโปรแกรม

เป็นการนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมไว้กับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาใช้ออกแบบโปรแกรมที่ใช้เป็นระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

มีส่วนประกอบอยู่ 3 ส่วนคือ

1. ส่วนระบบฐานข้อมูล (Database) ประกอบไปด้วย ฐานข้อมูลหลัก (Master files) ได้แก่ ข้อมูลของรถบรรทุกขนส่งสินค้า ข้อมูลตำแหน่งลูกค้า ข้อมูลเส้นทางที่ไปส่ง สถานะการขนส่ง และฐานข้อมูลการดำเนินธุรกรรม (Transaction files) ได้แก่ รายการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า

2. ส่วนสร้างตารางเวลา (Schedule Generation) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.1 Preprocessing จัดเตรียมข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการจัดตารางเวลา

2.2 Algorithm Structure ใช้ข้อมูลที่ได้จากส่วน Preprocessing มาวิเคราะห์ด้วยวิธีสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristics) แบบ Evolutionary Algorithm ที่รวมเอาวิธี Constraint-Handling Techniques ไว้เพื่อจัดการกับข้อจำกัด โดยใช้โปรแกรมที่เขียนจาก Visual Basic 6.0 ในการนำข้อมูลที่ได้จาก Microsoft Excel มาใช้ในการคำนวณ

2.3 Postprocessing นำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน Algorithm Structure มาเข้ากระบวนการวิเคราะห์ต่อด้วยวิธี Tabu Search เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมจะแสดงผล

3. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้เลือกใช้รูปแบบ Gantt Chart เพื่อให้ผู้จัดตารางเวลาสามารถเห็นงานที่กระทำในแต่ละช่วงเวลาบนรถบรรทุกแต่ละคัน ทำให้ผู้จัดตารางเวลาทราบสถานการณ์และวางแผนการใช้ทรัพยากรต่างๆ อันได้แก่ รถบรรทุก และรถยก ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งแสดงออกเป็นรายงานสำหรับให้พนักงานขับรถจัดส่งสินค้าตามตารางเวลาที่จัดไว้

7.6 การทดสอบและวิเคราะห์ผล

กระบวนการทดสอบแบบจำลองกับระบบจริง เพื่อทดสอบความสามารถในการรับมือกับปัญหาในสภาพจริง ประกอบไปด้วยการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) และการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) เป็นการทดสอบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ตั้งแต่ความถูกต้องของข้อมูลนำเข้า กระบวนการทำงานของโปรแกรม

การทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation) ประกอบไปด้วยตรวจสอบความหมายของตัวแปร หน่วยของตัวแปรแต่ละค่าให้เป็นไปตามที่กำหนด ตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างงานที่ทำได้กับทรัพยากร ขอบเขตการใช้งาน จากนั้นจะตรวจสอบภาพรวมทั้งหมดด้วยการดูจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ จำนวนงานที่ทำได้ใน 1 วัน และงานค้างส่ง

ผลทดสอบพบว่าแบบจำลองมีแนวโน้มในการจัดตารางเวลาการเดินรถได้ดีกว่าระบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยเฉพาะในกรณีของงานที่มีระยะทางที่ไปส่งให้ลูกค้าน้อยกว่า 100 กิโลเมตร กรณีที่งานส่วนมากเป็นงานที่มีระยะทางในการจัดส่งไกลและจำนวนรถบรรทุกที่ใช้มีจำกัด แบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่ด้อยกว่าการจัดด้วยพนักงาน เนื่องจากการจัดด้วยพนักงานมีความยืดหยุ่นมากกว่าและสามารถพิจารณาถึงปัจจัยอื่นนอกเหนือจากที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลอง

7.7 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยการจัดตารางเวลาการเดินรถขั้นต่อไป มีแนวทางและส่วนที่สามารถพัฒนาต่อได้ดังนี้

- แบบจำลองสามารถพัฒนาในรูปแบบอื่น ได้แก่ การใช้ค่าปรับ (Penalty) หรือการปรับแก้ข้อจำกัดให้เป็นไปได้ แทนวิธีการสุ่มขึ้นมาหาค่าที่ดีกว่า อาจลดเวลาในการจัดตารางเวลาการเดินรถและให้คำตอบที่เหมาะสมกว่า
- เพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้จัดตารางเวลาการเดินรถ เช่น การปรับตารางเวลาตามสถานการณ์ เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นและจัดการกับปัญหาซึ่งแบบจำลองไม่ได้พิจารณาไว้
- เพิ่มความสามารถในการจัดงานที่มีลำดับความสำคัญไม่เท่ากันและสามารถใช้งานได้กับรถหลายประเภทซึ่งมีข้อจำกัดแตกต่างกัน
- นำระบบ GIS (Geographic Information Systems) มาใช้ร่วมกับการจัดตารางเวลาการเดินรถ เพื่อให้สามารถทราบตำแหน่งของรถบรรทุกแต่ละคันและใช้รถได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
- ประสานงานกับระบบการจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อใช้ในกรณีที่ส่งสินค้าไม่เต็มคัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และจำลอง ครูอุตสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์, 2543.

ประสิทธิ์ สวราชย์. การใช้ฮิวริสติกแบบทาบูเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับเทคโนโลยีกลุ่มที่มีทางเลือกแผนกระบวนการผลิตหลายแบบ. ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สายพิณ เครือคล้าย. การวิเคราะห์การขนส่งสินค้าด้วยรถยนต์บรรทุกในภาคเหนือ. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย แผนหลักการขนส่ง พ.ศ. 2542-2549 กระทรวงคมนาคม. มกราคม 2542.

ภาษาอังกฤษ

Baker, K. R. Introduction to Sequencing and Scheduling. John Wiley & Sons Inc., 1974.

Bartak, R., and Rudova, H. Integrated Modeling for Planning, Scheduling, and Timetabling Problems. Research support by the Grant Agency of the Czech Republic, 2001.

Bufe, M., Fisher, T., Gubbels, H., Hacker, C., Oliver, H., Scheibel, C., Weicker, N., Wenig, M., and Wolfangel, C. Automated Solution of a Highly Constrained School Timetabling Problem – Preliminary Results. Applications of Evolutionary Computing : Proceedings / EvoWorkshops 2001. April 18 – 20, 2001.

Finlay, P. N. Introducing Decision Support Systems. NCC Blackwell, 1989.

Grobner, M., and Wilke, P. Optimizing Employee Schedules by a Hybrid Genetic Algorithm. Applications of Evolutionary Computing : Proceedings / EvoWorkshops 2001. April 18 – 20, 2001.

Karaman, A. Dispatching Rules. In partial fulfillment of the requirements for the course IE 572, Production Planning Systems Design Spring 2000. Department of Industrial Engineering, Bilkent University, Turkey, 2000.

Kendall, K. E. System Analysis and Design. 4th ed. Prentice-Hall, Inc., 1999.

Koylu, R. Tabu Search. In partial fulfillment of the requirements for the course IE 572, Production Planning Systems Design Spring 2000. Department of Industrial Engineering, Bilkent University, Turkey, 2000.

Kwan, R. S.K., and Shen, Y. Tabu Search for Driver Scheduling. Research Report April 2000. School of Computer Studies, University of Leeds, Leeds, UK, 2000.

Lee, C., Lei, L., and Pinedo, M. Current Trends in Deterministic Scheduling. Annals of Operation Research Vol.70 (1997) : 1-41.

Maculan, N., Porto, S. C.S., Rebeiro, C. C., and Cid Carvalho De Souza. A New Formulation for Scheduling Unrelated Processor under Precedence Constraints. Operation Research Vol 33 (1999) : 87-92.

Michalewicz, Z.,Fogel, B. D. How to Solve It : Modern Heuristics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000.

Pinedo, M. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Englewood Cliffs, Newjersey, United States of America : Prentice-Hall, Inc., 1995.

Pinedo, M., and Yen, B. P.C. On the Design and Development of Object-Oriented Scheduling Systems. Annals of Operation Research Vol.70 (1997) : 359-378.

Jirakraisri, S. Computer Scheduling of Gasoline Deliveries from one Depot to a Number of Delivery Points. Master's Thesis, Department of Engineering, Asian Institute of Technology, 1992.

Ratliff, H. D., Nulty, W. G. Logistics Composite Modeling. Atlanta, Georgia, United States of America : The Logistics Institute of Technology , 1996.

Sandikvic, B. Genetic Algorithms. In partial fulfillment of the requirements for the course IE 572, Production Planning Systems Design Spring 2000. Department of Industrial Engineering, Bilkent University, Turkey, 2000.

Sussans, E. J. Logistics Modeling. Great Britain, Pitman Publishing, 1995.

Tsang, E P K. Scheduling Techniques-A Comparative Study. BT Technol J Vol 13 (1995) : 16-28.

Reklaitis, G. V. Overview of Planning & Scheduling Technologies. ENPROMER'99. Santa Catarina, Brasil, 1999.

Weintraub, A., Epstein, R., Moroles, R., Seron, J., and Traverso, P. A Truck Scheduling Improves Efficiency in the Forest Industries. INTERFACES Vol 26 (1996) : 1-12.

Yildiz, H. Simulated Annealing & Applications to Scheduling Problems. In partial fulfillment of the requirements for the course IE 572, Production Planning Systems Design Spring 2000. Department of Industrial Engineering, Bilkent University, Turkey, 2000.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ1 แสดงเวลาในการขนสินค้าที่โรงงาน

วัน/เดือน/ปี	เวลาออกใบส่งสินค้า	เวลาออกจากโรงงาน	ระยะเวลา(นาที)
26/2/02	16:16	16:45	29
24/2/02	12:45	13:20	34
27/2/02	11:27	12:20	52
5/3/02	11:07	12:00	52
26/2/02	13:11	11:40	21
2/3/02	13:41	12:05	36
27/2/02	9:41	10:00	18
2/3/02	16:23	17:00	36
5/3/02	9:34	10:00	25
26/2/02	9:14	9:45	30
28/2/02	10:52	11:08	15
6/3/02	9:26	10:00	33
12/3/02	14:06	14:30	23
19/3/02	8:39	9:10	30
4/3/02	10:45	11:01	15
15/3/02	10:55	11:16	20
1/3/02	14:43	15:00	16
11/3/02	10:03	10:30	26
6/3/02	13:11	13:30	18
12/3/02	12:03	12:30	26
16/3/02	11:34	12:20	45
18/3/02	17:49	18:15	25
	เวลาขนสินค้าเฉลี่ย		28.41
	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน		10.87

ตารางที่ ผ2 แสดงเวลาในการลงสินค้าที่ร้านลูกค้า

วัน/เดือน/ปี	เวลาถึงร้านลูกค้า	เวลาออกจากร้านลูกค้า	ระยะเวลา(นาที)
23/2/02	16:30	16:55	25
26/2/02	14:30	15:00	30
26/2/02	18:06	19:30	84
27/2/02	13:01	14:05	64
24/2/02	14:50	15:30	40
27/2/02	14:30	14:50	20
27/2/02	8:00	8:40	40
4/3/02	11:50	13:20	90
5/3/02	14:00	15:20	80
26/2/02	15:05	15:55	50
27/2/02	14:40	16:01	81
28/2/02	5:40	6:45	65
2/3/02	13:35	14:40	65
2/3/02	15:21	15:42	21
2/3/02	7:30	8:40	70
7/3/02	8:10	9:28	78
27/2/02	14:20	15:00	40
25/2/02	8:00	8:30	30
26/2/02	8:00	9:30	90
5/3/02	8:00	9:00	60
28/2/02	12:45	13:50	65
7/3/02	13:00	13:45	45
13/3/02	12:45	13:30	45
14/3/02	13:40	14:49	69
19/3/02	12:10	13:20	70
26/2/02	11:30	13:00	90
27/2/02	8:50	9:45	55
7/3/02	16:30	17:31	61
8/3/02	10:43	11:37	54
9/3/02	16:00	16:44	44

ตารางที่ ผ2 (ต่อ) แสดงเวลาในการลงสินค้าที่ร้านลูกค้า

วัน/เดือน/ปี	เวลาถึงร้านลูกค้า	เวลาออกจากร้านลูกค้า	ระยะเวลา(นาที)
11/3/02	13:20	14:16	56
12/3/02	8:10	9:27	77
13/3/02	7:30	8:28	58
15/3/02	10:00	10:36	36
26/2/02	13:20	14:10	50
27/2/02	13:25	14:00	35
1/3/02	15:50	17:00	70
4/3/02	13:30	14:00	30
5/3/02	15:00	16:00	60
6/3/02	13:30	14:30	60
8/3/02	7:30	8:40	70
11/3/02	12:50	13:58	68
6/3/02	14:50	16:15	85
11/3/02	14:00	14:50	50
16/3/02	15:00	16:00	60
28/2/02	8:01	9:05	64
6/3/02	12:30	13:40	70
11/3/02	15:05	16:30	85
13/3/02	16:45	17:20	35
14/3/02	16:40	17:00	20
14/3/02	7:45	9:00	75
	เวลาลงสินค้าที่ร้านเฉลี่ย		57.55
	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน		19.70

ตารางที่ ผ3 แสดงเวลาในการเดินทาง

วัน/เดือน/ปี	เวลาออกจากร้านลูกค้า	เวลาถึงโรงงาน	ระยะเวลา(นาที)	ระยะทาง(กิโลเมตร)
23/2/02	13:35	14:36	61	51.67
25/2/02	9:10	11:45	155	105.65
26/2/02	15:00	16:00	60	49.48
24/2/02	15:30	17:00	90	50.00
24/2/02	11:00	13:00	120	124.71
27/2/02	14:50	16:20	90	32.82
4/3/02	13:20	14:30	70	132.62
5/3/02	15:20	16:50	90	60.30
25/2/02	8:30	10:43	133	136.42
26/2/02	15:55	16:35	40	27.56
27/2/02	9:00	10:50	110	107.31
27/2/02	16:01	17:20	79	100.00
28/2/02	7:30	10:50	200	132.62
6/3/02	9:01	11:32	151	124.71
25/2/02	7:30	11:00	210	207.44
26/2/02	15:50	16:55	65	50.49
27/2/02	9:30	10:48	78	88.39
28/2/02	10:30	12:00	90	104.93
27/2/02	14:20	16:00	100	95.65
28/2/02	9:10	13:00	230	220.00
1/3/02	8:10	10:40	150	104.93
25/2/02	8:30	10:30	120	70.74
26/2/02	9:30	14:30	300	220.00
27/2/02	10:00	12:50	170	141.37
28/2/02	10:30	13:30	180	157.23
1/3/02	10:30	14:00	210	124.71
5/3/02	13:30	15:00	90	70.85
26/2/02	14:30	16:20	110	63.44
26/2/02	10:30	13:45	195	107.31
27/2/02	9:00	10:08	68	24.24

ตารางที่ ผ3 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง

วัน/เดือน/ปี	เวลาออกจากร้านลูกค้า	เวลาถึงโรงงาน	ระยะเวลา(นาที)	ระยะทาง(กิโลเมตร)
28/2/02	13:50	15:15	85	62.89
28/2/02	11:50	15:59	249	157.23
4/3/02	10:30	13:30	180	157.23
11/3/02	13:00	13:15	15	63.44
12/3/02	9:15	11:15	120	60.30
13/3/02	9:45	10:40	55	14.86
14/3/02	14:49	16:00	71	32.82
25/2/02	11:17	14:30	193	142.87
26/2/02	8:44	11:47	183	105.65
27/2/02	15:34	16:00	26	26.35
28/2/02	8:30	12:36	246	157.23
1/3/02	15:57	16:27	30	40.62
1/3/02	10:15	13:37	202	124.71
4/3/02	14:00	14:55	55	14.86
4/3/02	9:00	11:14	134	86.70
5/3/02	15:53	17:20	87	39.10
5/3/02	9:20	12:12	172	105.65
6/3/02	15:50	16:26	36	14.86
6/3/02	9:29	13:22	233	105.65
8/3/02	11:37	13:17	100	88.39
8/3/02	10:40	12:55	135	86.70
11/3/02	14:16	15:57	101	38.44
11/3/02	9:51	12:45	174	105.65
12/3/02	9:27	15:39	372	280.00
13/3/02	8:28	14:19	351	300.00
14/3/02	9:00	10:28	88	32.82
18/3/02	10:40	13:32	172	132.62
25/2/02	9:15	10:58	103	126.71
26/2/02	14:10	15:30	80	72.65
26/2/02	9:20	10:42	82	48.35

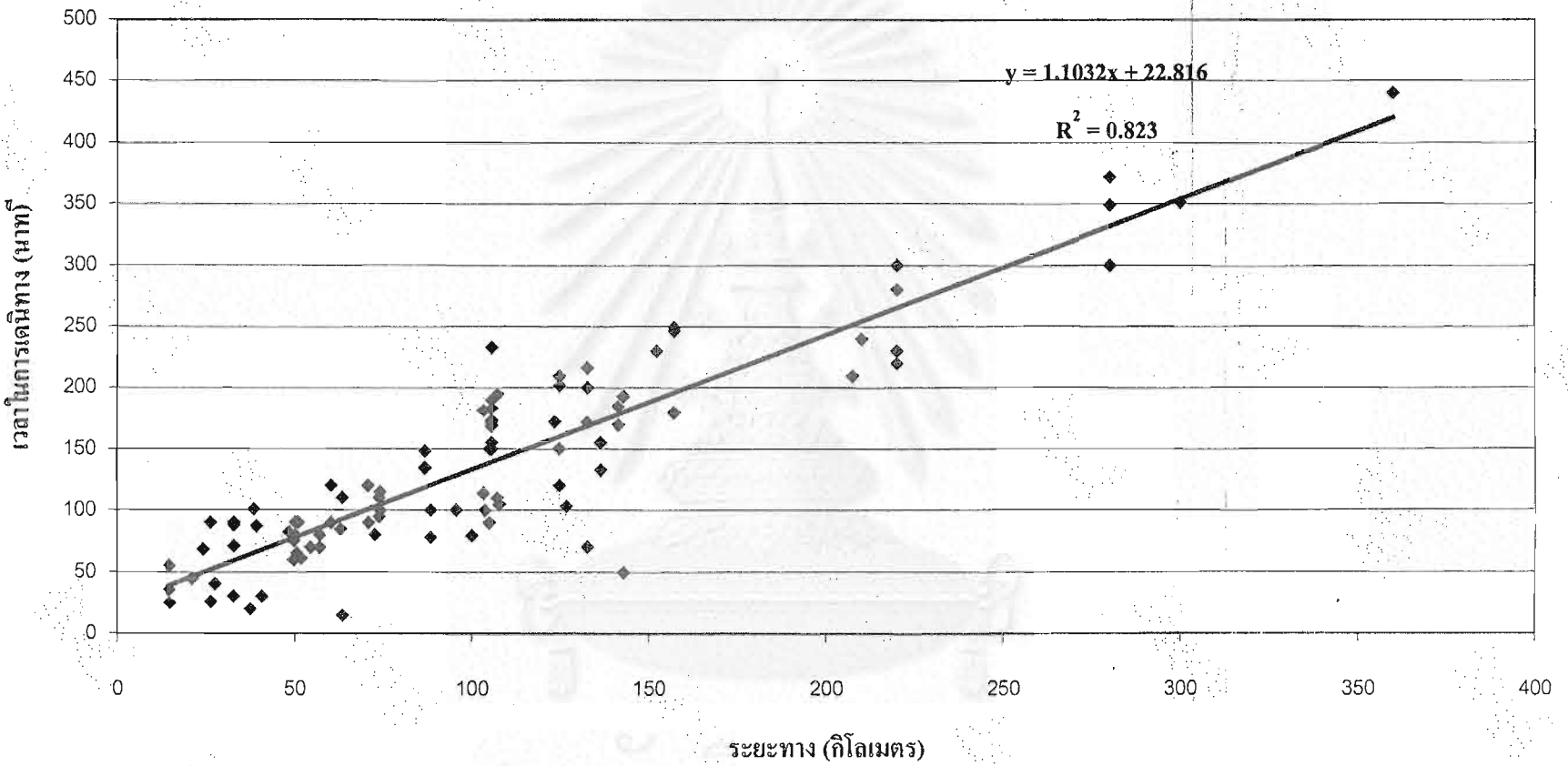
ตารางที่ ผ3 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง

วัน/เดือน/ปี	เวลาออกจากร้านลูกค้า	เวลาถึงโรงงาน	ระยะเวลา(นาที)	ระยะทาง(กิโลเมตร)
27/2/02	14:00	14:45	45	21.30
28/2/02	9:35	13:12	217	132.62
1/3/02	17:00	17:25	25	14.86
1/3/02	9:40	12:32	172	123.47
4/3/02	9:00	12:02	182	103.27
5/3/02	16:00	16:30	30	32.63
5/3/02	9:10	11:04	114	103.27
7/3/02	9:55	11:45	110	73.91
8/3/02	8:40	13:40	300	280.00
25/2/02	5:05	8:30	205	50.00
28/2/02	8:50	12:40	230	152.32
4/3/02	13:50	15:30	100	74.16
4/3/02	10:30	12:00	90	26.25
5/3/02	15:30	16:50	80	56.86
5/3/02	9:40	12:10	150	105.65
6/3/02	16:15	17:30	75	49.48
7/3/02	12:00	15:40	220	220.00
11/3/02	14:50	16:10	80	50.00
11/3/02	8:55	11:30	155	136.42
12/3/02	15:30	17:00	90	50.71
12/3/02	10:40	14:00	200	132.62
13/3/02	11:00	15:00	240	210.00
14/3/02	11:00	14:10	190	105.65
15/3/02	10:00	11:10	70	54.17
16/3/02	9:20	14:00	280	220.00
18/3/02	15:30	17:10	100	103.80
4/3/02	8:00	15:20	440	360.00
5/3/02	9:15	11:00	105	107.72
6/3/02	13:40	14:00	20	37.28
6/3/02	10:02	12:30	148	86.70

ตารางที่ ผ3 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง

วัน/เดือน/ปี	เวลาออกจากร้านลูกค้า	เวลาถึงโรงงาน	ระยะเวลา(นาที)	ระยะทาง(กิโลเมตร)
7/3/02	9:00	10:55	115	74.16
11/3/02	9:10	10:00	50	142.87
12/3/02	11:05	13:54	169	105.65
13/3/02	17:20	18:30	70	56.86
13/3/02	9:11	15:00	349	280.00
18/3/02	9:05	12:10	185	141.37
	เวลาเดินทางเฉลี่ย		139.02	104.05
	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน		83.71	68.86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ผ1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาในการเดินทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ4 ช่วงเวลาในการจัดส่งสินค้าของแต่ละพื้นที่

ช่วงที่ 1 ขึ้นสินค้าเวลา 8:00–9:00น.		ช่วงที่ 2 ขึ้นสินค้าเวลา 9:00–11:00น.		ช่วงที่ 3 ขึ้นสินค้าเวลา 12:00–14:00น.		ช่วงที่ 4 ขึ้นสินค้าเวลา 15:00–17:00น.	
เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด
ลาดกระบัง	กทม.	ท่าม่วง	กาญจนบุรี	บางกอกใหญ่	กทม.	สวนผึ้ง	ราชบุรี
มีนบุรี	กทม.	อู่ทอง-สุพรรณ	สุพรรณบุรี	จอมทอง	กทม.	ด่านมะขามเตี้ย	กาญจนบุรี
บึงกุ่ม	กทม.	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	ดุสิต	กทม.	เมือง	กาญจนบุรี
ประเวศ	กทม.	เมือง	สุพรรณบุรี	ตลิ่งชัน	กทม.	เมือง	เพชรบุรี
พระโขนง	กทม.	กำแพงแสน	นครปฐม	บางขุนเทียน	กทม.	เขาย้อย	เพชรบุรี
ลาดพร้าว	กทม.	ดอนตูม	นครปฐม	บางซื่อ	กทม.	จอมบึง	ราชบุรี
บางกะปิ	กทม.	บางเลน	นครปฐม	บางพลัด	กทม.	ทองผาภูมิ	กาญจนบุรี
บางเขน	กทม.	เมือง	สมุทรสงคราม	ภาษีเจริญ	กทม.	ไทรโยค	กาญจนบุรี
ห้วยขวาง	กทม.	บางคณที	สมุทรสงคราม	หนองแขม	กทม.	บ่อพลอย	กาญจนบุรี
คลองเตย	กทม.	อัมพวา	สมุทรสงคราม	เมือง	นนทบุรี	พนมทวน	กาญจนบุรี
ยานนาวา	กทม.	-	สมุทรปราการ	ไทรน้อย	นนทบุรี	เลาขวัญ	กาญจนบุรี
ราษฎร์บูรณะ	กทม.	หนองจอก	กทม.	บางกรวย	นนทบุรี	ศรีสวัสดิ์	กาญจนบุรี
คอนเมือง	กทม.	นครหลวง	อยุธยา	บางบัวทอง	นนทบุรี	สังขละบุรี	กาญจนบุรี
คลองสาน	กทม.	บางปะอิน	อยุธยา	บางใหญ่	นนทบุรี	หนองปรือ	กาญจนบุรี
จตุจักร	กทม.	ผักไห่	อยุธยา	ปากเกร็ด	นนทบุรี	ห้วยกระเจา	กาญจนบุรี
บางรัก	กทม.	ลาดบัวหลวง	อยุธยา	เมือง	ปทุมธานี	ด่านช้าง	สุพรรณบุรี
ปทุมวัน	กทม.	วังน้อย	อยุธยา	ลาดหลุมแก้ว	ปทุมธานี	เดิมบางนางบวช	สุพรรณบุรี
ป้อมปราบ	กทม.	เสนา	อยุธยา	เมือง	ราชบุรี	บางปลาม้า	สุพรรณบุรี
พญาไท	กทม.	ตำนินสะดวก	ราชบุรี	บางแพ	ราชบุรี	ศรีประจันต์	สุพรรณบุรี
พระนคร	กทม.	ปากท่อ	ราชบุรี	บ้านโป่ง	ราชบุรี	สามชุก	สุพรรณบุรี
ราชเทวี	กทม.	วัดเพลง	ราชบุรี	โพธาราม	ราชบุรี	หนองหญ้าไซ	สุพรรณบุรี
สาธร	กทม.	ดอนเจดีย์	สุพรรณบุรี	เมือง	นครปฐม	แก่งกระจาน	เพชรบุรี
สัมพันธวงศ์	กทม.	บางบาล	อยุธยา	นครชัยศรี	นครปฐม	ชะอำ	เพชรบุรี
คลองหลวง	กทม.	บางซ้าย	อยุธยา	พุทธมณฑล	นครปฐม	ท่ายาง	เพชรบุรี
ธัญบุรี	ปทุมธานี	บางปะหัน	อยุธยา	สามพราน	นครปฐม	บ้านลาด	เพชรบุรี
ลำลูกกา	ปทุมธานี	มหาราช	อยุธยา	เมือง	สมุทรสาคร	บ้านแหลม	เพชรบุรี
หนองเสือ	ปทุมธานี			กระทุ่มแบน	สมุทรสาคร	หนองหญ้าปล้อง	เพชรบุรี
สามโคก	ปทุมธานี			บ้านแพ้ว	สมุทรสาคร		อ่างทอง
บางไทร	อยุธยา						อพบุรี
บางกอกน้อย	กทม.						ชลบุรี
							ระยอง
							ฉะเชิงเทรา
							จันทบุรี
							ตราด
							สุโขทัย
							พิจิตร
							พิษณุโลก

ตารางที่ ผ4 (ต่อ) ช่วงเวลาในการจัดส่งสินค้าของแต่ละพื้นที่

ช่วงที่ 1 ขึ้นสินค้าเวลา 8:00–9:00น.		ช่วงที่ 2 ขึ้นสินค้าเวลา 9:00–11:00น.		ช่วงที่ 3 ขึ้นสินค้าเวลา 12:00–14:00น.		ช่วงที่ 4 ขึ้นสินค้าเวลา 15:00–17:00น.	
เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด	เขต	จังหวัด
							เพชรบูรณ์
							ชัยนาท
							สระแก้ว
							ปราจีนบุรี
							นครนายก
							นครสวรรค์
							กำแพงเพชร
							ประจวบคีรี-ขันธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ5 การเปรียบเทียบผลทดสอบของแบบจำลองกับระบบจริง

ข้อมูลชุดที่	วันที่ใช้ทดสอบ	จำนวนคำสั่งซื้อ	จำนวนรถบรรทุกที่ใช้		งานที่เสร็จภายใน 1 วัน		ความสามารถในการใช้รถ(เที่ยว/วัน)		งานค้างส่ง	
			ระบบจริง	แบบจำลอง	ระบบจริง	แบบจำลอง	ระบบจริง	แบบจำลอง	ระบบจริง	แบบจำลอง
1	5/2/45	47	40	40	35	46	0.88	1.15	12	1
2	6/2/45	54	39	39	43	48	1.10	1.23	11	6
3	7/2/45	50	39	39	38	45	0.97	1.15	12	5
4	8/2/45	63	41	41	40	51	0.98	1.24	23	12
5	9/2/45	49	37	37	28	46	0.76	1.24	21	3
6	11/2/45	16	16	12	15	16	0.94	1.33	1	-
7	12/2/45	19	19	15	18	19	0.95	1.27	1	-
8	13/2/45	33	32	25	20	33	0.63	1.32	13	-
9	14/2/45	43	29	29	36	35	1.24	1.21	7	8
10	15/2/45	56	39	39	40	47	1.03	1.21	16	9
11	16/2/45	47	33	33	34	40	1.03	1.21	13	7
12	26/2/45	59	42	42	39	48	0.93	1.14	20	11
13	27/2/45	53	41	41	45	47	1.10	1.15	8	6
14	28/2/45	52	35	35	44	43	1.26	1.23	8	9
15	1/3/45	53	39	39	31	47	0.79	1.21	22	9
16	2/3/45	45	34	34	32	43	0.94	1.26	12	2
17	4/3/45	60	37	37	39	48	1.05	1.30	21	12
18	5/3/45	59	38	38	35	51	0.92	1.34	24	8
19	6/3/45	62	39	39	42	50	1.08	1.28	20	12
20	7/3/45	48	36	36	34	42	0.94	1.17	14	6
21	8/3/45	62	41	41	42	48	1.02	1.17	20	14
22	9/3/45	32	32	25	32	32	1.00	1.28	-	-
23	11/3/45	57	40	40	38	50	0.95	1.25	19	17
24	12/3/45	60	42	42	36	48	0.86	1.14	24	12
25	13/3/45	57	43	43	35	44	0.81	1.02	22	13
26	14/3/45	63	42	42	35	49	0.83	1.17	28	14
27	15/3/45	54	32	32	31	43	0.97	1.34	23	11
28	16/3/45	57	36	36	37	45	1.03	1.25	20	12
29	18/3/45	60	39	39	50	47	1.28	1.21	10	13

ตารางที่ ผ6 จำนวนคำสั่งซื้อจำแนกตามช่วงเวลารับมอบสินค้าและระยะทาง

ข้อมูลชุดที่	วันที่ใช้ทดสอบ	จำนวนคำสั่งซื้อ	ช่วงเวลารับมอบสินค้า		ระยะทางที่จัดส่ง (กิโลเมตร)				
			1 วัน	3 วัน	<=50	>50 และ <=100	>100 และ <=150	>150 และ <=185	<185
1	5/2/45	47	42	5	19	11	9	3	5
2	6/2/45	54	50	4	17	19	12	2	4
3	7/2/45	50	44	6	24	16	3	2	7
4	8/2/45	63	57	6	26	16	12	4	7
5	9/2/45	49	43	3	25	12	6	0	6
6	11/2/45	16	14	2	3	7	2	2	2
7	12/2/45	19	17	2	6	4	5	2	2
8	13/2/45	33	30	3	4	13	10	1	5
9	14/2/45	43	35	8	8	8	17	4	6
10	15/2/45	56	49	7	20	15	7	5	9
11	16/2/45	47	40	7	17	18	2	2	8
12	26/2/45	59	49	10	10	22	15	3	9
13	27/2/45	53	50	3	1	22	15	8	7
14	28/2/45	52	49	3	2	12	15	9	14
15	1/3/45	53	47	6	4	20	11	11	7
16	2/3/45	45	43	2	2	26	12	3	2
17	4/3/45	60	53	7	2	21	20	7	10
18	5/3/45	59	56	3	4	23	20	7	5
19	6/3/45	62	58	4	2	24	22	7	7
20	7/3/45	48	42	6	1	24	11	5	8
21	8/3/45	62	55	7	0	19	23	9	11
22	9/3/45	32	30	2	2	18	5	3	4
23	11/3/45	57	53	4	2	22	14	11	8
24	12/3/45	60	50	10	2	17	22	7	12
25	13/3/45	57	45	12	1	22	13	6	15
26	14/3/45	63	56	7	7	24	13	6	13
27	15/3/45	54	46	8	3	20	19	2	10
28	16/3/45	57	49	8	2	26	14	3	12
29	18/3/45	60	52	8	1	19	15	11	14

ตารางที่ ผ7 ตารางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเวลาในการเดินทาง

วัน/เดือน/ปี	ทะเบียนรถ	เลขที่ DO	เวลา			
			ออกจากสาย 5	ถึงร้านลูกค้า	ออกจากร้านลูกค้า	ถึงโรงงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายภราดร เหลืองวิทิตกูล เกิดเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย