โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์
กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์
โรงพยาบาลรามาธิบดี

นายเอกอนันต์ อินทรทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

RESOURCE CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING BY REVIEW RELATIONSHIP OPTION A CASE STUDY RENOVATE ORTHOPIDIC BUILDING PROJECT, RAMATHIBODI HOSPITAL

Aekanan Intarasap

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์
กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
ประธานกรรมการ

_____

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

เอกอนันต์ อินทรทรัพย์ : โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี (RESOURCE CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING BY REVIEW RELATIONSHIP OPTION A CASE STUDY RENOVATE ORTHOPIDIC BUILDING PROJECT, RAMATHIBODI HOSPITAL) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 70 หน้า.

การขาดแคลนทรัพยากรแรงงานในอุตสาหรรมก่อสร้างในปัจจุบันได้ส่งผลกระทบต่อวิธีการบริหารงานโครงการก่อสร้าง เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การหาวิธีการจัดสรรทรัพยากรแรงงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีระดับการใช้ทรัพยากรอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาโครงการ โดยการปรับแก้แผนงานให้มีความสมดุลเพื่อลดความผันผวนของระดับการใช้ทรัพยากร ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโมเดลคอมพิวเตอร์โดยใช้ความสามารถของโปรแกรมสเปรดชีตเพื่อปรับแก้แผนงานก่อสร้างให้มีความสมดุลในการใช้ทรัพยากร โดยสร้างโมเดลและสมการวัตถุประสงค์แบบถ่วงน้ำหนัก และมีการการเพิ่มตัวแปรความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบเลือกได้เข้าไปด้วย จากนั้นประเมินคำตอบของปัญหาแบบ Multi Objective Minimization ของดัชนีวัดความผันผวนต่างๆหลายค่า ส่วนแผนงานก่อสร้างที่นำมาเป็นกรณีศึกษาคือโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี ซึ่งมีปัญหาการใช้ปริมาณแรงงานในโครงการไม่สม่ำเสมอส่งผลให้มีปัญหาในการบริหารงานและควบคุมต้นทุน ผลจากงานวิจัยพบว่า โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถปรับสมดุลของทรัพยากรได้เป็นอย่างดี ผลลัพท์คำตอบของแผนงานที่ได้รับมีความน่าพอใจ ดัชนีความผันผวน ต่างๆ มีการลดลงทั้งหมด ในขณะที่ระยะเวลาของโครงการยังคงเท่าเดิม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

AEKANAN INTARASAP : RESOURCE CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING BY REVIEW RELATIONSHIP OPTION A CASE STUDY RENOVATE ORTHOPIDIC BUILDING PROJECT, RAMATHIBODI HOSPITAL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VACHARAPHOOM BENJAORAN, Ph.D., 70 PP.

MODEL/RESOURCE ALLOCATION/RESOURCE LEVELING/RELATIONSHIP OPTION /OPTIMIZATION

Insufficient labor problem in construction industry impact to management method very much.Target of this research is searching method of resource allocation for highest effective resource usage affect to uniformly resource level through project by adjust schedule to decrease resource fluctuation.This research has developed computer model by use Spreadsheet Programs to adjust former schedule called resource leveling. Solution is inventing an optimal objective function, program modeling from example problem and add determination variable type relationship options ,finally evaluate answer result by multiobjective minimization of fluctuation Index. Example problem is case study of orthopaedic building renovation project, Ramathibodi Hospital,have trouble about irregular labors in construction activitys. Result of this research have discovered after use resource leveling model,labor resource utilization is uniform and easy to management.Schedule answer from this resource leveling model very good,

Fluctuation Index have decreased,better than before using model,moreover project duration be the same.

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2012 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบคุณพ่อและคุณแม่ที่ได้สนับสนุนทุนในการศึกษาในงานวิจัยระดับมหาบัณฑิตนี้ และมอบกำลังใจในการศึกษาอยู่เบื้องหลัง ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำความคิดและแนวทางการวิจัยซึ่งมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่องานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณสถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ คณาจารย์ทั้งหมดของหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ประสิทธิประสาทองค์ความรู้ของผู้เขียน มาไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกอนันต์ อินทรทรัพย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 4

1.3 ขอบเขตในการทำวิจัย 5

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2 ปริทัศน์วรรณกรรม 7

2.1 ทรัพยากรของโครงการ 7

2.2 โมเดลการวางแผนงาน 10

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมาของโมเดลการปรับสมดุลทรัพยากร 13

2.4 วิธีการหาคำตอบของโมเดล 15

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในแผนงานก่อสร้าง… 20

2.6 โมเดลปัญหาการวางแผนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้วยการทบทวนเงื่อนไข ความสัมพันธ์ 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีการดำเนินงานศึกษาวิจัย 25
3.1 สมการของโมเดลปัญหา 26
3.2 การสร้างโมเดลด้วยสเปรดชีต 29
3.3 วิธีทดสอบโมเดลและการแสดงผลการทดสอบ 36
4 ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล 38
4.1 แผนงานโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล 38
4.2 การเริ่มต้นสร้างสมการวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมสำหรับโมเดล 40
4.3 การปรับสมดุลแผนงานโครงการโดยโมเดลปกติที่ไม่มีตัวแปรกลุ่ม
การเลือกความสัมพันธ์ 43
4.4 การปรับสมดุลแผนงานโครงการโดยโมเดลใหม่ที่เพิ่มตัวแปร
กลุ่มการเลือกความสัมพันธ์ 44
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 52
5.1 สรุปผลการวิจัย 52
5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย 53
รายการอ้างอิง 55
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 57
ประวัติผู้เขียน 70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แผนงานตัวอย่างของโครงการ A ที่ยังไม่ได้ปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร 2

1.2 แผนงานตัวอย่างของโครงการ A ที่ปรับสมดุลทรัพยากรแล้วด้วยวิธีลองผิด-ถูก 2

3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลกิจกรรมงานโครงการในปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี 26

3.2 ตารางแผนการทดลองโดยใช้โมเดลปรับสมดุล 37

4.1 ผลการทดลองที่ 1 เน้นดัชนี M_X 41

4.2 ผลการทดลองที่ 2 เน้นดัชนี MRD 41

4.3 ผลการทดลองที่ 3 เน้นดัชนี RRH 45

4.4 ผลการทดลองที่ 4 เน้นดัชนี RID 45

4.5 ผลการทดลองที่ 5 เน้นดัชนี T 46

4.6 สรุปเปอร์เซ็นต์การกระจายข้อมูลของการทดลองที่ 1 ถึง 5 46

4.7 ผลการทดลองที่ 6 ใช้โมเดลที่ไม่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์ 47

4.8 ผลการทดลองที่ 7 ใช้โมเดลที่ไม่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์ 47

4.9 ผลคำตอบของแผนงานจากการทดลองที่ 6 ที่ไม่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ 48

4.10 ผลคำตอบของแผนงานจากการทดลองที่ 7 ที่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ 49

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 กราฟแท่งการจัดสรรทรัพยากรโครงการ A ก่อนการปรับสมดุล 2
1.2 กราฟแท่งการจัดสรรทรัพยากรโครงการ A หลังปรับสมดุลการใช้ทรัพยากรแล้วด้วยวิธีลอง ผิด-ถูก 3
1.3 โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี 4
2.1 การใช้ทรัพยากรต่างๆในพื้นที่ก่อสร้าง 8
2.2 ลักษณะความผันผวนของระดับความต้องการใช้ทรัพยากรรูปทรงต่าง 9
2.3 กระบวนการการแก้ปัญหาโดยใช้โมเดล 16
2.4 สายของตัวอักษรที่ใช้แสดงแทนโครโมโซม 17
2.5 ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่เพื่อให้ได้รุ่นลูก 18
2.6 แผนภาพบาร์ชาร์ทแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมรูปแบบต่างๆ 21
3.1 งานโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี 25
3.2 แผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานขั้นต้นของโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดี 27
3.3 การนำเข้าข้อมูลแผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีด้วยสเปรดชีต 30
3.4 แผนผังเครือข่ายกิจกรรมงาน(ที่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์)ในโครงการโรงพยาบาลรามาธิบดี 31
3.5 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม F และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง 33
3.6 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม E-D และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง 34
3.7 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม M-L และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง 35
3.8 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม S-R และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง 36
4.1 แผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดี แสดงด้วย Gantt Chart 39
4.2 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล 39
4.3 แผนงานโครงการของผลคำตอบจากการทดลองที่ 6 แสดงด้วย Gantt Chart 49
4.4 แผนงานโครงการของ ผลคำตอบจากการทดลองที่ 7 แสดงด้วย Gantt Chart 50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.5 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล..... 50
4.6 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการหลังการใช้โมเดลชนิดไม่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ดำเนินการปรับสมดุล 51
4.7 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการหลังการใช้โมเดลชนิดที่เพิ่มตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ดำเนินการปรับสมดุล 51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

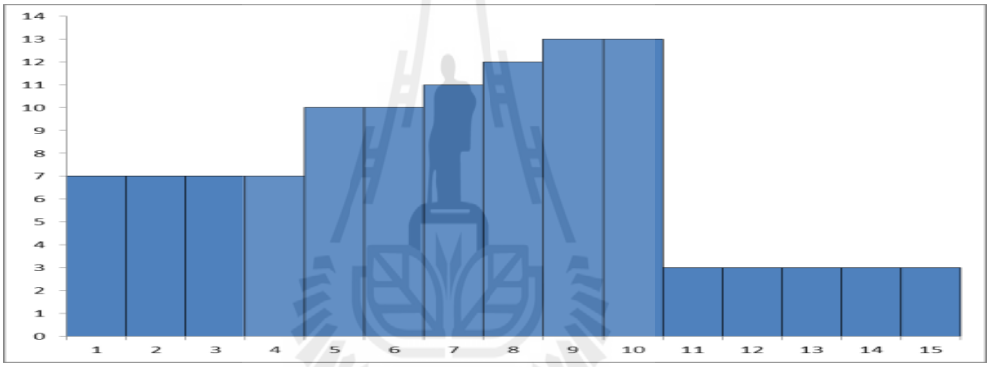
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในการวางแผนงานก่อสร้าง นอกจากจะต้องวางแผนงาน เพื่อให้ทันตามกำหนดเวลาและใช้ต้นทุนในงบประมาณที่ตั้งไว้ หน้าที่ที่สำคัญอย่างหนึ่งของผู้บริหารโครงการคือ การวางแผนใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด(แรงงานและเครื่องจักร)ให้เพียงพอต่อการใช้ในทุกกิจกรรมต่างๆตลอดระยะเวลาที่ทำการก่อสร้าง ซึ่งเป็นการจับคู่กันระหว่างกิจกรรม (งาน) กับ ทรัพยากร (แรงงาน และเครื่องจักร) และจับคู่เช่นนี้ไปเรื่อยๆจนครบทุกกิจกรรมของโครงการโดยพยายามลดปัญหาการแย่งกันใช้ทรัพยากร การวางแผนแบบนี้เรียกว่า การจัดสรรทรัพยากร (Resource Allocation) ยกตัวอย่างเช่นโครงการ A เป็นโครงการที่มีกิจกรรม 8 กิจกรรม และมีระยะเวลาโครงการ 15 วัน มีรายละเอียดการใช้แรงงาน ดังตารางที่ 1.1

ผลลัพท์ที่ได้จากการจัดสรรทรัพยากรจากแผนงานทำให้ได้กราฟแท่ง(Histogram)ที่มีลักษณะสูงต่ำไม่คงที่ดังรูปที่ 1.1 เมื่อพิจารณาในเรื่องทรัพยากรแล้วจัดว่ามีความผันผวนของการใช้ทรัพยากรซึ่งอาจส่งผลเสียต่อโครงการในเรื่องต้นทุนที่ไม่เพียงพอหรือการขาดทรัพยากรในบางช่วงเวลา จำเป็นที่ผู้วางแผนงานต้องมีการปรับสมดุลการปรับสมดุลที่ว่านี้เรียกกันว่า การปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร (Resource Leveling) ซึ่งอาจใช้วิธีลองผิด-ถูก (Trial and Errors Method) ขยับเลื่อนแถบกิจกรรมดังตารางที่ 1.2 เพื่อให้ระดับการใช้ทรัพยากรที่ค่อนข้างคงที่โดยกราฟแท่งจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Shape) หรืออาจจะปรับสมดุลให้มี รูปทรงภูเขา (Mountain Shape) ซึ่งการใช้ทรัพยากรมีแนวโน้มที่สามารถบริหารจัดการได้ คือเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเริ่มต้นโครงการจนสูงสุดที่กลางโครงการและค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบโครงการดังรูปที่ 1.2

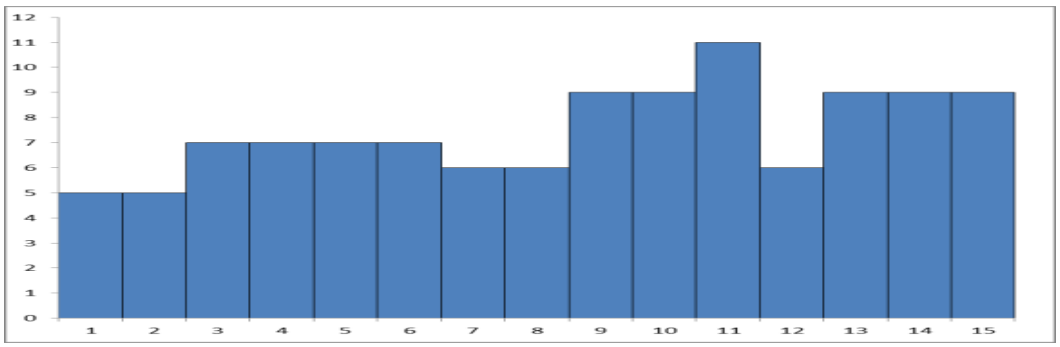
Activity	Predecessors	Duration (Days)	Resource (Quantity)	Project Date														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	-	4	2															
B	-	6	3															
C	-	8	2															
D	A	3	5															
E	A,B	4	4															
F	C	2	3															
G	C,E	5	3															
H	D	3	6															
			Total Resource	7	7	7	7	10	10	11	12	13	13	3	3	3	3	3



รูปที่ 1.1 กราฟแท่งการจัดสรรทรัพยากรโครงการ A ก่อนการปรับสมดุล

ตารางที่ 1.2 ตัวอย่างแผนงานก่อสร้างโครงการ A ที่ทำการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากรแล้วด้วยวิธีลอง ผิด-ถูก

Activity	Predecessors	Duration (Days)	Resource (Quantity)	Project Date														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
B	-	6	3															
E	A,B	4	4															
G	C,E	5	3															
A	-	4	2															
D	A	3	5															
H	D	3	6															
C	-	8	2															
F	C	2	3															
			Total Resource	5	5	7	7	7	7	6	6	9	9	11	6	9	9	9



แต่การปรับสมดุลการใช้ทรัพยากรวิธีการวิธีลองผิด-ถูกนั้นมีข้อเสียตรงไม่มีความแน่นอน และถ้าหากขนาดของแผนงานมีจำนวนกิจกรรมมากขึ้นตัวผู้วางแผนเองก็จะสับสนและยากที่จะหาคำตอบได้ จึงมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สเปรดชีตช่วยสร้างโมเดลของแผนงานขึ้นมาและใช้ความสามารถในการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยหลักการของการวิจัยดำเนินการ (Operation Research) ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาในแนวทางนี้

งานวิจัยที่น่าสนใจของ El-Rayes and Jun (2009) มุ่งเน้นไปที่การลดรูปทรงที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร (Minimize Undesirable Resource) โดยได้เสนอค่าดัชนีที่ใช้วัดความไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรเป็น 2 ประเภทคือ RRH และ RID และทำการ Minimization ค่าผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของดัชนี RRH และ RID กับระดับการใช้ทรัพยากรสูงสุด MRD จุดประสงค์ของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คือการทำให้ค่าดัชนี RRH และ RID ต่ำที่สุดซึ่งแสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรได้ดีที่สุด จะเห็นได้ว่างานวิจัยของ Rayes and Jun (2009) ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดวิธีการหนึ่งหากแต่อย่างไรก็ดีแบบจำลองนี้ก็มีสมมุติฐานของเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นแบบ Finish-to-Start (FS) เพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณากระบวนการวางแผนงานในทางปฏิบัติเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมอาจไม่เป็นแบบ Finish-to-Start (FS) เท่านั้นแต่อาจมีแบบ Start-to-Start (SS) หรือ Finish-to-Finish (FF) ด้วย ตามความจำเป็นหรือนโยบายของผู้วางแผน อย่างไรก็ตามจะพบว่าโมเดลปัญหาการวางแผนของงานวิจัยที่ผ่านมาหรือซอฟแวร์ที่มีอยู่ไม่มีความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจหรือทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆให้เหมาะสม และ ภาระการพิจารณานี้จึงตกอยู่กับผู้วางแผนเอง

โครงการก่อสร้างปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีนี้ตามรูปที่ 1.3 ลักษณะงานเป็นงานปรับปรุงพื้นที่ใช้สอยของอาคารเดิมชั้นที่ 1 ให้มีความสะดวกสบายและทันสมัยขึ้นต่อการให้บริการผู้ป่วยแผนกออร์โธพิดิกส์ งบประมาณโครงการ 58,000,000 บาท ปัญหาแผนงานก่อสร้างของโครงการนี้คือเรื่องทรัพยากรแรงงานซึ่งมีการขาดแคลนแรงงานก่อสร้าง แต่ในขณะเดียวกันงานอาคารก็มีพื้นทีจำกัดไม่เหมาะสมที่จะทุ่มปริมาณแรงงานจำนวนมาก อีกทั้งจากข้อจำกัดต่างๆยังต้องเร่งรัดงานให้เสร็จตามสัญญา 120 วัน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องวางแผนงานการจัดสรรทรัพยากรของโครงการให้เหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการสร้างโมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากร โดยนำโมเดลของ El –Rayes and Jun (2009) มาพัฒนาต่อ เพิ่มความสามารถของแบบจำลองให้พิจารณาความเหมาะสมของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดขึ้นได้ โดยใช้ความสามารถของโปรแกรม Evolver ทำการค้นหาคำตอบ ที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรอย่างเต็มที่ และนำไปสร้างแผนงานโครงการเพื่อบริหารงานต่อไป

รูปที่ 1.3 โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 สร้างโมเดลปัญหาการปรับระดับสมดุลทรัพยากรโดยจำลองข้อมูลในสเปรดชีต ที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นกลุ่มตัวแปรการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ (Relationship option) ที่สามารถเลือกได้และตัวแปรการเลื่อนเวลาเริ่มต้นของกิจกรรมที่ไม่วิกฤตเข้าไปในโจทย์ (Shifting Time) หาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของสมการวัตถุประสงค์โมเดลปัญหาที่มีดัชนี M_x, MRD, RID, RRH,

และ T ส่วนสมการวัตถุประสงค์ใช้แบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective) ของดัชนีหลายตัว จากนั้นใช้โปรแกรม Evolver ช่วยหาคำตอบเพื่อให้ได้ผลลัพท์ที่เหมาะสมที่สุด

1.2.2 ทำการทดสอบโจทย์โมเดลโดยใช้กรณีตัวอย่างข้อมูลโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีเป็นต้นแบบซึ่งมีปัญหาของการใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างในระหว่างช่วงเวลาดำเนินโครงการไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณาความสัมพันธ์บางกิจกรรมให้มีทางเลือกได้

1.2.3 เปรียบเทียบผลลัพท์ที่ได้รับจากโมเดล 2 อันซึ่งอันแรกเป็นโมเดลที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นการเลื่อนเวลา(Shifting Time)เริ่มต้นของกิจกรรมที่ไม่วิกฤตอย่างเดียวซึ่งเป็นแนวคิดของ El Rayes&Jun(2009) กับอีกอันหนึ่งซึ่งเหมือนอันแรกแต่เพิ่มตัวแปรตัดสินใจเป็นกลุ่มตัวแปรการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์(Relationship Option)ที่สามารถเลือกได้เข้าไปแล้ววิเคราะห์ว่าจะทำให้การปรับสมดุลทรัพยากรดีขึ้นหรือไม่

1.3 ขอบเขตในการทำวิจัย

1.3.1 ลักษณะของปัญหาในงานวิจัยนี้จะเป็นปัญหาการวางแผนงานก่อสร้างในเรื่องการจัดสรรทรัพยากร ซึ่งในที่นี้หมายถึงแรงงานก่อสร้าง ซึ่งจะถือว่าในแต่ละกิจกรรมจะต้องใช้แรงงานก่อสร้างชนิดเดียวกันแม้ว่าในความเป็นจริงอาจจะมีความชำนาญในงานที่ทำไม่เหมือนกัน เช่น งานโครงสร้าง,งานสถาปัตยกรรมตกแต่งภายใน,งานระบบไฟฟ้า,งานระบบปรับอากาศ,งานระบบประปา ฯลฯ

1.3.2 แผนงานก่อสร้างที่ว่านี้สามารถแสดงได้เป็น Gantt Chart ซึ่งบาร์แต่ละแท่งแสดงถึงกิจกรรมต่างๆในงานก่อสร้างซึ่งใช้จำนวนแรงงานไม่เท่ากันในแต่ละกิจกรรม โดย ในแต่ละกิจกรรมนั้นเดิมมีความสัมพันธ์แบบ FS: Finish To Start แต่ละกิจกรรมมีลำดับการเริ่มต้น,สิ้นสุดและเวลาทำงานต่อเนื่องกันตามความสัมพันธ์ Precedence จนถึงความสัมพันธ์สุดท้าย ซึ่งสามารถคำนวณค่าเวลาและระยะเวลาในการทำงานทั้งโครงการได้โดยวิธี CPM

1.3.3 ตัวอย่างโจทย์ที่นำมาศึกษานั้นนำมาจากข้อมูลแผนงานก่อสร้างอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี เป็นต้นแบบซึ่งมีปัญหาของการใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างในระหว่างช่วงเวลาดำเนินโครงการไม่สม่ำเสมอโดยเพิ่มเติมข้อมูลทางเลือกของความสัมพันธ์ของกิจกรรมโครงการ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของโมเดลใหม่ที่พัฒนา จึงจำกัดให้ป้อนจำนวนจำนวน predecessors ได้สูงสุด 3 กิจกรรมและในแต่ละคู่ความสัมพันธ์สามารถมีทางเลือกได้ไม่เกิน 2 ทางเลือก

1.3.4 พัฒนาโมเดลของแผนงานก่อสร้างโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ Evolver ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นวิธีหาคำตอบแบบ Genetic Algorithms บนโปรแกรม Microsoft Excel และทำการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทั่วไป

1.3.5 หลักการที่ใช้ในการหาคำตอบโดยโมเดลนั้นใช้วิธีการวิจัยดำเนินการ(Operation Research)ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables), ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) และฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint Function) เมื่อโมเดลทำงานเสร็จผลลัพท์ที่ได้เกิดจากการ Optimization แบบ Minimize ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ซึ่งจะทำให้ได้แผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดในการใช้ทรัพยากรตลอดโครงการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองการปรับสมดุลทรัพยากรที่พัฒนาขึ้นใหม่จากงานวิจัยของ Rayes and Jun (2009) โดยเพิ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ (Relationship option) เข้าไปในสมการโจทย์ และใช้โปรแกรม Evolver เข้าไปช่วย ซึ่งสามารถให้ผลคำตอบที่ดีกว่าเดิม

1.4.2 สามารถประยุกต์นำโมเดลที่ได้ไปแก้ปัญหางานวางแผนงานก่อสร้างได้จริง โดยในงานวิจัยนี้เลือกโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี เป็นต้นแบบซึ่งมีปัญหาของการใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างในระหว่างช่วงเวลาดำเนินโครงการไม่สม่ำเสมอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทรรศน์วรรณกรรม

2.1 ทรัพยากรของโครงการ

อุตสาหกรรมงานก่อสร้าง จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยทรัพยากรต่างๆ และอาศัยวิธีการ เทคนิค การจัดการจัดการวางแผนจัดสรรทรัพยากรที่ต้องการใช้ให้เกิดความคล่องตัว,เพียงพอกับความต้องการและเสร็จในเวลาที่กำหนดทรัพยากรในงานก่อสร้างนี้ประกอบไปด้วย กำลังคน (manpower) วัสดุก่อสร้าง (material),เครื่องจักรกล (machine) และเงินทุน (money) นอกจากนี้ อาจมีการจัดการ (management) ด้วยซึ่งกาบริหารจัดการทรัพยากรนี้ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้าง (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2547)

2.1.1 ความหมายของทรัพยากร และ ประเภทของทรัพยากร

ทรัพยากรโครงการทั้งหมดที่ถูกกำหนดให้มีจำนวนจำกัด สามารถแบ่งออกเป็นทรัพยากรหมุนเวียน (Renewable resources : RR) คือ ทรัพยากรที่เมื่อใช้ดำเนินการกิจกรรมหนึ่งจนแล้วเสร็จ สามารถนำไปใช้ดำเนินการกิจการอื่นต่อไปได้ เช่น เงินสด พื้นที่ทำงาน แรงงาน และเครื่องจักร และทรัพยากรไม่หมุนเวียน (Nonrenewable resources : NR) คือ ทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป เช่น เวลาและงบประมาณ โดยที่ทรัพยากรหมุนเวียนประเภทใด ๆ ที่ขณะเวลาใด ๆ จะต้องนำไปใช้ไม่เกินกว่า จำนวนที่มีอยู่ส่วนทรัพยากรไม่หมุนเวียนประเภทใด ๆ จะต้องรวมการใช้ตลอดทั้งโครงการแล้วไม่เกินกว่าจำนวนที่มีอยู่ (Zhang et at ,2006) นอกจากนี้แล้วเพื่อให้การจัดสรรใช้ทรัพยากรหมุนเวียนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรวางแผนเพื่อให้ระดับความต้องการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนเป็นแบบ สม่ำเสมอ (uniform) ตลอดระยะเวลาของโครงการ ซึ่งความผันผวนของระดับความต้องการใช้ทำให้ต้องจัดเตรียมจำนวนทรัพยากรที่ระดับความต้องการใช้ที่สูงที่สุดและเกิดการว่างงานในช่วงที่ระดับความต้องการใช้ต่ำ จึงเสียต้นทุนมากขึ้น (El-Rayes and Jun, 2009)

รูปที่ 2.1 การใช้งานทรัพยากรต่างๆในพื้นที่ก่อสร้าง

2.1.2 การจัดสรรทรัพยากรให้กับกิจกรรมในโครงการ

การจัดสรรทรัพยากรให้กับกิจกรรมต่างๆ มีความหมายเดียวกับ การมอบหมายกิจกรรมต่างๆ ให้กับทรัพยากร ซึ่งคือการจับคู่กัน ระหว่าง งาน กับ คนทำนั่นเอง ซึ่งจะต้องทำการจัดสรรทีละกิจกรรมไปเรื่อยๆ จนได้ครบทุกกิจกรรมของโครงการ (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

วิธีการจัดสรรทรัพยากรด้านการดำเนินงานขั้นตอนแรกระบุชื่อทรัพยากรด้านการดำเนินงานกับชื่อกิจกรรม ขั้นตอนต่อมาคือระบุจำนวนทรัพยากรที่ต้องการใช้ ต้องไม่เกินจำนวนที่มีอยู่ทั้งหมดในโครงการ ตัวอย่างเช่น “กิจกรรมเทคอนกรีตพื้นชั้นที่ 1 จัดสรรทรัพยากร ช่างปูน จำนวน 10 คน (จากที่มีอยู่ 15 คน)”เป็นต้น

หลังจากที่ได้มีการจัดสรรทรัพยากรให้กับทุกกิจกรรมแล้ว จะทำให้สามารถวิเคราะห์หาระดับ การจัดสรรทรัพยากร ตามระยะเวลาต่างๆ ได้ ซึ่งมักนิยมแสดงระดับการจัดทรัพยากรด้วยกราฟแท่ง (Histogram) ทำให้ผู้วางแผนสามารถตรวจสอบได้ว่า ในแต่ละช่วงเวลาของการดำเนินโครงการมีการใช้จำนวนทรัพยากรเท่าใด จึงเพียงพอกับความต้องการหากไม่เป็นเช่นนั้นกิจกรรมที่ต้องการใช้ทรัพยากรประเภทเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกันจะต้องแย่งกันใช้ส่งผลให้ต้องมีบางกิจกรรมที่ไม่ได้รับทรัพยากรต้องล้าช้าออกไป (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

กราฟแท่งนี้จะช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ว่ามีการจัดสรรทรัพยากรเกินขีดความพร้อมหรือไม่ และที่ช่วงเวลาใด โดยจากแผนตามกราฟแท่งของตัวอย่างนี้ ทำให้ทราบว่าระดับการจัดสรรทรัพยากรต้องการคนงาน GL สูงที่สุด 13 คน น้อยที่สุด 3 คน รวมเป็นปริมาณแรงงานที่ต้องการ 112 คน - วัน (man - day) ในระยะเวลาโครงการ 15 วัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยระดับการใช้ทรัพยากรแรงงานเป็น 112/15 = 7.5 ต่อวัน โดยที่ระดับความต้องการใช้ทรัพยากร (Resource

Demand level) หาได้จากผลรวมจำนวน ทรัพยากร แต่ละประเภท ที่ต้องการใช้ ในแต่ละช่วงเวลา (ปกติเป็นหน่วยวัน)

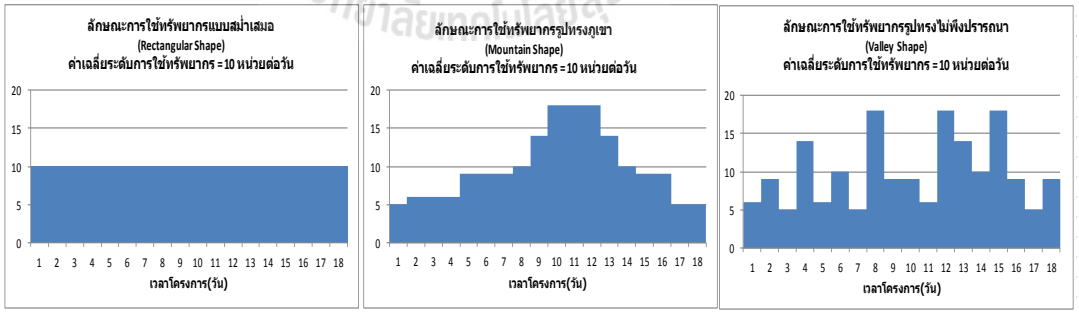
2.1.3 ความผันผวนของระดับการใช้ทรัพยากร

โดยปกติแล้วระดับความต้องการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทจะผันผวนตลอดระยะเวลาโครงการ (หมายถึง มีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยระดับการใช้ทรัพยากร ไม่ว่ามากหรือน้อยกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับกำหนดการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในแต่ละวันทำการ (ทราบได้จาก แผนงานแบบตารางเวลาเป็นเบื้องต้น) และจำนวนทรัพยากรที่กิจกรรมนั้น ๆ ต้องการใช้

ผลเสียของความผันผวนของระดับการใช้ทรัพยากรทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ต้องเกิดการจ้าง – เลิกจ้าง หรือ การเช่า – เลิกเช่า ในระยะเวลาที่สั้นเกินไปซึ่งมีผลเสียดังต่อไปนี้

1. ทำให้ไม่สามารถรักษาแรงงานที่มีคุณภาพ
2. เรียนรู้งานใหม่ เสียเวลา
3. จำเป็นต้องเช่าหรือจ้างเข้ามาใหม่ในช่วงที่มีความต้องการใช้งานสูงขึ้นซึ่งอาจหาไม่ได้หรือล่าช้า

ลักษณะความผันผวนของระดับความต้องการใช้ทรัพยากรอาจแบ่งออกตามผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร เป็น 2 ลักษณะ คือ แบบที่เป็นยอมรับได้ (Acceptable fluctuations) และแบบที่ไม่เป็นที่ต้องการ (undesirable fluctuations) ดังแสดงในภาพที่ 1 รูปลักษณะกราฟระดับความต้องการใช้ทรัพยากรที่มี



รูปที่ 2.2 ลักษณะความผันผวนของระดับความต้องการใช้ทรัพยากรรูปทรงต่างๆ

ความสม่ำเสมอที่เป็นที่ต้องการและยอมรับได้นั้น ควรจะเป็นรูปลักษณะกราฟสี่เหลี่ยม (Rectangular Shape) หรือรูปทรงภูเขา (Mountain or parabolic shape) ดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากรูปทรงภูเขามีแนวโน้มความต้องการใช้ที่สามารถบริหารจัดการได้ คือ เพิ่มขึ้นอย่าง

ต่อเนื่องจากตอนเริ่มโครงการจนถึงสูงสุดที่กลางโครงการและค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนจบโครงการ ซึ่งทำให้ผู้บริหารสามารถทยอยนำคนงานเข้าสู่โครงการโดยที่อาจมาโครงการก่อนหน้าและทยอยนำคนงานออกเมื่อจบโครงการ เพื่อนำไปให้โครงการถัดไป ซึ่งตรงข้ามกับลักษณะรูปกราฟที่ไม่เป็นที่ต้องการ ที่มีการขึ้น ๆ ลง ๆ ของระดับความต้องการใช้หลายรอบไม่แน่นอน ซึ่งถ้าไม่จ้าง – ปลด – จ้าง คนงานแบบไป ๆ มาๆ ก็จะต้องจัดหาเท่ากับจำนวนที่ต้องการสูงสุดเพื่อเตรียมพร้อมไว้ โดยต้องปล่อยให้ว่างงานบางช่วง (El- Rayes and Jun 2009)

เมื่อได้ทราบข้อมูลต่างๆ และได้พิจารณากราฟแท่งแล้วพบว่าระดับการใช้ทรัพยากรในแต่ละช่วงเวลา แตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาก บางครั้ง น้อยกว่า บางครั้งมากกว่าแสดงถึงการไม่มีประสิทธิภาพ จึงควรที่นักวางแผนควรที่จะต้องมีการปรับสมดุลทรัพยากรต่อไป

2.1.4 การปรับสมดุลทรัพยากร

การจัดสรรทรัพยากรให้เกิดความพอเหมาะ พอดี กับปริมาณงาน และช่วงเวลาที่กำหนดมาให้ เป็นงานที่นักวางแผนหรือนักบริหารงานก่อสร้างจะต้องพิจารณาโดยอาศัยความรู้ความสามารถ ประสบการณ์ และความชำนาญ ให้เกิดความเหมาะสมมากที่สุด โดยเฉพาะทรัพยากรที่เป็นแรงงาน เพราะแรงงานเป็นทรัพยากรที่ผันแปรได้ง่าย จึงมักเกิดข้อจำกัดในการจัดสรรแรงงาน ในแผนงานก่อสร้างเสมอ ๆ (กวี หวังนิเวศน์กุล, 2547)

2.2 โมเดลการวางแผนงาน

เทคนิคเบื้องต้น ที่ใช้สำหรับการวางแผนโครงการก่อสร้างโดยทั่วไปจะแพร่หลาย คือ วิธีสายทางวิกฤต (Critical path Method : CPM) ที่มีความเป็นไปได้โดยพิจารณาเงื่อนไขเฉพาะด้านความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Activity Dependency) เป็นหลัก ซึ่งเป็นมิติด้านเวลา วิธี CPM จึงเป็นการวางแผนในขั้นเบื้องต้น และมีข้อด้อยที่ไม่ได้ พิจารณาเงื่อนไขที่สำคัญอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อการวางแผนงาน โดยเฉพาะเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรโครงการต่าง ๆ ที่มีจำนวนจำกัด (Limited Resource) ได้แก่ แรงงาน เครื่องจักร พื้นที่ทำงาน ต้นทุน วงเงินเครดิต และเวลาซึ่งหากนำเงื่อนไขด้านความจำกัด ของทรัพยากรเหล่านี้เข้าไปร่วมพิจารณาด้วย จะทำให้ได้แผนงานที่แตกต่างกันออกไปแต่มีความสมเหตุสมผลมากขึ้น อาจเรียก การวางแผนลักษณะ การวางแผนในขั้นสูง (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

ในการวางแผนงานโครงการก่อสร้าง เริ่มต้นจากการกำหนดเวลาการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของโครงการด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เน็ตเวิร์ตแบบ CPM กิจกรรมก่อสร้างใด ๆ จะต้องการใช้ทรัพยากรจำนวนหนึ่งที่ปริมาณคงที่ (ถูกกำหนดขึ้นโดยประมาณให้เป็นค่าแบบ non-negative and

deterministic values) ในการดำเนินการ เมื่อเริ่มดำเนินกิจกรรมใด ๆ แล้วจะไม่อนุญาตให้หยุดกลางคันจนกว่าแล้วเสร็จ (non-preempt able duration) ระยะเวลาของโครงการทั้งหมดจะคำนวณหาด้วยสมมติฐานที่ว่าความต้องการใช้ทรัพยากรได้รับการจัดสรรเต็มจำนวนหรือมีทรัพยากรไม่จำกัด เมื่อได้ตารางเวลาดังกล่าวในเบื้องต้น แล้วจึงนำมาปรับปรุงด้วยการพิจารณา ถึงข้อจำกัดของจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่จริงอีกทีหนึ่ง ประเด็นปัญหาในการพิจารณาปรับปรุงแผนงานตามข้อกำหนดของทรัพยากรโครงการอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเด็น คือ การจัดสรรทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด (Resource allocation) และการปรับระดับสมดุลการใช้ทรัพยากร (resource leveling) การจัดการกับปัญหาข้อจำกัดของทรัพยากรโครงการเหล่านี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าแผนงานโครงการที่ได้จะสามารถจัดสรรใช้ทรัพยากรที่มีได้อย่างต่อเนื่องและเต็มประสิทธิภาพ (Ammar and Mohieldin , 2002)

เนื่องจากสภาพความจำกัดของทรัพยากรเหล่านี้เองเป็นตัวกำหนดขอบเขตความเป็นไปได้ของแผนงานก่อสร้างในลักษณะเดียวกับ constrainer ของโมเดลปัญหา optimization ดังนั้นการวางแผนงานจึงสามารถถูกสร้างเป็นโมเดลปัญหาเพื่อการ Optimization ได้ การสร้างโมเดลปัญหาและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในด้านต่างๆ ที่เป็นเป้าหมายหลักของโครงการก่อสร้าง ได้แก่ เวลา ต้นทุน และทรัพยากร หรือ เป็นการกำหนดแผนการใช้ เวลา ต้นทุน และทรัพยากรของโครงการ (ที่มีอยู่อย่างจำกัด) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (ในทุกด้าน หรือบางด้านที่ต้องการ) (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

โมเดลปัญหา การวางแผนโครงการก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้โดยทั่วไป 4 กลุ่มย่อย คือ

1) การแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-cost Trade - Off -TCT)
2) การจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัด (Resource Allocation)
3) การปรับสมดุลทรัพยากร (Resource Leveling)
4) กระแสเงินสดกับวงเงินเครดิต (Cashflow with credit limit) (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

2.2.1 โมเดลการหาคำตอบที่เหมาะสม

โมเดลการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization Model) คือ หลักการจำลองปัญหาโลกของความเป็นจริงใดๆ ให้เป็นลักษณะฟังก์ชั่นหรือสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาวิธีในการแก้ปัญหาและหาคำตอบที่ดีสุดของปัญหา (Optimal solutions) ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดนี้เป็นคำตอบหนึ่งในเซตคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solutions) ที่ถูกเลือกมาเนื่องจากเป็นคำตอบที่ทำให้ได้คำตามวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด โดยทั่วไปแล้วในปัญหาหนึ่งจะมีวัตถุประสงค์ที่ถูกตั้งไว้เป็นลักษณะฟังก์ชั่นอย่างที่ต้องการ (Objective Functions) ซึ่งมักมุ่งให้ได้ค่าของฟังก์ชั่นนี้ที่น้อยที่สุด (Mimization

Problem) หรือ มากที่สุด (Maximization Problem) เนื่องจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์นี้ใช้ในการประเมินคำตอบใดๆ โดยตรง ดังนั้นจึงมักเรียกอีกอย่างว่าเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้วัดประสิทธิภาพของคำตอบ (Performance Measurement) เซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้จะถูกกำหนดขอบเขตโดยฟังก์ชั่นข้อจำกัด (constraint Functions) เฉพาะคำตอบที่เป็นไปได้เท่านั้นที่ถูกอนุญาต ให้นำมาพิจารณาและประเมินค่าได้ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ในเซตนี้ (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

องค์ประกอบหลักของโมเดลปัญหากรรหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Model) มี 3 ส่วนอันได้แก่

1. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)
2. ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)
3. ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint Functions)

ซึ่งทั้ง 3 องค์ประกอบนี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ตัวแปรตัดสินใจ คือ ค่าตัวแปรในสมการต่างๆ ของโมเดลปัญหาที่ต้องการหาค่าเป็นคำตอบในโมเดลหนึ่งอาจมีตัวแปรตัดสินใจได้หลายตัวแปร ค่าของตัวแปรเหล่านี้ที่แก้สมการหาได้จากโมเดลจะใช้เป็นการตัดสินใจเชิงปริมาณ ตัวอย่างเช่น จำนวนผลิตสินค้า, ลำดับของกิจกรรม, ก่อสร้างที่ควรดำเนินการ, วันเริ่มของกิจกรรมเป็นต้น ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือสมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชั่นของตัวแปรตัดสินใจใช้สำหรับตรวจประเมินระดับความสำเร็จของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ตัวอย่างเช่น สมการแสดงต้นทุนทั้งหมดของโครงการ หรือระยะเวลาของโครงการ หากต้องการให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดเป็นวัตถุประสงค์ ค่าตัวแปรที่ทำให้ค่าต้นทุนยิ่งต่ำยิ่งจะทำให้คำตอบที่ดี และส่วนสุดท้ายฟังก์ชั่นข้อจำกัด คือ สมการ หรือ อสมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชั่นของตัวแปรตัดสินใจ เช่นกัน แต่ทำหน้าที่เป็นขอบเขตหรือข้อจำกัดให้กับเซ็ตของตัวแปรตัดสินใจค่าของตัวแปรตัดสินใจที่สอดคล้องกับฟังก์ชั่นข้อจำกัดจึงเรียกว่า คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) (น้ำผึ้ง แซ่แต้,2554)

2.2.2 โมเดลการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด

เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการจัดการทรัพยากรโครงการประเภทต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำนวนจำกัดทั้งชนิดหมุนเวียนและไม่หมุนเวียน และจะต้องมีการจัดสรรใช้ไม่เกินกว่าขีดจำกัดนี้ (availability) ด้วยหลักการที่ว่ากิจกรรมก่อสร้างใด ๆ มีความต้องการใช้ทรัพยากรประเภทต่าง ๆ ในปริมาณที่กำหนดแตกต่างกันไปกิจกรรมสองกิจกรรมใดที่ใช้ทรัพยากรเดียวกันและกำหนดเวลาดำเนินการซ้อนทับกัน จะทำให้ผลรวมจำนวนความต้องการใช้ทรัพยากรนั้นเพิ่มขึ้น โดยที่ ณ ขณะเวลาหนึ่งจะไม่สามารถจัดสรรทรัพยากรหมุนเวียนประเภทหนึ่งได้เกินกว่าจำนวนที่มีอยู่และผลรวมจำนวนความต้องการใช้ ทรัพยากรไม่หมุนเวียนประเภทหนึ่งตลอดทั้งโครงการก็ไม่สามารถจัดสรรได้เกินกว่าจำนวนที่มีอยู่ (Zhang et al, 2006)

แนวทางที่ทำได้โดยยังคงรักษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมไว้ คือ การเลื่อนกิจกรรมอันใดอันหนึ่งออกไปเพื่อดำเนินการในช่วงเวลาที่ไม่ทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรกันเอง โดยพยายามให้ระยะเวลาโครงการทั้งหมดเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดหรือคงที่ ซึ่งหมายถึงควรเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤตก่อนแล้วจึงเลื่อนกิจกรรมที่วิกฤตให้น้อยที่สุด คำตอบของปัญหาจึงเป็นกำหนดวันดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรทุกประเภทไม่เกินขีดจำกัดและได้ระยะเวลาโครงการ (makespan) ที่สั้นที่สุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดมีเป้าหมายในการเรียงลำดับกิจกรรมต่าง ๆ ที่เหมาะสม ปัญหานี้จึงสามารถจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภทการจัดเรียง (Leu and Yang 1999) (Kolisch and Hartmann 2006)

2.2.3 โมเดลการปรับสมดุลทรัพยากร

เป็นปัญหาที่มีเป้าประสงค์ในกรกำหนดหาวันดำเนินการของกิจการต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ ทรัพยากรต่าง ๆในแต่ละหน่วยเวลาใดๆ มีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาโครงการ ภายในระยะเวลา ของโครงการที่กำหนด และยังคงต้องรักษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Dependence Relationships) โดยต้องมีสมมติฐานที่ให้ความยืดหยุ่นในข้อจำกัดของจำนวนทรัพยากร (หรือ กำหนดให้มีจำนวนไม่จำกัด) เมื่อผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในแต่ละหน่วยเวลาใด ๆ มีความผันผวนน้อยและเข้าใกล้ค่าเฉลี่ย จะทำให้ทรัพยากรโครงการที่ต้องการจัดหาไว้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้และต้นทุนโครงการลดลงในที่สุด แนวทางการหาคำตอบที่ทำได้คือการเลื่อนกำหนดเริ่มดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทมีค่าที่คงที่สุด (Leu et al, 2000)

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมาของโมเดลการปรับสมดุลทรัพยากร

2.3.1 งานวิจัยที่ผ่านมาของดัชนีบ่งชี้ความผันผวน

งานวิจัยที่ผ่านมาได้พัฒนาเทคนิคที่ใช้หาคำตอบของโมเดลโดยได้สร้างดัชนีที่ใช้บ่งชี้ความผันผวนของทรัพยากรไว้หลายรูปแบบโดยนักวิจัยต่าง ๆ กัน ซึ่งจะนำมาใช้อ้างอิงสองรูปแบบ คือ โมเมนต์ของความผันผวน (fluctuation moment) (Hegazy ,1999) และดัชนีวัดความไม่มีประสิทธิภาพ (El-Rayes and Jun ,2009)

2.3.2 ดัชนีโมเมนต์ความผันผวน ของ Hegazy

Hegazy (1999) ได้เสนอโมเดลปัญหา Resource leveling แบบการใช้ค่าโมเมนต์ของความผันผวนน้อยที่สุดโดยเป็นการพิจารณาโมเมนต์ของความผันผวนทั้งรอบแกน x และแกน y

ควบคู่กัน ซึ่งแกน x กำหนดให้เป็นแกน horizontal axis ที่แสดงระยะเวลาของโครงการขณะที่แกน y กำหนดให้เป็นแกน vertical axis ที่แสดงจำนวนทรัพยากรโครงการที่ต้องการใช้

$$\mathbf{M_x} = \forall\ (r_t)^2 \tag{2.1}$$

$$\mathbf{M_y} = \forall\ [r_t * (t-d)] \tag{2.2}$$

2.3.3 ดัชนี RRH และ RID ของ El Rayes และ Jun

งานวิจัยต่อมาของ El-Rayes and Jun (2009) ได้ชี้ว่ารูปแบบวิธีวัดค่าระดับสมดุลที่มีอยู่นั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีที่วัดค่าความต่างระหว่างระดับการใช้ที่เป็นอยู่รูปทรงระดับการใช้ที่เป็นที่ต้องการ (predetermined desirable shapes) ซึ่งได้แก่ รูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงภูเขา ดังนั้นคำตอบที่หาได้จึงมุ่งไปสู่รูปทรงเฉพาะที่เป็นที่ต้องการเท่านั้นแหละก็เป็นไปได้ยากที่จะได้รูปทรงที่ต้องการเนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ของแผนงาน นอกจากนี้วิธีวัดค่าระดับสมดุลที่มีอยู่ยังอาจใส่ค่าปรับ (penalize) รูปทรงอื่น ๆ ของระดับการใช้ที่อาจมีประสิทธิภาพดีก็ได้ พวกเขาจึงได้เสนอวิธีการวัดค่าความสมดุลของระดับการใช้ทรัพยากรแบบใหม่ที่ไม่ยึดติดกับ Predetermined desirable shapes เพียงเท่านั้น แต่มุ่งเน้นไปที่การลดรูปทรงที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร (minimize undesirable resource fluctuations) ดัชนีที่ใช้วัดความไม่มีประสิทธิภาพของระดับการใช้ทรัพยากรถูกเสนอเป็น 2 ประเภท คือ release and Re-Hire (RRH) และ Resource Idle Days (RID)

RRH คือ ดัชนีที่ใช้วัดผลรวม จำนวนทรัพยากรที่ต้องปล่อยให้ว่างงานชั่วคราวในช่วงที่ความต้องการใช้ต่ำ และต้องการนำกลับมาใช้อีกครั้งในช่วงที่ความต้องการใช้กลับเพิ่มขึ้นมาตลอดระยะเวลาของโครงการ

$$RRH = H - MRD = \tfrac{1}{2} * HR - MRD \tag{2.3}$$

$$HR = [r_t + \forall |r_t - r_{t+1}| + r_T] \tag{2.4}$$

$$MRD = Max\ (r_1, r_2, r_3, r_4, \ldots\ldots, r_T) \tag{2.5}$$

RID คือ ดัชนีที่ใช้วัดผลรวมของจำนวนทรัพยากรที่ว่างงานอันเนื่องมาจากความผันผวนของระดับความต้องการใช้

$$RID = \forall [r_t - Min (Max (r_1, r_2, \ldots, r_t), Max (r_t, r_{t+1}, \ldots, r_T))] \quad (2.6)$$

โดยที่ H คือ ผลรวมจำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการเพิ่มขึ้น

MRD คือ จำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการมากที่สุด

HR คือ ผลรวมความผันผวนรายวันของความต้องการใช้ทรัพยากร

r_t คือ จำนวนทรัพยากรที่ต้องการประจำวันที่ t

T คือ Total Project Durations

2.4 วิธีการหาคำตอบของโมเดล

2.4.1 หลักการของการวิจัยดำเนินการ

การวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารสมัยใหม่ในแนวทางเชิงปริมาณ (Quantitative Approach)ซึ่งใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวางแผนและตัดสินใจ มีพื้นฐานมาจากการจัดการเชิงวิทยาศาสตร์ โดยมีจุดเริ่มต้นจากการคำนวณเพื่อควบคุมการยิงขีปนาวุธในสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งนับเป็นจุดกำเนิดของศาสตร์ทางด้านการวิจัยดำเนินงาน และ วิทยาการจัดการ ซึ่งมีการนำมาใช้ในวงการธุรกิจเมื่อ บริษัทดูปองต์ และ บริษัท เรมิงตัน แรนด์ ยูนิแวก ได้พัฒนาเทคนิคสายงานวิกฤต (Critical Path Method)ขึ้นมาใช้ในการวางแผนและควบคุมงานโครงการ (สุทธิมา ชำนาญเวช,2552)

การวิจัยดำเนินงานนับได้ว่าเป็นเครื่องมือทางการจัดการที่ช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจ วางแผน ควบคุม และแก้ปัญหาต่างๆได้อย่างมีหลักเกณฑ์ สร้างความมั่นใจในการตัดสินใจ และเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาได้มากขึ้นขั้นตอนการวิจัยดำเนินงานมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.3 กระบวนการการแก้ปัญหาโดยใช้โมเดล

วิธีการหาคำตอบ คือ กระบวนการแก้ปัญหาของโมเดลที่สร้างขึ้น แล้วเพื่อกำหนดค่าคำตอบที่ดีที่สุด มีวิธีการหาคำตอบของโมเดลปัญหาได้หลากหลายวิธีซึ่งทำให้ได้ทั้งคำตอบที่แท้จริง (Exact Solution) หรือ คำตอบที่ประมาณ (Approximate Solutional) ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละโมเดลปัญหาอาจมีขนาดและความซับซ้อนต่างๆ กัน คำตอบที่แท้จริงเป็นคำตอบที่แน่ใจได้ว่าดีที่สุดของปัญหา บางครั้งอาจไม่สามารถหาได้หรือเป็นไปไม่ได้ (เนื่องจากมีจำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้ จำนวนมากมายมหาศาล เกินกว่าจะนำมาประเมินได้ทุกคำตอบ) ดังนั้นคำตอบที่ประมาณก็เป็นคำตอบที่นำไปใช้สำหรับบางโมเดลปัญหา วิธีการหาคำตอบได้แก่ วิธีกราฟฟิก (Graphic Method), วิธีซิมเพล็ก (Simplex Method) วิธีกาหาคำตอบด้วยอัลกอริทึม (Searching Algorithm Method) ซึ่งมี อัลกอริทึมจำนวนมากที่ใช้ในการค้นหาคำตอบแต่ในงานวิจัยนี้มุ่งจะวิธีการที่เรียกว่า ขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

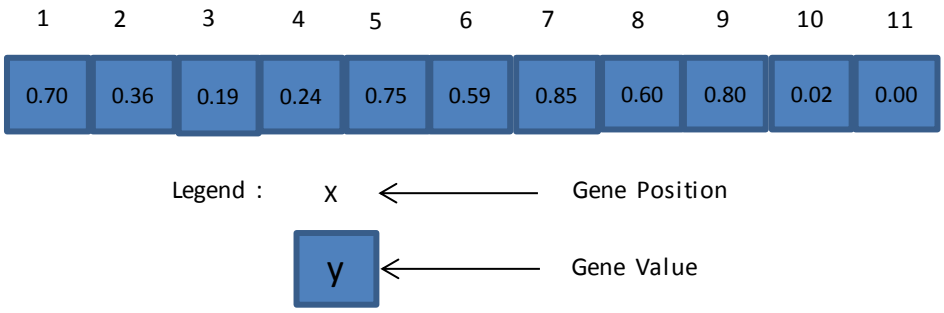
2.4.2 หลักการวิธีการทางพันธุกรรม(Genetic Algorithm)

วิธีการแก้ปัญหา เพื่อหาคำตอบในกลุ่มประเภท Searching Algorithms ซึ่งเป็นวิธีการที่ประสิทธิภาพสูง กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทำให้วิธีการแก้ปัญหาในกลุ่มประเภทนี้ พัฒนาต่อไปได้อย่างเร็ว ในงานวิจัยนี้ก็เช่นกัน โดยจะเลือกวิธีการแบบวิธีการขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms)

Genetic Algorithm เป็นวิธีการหาคำตอบแบบที่ค้นหาสุ่มตามโอกาส (Stochastic Search) ที่มีหลักการพื้นฐานได้มาจากการเลียนแบบพันธุกรรมและกระบวนการวิวัฒนาการ (Evolution) ของสิ่งมีชีวิต เริ่มแรก คำตอบที่เป็นไปได้จำนวนกลุ่มหนึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็น

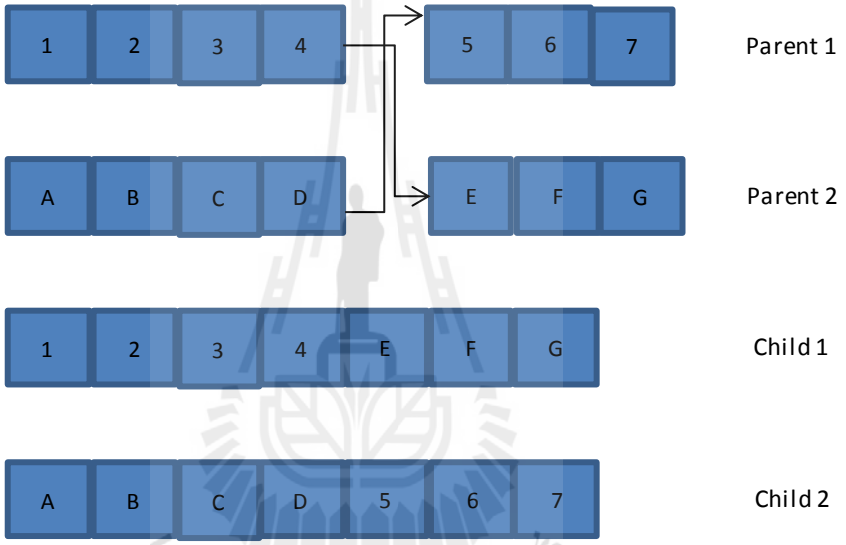
ตัวแทนของ “ประชากร” (population) ของ “โครโมโซม” (Chromosome) โดยในแต่ละโครโมโซมจะใช้แทนหนึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ “โครโมโซม” เหล่านี้จะผ่านการเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการเป็นประชากรใน “รุ่น” (Generation) ถัดไป โครโมโซมของรุ่นลูกได้จากผลของ “ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์” (Chromosomes Operation) ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ และ “ปฏิบัติการกลายพันธุ์” (Mutation Operation) ของยีนส์ใดๆ ในโครโมโซมรุ่นลูกนั้น กระบวนการวิวัฒนาการนี้ จะถูกกำหนดด้วยหลักการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) หรือ “Survival of the Fittest” คือการที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ใดๆ ที่มี “ความแข็งแรง” (Fitness) มากกว่าย่อมมีโอกาสมากกว่าที่จะให้กำเนิดรุ่นลูก ถ่ายทอดโครโมโซมที่ดีไปสู่รุ่นต่อไป ในขณะที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ใดที่ไม่แข็งแรงเท่า ก็มีโอกาสจะสูญพันธุ์หายไปโดยไม่ได้ถ่ายทอดไปในรุ่นลูกอีก(น้ำผึ้ง แซ่แต้,2554)

การพิจารณาความแข็งแรงของโครโมโซมใด ๆ ในที่นี้หาได้จากการนำคำตอบที่เป็นโครโมโซมนั้นแทนค่าลงใน Objective Function แล้วเปรียบเทียบค่าของ Objective Function ที่ได้สุดท้ายจะได้ประชากรรุ่นสุดท้ายที่เป็นกลุ่มโครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาเท่าที่ค้นหาได้ ที่ใช้เป็น optimal หรือ rear-optimal solution ขั้นตอนที่สำคัญของ GAS คือ “การเข้ารหัส” (encoding) ของโครโมโซมเนื่องจากโครโมโครจะต้องเป็นตัวแทนของคำตอบที่เป็นไปได้ ใด ๆ อันหนึ่งลักษณะของโครโมโซมโดยทั่วไปจะใช้แสดงแทนด้วยสายของตัวอักษร (String of Character) ซึ่ง String นี้จะแสดงถึงคำตอบที่เป็นไปได้อันหนึ่งด้วย จะเห็นได้ว่าในโครโมโซม จะประกอบด้วย ยีนส์ (genes) ต่าง ๆ โดยมีค่าของยีนส์ (Gene value) และตำแหน่งของยีนส์ (Gene position) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญและรูปที่ (7.2) แสดงลักษณะการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ (parent chromosomes) คู่หนึ่งเพื่อให้ได้โครโมโซมรุ่นลูก (Offspring Chromosome)



รูปที่ 2.4 สายของตัวอักษรที่ใช้แสดงแทนโครโมโซม (Chan et al. ,1996)

เนื่องจาก GAs ใช้วิธี ค้นหาคำตอบที่ดีด้วยการเลียนแบบหลักการวิวัฒนาการดังนั้น สมมติฐานหลักของ GAs คือ โครโมโซมพ่อแม่ดีย่อมทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่ดีกว่าขึ้นได้ ซึ่งหากเป็นไปตามสมมติฐานก็จะทำให้การถ่ายทอดโครโมโมต่อ ๆ กัน เป็นรุ่นไม่สูญเปล่าแต่จะได้คำตอบที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ การหาคำตอบด้วย Gas จึงจะมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นแสดงว่า การ Crossover operation จะต้องทำให้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นเรื่อย ๆ กาหาคำตอบด้วย GAs จึงจะมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นแสดงว่า การ Crossover Operation จะต้องทำให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นอย่างไรก็ตามในความเป็นจริง “ คำตอบที่ดีอยู่แล้วอาจโดยทำลายล้างด้วย Crossover Operation (Chan et al. ,1996)



รูปที่ 2.5 ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่เพื่อให้ได้รุ่นลูก (Chan et al. ,1996)

ปฏิบัติการของ GAs ในระดับโครโมโซมคือ Crossover operation และ Mutation Operation บางครั้งอาจทำให้เกิดโครโมโซมรุ่นลูกที่เป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้หรือเป็น illegal schedules ได้เนื่องจากเช่น ให้กิจกรรมที่ซ้ำกัน หรือละเมินเงื่อนไขด้านความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม หรือละเมิดข้อจำกัดด้านทรัพยากร ดังนั้นการนำวิธี GAs มาใช้ในการหาคำตอบของโมเดลปัญหาการวางแผน ต้องมีส่วนที่จัดการหรือปรับปรุงแก้ไขคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เหล่านี้ทำอาจเกิดขึ้นได้ การที่ต้องจัดการกับ illegal schedule ที่เกิดขึ้น มีผลให้เพิ่มเวลาในการค้นหาคำตอบเป็นอย่างมาก

Elazouni and Metwally (2005) ได้เสนอวิธีการปรับปรุงปฏิบัติการของ GAs โดยโมเดลของพวกเขาได้เข้าถึงรหัสโครโมโซม ด้วยค่าเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ดังนั้นแต่ละโครโมโซมจะแทนแผนงานที่เป็นไปได้หนึ่งแผนงาน ปฏิบัติการ Crossover และ Mutation แบบดั้งเดิมนั้นไม่ได้คำนึงถึงการรักษาเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ จึงทำให้โครโมโซม ผลลัพท์ที่ได้บางอัน กลายเป็นแผนงานที่ไม่ถูกต้อง (illegal schedule) ปฏิบัติการ Crossover แบบปรับปรุงที่เสนอมีขั้นตอนดังนี้

(1) เริ่มจากหากลุ่มกิจกรรมที่เป็นลำดับแรกหรือกิจกรรมที่ไม่มี Predecessor
(2) สุ่มเลือกกิจกรรมจากขั้นตอนที่หนึ่ง มาหนึ่งกิจกรรม สมมุติเป็นกิจกรรม A
(3) สุ่มกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรม A ที่ได้ในขั้นตอนที่สอง โดยให้เป็นค่าเวลาเรื่อง ภายในขอบเขตที่เป็นไปได้ คือ ภายในระยะเวลาเลื่อน (Float) ของกิจกรรม A
(4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 กับกิจกรรมลำดับแรกตัวอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด
(5) หากิจกรรมที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมลำดับแรกเหล่านี้ทั้งหมด หรือกล่าวคือ หากิจกรรมทั้งหมดที่มี Predecessors เป็นกิจกรรมลำดับแรกเหล่านี้ เรียกว่า กิจกรรมลำดับที่สอง
(6) สุ่มเลือกกิจกรรมจากขั้นตอนที่ 5 มาหนึ่งกิจกรรม สมมุติเป็นกิจกรรม F
(7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3-6 จนกระทั้ง ครบทุกกิจกรรม

ปฏิบัติการ mutation แบบปรับปรุงที่เสนอมีขั้นตอนดังนี้

(1) สุ่มเลือกยีนส์ของโครโมโซม ค่าของยีนส์ที่ได้เป็นค่าเวลาเริ่มของกิจกรรมนั้น
(2) สุ่มกำหนดค่าเวลาเริ่มใหม่ โดยให้อยู่ภายใต้ขอบเขตของคำที่เป็นไปได้ คือ ระหว่างเวลาเสร็จมากที่สุด ของ predecessors ของกิจกรรมนี้ กับระยะเวลาเลื่อน Float ของกิจกรรมนี้
(3) ทำขั้นตอนปฏิบัติการ Crossover แบบปรับปรุงเพื่อกำหนดเวลาเริ่มของ Successors ของกิจกรรมนี้

จะเห็นได้ว่าปฏิบัติการของ GAs แบบปรับปรุงที่เสนอโดย Elazouni and Metwally (2005) นี้ มีหลักการที่กำหนดให้มีการสุ่มเลือกค่าทุกครั้งต้องอยู่ภายในขอบเขตที่จะทำให้ได้แผนงานที่ถูกต้องเท่านั้น จึงทำให้โครโมโซมในรุ่นต่อๆ มาหรือรุ่นที่เป็นคำตอบสุดท้ายเป็นแผนงานที่เป็นไปได้เสมอ พวกเขายังอ้างว่าปฏิบัติการแบบที่ปรับปรุงนี้สามารถทำให้ระยะเวลาการค้นหาคำตอบสั้นลงอีกด้วย (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมในแผนงานก่อสร้าง

โดยทั่วไปกิจกรรมก่อสร้างต่าง ๆ ไม่สามารถเริ่มดำเนินการหรือแล้วเสร็จได้ตามอิสระ แต่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมอื่น ๆ ที่กิจกรรม นั้นไปมีความสัมพันธ์ด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจาก ข้อจำกัด (constraints) ของกิจกรรมอย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติแล้วความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมใด ๆ สามารถแบ่งระดับความจำเป็นออกได้เป็น 2 ระดับ (Hinze ,2008) คือ

1. ความสัมพันธ์ที่จำเป็น (logically required relationships) เป็นความสัมพันธ์อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางกายภาพของกระบวนการก่อสร้าง ที่ทำให้บางกิจกรรมต้องถูกดำเนินการไปตามลำดับ โดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น กิจกรรมผูกเหล็ก “จำเป็นต้อง” มาก่อนกิจกรรมเทคอนกรีต

2. ความสัมพันธ์ที่ปรารถนา (Preferred relationships) เป็นความสัมพันธ์เชิงนโยบายที่กำหนดลำดับ การดำเนินการกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อช่วยเอื้อประโยชน์ในการบริหารจัดการด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านความปลอดภัย ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านข้อสัญญา ด้านการเงิน และด้านทรัพยากร ตัวอย่างเช่น กิจกรรม ตกแต่งภายใน “ปรารถนาให้” มาก่อนกิจกรรมปรับปรุงบริเวณ

2.5.1 ความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม

ในการวางแผนงานจึงควรกำหนดให้มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เนื่องจากการมีความสัมพันธ์มากเกินไปจะทำให้เกิดข้อจำกัดในการจัดตารางเวลาและไม่ยืดหยุ่น และกำหนดให้มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างความสัมพันธ์ทั้งสองระดับ เพื่อให้เงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ปรารถนาสามารถถูกทบทวนและปรับแก้ไขได้ตามความเหมาะสม อย่างไรก็ตามจะพบว่าโมเดลปัญหาการวางแผน ของงานวิจัยที่ผ่านมาหรือซอฟแวร์ที่มีอยู่ ไม่มีความสามารถในการนี้ และภาระการพิจารณาตัดสินใจหรือทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์จึงตกอยู่กับผู้วางแผนเอง (Hendrickson and Au ,1989)

2.5.2 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม

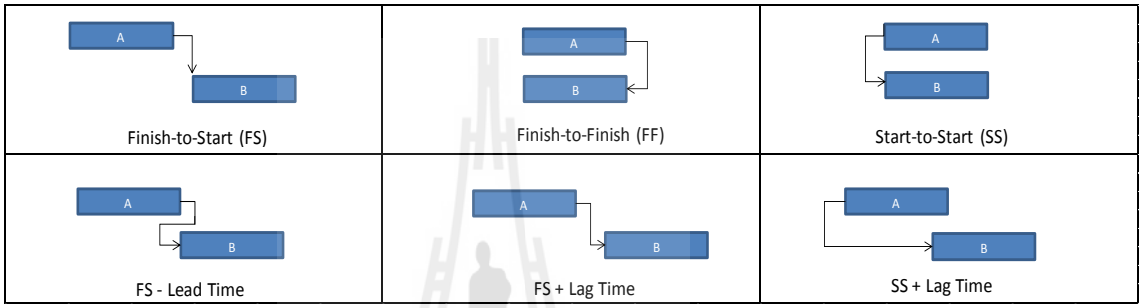
ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมยังแบ่งออกได้หลายรูปแบบดังต่อไปนี้

1. Finish-to-Start (FS) คือเงื่อนไขความสัมพันธ์ที่กำหนดให้กิจกรรมหนึ่งจะสามารถเริ่มดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อ Predecessor (s) ทั้งหมดเสร็จสมบูรณ์แล้ว ซึ่งความสัมพันธ์รูปแบบนี้เป็นรูปแบบทั่วไปที่มักใช้ในการวางแผน และในโครงการตัวอย่างของงานวิจัยต่าง ๆ

2. Start – to – Start (SS) คือ เงื่อนไขที่กำหนดให้กิจกรรมหนึ่งจะสามารถเริ่มดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อ predecessor (s) ทั้งหมดได้เริ่มดำเนินการแล้ว

3. Finish – to- Finish (FF) คือเงื่อนไขที่กำหนดให้กิจกรรมหนึ่งจะสามารถดำเนินการแล้วเสร็จได้ก็ต่อเมื่อ Predecessor (s) ทั้งหมดได้เสร็จสมบูรณ์แล้ว

นอกจากความสัมพันธ์รูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้ยังมีสามารถมีการซ้อนเหลื่อมของเวลาหรือการตามหลังเวลาได้อีกด้วย การกำหนดช่วงเวลาที่ซ้อนเหลื่อมกันที่เรียกว่า lead time ซึ่งจะใช้เป็นค่าตัวเลขติดลบหรือการกำหนดช่วงเวลาที่ตามหลังที่เรียกว่า lag time ซึ่งจะใช้เป็นค่าตัวเลขบวกภาพที่ 2 แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เป็นได้



รูปที่ 2.6 แผนภาพบาร์ชาร์ทแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมรูปแบบต่างๆ

2.5.3 อิทธิพลของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่อแผนงานก่อสร้าง

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้สามารถ มีผลโดยตรงต่อกำหนดการเริ่มหรือเสร็จ ของกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อไปยังระดับ ความต้องการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน การพิจารณาทบทวนรูปแบบความสัมพันธ์หรือการสร้างทางเลือกของรูปแบบความสัมพันธ์ จะช่วยให้การวางแผนงานโครงการมีความยืดหยุ่นขึ้นจึงช่วยเพิ่มโอกาสให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นจากโมเดลปัญหาได้ อย่างไรก็มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่สร้างโมเดลปัญหาการวางแผนโดยพิจารณาผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่หลากหลาย (Chassiakos and Sakellaropoulos, 2005)

2.6 โมเดลปัญหาการวางแผนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์

โมเดลปัญหาที่เกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับโมเดลปัญหา Resource-Constrained Project scheduling problem (RCPSP) คือ โมเดลปัญหาการปรับระดับสมดุลการใช้ทรัพยากร (Resource leveling) เป็นปัญหาที่มีเป้าประสงค์ในการกำหนดหาวันดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมความ

ต้องการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ในแต่ละหน่วยเวลาใด ๆ มีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาโครงการภายในระยะเวลาของโครงการที่กำหนดและยังคงรักษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (dependence Relationship) โดยต้องมีสมมุติฐานที่ให้ความยืดหยุ่นในข้อจำนวนทรัพยากร (หรือกำหนดให้มีจำนวนไม่จำกัด) เมื่อผลรวมความต้องการใช้จำนวนทรัพยากรต่าง ๆ ในแต่ละหน่วยเวลาใด ๆ มีความผันผวน (Fluctuation) น้อยและเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยจะทำให้ทรัพยากรโครงการที่ต้องจัดหาไว้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และต้นทุนโครงการลดลงในที่สุด แนวทางการหาคำตอบที่ทำได้คือ การเลื่อนกำหนดเริ่มดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทมีค่าคงที่ที่สุด (Leu et al. ,2000)

2.6.1 การวางแผนด้วยตารางเวลา สู่การวางแผนปรับสมดุลทรัพยากร

การวางแผนโครงการก่อสร้างมีภาระอันสำคัญในการกำหนดรายกิจกรรมที่ต้องทำลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน รวมทั้งต้องจัดสรรการใช้ทรัพยากรของโครงการที่มีอยู่อย่างจำกัดตามความต้องการใช้ของกิจกรรมต่าง ๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งได้แก่ เวลา งบประมาณ เงินสดพื้นที่ทำงาน แรงงาน และเครื่องจักรเป็นต้น การวางแผนเฉพาะทรัพยากรด้านเวลาเพียงอย่างเดียวด้วย Critical Path method (CPM) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่แผนงานที่ได้อาจนำไปปฏิบัติจริงไม่ได้ เนื่องจากไม่ได้พิจารณาถึงความจำกัดของทรัพยากรโครงการอื่น ๆ โมเดลปัญหาการวางแผนที่พิจารณาเงื่อนไขความจำกัดของทรัพยากรด้วยจึงถูกพัฒนาขึ้น ในลักษณะแบบ Optimization Models เรียกโดยรวมว่า Resource- constrained construction scheduling problem (RCSP) ซึ่งจัดเป็นปัญหาแบบ NP-hard optimization problem ที่ยากต่อการหาคำตอบและจัดการ (Kolisch and Hartmann 2006) โมเดลปัญหาการวางแผนงานโครงการก่อสร้างจึงมีความซับซ้อนและอยู่ในความสนใจของนักวิจัยอย่างต่อเนื่อง

ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนงานผลลัพธ์ที่ได้ของโมเดลปัญหาเหล่านี้ จะถูกจำกัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ (Relationship Option) จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ของแผนงาน ยังไม่ใช่แผ่นงานที่ดีตามต้องการทั้งนี้ เงื่อนไขความสัมพันธ์เหล่านี้ อาจกำหนดขึ้นตามความจำเป็นหรือตามนโยบายของผู้วางแผนที่ในทางปฏิบัติ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม เนื้อหาในงานวิจัย จึงได้เสนอแนวคิดในการสร้างโมเดลปัญหา RCPSP ที่สามารถพิจารณาชนิดของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมได้ เพื่อให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น รวมทั้งการทดสอบโมเดลที่สร้างขึ้น และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

2.6.2 ความหมายของโมเดลการปรับสมดุลทรัพยากร

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม โดยทั่วไป กิจกรรมการก่อสร้างต่าง ๆ ไม่สามารถดำเนินการหรือแล้วเสร็จได้ตามอิสระ แต่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมอื่น ๆ ที่กิจกรรมนั้นไม่มีความสัมพันธ์ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัด (Constraints) ของกิจกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม สามารถแบ่งได้ออกเป็นหลายรูปแบบได้แก่ Finish – to – Start (FS),Start – to – Start (SS),Finish – to – Finish (FF)

นอกจากนี้ความสัมพันธ์รูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้ยังสามารถมีการซ้อนเหลื่อมของเวลาหรือการตามหลังเวลาได้อีก ด้วยการกำหนดช่วงเวลาที่ซ้อนเหลี่ยมเรียกว่า **lead Time** ซึ่งจะใช้เป็นคำตัวเลขติดลบ หรือการกำหนดช่วงเวลาที่ตามหลังที่เรียกว่า **lag Time** ซึ่งจะใช้เป็นค่าตัวเลขบวก (Hinze, 2008)

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้สามารถมีผลโดยตรงต่อกำหนดการเริ่ม หรือเสร็จของกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อไปยังระดับความต้องการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน ในการวางแผนงานจึงควรกำหนดให้มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเนื่องจากมีความสัมพันธ์มากเกินไป จะทำให้เกิดข้อจำกัดในการจัดตารางเวลาและไม่ยืดหยุ่น และกำหนดให้มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างความสัมพันธ์ทั้ง 2 ระดับ เพื่อให้เงื่อนไขความสัมพันธ์ที่ปรารถนา สามารถถูกทบทวนและปรับแก้ไขได้ตามเหมาะสม การพิจารณาทบทวนรูปแบบความสัมพันธ์หรือการสร้างการเลือกของรูปแบบความสัมพันธ์ จะช่วยให้การวางแผนโครงการมีความยืดหยุ่นขึ้น จึงช่วยเพิ่มโอกาสให้ได้แผนงานผลสัมพันธ์ที่ดียิ่งขึ้นจากโมเดลปัญหาได้(Chassiakos and sakellapoulos,2005)

อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่สร้างโมเดล ปัญหาการวางแผน โดยพิจารณาผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่หลากหลาย (Chassiakos and sakellapoulos,2005)โมเดลปัญหาการวางแผนของงานวิจัยที่ผ่านมาหรือซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ไม่มีความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจหรือทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ให้เหมาะสม และภาระการพิจารณานี้จึงต้องตกอยู่กับผู้วางแผนเอง (Hendricksons and Au ,1989) ดังนั้นการสร้างโมเดลปัญหาการวางแผน RCPSP ที่สามารถพิจารณาความเหมาะสม ของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดขึ้น โดยนำเข้าไปเป็นองค์ประกอบหลักของโมเดล คือเป็นตัวแปรตัดสินใจนั้นเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริง

2.6.3 องค์ประกอบและขั้นตอนการวิจัย

องค์ประกอบของโมเดลปัญหาการวางแผน RCPSP โดยทั่วไปจะมีตัวแปรตัดสินใจเป็นการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรม (Activities start times) และมีฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Dependence Relationships) ดังนั้นการค้นหาคำตอบจึงเป็นการเลื่อนเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระยะเวลาโฟลทของตนเอง เพื่อให้ได้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่า แผนงานผลลัพธ์ของโมเดลที่ได้จะถูกจำกัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Finish-to-Start (FS) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทั้งที่ในทางปฏิบัติการวางแผนโครงการอาจกำหนดใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมได้หลากหลายแบบ จึงทำให้แผนงานผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ใช่แผนงานที่เหมาะสมตามต้องการ ทั้งนี้เงื่อนไขความสัมพันธ์เหล่านี้อาจถูกกำหนดขึ้นตามความจำเป็นหรือตามนโยบายของผู้วางแผนที่ในการปฏิบัติสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวคิดในการสร้างโมเดลปัญหาการวางแผน RCPSP ที่สามารถพิจารณาชนิดของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมได้ โดยส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาโครงการและระดับการจัดสรรทรัพยากร เพื่อทำให้ได้แผนงานที่มีผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น และสอดคล้องกับสภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น (วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2553)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานศึกษาวิจัย

โมเดลปัญหาของงานวิจัยนี้ มีการปรับปรุงงานของ El-Rayes and Jun (2009) ด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ โดยนำข้อมูลตัวอย่างโจทย์จากโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดีมาใช้เนื่องจากเป็นโครงการที่มีจำนวนกิจกรรมพอเหมาะไม่มากไม่น้อยเกินไปบางกิจกรรมสามารถปรับเงื่อนไขความสัมพันธ์ได้โดยไม่ขัดแย้งกับความเป็นจริงโดยมีสมมุติฐานงานวิจัยที่ว่าเมื่อใช้โมเดลที่พัฒนาใหม่นี้ปรับสมดุลทรัพยากรโครงการจะแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่ไม่สม่ำเสมอเพื่อให้ได้แผนงานที่ดียิ่งขึ้น

สำหรับโครงการก่อสร้างปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีตามรูปที่ 3.1 นี้ มีงบประมาณโครงการเป็นจำนวนเงิน 58 ล้านบาท ระยะเวลาโครงการ 120 วัน ดำเนินงานก่อสร้างโดยบริษัท ปฐมเฟอร์นิเจอร์(1997) จำกัด ลักษณะงานเป็นการปรับปรุงพื้นที่ใช้สอยเดิมของชั้นที่ 1 ให้มีความสะดวกสบายและทันสมัยขึ้นต่อการให้บริการผู้ป่วยแผนกออร์โธพิดิกส์ ประกอบไปด้วยรายละเอียดงานดังตารางที่ 3.1

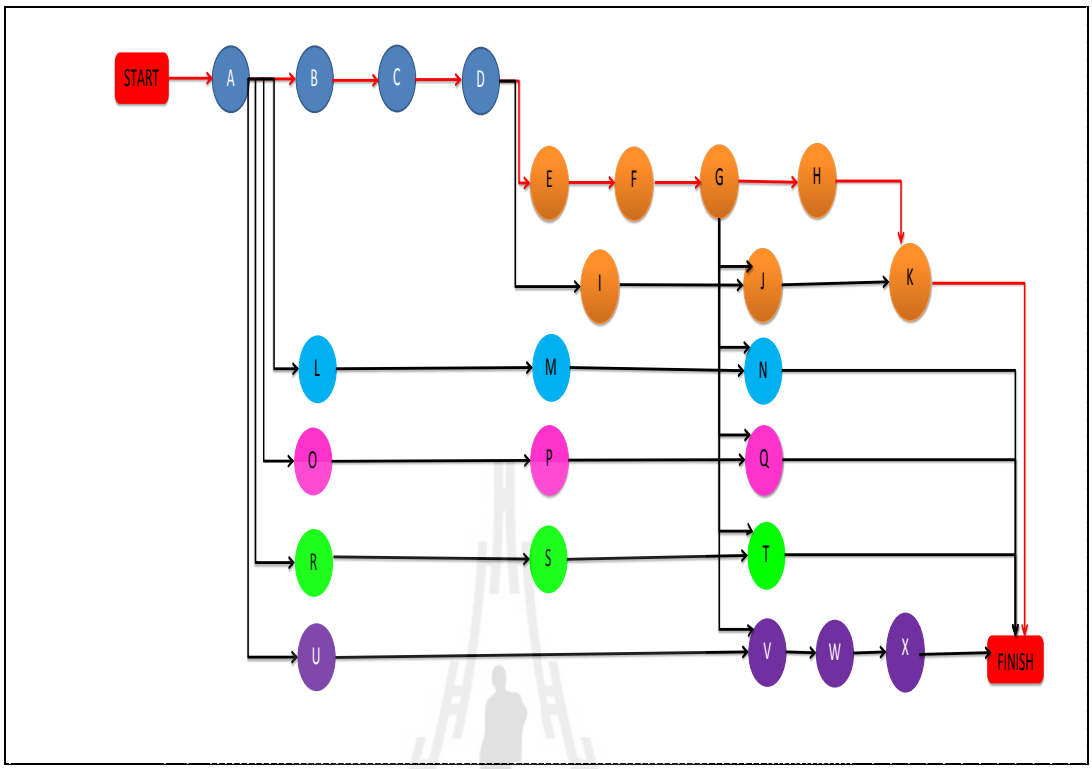
รูปที่ 3.1 งานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

3.1 สมการของโมเดลปัญหา

ส่วนประกอบหลักของโมเดลนี้แบ่งเป็น 4 ส่วนได้แก่ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function),ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint Function) และ วิธีการหาคำตอบ(Solving Algorithms) ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบหลักของโมเดลที่สร้างขึ้นมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลกิจกรรมของโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

Activity	Description	Duration	Resource	Predecessors
A	งานรื้อถอนโครงสร้างและตัดต่อวิศวกรรม	14	20	-
B	งานเสาเข็มเจาะภายในอาคาร	7	5	A
C	งานหล่อฐานรากและตอม่อ	7	15	B
D	งานถมดินปรับพื้นที่และหล่อพื้น คสล.ใหม่	15	20	C
E	งานก่ออิฐฉาบปูนผนัง	10	10	A,D
F	งานติดตั้งโครงผนังเบา-โครงฝ้าเพดาน	7	12	E,D
G	งานติดตั้งแผ่นผนังเบา-แผ่นฝ้าเพดาน	7	20	F
H	งานติดตั้งประตู-หน้าต่าง	3	5	G
I	งานปูกระเบื้องยาง	7	10	D
J	งานปูกระเบื้องห้องน้ำ และ ติดตั้งสุขภัณฑ์	15	8	G,I
K	งานตกแต่งภายใน - งานไม้	20	20	H,J
L	งานเดินท่อสขาภิบาลและท่อดับเพลิง	10	10	A
M	งานทดสอบแรงดันท่อสขาภิบาลและท่อดับเพลิง	3	3	L
N	งานติดตั้งหัวฉีดน้ำ-ตู้ดับเพลิง-ปั๊มน้ำ	7	10	M,G
O	งานเดินท่อ Conduit ระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร	15	20	A
P	งานร้อยสายไฟในระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร-งานติดตั้งรางWireway-งานติดตั้งตู้ Load Panel	7	20	O
Q	งานติดตั้งโคมไฟ-สวิทช์-ปลั๊กไฟฟ้า-เต้ารับสัญญาณTV-โทรศัพท์-LAN	15	10	G,P
R	งานติดตั้งท่อ Duct - หัวจ่าย Fresh Air- ช่อง Exhaust	20	20	A
S	งานติดตั้ง AHU และ FCU -ท่อน้ำเย็น-ท่อน้ำทิ้ง	15	20	R,G
T	งานติดตั้ง Chiller - Pump และอุปกรณ์ควบคุม	20	10	S
U	งานตัดต่อวาล์วเก่า และ ติดตั้งวาล์วใหม่	5	5	A
V	งานเดินท่อก๊าซออกซิเจน-ท่อไนตรัส	14	10	U,G
W	งานติดตั้งอุปกรณ์หัวจ่ายก๊าซ และ ติดตั้งปั๊มอากาศอัด	7	5	V
X	งานทดสอบแรงดันท่อก๊าซออกซิเจน-ท่อไนตรัส	3	5	W



รูปที่ 3.2 แผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานขั้นต้นของโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรม (Activity Start Time) และ กลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ (Relationship Options) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมจะเป็นค่าตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงานซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของกิจกรรมที่กำหนด เสมือนเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่างๆเป็นลำดับภายในระยะเวลาโฟลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ การคำนวณ CPM จะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมดและการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังทำให้ได้ระดับการจัดสรรทรัพยากรอีกด้วย ส่วนตัวแปรตัดสินใจกลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์นั้น เป็นการกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอันสามารถมีทางเลือกต่างๆกันได้ เช่นความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม X และ Y ใดๆมีทางเลือกเป็น FS หรือ SS ก็ได้ ซึ่งผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ถูกเลือกจะนำไปใช้ในการคำนวณ CPM ต่อไป

ตัวแปรตัดสินใจ 1: S_i = เวลาเลื่อน(Shifting time) ของกิจกรรมที่ i

$$ST_i = ES_i + S_i \quad (3.1)$$

โดยที่ ST_i = เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i

$S_{.i}$ = เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ตัวแปรตัดสินใจ 2: การเลือกรูปแบบความสัมพันธ์

x_{ihj} = ตัวแปร Binary ที่ใช้ทางเลือกที่ j ของรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่ i และ predecessors ของ i ตัวที่ h

โดยที่ $S_j\, x_{ih} = 0,1\ ;\ \forall i \quad (3.2)$

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ กำหนดให้เป็นแบบ Multi-Objective โดยปรับปรุงจากงานวิจัยของ El-Rayes and Jun(2009) และ Hegazy(1999)

$$\text{Total Score}=\text{Minimize } (w_1M_x + w_2\text{MRD}+w_3\text{RRH}+ w_4\text{RID}+w_5T) \quad (3.3)$$

โดยที่ M_x คือ โมเมนต์ความผันผวนรอบแกน X จากสมการ (2.1)

MRD คือ ปริมาณทรัพยากรสูงสุดต่อวันที่ต้องการ จากสมการ (2.5)

RRH คือ จำนวนทรัพยากรที่ต้องปล่อยให้ว่างงานชั่วคราวในช่วงที่ความต้องการใช้ต่ำและต้องการนำกลับมาใช้อีกครั้งในช่วงที่ความต้องการใช้กลับเพิ่มขึ้น จากสมการ (2.3)

RID คือ ดัชนีที่ใช้วัดผลรวมของจำนวนทรัพยากรที่ว่างงานอันเนื่องมาจากความผันผวนของระดับความต้องการใช้ จากสมการ (2.6)

T คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ดำเนินงานในโครงการ

w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีวัดความผันผวน M_x, MRD, RRH, RID และ T ตามลำดับ

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด แบ่งออกเป็นกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์รูปแบบต่างๆ และกลุ่มเงื่อนไขทั่วไป ดังนี้

:กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์

$$\text{FS:} \quad ST_i \geq FT_h \quad ; \forall h \tag{3.4}$$

$$\text{SS:} \quad ST_i \geq ST_h \quad ; \forall h \tag{3.5}$$

$$\text{FF:} \quad FT_i \geq FT_h \quad ; \forall h \tag{3.6}$$

:กลุ่มเงื่อนไขทั่วไป

$$\text{Max } (FT_i) \tag{3.7}$$

$$FT_i \geq ST_i + D_i \tag{3.8}$$

โดยที่ ST_i เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i ที่ปรับเลื่อนแล้ว

FT_i เวลาแล้วเสร็จของกิจกรรมที่ i

h กิจกรรม predecessors ของกิจกรรมที่ i

T ระยะเวลาของโครงการที่กำหนด

D_i ระยะเวลาของกิจกรรมที่ i

3.2 การสร้างโมเดลด้วยสเปรตชีต

โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และได้เลือกใช้วิธีการหากคำตอบแบบ Genetic Algorithms (GAs) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Evolver™ ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นโปรแกรม Add-in ใน Microsoft Excel (Leu,2010)

โมเดลปัญหานี้จะถูกสร้างบนโปรแกรมสเปรตชีตโดยจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ที่มีแผ่นงาน (Sheet)แผ่นเดียวที่ใช้ป้อนบันทึกสูตรของสมการต่างๆทั้งหมดของโมเดลให้เข้าใจได้ง่ายแผ่นคำนวณที่ใช้พื้นที่เป็นตัวโมเดลทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4

3.2.1 การนำเข้าข้อมูล

เท็มเพลตของแผนงานคือพื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการที่ต้องการหาคำตอบ ข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ รายชื่อกิจกรรม ระยะเวลากิจกรรม จำนวนทรัพยากรที่ใช้ต่อวัน และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนงานก่อสร้าง

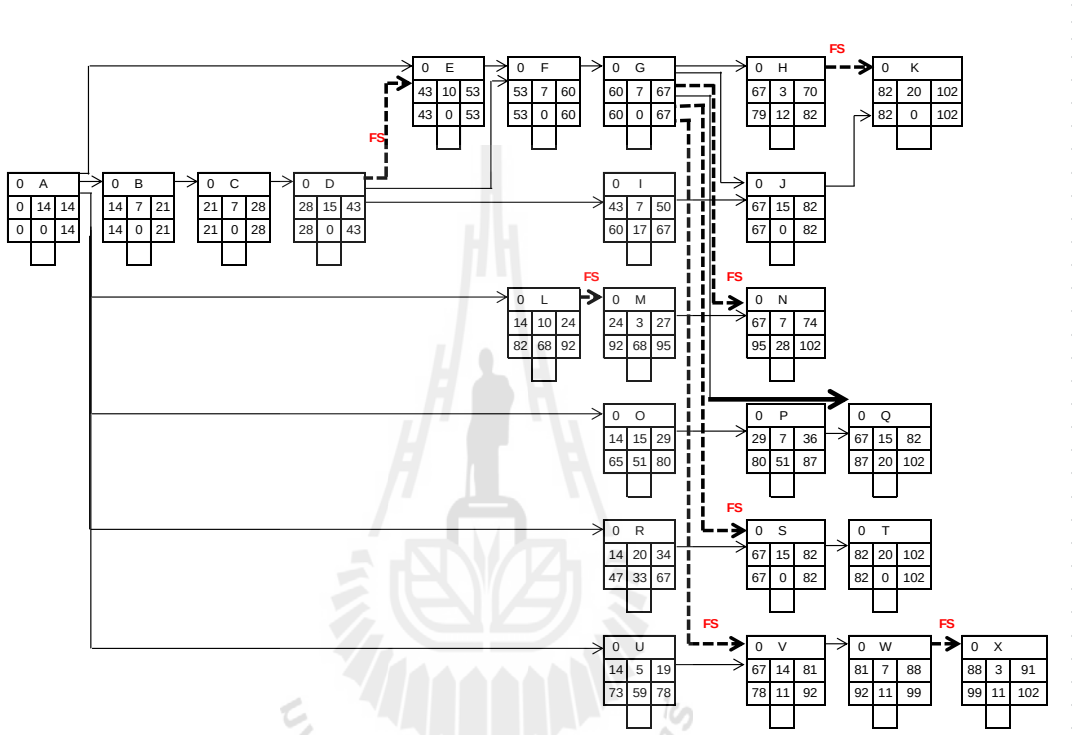
Activity	Duration	Resource	Predecessors						X_{ij}						CPM					
			1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	Shift	ST	FT	LS	LF	TF
A	14	20													0	0	14	0	14	0
B	7	5	A												0	14	21	14	21	0
C	7	15	B												0	21	28	21	28	0
D	15	20	C												0	28	43	28	43	0
E	10	10	A	D			No:D			1			0		0	43	53	43	53	0
F	7	12	D	E											0	53	60	53	60	0
G	7	20	F												0	60	67	60	67	0
H	3	5	G												0	67	70	79	82	12
I	7	10	D												7	50	57	60	67	10
J	15	8	G	I											0	67	82	67	82	0
K	20	20	H	J		SS:H			1			0			0	82	102	82	102	0
L	10	10	A												0	14	24	82	92	68
M	3	3	L			SS:L			1			0			0	24	27	92	95	68
N	7	10	G	M		FF:G			1			0			0	67	74	95	102	28
O	15	20	A												7	21	36	65	80	44
P	7	20	O												7	43	50	80	87	37
Q	15	10	G	P											7	74	89	87	102	13
R	20	20	A												0	14	34	47	67	33
S	15	20	G	R		FF:G			1			0			0	67	82	67	82	0
T	20	10	S												0	82	102	82	102	0
U	5	5	A												0	14	19	73	78	59
V	14	10	G	U		FF:G			1			0			3	70	84	78	92	8
W	7	5	V												5	89	96	92	99	3
X	3	5	W			SS:W			1			0			2	98	101	99	102	1

รูปที่ 3.3 การนำเข้าข้อมูลแผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี ด้วยสเปรตชีต

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นข้อมูลที่แสดงแทนด้วย Predecessors ได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงสามกิจกรรม โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับPredecessors กำหนดให้มีค่าตั้งต้นแบบ Finish To Start (FS) นอกจากนี้เนื่องจากเป้าหมายของการสร้างโมเดลนี้มีความสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ จึงกำหนดให้กิจกรรมใดๆสามารถมีทางเลือกของกิจกรรมได้ไม่เกินสองทางเลือกเพื่อไม่ให้ขนาดของโมเดลใหญ่เกินไป โดยทางเลือกความสัมพันธ์ใดๆอาจมีรูปแบบเป็น FS หมายถึง Finish To Start ที่เป็นค่าตั้งต้น, SS หมายถึง Start To Start, FF หมายถึง Finish To Finish หรือ No หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์

ในโมเดลนี้ผู้วางแผนสามารถกำหนดทางเลือกของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นคำตอบโดยที่แต่ละคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรมไม่จำเป็นต้องมีทางเลือกเดียวเสมอไป โดย กิจกรรม

E มีทางเลือกเป็น FS:D และ No:D กับกิจกรรม D, กิจกรรม K มีทางเลือกเป็น FS:H และ SS:H กับกิจกรรม H, กิจกรรม M มีทางเลือกเป็น FS:L และ SS:L กับกิจกรรม H,กิจกรรม N มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม S มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม V มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม X มีทางเลือกเป็น FS:W และ SS:W กับกิจกรรม W,



รูปที่ 3.4 แผนผังเครือข่ายกิจกรรมงาน(ที่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์)ในโครงการโรงพยาบาลรามาธิบดี

3.2.2 การคำนวณค่าเวลา

ส่วนของการคำนวณค่าเวลา แบ่งเป็นส่วนแสดงค่าเวลาที่สำคัญ 6 ค่า ได้แก่ ST (Starting Time), FT (Finish Time), LS (Latest Started), LF (Latest Finished), TF (Total Float) และ FF (Free Float) ตามรูปที่ 3.3

มีส่วนแสดงบาร์ชาร์ทของแต่ละกิจกรรม การคำนวณค่าเวลาของแต่ละกิจกรรมเป็นพื้นฐานของการทำแผนงานโครงการก่อสร้าง ด้วยวิธีการคำนวณแบบ CPM (Critical Path Method) โดยการคำนวณเหล่านี้ จะเป็นการแสดงผลการคำนวณที่อ้างอิงมาจากข้อมูลนำเข้า และชุดคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นค่าเวลาที่ต้องคำนวณเหล่านี้ จะมีการปรับแต่งสูตรให้สะท้อนค่าเวลา

เลื่อน (Shifting Time) และการเลือกทางเลือกความสัมพันธ์ด้วยเงื่อนไขความสัมพันธ์เชิงเวลา สามารถสร้างเป็นสูตรคำนวณใน Spreadsheet ได้ดังนี้

(1) กรณี FS และไม่มีทางเลือก :

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\,(FT_h) + S_i;\ \forall h \qquad (3.9)$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.5 กิจกรรม F มี Predecessors เป็นกิจกรรม A และ D จะได้ว่า

$$ST_F = Max\,(FT_A\ ,\ FT_D) + S_F$$

การคำนวณขากลับ

$$LF_i = Min\,(LS_k)\ ;\ \forall k \qquad (3.10)$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.5 กิจกรรม F มี Successors เป็นกิจกรรม G จะได้ว่า

$$LF_F = Min\,(LS_G)$$

โดยที่ i = กิจกรรมที่กำลังพิจารณา

h = กิจกรรม predecessors ของกิจกรรม i

k = กิจกรรม successors ของกิจกรรม i

รูปที่ 3.5 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม F และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(2) กรณีทางเลือก FS กับ No:

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\ (FT_h * x_{ihj}) + S_i;\ \forall h \qquad (3.11)$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.6 กิจกรรม E มี Predecessors เป็นกิจกรรม A และ D โดยมีทางเลือกของความสัมพันธ์กับกิจกรรม D เป็น FS หรือ No จะได้ว่า

$$ST_E = Max\ (FT_A, FT_D * x_{iED1}) + S_E$$

การคำนวณขากลับ

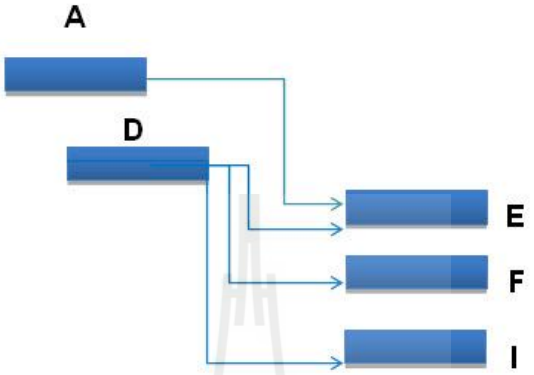
ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.6 ในขณะที่กิจกรรม D มี Successors เป็นกิจกรรม E,F,I จะได้ว่า

$$LF_D = Min\ (LS_E + x_{ED2} * BN\ ,\ LS_F\ ,\ LS_I\ )$$

โดยที่

x_{ihj} = Binary Integer (0 หรือ 1) แทนการไม่เลือกหรือเลือก

BN = ตัวเลขเต็มบวกที่มีค่ามากๆเมื่อเทียบกับระยะเวลาโครงการ เช่น 1,000 วัน



รูปที่ 3.6 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม E-D และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(3) กรณีทางเลือก FS และ SS

การคำนวณขาไป

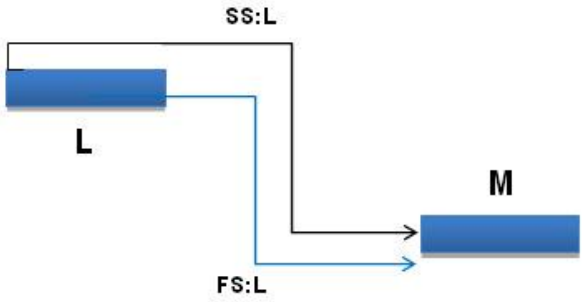
$$ST_i = \text{Max}\,(FT_h * x_{ihj}) + S_i;\ \forall h \qquad (3.12)$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.7 กิจกรรม M มี Predecessors เป็นกิจกรรม L และมีทางเลือกความสัมพันธ์กับกิจกรรม L เป็น FS หรือ SS จะได้ว่า

การคำนวณขากลับ

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.7 ในขณะที่กิจกรรม L มี Successors เป็นกิจกรรม M จะได้ว่า

$$LF_L = \text{Min}(LS_M + D_L + x_{LM1} * BN, LS_M + x_{LM2} * BN) \qquad (3.13)$$



รูปที่ 3.7 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม M-L และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(4) กรณีทางเลือก FS และ FF

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\ (FT_h - D_i * x_{ihj}) + S_i;\ \forall h$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.8 กิจกรรม S มี Predecessors เป็นกิจกรรม R และ G และมีทางเลือกความสัมพันธ์กับกิจกรรม G เป็น FS หรือ FF จะได้ว่า

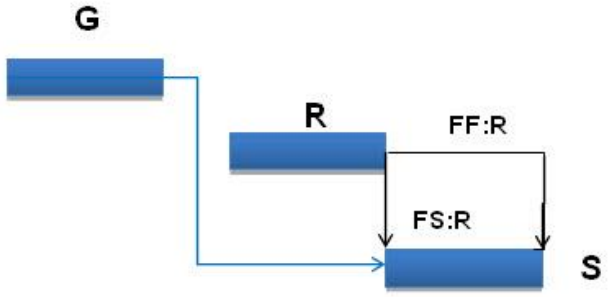
$$ST_S = Max\ (FT_R - D_R * x_{SR2}, FT_G) + S_S \qquad (3.14)$$

การคำนวณขากลับ

$$LF_i = Min\ (LS_h + x_{ihj} * BN);\ \forall h$$

ตัวอย่างเช่น ตามรูปที่ 3.8 ในขณะที่กิจกรรม R มี Successors เป็นกิจกรรม S จะได้ว่า

$$LF_R = Min\ (LS_S + x_{SR2} * BN\ ,\ LF_S + x_{SR1} * BN) \qquad (3.15)$$



รูปที่ 3.8 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม S-R และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(5) ในทุกกรณี

$$FT_i = ST_i + D_i \; ; \; \forall h \tag{3.16}$$

$$LS_i = LF_i - D_i \; ; \; \forall h \tag{3.17}$$

3.3 วิธีทดสอบโมเดลและการแสดงผลการทดสอบ

3.3.1 แผนงานโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล

ในการทดลองนี้จะสร้างแผนงานแบบตารางเวลาขึ้นมาด้วยวิธี CPM โดยนำเสนอด้วย Gantt Chartเพื่อที่จะหาระยะเวลาดำเนินการทั้งหมดของโครงการ และ ตรวจสอบหาสายงานวิกฤต จากนั้นเมื่อได้แผนงานขั้นต้นแล้วจึงทำการวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรในแต่ละช่วงเวลาด้วยกราฟแท่ง

3.3.2 การทดสอบโมเดลเพื่อค้นหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อที่จะใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ (3.3) ที่สร้างขึ้นมาในการรันโมเดลแผนงานจะต้องค้นหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดก่อน โมเดลที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกทดสอบกับข้อมูลโครงการที่นำมาจากโครงการก่อสร้างจริง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผนงานโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี เป็นกรณีตัวอย่าง โดยที่ w_1,w_2,w_3,w_4,w_5 คือค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อยและเพื่อการปรับสเกลของตัวเลขให้มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน จึงกำหนดค่าเริ่มต้นให้เท่ากับ 0.005,1,1,0.1 และ 1 ตามลำดับโดยจะทำการทดสอบ 7 การทดลองได้แก่

ตารางที่ 3.2 ตารางแผนการทดลองโดยใช้โมเดลปรับสมดุล

การทดลองที่	ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้					ค่าการเลือกความสัมพันธ์ Xihj	
	W1	W2	W3	W4	W5	แบบ FS	แบบอื่น
1	0.005	0	0	0	0	1	ไม่มี
2	0	1	0	0	0	1	ไม่มี
3	0	0	1	0	0	1	ไม่มี
4	0	0	0	0.1	0	1	ไม่มี
5	0	0	0	0	1	1	ไม่มี
6	หาได้จากการทดลองที่ 1-5					1	ไม่มี
7	หาได้จากการทดลองที่ 1-5					0 หรือ 1	0 หรือ 1

ทำการทดลองที่ 1-5 ก่อนโดยใช้ข้อมูลแผนงานของโครงการมาใส่ตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมจากนั้นใช้โปรแกรม Evolver รันเพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้งต่อการทดลอง ทำการบันทึกผลลัพธ์

เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองที่ 1-5 สามารถหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้จากนั้นรันเพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้งสำหรับการทดลองที่ 6 ทำการบันทึกผลลัพธ์

ทำการทดลองที่ 7 โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมเดียวกันกับการทดลองที่ 6 จากนั้นรันเพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้ง ทำการบันทึกผลลัพธ์

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล

กลไกการหาคำตอบของโปรแกรม Evolver ซึ่งใช้หลักการขั้นตอนทางพันธุกรรม ลักษณะการหาคำตอบเริ่มที่โมเดลจะพิจารณาคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวนมากมาแทนค่าในเทมเพลตของแผนงานที่ละคำตอบ (ในช่วงเวลาที่รวดเร็วมาก คือใน 1 วินาทีสามารถแทนค่าได้หลายร้อยคำตอบ) จากนั้นโปรแกรมจะประเมินผลลัพท์คำตอบจากค่าคะแนนของสมการวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทีละค่า หากค่าคะแนนของสมการวัตถุประสงค์ดีขึ้นเกิน 0.1% จากเดิม หมายถึงค่าคะแนนลดลงจากการ Minimize และจะเก็บคำตอบไว้กับโมเดล ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนครบทุกประชากรคำตอบที่เป็นไปได้ (ในที่นี้ให้เป็น 10,000) เป็น 1 รอบการรันจึงหยุด ใช้เวลาทั้งสิ้น 3-5 นาที ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละตัวของสมการวัตถุประสงค์ใช้โดยที่ w_1,w_2,w_3,w_4,w_5 คือค่าถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อยและเพื่อการปรับสเกลของตัวเลขซึ่งกำหนดให้เท่ากับ0.005, 1, 1, 0.1 และ 1 ตามลำดับ

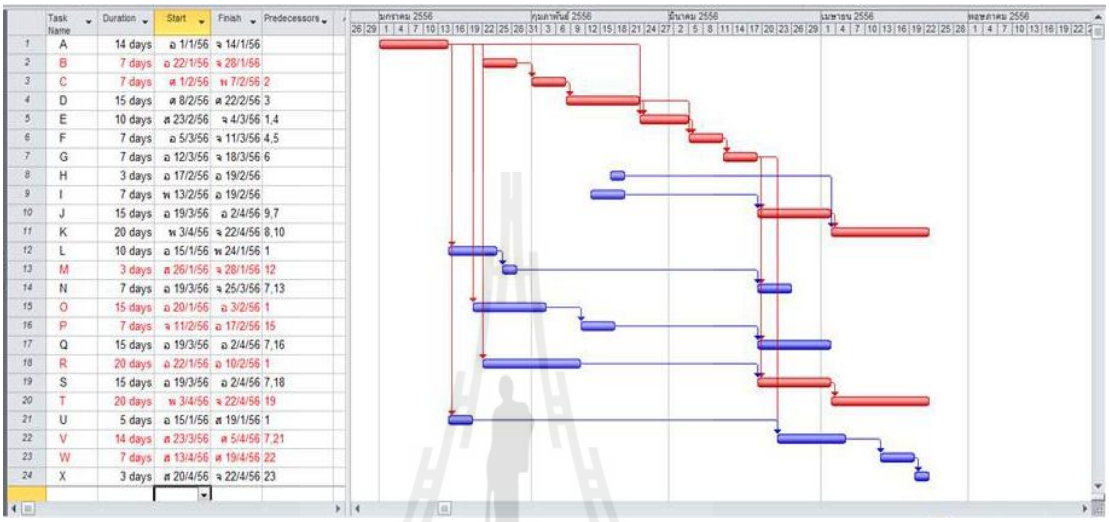
การเก็บข้อมูลลงในตารางหลังจากการรันแต่ละครั้งเสร็จสิ้นลง สิ่งที่เราสนใจอันดับแรกคือค่าคะแนนของสมการวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุดจากการ Minimize จากนั้นนำข้อมูลในตารางทั้งหมดมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้แก่ค่า Mean, Standard Deviation และ % Coefficient of Variance

4.1 แผนงานโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล

4.1.1 ผลลัพท์การสร้างแผนงานตารางเวลาด้วยวิธี CPM

จากรูปที่ 4.1 เมื่อสร้างแผนงานตารางเวลาพบว่าผลที่ออกมาพบว่าแผนงานก่อสร้างนี้มีระยะเวลาดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นจนจบทั้งสิ้น 102 วัน เกิดสายงานวิกฤตเป็นจำนวน 2 สาย คือ สายแรก คือ A-B-C-D-E-F-G-J-K ได้แก่ เริ่มต้นดำเนินการในส่วนงานโครงสร้างให้แล้วเสร็จก่อนตั้งแต่งานรื้อถอนโครงสร้างจนถึงงานหล่อพื้น ค.ส.ล.ใหม่ ต่อด้วยงานสถาปัตยกรรมตั้งแต่ก่ออิฐฉาบปูนจนถึงงานติดตั้งแผ่นฝ้าเพดาน จากนั้นไปที่งานปูกระเบื้องพื้นห้องน้ำและติดตั้งสุขภัณฑ์จนไปสิ้นสุดที่งานตกแต่งภายใน-งานไม้และสายที่ 2 A-B-C-D-E-F-G-S-T มีลักษณะตอนเริ่มต้นเหมือนสายแรกมาแตกต่างกันตั้งแต่งาน G (งานติดตั้งฝ้าเพดาน)โดยต่อจากนี้จะไปที่งานระบบปรับอากาศเป็นงานติดตั้ง AHU ,FCU,ท่อน้ำเย็น น้ำทิ้ง จนไปสิ้นสุดที่การติดตั้ง Pump และ Chiller มี

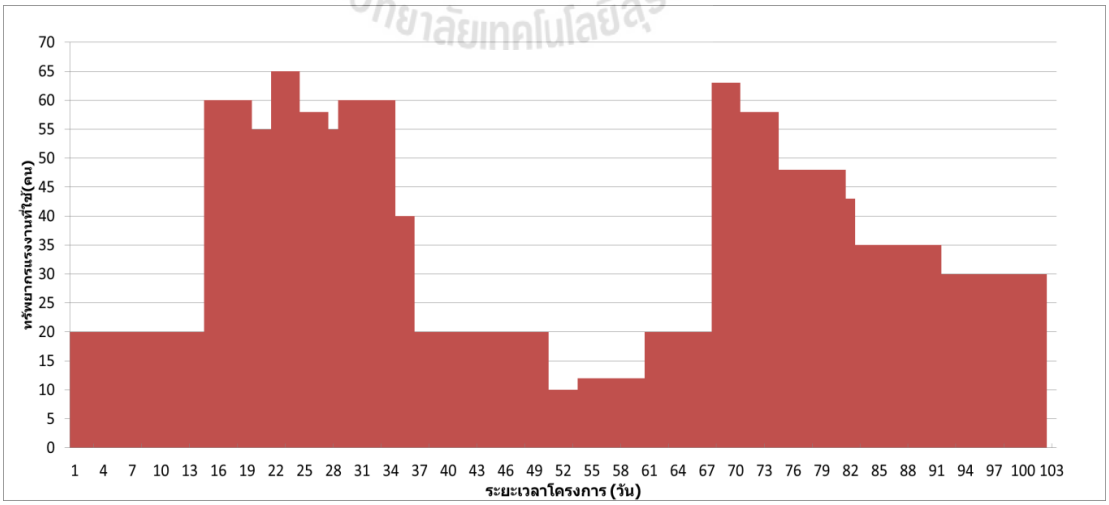
กิจกรรมที่น่าสนใจคือ กิจกรรม A ซึ่งเป็นกิจกรรมแรกของโครงการ มีลักษณะที่เด่นคือมี Successor ต่อท้ายมากถึง 6 กิจกรรม อีกกิจกรรมคือ G มีลักษณะที่เด่นคือมี Successor ต่อท้ายมากถึง 6 กิจกรรมเช่นกัน นั่นหมายถึง หากกิจกรรมนี้เริ่มต้นล่าช้าหรือดำเนินการไม่เสร็จก็จะกระทบถึงกิจกรรมที่ตามมาถึง 6 กิจกรรมส่งผลให้โครงการทั้งหมดล่าช้าออกไป



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	A	14 days	อ 1/1/56	จ 14/1/56	
2	B	7 days	อ 22/1/56	จ 28/1/56	
3	C	7 days	พ 1/2/56	พ 7/2/56	2
4	D	15 days	พ 8/2/56	พ 22/2/56	3
5	E	10 days	พ 23/2/56	จ 4/3/56	1,4
6	F	7 days	อ 5/3/56	จ 11/3/56	4,5
7	G	7 days	อ 12/3/56	จ 18/3/56	6
8	H	3 days	อ 17/2/56	อ 19/2/56	
9	I	7 days	พ 13/2/56	อ 19/2/56	
10	J	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	9,7
11	K	20 days	พ 3/4/56	จ 22/4/56	8,10
12	L	10 days	อ 15/1/56	พ 24/1/56	1
13	M	3 days	พ 26/1/56	จ 28/1/56	12
14	N	7 days	อ 19/3/56	จ 25/3/56	7,13
15	O	15 days	อ 20/1/56	อ 3/2/56	1
16	P	7 days	จ 11/2/56	อ 17/2/56	15
17	Q	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	7,16
18	R	20 days	อ 22/1/56	อ 10/2/56	1
19	S	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	7,18
20	T	20 days	พ 3/4/56	จ 22/4/56	19
21	U	5 days	อ 15/1/56	พ 19/1/56	1
22	V	14 days	พ 23/3/56	พ 5/4/56	7,21
23	W	7 days	พ 13/4/56	พ 19/4/56	22
24	X	3 days	พ 20/4/56	จ 22/4/56	23

รูปที่ 4.1 แผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดี แสดงด้วย Gantt Chart

4.1.2 การจัดสรรทรัพยากรจากแผนงาน CPM



รูปที่ 4.2 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล

การจัดสรรทรัพยากรของแผนงานเริ่มต้นนี้ไม่ดีนักกล่าวคือ จากรูปที่ 4.2 มีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาสูงมาก มีรูปร่างเป็นภูเขาสองลูกระหว่างหุบเขา พิจารณาค่าดัชนี Mx=143, 295 MRD =65, RRH=65, RID=987, T=102 days และ Total Score=28, 659 ก็มีค่าสูงแสดงถึงยังมีความผันผวนในการใช้ทรัพยากรมาก หากนำแผนงานแบบตารางเวลานี้ซึ่งเป็นกรณีที่เริ่มงานเร็วที่สุดทุกกิจกรรม (ความสัมพันธ์แบบ FS)ไปใช้ดำเนินงานทันทีโดยยังไม่ปรับสมดุลในแง่ของการใช้ทรัพยากรอาจทำให้มีการขาดแคลนคนงาน หรือ ไม่มีงานให้คนงานทำในบางช่วงเวลา และจากลักษณะของกราฟทำให้มองเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะปรับสมดุลทรัพยากรได้จากรูปร่างที่เป็นหุบเขาซึ่งค่อนข้างกว้าง แนวทางที่เป็นไปได้คือการพิจารณาปรับเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤตที่อยู่ในช่วงเวลานี้

4.2 การเริ่มต้นสร้างสมการวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมสำหรับโมเดล

4.2.1 การรันโมเดลที่เน้นดัชนี Mx ในสมการวัตถุประสงค์

การทดลองครั้งที่ 1 ได้รับผลลัพท์ออกมาในตารางที่ 1 คำตอบที่ใกล้เคียงค่าMeanที่สุดคือคำตอบที่ 3 ในตาราง มีค่าดัชนี Mx=136, 745, MRD =65, RRH=57, RID=326 ทุกดัชนีลดลงจากก่อนปรับสมดุล ในขณะที่ระยะเวลาโครงการเป็น 102วันเหมือนเดิมแสดงว่าผลคำตอบที่ได้จากโมเดลสามารถปรับสมดุลทรัพยากรโดยการลดดัชนีความผันผวนได้มาก

4.2.2 การรันโมเดลที่เน้นดัชนี MRD ในสมการวัตถุประสงค์

การทดลองครั้งที่ 2 ได้รับผลลัพท์ออกมาในตารางที่ 2 คำตอบที่ใกล้เคียงค่าMeanที่สุดคือคำตอบที่ 4 ในตาราง มีค่าดัชนี Mx=143, 515, MRD =60, RRH=52, RID=642 ลดลงจากก่อนปรับสมดุล ในขณะที่ระยะเวลาโครงการลดลงเป็น 99 วันแสดงว่าผลคำตอบที่ได้จากโมเดลสามารถปรับสมดุลทรัพยากรโดยการลดดัชนีความผันผวนได้มาก ทั้งยังลดเวลาโครงการได้อีก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ 1 เน้นดัชนี M_X

Experiment 1 (เน้น M_x) ให้ Weight เริ่มต้นของ Mx = 0.005

	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj														Objective function					
Runtime#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	0	5	5	7	0	7	5	7	0	7	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	132,935	65	59	484	102	664.675
2	0	4	0	7	6	0	0	0	7	0	5	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	137,455	65	82	421	102	687.275
3	0	0	0	3	7	0	5	0	7	0	6	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	136,745	65	57	326	102	683.725
4	0	4	7	7	7	3	0	0	7	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	137,865	65	85	381	102	689.325
5	0	4	0	7	7	7	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	137,565	65	57	421	102	687.825
6	0	0	2	5	7	7	7	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	132,055	65	70	440	102	660.275
7	0	0	0	7	4	0	0	0	7	2	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	137,465	65	75	388	102	687.325
8	0	0	0	3	7	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	137,505	65	32	351	102	687.525
9	0	0	0	7	3	0	0	0	7	2	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	137,465	65	73	388	102	687.325
10	0	4	0	7	5	0	0	0	7	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	137,465	65	77	386	102	687.325
																																					Mean	136,452	65.00	66.70	398.60	102	682.26
																																					SD	2,005.43	0.00	14.99	42.71	0.00	10.03
																																					%C.V.	1.47%	0.00%	22.47%	10.71%	0.00%	1.47%

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่ 2 เน้นดัชนี MRD

Experiment 2 (เน้นMRD) ให้ Weight เริ่มต้นของ MRD = 1

	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj														Objective function					
Runtime#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	154,475	65	70	1508	102	65
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	154,215	65	63	1516	102	65
3	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	145,225	60	60	1132	99	60
4	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	143,515	60	52	642	99	60
5	0	0	0	7	0	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,555	60	77	1119	101	60
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	154,215	65	63	1516	102	65
7	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	144,975	60	56	441	98	60
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	154,215	65	63	1516	102	65
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	154,215	65	63	1516	102	65
10	0	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	138,515	60	42	617	99	60
																																					Mean	148,712	62.50	60.90	1,152.30	100.6	62.50
																																					SD	5,814.21	2.50	9.06	413.53	1.56	2.50
																																					%C.V.	3.91%	4.00%	14.88%	35.89%	1.55%	4.00%

4.2.3 การรันโมเดลที่เน้นดัชนี RRH ในสมการวัตถุประสงค์

การทดลองครั้งที่ 3 ได้รับผลลัพท์ออกมาในตารางที่ 3 คำตอบที่ใกล้เคียงค่าMeanที่สุด คือคำตอบที่ 5 ในตาราง มีค่าดัชนี Mx=158, 275, MRD =80, RRH=5, RID=355 ลดลงจากก่อนปรับสมดุล ในขณะที่ระยะเวลาโครงการเป็น 92 วันลดลงจากเดิมแสดงว่าผลคำตอบที่ได้จากโมเดลสามารถปรับสมดุลทรัพยากรโดยการลดดัชนีความผันผวนได้มาก ทั้งยังลดเวลาโครงการได้อีก

4.2.4 การรันโมเดลที่เน้นดัชนี RID ในสมการวัตถุประสงค์

การทดลองครั้งที่ 4 ได้รับผลลัพท์ออกมาในตารางที่ 4 คำตอบที่ใกล้เคียงค่าMeanที่สุด คือคำตอบที่ 3 ในตาราง มีค่าดัชนี Mx=156, 315, MRD =80, RRH=14, RID=40 ลดลงจากก่อนปรับสมดุล ในขณะที่ระยะเวลาโครงการเป็น 99 วันลดลงจากเดิมแสดงว่าผลคำตอบที่ได้จากโมเดลสามารถปรับสมดุลทรัพยากรโดยการลดดัชนีความผันผวนได้มาก ทั้งยังลดเวลาโครงการได้อีก

4.2.5 การรันโมเดลที่เน้นดัชนี T ในสมการวัตถุประสงค์

การทดลองครั้งที่ 5 ได้รับผลลัพท์ออกมาในตารางที่ 5 คำตอบที่ใกล้เคียงค่าMeanที่สุด คือคำตอบที่ 5 ในตาราง มีค่าดัชนี Mx=162, 595, MRD =75, RRH=58, RID=986 ลดลงจากก่อนปรับสมดุล ในขณะที่ระยะเวลาโครงการเป็น 92 วันลดลงจากเดิมแสดงว่าผลคำตอบที่ได้จากโมเดลสามารถปรับสมดุลทรัพยากรโดยการลดดัชนีความผันผวนได้มาก ทั้งยังลดเวลาโครงการได้อีก

4.2.6 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับสมการวัตถุประสงค์

ในการทดลองครั้งที่1 พิจารณาในแถวของค่าคะแนนรวมสมการวัตถุประสงค์ พบว่าจะมีเปอร์เซ็นต์ของการกระจายข้อมูล (C.V.) เป็น 1.47% หลังจากการรันเสร็จสิ้น ที่ผลลัพท์ปรากฏเช่นนี้เพราะ คำตอบที่เป็นไปได้ของโมเดลมีจำนวนน้อยมาก พิจารณาจากผลคำตอบที่ได้รับในการรันแต่ละครั้ง ค่าตัวแปรการเลื่อนเวลา (Shifting Time)มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่งผลให้คำตอบของโมเดลมีความเสถียร ดังนั้นควรจะถ่วงค่าน้ำหนักไปที่ดัชนี M_x ให้มากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็น 30%

การทดลองครั้งที่ 2 ที่เน้นถ่วงน้ำหนักค่าดัชนี MRD หลังจากการรันเสร็จสิ้นพบว่ามีเปอร์เซนต์ของการกระจายข้อมูล (C.V.) มากขึ้นกว่ากรณีแรก เพราะคำตอบที่เป็นไปได้น้อยแต่กิจกรรมที่มีโฟลทก็มีโอกาสเลื่อนได้หลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักดัชนี MRD เป็น 20%

การทดลองครั้งที่ 3 ที่เน้นถ่วงน้ำหนักค่าดัชนี RRH พบว่ามีเปอร์เซนต์ของการกระจายข้อมูล (C.V.) มากที่สุดซึ่งถือว่าแย่ที่สุด เพราะ คำตอบที่เป็นไปได้มีค่อนข้างมากเนื่องจากสูตรของดัชนี RRH และ RID เป็นค่าผลต่างของหลายพจน์ตัวแปร ในงานวิจัยนี้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักดัชนี RRH เป็น 10%

การทดลองครั้งที่ 4 ที่เน้นถ่วงน้ำหนักค่าดัชนี RID พบว่ามีเปอร์เซนต์ของการกระจายข้อมูล (C.V.) มากที่สุดซึ่งถือว่าแย่ที่สุด เพราะ คำตอบที่เป็นไปได้มีค่อนข้างมากเนื่องจากสูตรของดัชนี RRH และ RID เป็นค่าผลต่างของหลายพจน์ตัวแปร ในงานวิจัยนี้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักดัชนี RID เป็น 10%

การทดลองครั้งที่ 5 ที่เน้นถ่วงน้ำหนักค่าดัชนี T จะมีเปอร์เซนต์ของการกระจายข้อมูล (C.V.) น้อยที่สุดในทุกค่าดัชนีหลังจากการรันเสร็จสิ้น เพราะคำตอบที่เป็นไปได้มีน้อยมาก พิจารณาจากคำตอบที่ ค่าการเลื่อนเวลาในการรันแต่ละครั้งน้อยมาก ดังนั้นควรจะถ่วงค่าน้ำหนักไปที่ ดัชนี T มากที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงให้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็น 30%

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6 สรุปได้ว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับสมการวัตถุประสงค์ก็คือ w_1,w_2,w_3,w_4,w_5 = 30% : 20% : 10% : 10% : 30% จากนั้นจึงใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดนี้เทียบสัดส่วนกลับไปที่ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น สุดท้ายจะได้สมการวัตถุประสงค์ (4.1) คือ

$$\text{Total Score} = \text{Minimize}\ [\ 0.020Mx + 20MRD + RRH + 10RID + 30T\ ] \qquad (4.1)$$

4.3 การปรับสมดุลแผนงานโครงการโดยโมเดลปกติที่ไม่มีตัวแปรกลุ่มการเลือกความสัมพันธ์

4.3.1 ผลลัพท์จากการรันโมเดลหลายครั้ง

จะเห็นว่า จากการรันจำนวน 10 รอบ ค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก % C.V. = 1.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน

4.3.2 การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดล

การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดล เราเลือกค่า Score ดัชนีที่ใกล้เคียงกับค่า Mean ที่สุดจากการทดสอบทั้งหมดคือคำตอบที่ 6 (Total Score = 28,659 ส่วน Mean = 28, 678.4) ซึ่งสามารถนำไปสร้างแผนงานได้ดังนี้ ซึ่งเป็นแผนงานที่สังเกตได้ว่า มีคำตอบเฉพาะการเลื่อนค่าเวลาของกิจกรรมเท่านั้น ไม่มีการเลือกความสัมพันธ์เนื่องจากทุกความสัมพันธ์มีเฉพาะแบบ FS

4.3.3 การจัดวิเคราะห์การจัดสรรทรัพยากรของแผนงานใหม่

จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟแท่งมีการลดยอดความสูงของแท่งลง ค่าดัชนีต่างๆมีแนวโน้มลดลง โดย Mx=133, 185, MRD=65, RRH=62, RID=316 อันแสดงให้เห็นถึงการมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรที่ดีของแผนงานขึ้น แต่ช่วงกลางของกราฟยังมีลักษณะของหุบเขา

ที่กว้างอยู่แสดงว่ายังเหลือปัญหาในการใช้ทรัพยากรตรงส่วนช่วงเวลานี้ โดยอาจต้องลดคนงานหรือโยกย้ายไปทำงานโครงการอื่น

4.4 การปรับสมดุลแผนงานโครงการโดยโมเดลใหม่ที่เพิ่มตัวแปรกลุ่มการเลือกความสัมพันธ์

4.4.1 ผลลัพท์จากการรันโมเดลหลายครั้ง

จะเห็นว่า จากการรันจำนวน 10 รอบ ค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก % C.V. = 0.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 3 เน้นดัชนี RRH

Experiment 3 (เน้นRRH) ให้ Weight เริ่มต้นของ RRH=1

Runtime#	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj																		Objective function					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	148,305	73	10	422	98	10.00
2	0	1	0	7	0	0	6	0	0	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	156,035	80	0	113	92	0.00
3	4	0	0	7	0	3	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	154,995	80	0	141	92	0.00
4	7	0	3	0	0	3	0	0	0	7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	147,545	80	10	523	100	10.00
5	6	0	3	7	0	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	158,275	80	5	355	92	5.00
6	4	0	0	7	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	153,725	80	0	125	92	0.00
7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	144,235	70	8	501	101	8.00
8	4	0	0	7	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	152,925	75	0	125	92	0.00
9	4	0	0	7	0	0	0	0	0	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	154,225	80	0	125	92	0.00
10	0	7	0	0	5	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	153,665	78	8	203	93	8.00
Mean																																							152,393	77.60	4.10	263.30	94.40	4.10
SD																																							4,104.04	3.47	4.30	160.03	3.53	4.30
%C.V.																																							2.69%	4.47%	104.88%	60.78%	3.74%	104.88%

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ 4 เน้นดัชนี RID

Experiment 4 (เน้นRID) ให้ Weight เริ่มต้นของ RID = 0.1

Runtime#	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj																		Objective function					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	0	0	7	0	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	157,015	75	-3	39	93	3.90
2	0	5	7	7	0	0	7	1	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	162,445	78	6	30	92	3.00
3	0	1	0	7	0	7	7	1	0	6	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	156,315	80	14	40	99	4.00
4	0	0	0	7	0	0	7	1	0	7	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	162,045	80	9	33	92	3.30
5	0	5	0	7	0	0	7	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	163,875	78	14	28	92	2.80
6	0	0	0	7	1	3	3	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	152,365	75	15	123	95	12.30
7	0	1	0	6	0	7	7	0	0	6	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	152,225	80	7	29	99	2.90
8	0	0	0	7	0	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	163,925	80	17	37	92	3.70
9	7	7	0	0	2	0	7	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	160,065	80	17	56	92	5.60
10	4	1	0	7	0	0	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	163,625	78	14	26	92	2.60
Mean																																							159,390	78.40	11.00	44.10	93.80	4.41
SD																																							4,169.57	1.82	5.69	26.28	2.62	2.63
%C.V.																																							2.62%	2.32%	51.72%	59.59%	2.79%	59.59%

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่ 5 เน้นดัชนี T

Experiment 5 (เน้น Project Duration) ให้ Weight เริ่มต้นของ T = 1

	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj														Objective Function					
Runtime#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	166,835	75	43	998	92	92.00
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	166,495	75	37	978	92	92.00
3	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	167,645	75	59	986	92	92.00
4	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	159,955	75	42	913	92	92.00
5	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	162,595	75	58	986	92	92.00
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	160,505	75	35	696	92	92.00
7	0	0	0	4	6	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	158,895	75	54	456	92	92.00
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	166,375	75	35	963	92	92.00
9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	166,385	75	45	968	92	92.00
10	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	159,955	75	42	913	92	92.00
																																							Mean	163,564	75	45	885.70	92	92.00
																																							SD	3,315.88	0.00	8.56	166.17	0.00	0.00
																																							%C.V.	2.03%	0.00%	19.01%	18.76%	0.00%	0.00%

ตารางที่ 4.6 สรุปเปอร์เซ็นต์การกระจายข้อมูลของการทดลองที่ 1 ถึง 5

	เปอร์เซนต์การกระจายข้อมูล C.V.					
	M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
Experiment 1 เน้น Mx	1.47%	0.00%	22.47%	10.71%	0.00%	1.47%
Experiment 2 เน้น MRD	3.91%	4.00%	14.88%	35.89%	1.55%	4.00%
Experiment 3 เน้น RRH	2.69%	4.47%	104.88%	60.78%	3.74%	104.88%
Experiment 4 เน้น RID	2.62%	2.32%	51.72%	59.59%	2.79%	59.59%
Experiment 5 เน้น T	2.03%	0.00%	19.01%	18.76%	0.00%	0.00%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองที่ 6 ใช้โมเดลที่ไม่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์

Experiment 6 ให้ Weight MX = 0.20 MRD=20 RRH=1 RID=10 Project Duration=30 No Relationship Option

	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj												Objective function					
Runtime#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	3	7	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,255	65	70	977	102	28,651
2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	3	5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,255	65	60	962	102	28,651
3	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	4	4	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,295	65	60	972	102	28,659
4	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	3	0	0	0	0	7	0	4	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,455	65	65	982	102	28,691
5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7	0	3	7	7	5	0	0	0	3	5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	144,145	65	46	936	102	28,829
6	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	4	7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,295	65	65	987	102	28,659
7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	3	7	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,255	65	65	972	102	28,651
8	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	3	6	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,255	65	65	967	102	28,651
9	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	3	0	0	0	0	7	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,455	65	60	962	102	28,691
10	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	3	5	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	143,255	65	65	972	102	28,651
																																					Mean	143,392	65	62.1	968.9	102	28,678.40
																																					SD	262.22	0.00	6.14	13.32	0	52.44
																																					%C.V.	0.18%	0.00%	9.89%	1.38%	0%	0.18%

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองที่ 7 ใช้โมเดลที่ไม่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์

Experiment 6 ให้ Weight Mx = 0.20 MRD=20 RRH=1 RID=10 Project Duration=30 with Relationship Option

	Shift Time Activity																							Relationship Option Xihj												Objective function					
Runtime#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	E		K		M		N		S		V		X		M_x	MRD	RRH	RID	T	Total Score
																									FS:D	NO:D	FS:H	SS:H	FS:L	SS:L	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G	FS:G	FF:G						
1	0	0	0	3	7	0	5	0	7	0	7	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	136,785	65	57	336	102	27,357
2	0	4	0	7	6	0	7	0	7	0	6	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	133,475	60	105	268	102	26,695
3	0	0	2	5	7	7	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	132,015	65	70	404	102	26,403
4	0	0	3	5	7	7	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	132,155	65	60	292	102	26,431
5	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	7	0	5	0	7	0	4	7	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	136,765	65	52	316	102	27,353
6	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	7	0	7	0	7	0	4	7	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	133,185	65	62	316	102	26,637
7	0	0	0	0	0	0	0	4	7	0	0	0	0	0	7	7	7	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	137,565	65	55	423	102	27,513
8	0	2	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	7	7	7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	132,275	65	70	417	102	26,455
9	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	7	7	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	137,505	65	32	351	102	27,501
10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	5	3	0	0	7	2	0	7	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	137,865	65	85	373	102	27,573
																																					Mean	134,959	64.5	64.8	349.6	102	26,991.80
																																					SD	2,395.76	1.50	18.72	50.85	0	479.15
																																					%C.V.	1.78%	2.33%	28.89%	14.55%	0%	1.78%

ตารางที่ 4.9 ผลคำตอบของแผนงานจากการทดลองที่ 6 ที่ไม่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์

Activity	Duration	Resource	Predecessors						X_{ihj}						CPM					
			1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	Shift	ST	FT	LS	LF	TF
A	14	20													0	0	14	0	14	0
B	7	5	A												0	14	21	14	21	0
C	7	15	B												0	21	28	21	28	0
D	15	20	C												0	28	43	28	43	0
E	10	10	A	D			No:D			1			0		0	43	53	43	53	0
F	7	12	D	E											0	53	60	53	60	0
G	7	20	F												0	60	67	60	67	0
H	3	5	G												1	68	71	79	82	11
I	7	10	D												7	50	57	60	67	10
J	15	8	G	I											0	67	82	67	82	0
K	20	20	H	J		SS:H			1			0			0	82	102	82	102	0
L	10	10	A												0	14	24	82	92	68
M	3	3	L			SS:L			1			0			0	24	27	92	95	68
N	7	10	G	M		FF:G			1			0			0	67	74	95	102	28
O	15	20	A												7	21	36	65	80	44
P	7	20	O												7	43	50	80	87	37
Q	15	10	G	P											7	74	89	87	102	13
R	20	20	A												0	14	34	47	67	33
S	15	20	G	R		FF:G			1			0			0	67	82	67	82	0
T	20	10	S												0	82	102	82	102	0
U	5	5	A												0	14	19	73	78	59
V	14	10	G	U		FF:G			1			0			4	71	85	78	92	7
W	7	5	V												7	92	99	92	99	0
X	3	5	W			SS:W			1			0			0	99	102	99	102	0

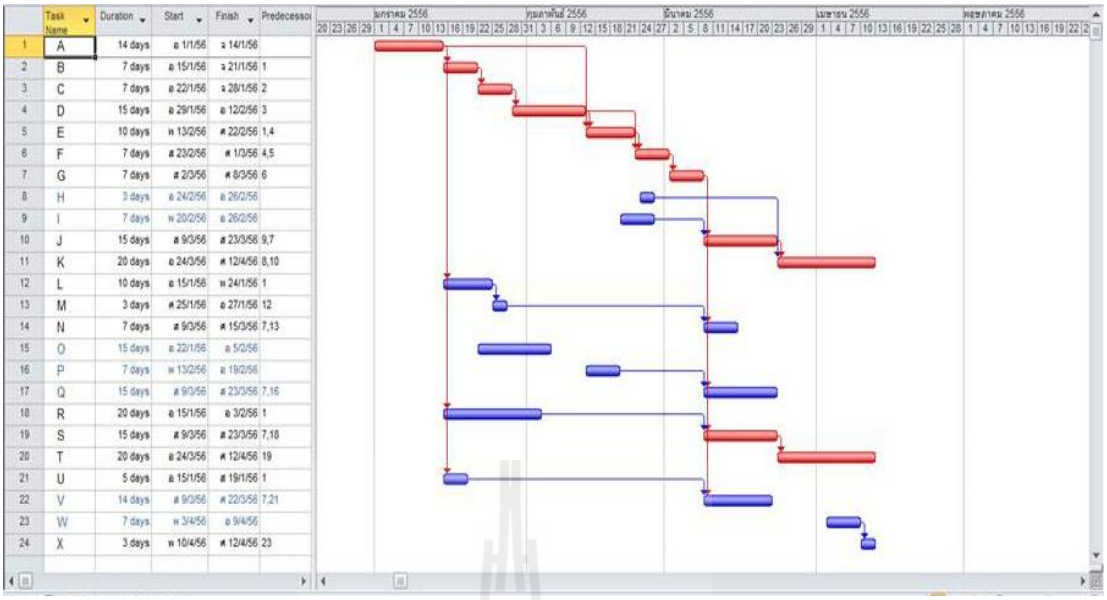
		W
M_X	143,295	0.005
MRD	65	1
RRH	65	1
RID	987	0.1
Project Duration	102	1
Objective function	716.48	

Project Duration 102

Project Date

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
r_t	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40	40	35
$Abs(Sum(r_t-r_{t+1}))$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	5	0
$Max(r_1,r_2,..,r_t)$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	40	40	40	40	40	40
$Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)$	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
$Abs(r_t - Min(Max(r_1,r_2,..,r_t), Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)))$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
r_t	35	65	65	65	58	58	58	55	60	60	60	60	60	60	40	40	20	20	20	20
$Abs(Sum(r_t-r_{t+1}))$	30	0	0	7	0	0	3	5	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0
$Max(r_1,r_2,..,r_t)$	40	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
$Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)$	65	65	65	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50	50
$Abs(r_t - Min(Max(r_1,r_2,..,r_t), Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)))$	5	0	0	0	2	2	2	5	0	0	0	0	0	0	10	10	30	30	30	30



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor
1	A	14 days	ส 1/1/56	ส 14/1/56	
2	B	7 days	ส 15/1/56	ส 21/1/56	1
3	C	7 days	ส 22/1/56	ส 28/1/56	2
4	D	15 days	ส 29/1/56	พ 12/2/56	3
5	E	10 days	พ 13/2/56	อ 22/2/56	1,4
6	F	7 days	อ 23/2/56	อ 1/3/56	4,5
7	G	7 days	อ 2/3/56	อ 8/3/56	6
8	H	3 days	ส 24/2/56	จ 26/2/56	
9	I	7 days	พ 20/2/56	จ 26/2/56	
10	J	15 days	อ 9/3/56	อ 23/3/56	9,7
11	K	20 days	จ 24/3/56	อ 12/4/56	8,10
12	L	10 days	จ 15/1/56	พ 24/1/56	1
13	M	3 days	อ 25/1/56	จ 27/1/56	12
14	N	7 days	อ 9/3/56	อ 15/3/56	7,13
15	O	15 days	ส 22/1/56	ส 5/2/56	
16	P	7 days	พ 13/2/56	จ 19/2/56	
17	Q	15 days	อ 9/3/56	อ 23/3/56	7,16
18	R	20 days	จ 15/1/56	ส 3/2/56	1
19	S	15 days	อ 9/3/56	อ 23/3/56	7,18
20	T	20 days	จ 24/3/56	อ 12/4/56	19
21	U	5 days	จ 15/1/56	อ 19/1/56	1
22	V	14 days	อ 9/3/56	อ 22/3/56	7,21
23	W	7 days	พ 2/4/56	จ 9/4/56	
24	X	3 days	พ 10/4/56	อ 12/4/56	23

รูปที่ 4.3 แผนงานโครงการของผลคำตอบจากการทดลองที่ 6 แสดงด้วย Gantt Chart

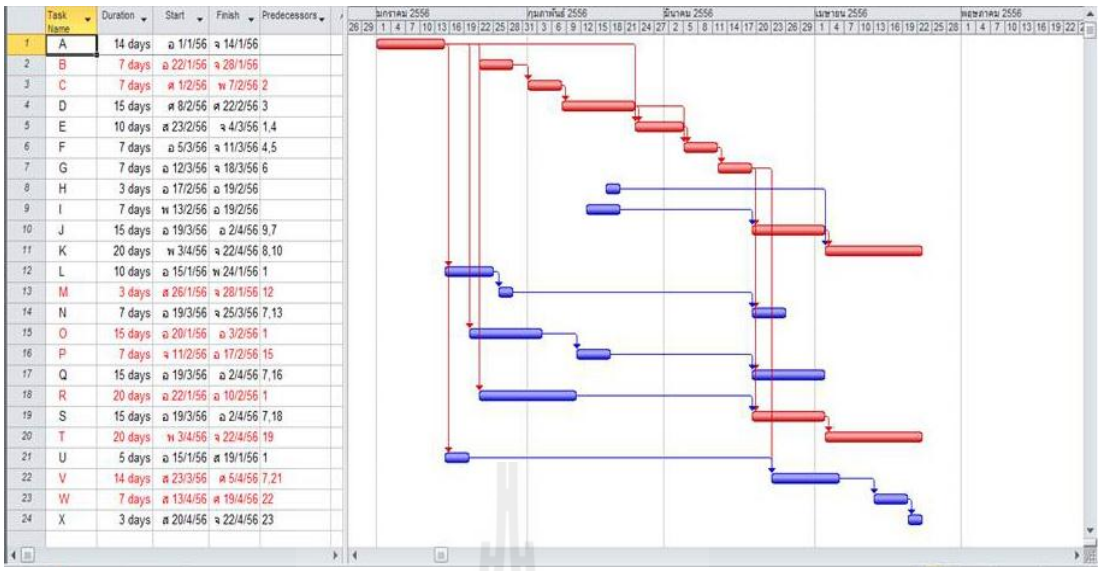
ตารางที่ 4.10 ผลคำตอบของแผนงานจากการทดลองที่ 7 ที่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์

Activity	Duration	Resource	Predecessors						X_{inj}						CPM					
			1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	1.1	2.1	3.1	1.2	2.2	3.2	Shift	ST	FT	LS	LF	TF
A	14	20													0	0	14	10	24	10
B	7	5	A												7	21	28	24	31	3
C	7	15	B												3	31	38	31	38	0
D	15	20	C												0	38	53	38	53	0
E	10	10	A	D			No:D			0			1		0	14	24	43	53	29
F	7	12	D	E											0	53	60	53	60	0
G	7	20	F												0	60	67	60	67	0
H	3	5	G												0	67	70	79	82	12
I	7	10	D												0	53	60	60	67	7
J	15	8	G	I											0	67	82	67	82	0
K	20	20	H	J		SS:H			1			0			0	82	102	82	102	0
L	10	10	A												0	14	24	92	102	78
M	3	3	L			SS:L			0			1			1	15	18	92	95	77
N	7	10	G	M		FF:G			1			0			0	67	74	95	102	28
O	15	20	A												5	19	34	65	80	46
P	7	20	O												7	41	48	80	87	39
Q	15	10	G	P											0	67	82	87	102	20
R	20	20	A												7	21	41	47	67	26
S	15	20	G	R		FF:G			0			1			0	52	67	67	82	15
T	20	10	S												7	74	94	82	102	8
U	5	5	A												0	14	19	73	78	59
V	14	10	G	U		FF:G			1			0			4	71	85	78	92	7
W	7	5	V												7	92	99	92	99	0
X	3	5	W			SS:W			1			0			0	99	102	99	102	0

		W
M_x	133,185	0.005
MRD	65	1
RRH	62	1
RID	316	0.1
Project Duration	102	1
Objective function	665.93	

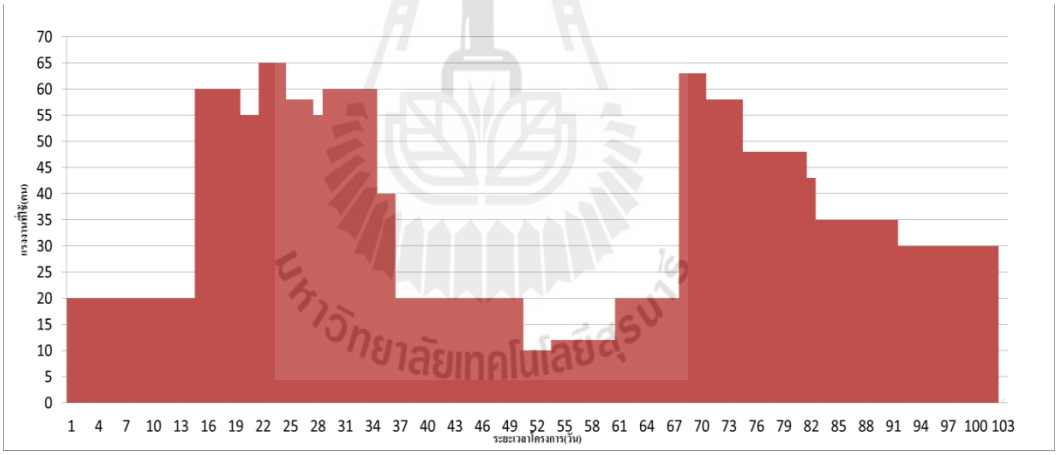
Project Duration 102

	Project Date																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
r_t	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25	28	28	28	25	40	40	65	65	65	45	45	45	45	40	40	40	55	55	55	35	35	35	35	40	40
Abs(Sum(r_t-r_{t+1}))	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	0	3	15	0	25	0	0	20	0	0	0	5	0	0	15	0	0	20	0	0	0	5	0	0
Max(r_1,r_2,..,r_t)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25	28	28	28	28	40	40	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	42	42	42	42	42	42
Abs(r_t - Min(Max(r_1,r_2,..,r_t), Max(r_t,r_{t+1},..,r_T)))	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	10	10	10	10	15	15	15	0	0	0	7	7	7	7	2	2

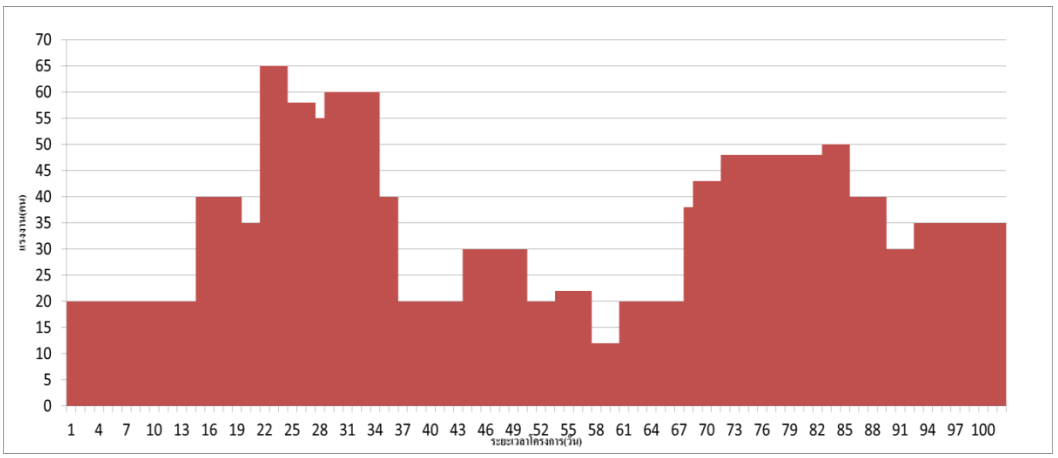


	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	A	14 days	อ 1/1/56	จ 14/1/56	
2	B	7 days	อ 22/1/56	จ 28/1/56	
3	C	7 days	ศ 1/2/56	พ 7/2/56	2
4	D	15 days	ศ 8/2/56	ศ 22/2/56	3
5	E	10 days	ส 23/2/56	จ 4/3/56	1,4
6	F	7 days	อ 5/3/56	จ 11/3/56	4,5
7	G	7 days	อ 12/3/56	จ 18/3/56	6
8	H	3 days	อ 17/2/56	อ 19/2/56	
9	I	7 days	พ 13/2/56	อ 19/2/56	
10	J	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	9,7
11	K	20 days	พ 3/4/56	จ 22/4/56	8,10
12	L	10 days	อ 15/1/56	พ 24/1/56	1
13	M	3 days	ส 26/1/56	จ 28/1/56	12
14	N	7 days	อ 19/3/56	จ 25/3/56	7,13
15	O	15 days	อ 20/1/56	อ 3/2/56	1
16	P	7 days	จ 11/2/56	อ 17/2/56	15
17	Q	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	7,16
18	R	20 days	อ 22/1/56	อ 10/2/56	1
19	S	15 days	อ 19/3/56	อ 2/4/56	7,18
20	T	20 days	พ 3/4/56	จ 22/4/56	19
21	U	5 days	อ 15/1/56	ส 19/1/56	1
22	V	14 days	ส 23/3/56	ศ 5/4/56	7,21
23	W	7 days	ส 13/4/56	ศ 19/4/56	22
24	X	3 days	ส 20/4/56	จ 22/4/56	23

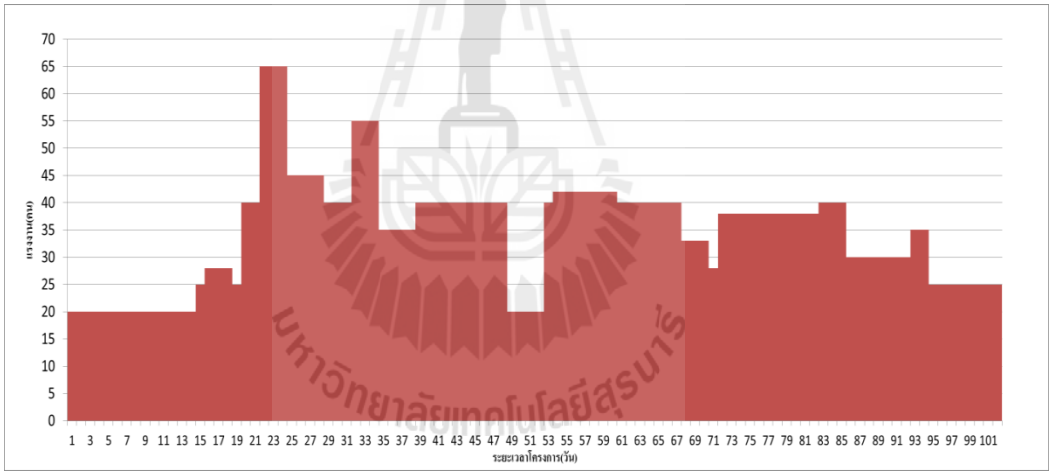
รูปที่ 4.4 แผนงานโครงการของ ผลคำตอบจากการทดลองที่ 7 แสดงด้วย Gantt Chart



รูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการก่อนการใช้โมเดลปรับสมดุล



รูปที่ 4.6 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการหลังการใช้โมเดลชนิดไม่มีตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ดำเนินการปรับสมดุล



รูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงการใช้ทรัพยากรโครงการหลังการใช้โมเดลชนิดที่เพิ่มตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ดำเนินการปรับสมดุล

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการต่างๆที่ผ่านมาตั้งแต่การพิจารณาขอบเขตของปัญหาสร้างโมเดลในสเปรตชีต และนำโปรแกรม Evolver นำมาช่วยค้นหาคำตอบ โดยก่อนที่จะได้สมการวัตถุประสงค์ที่ดีเหมาะสมนั้น จึงพยายามค้นหาค่าถ่วงน้ำหนักของค่าดัชนีแต่ละตัวที่เหมาะสมก่อน ซึ่งเมื่อทดลองแล้วหลายๆรอบและอาศัยหลักการสถิติช่วยจึงได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดของสมการที่ (3.3) คือ w_1=0.020 ,w_2=20 ,w_3=1 ,w_4=1 และ w_5=30 ตามลำดับ

ตัวอย่างโจทย์โครงการโรงพยาบาลรามาธิบดีที่นำมาวิเคราะห์โดยโมเดลนี้เป็นการแสดงความสามารถของโมเดลซึ่งสามารถสร้างแผนงานที่มีความเหมาะสมที่สุด (Optimal Schedule) โดยจากคำตอบค่าเฉลี่ยของโมเดลจะได้ผลลัพท์ดังนี้ Total Score=26, 637, Mx=133, 185, MRD=65, RRH=62, RID=316 และเวลาโครงการ T= 102 วัน เปรียบเทียบกับแผนงานเดิมก่อนปรับสมดุลซึ่ง Total Score=28, 659, Mx=143, 295, MRD =65, RRH=65, RID=987 และเวลาโครงการ T= 102 วัน พบว่า โมเดลสามารถทำให้ดัชนีความผันผวนทั้งหมดลดลง โดยเฉพาะค่า RRH ซึ่งลดลง 3 คนตลอดโครงการ อันอาจหมายถึง สามารถลดจำนวนแรงงานรวมทั้งโครงการที่ต้องปล่อยให้ว่างงานชั่วคราวในช่วงงานน้อย และ จำเป็นต้องจ้างกลับมาทำงานใหม่ในช่วงที่งานมาก และค่า RID ซึ่งลดลง 671 คนตลอดโครงการ อันสะท้อนถึงการที่สามารถลดความสูญเปล่าของการที่ต้องปล่อยให้แรงงานว่างงานในช่วงที่ไม่มีงาน โดยที่ระยะเวลาโครงการยังเป็น 102 วันตามแผนงานเดิม

โมเดลนี้ถูกออกแบบให้ค้นหาแผนงาน Schedule ที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้จริงมากที่สุดซึ่งเกิดจากการสั่งให้โมเดลทำการลดความผันผวนของการใช้ทรัพยากรแบบไม่เป็นที่ต้องการ (Undesirable Resource) ให้มากที่สุดคือ ดัชนี RRH และ RID ให้มากที่สุด ขณะเดียวกันก็สั่งให้โมเดลทำการลดความต้องการการใช้ทรัพยากรสูงสุดต่อวัน (MRD) ไปด้วย

การสร้างทางเลือกของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอันสามารถให้แผนงานจัดสรรทรัพยากรที่สร้างขึ้นมีความยืดหยุ่นมากขึ้น มีคำตอบที่เป็นไปได้มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสในการได้แผนงานที่ดีขึ้น จาการนำปัญหาจากแผนงานมาสร้างเป็นโมเดลขึ้นมาด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล และโปรแกรม Evolver ชี้ให้เห็นว่าโมเดลใหม่ที่ได้ช่วยให้นักวางแผนสามารถตัดสินใจ

เลือกรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่เหมาะสมระหว่างทางเลือกต่าง ๆ ที่มีอยู่ได้เพื่อที่จะได้แผนงานที่ตอบสนองการใช้งานมากที่สุด

การวิจัยดำเนินงานนับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งที่บูรณาการศาสตร์ด้านต่างๆเช่น คณิตศาสตร์ สถิติ วิศวกรรมศาสตร์ ฯลฯ เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจของผู้บริหาร ช่วยให้การแก้ปัญหาในการดำเนินงานต่างๆเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์และมีการใช้ข้อมูลอย่างเป็นระบบ เป็นการสร้างแนวปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับองค์กร นอกจากนั้น ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการคำนวณหลายโปรแกรม ซึ่งมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีการนำเสนอ การวิเคราะห์ผลซึ่งเพิ่มความสะดวกในการใช้งานโดยเฉพาะการสร้างแผนงานโครงการ

จากกราฟ Histogram ทั้ง 3 ที่ได้รับจากการรันโมเดลข้อมูลโจทย์โรงพยาบาลรามาธิบดีด้วยโปรแกรม Evolver พบว่า มีลักษณะกราฟของทรัพยากรที่ค่อนข้างคงที่มากขึ้นตลอดช่วงเวลาโครงการ และ มีความเสถียรมากขึ้น และ ค่าผลลัพท์ดัชนีต่างๆ ได้แก่ M_x, MRD, RID, RRH ก็มีแนวโน้มที่ลดต่ำลง โดยที่ระยะเวลาโครงการ T ยังคงเท่าเดิม แสดงว่า วิธีการปรับสมดุลด้วยการเพิ่ม ตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Relationship Option) เข้าไปในกระบวนการหาคำตอบจะทำให้ได้รับคำตอบที่ดีมาก เราสามารถนำวิธีการนี้ไปใช้ยังโครงการอื่นๆได้อีกเพื่อประโยชน์ในการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร และ เพื่อการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในภาวะปัจจุบันที่ปัจจัยด้านทรัพยากรแรงงานก่อสร้างมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างเป็นอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

ข้อดีของการใช้โมเดลปรับสมดุลทรัพยากรคือสามารถแสดงลักษณะปัญหาได้อย่างครบถ้วนถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นตัวแทนปัญหาจริงในการแก้ปัญหาทำให้ประหยัดเวลามากกว่าการแก้ปัญหาโดยการลองผิด-ถูก ลักษณะโจทย์ปัญหาที่มีความซับซ้อนก็สามารถค้นหาคำตอบได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นเมื่อได้รับคำตอบแล้วสามารถย้อนไปตรวจสอบได้ ด้วยการพิจารณารายงานผลการรันโปรแกรม

ข้อเสียของการใช้โมเดลคือผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจสูตรและกฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ นอกจากนั้นยังต้องสามารถแปลงเงื่อนไขในการวางแผนให้เป็นสมการได้ จึงต้องมีความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างดีจึงจะสามารถปรับแก้แผนงานในโมเดลได้

นอกจากนั้นข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าไปในโมเดลต้องมีอย่างเพียงพอดังนั้นการเก็บข้อมูลการสร้างโมเดล การหาผลลัพท์ตลอดจนการทดสอบโมเดลอาจต้องใช้เวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง

การตั้งสมมุติฐานของโมเดลต่างๆเพื่อลดความซับซ้อนหรือลดความไม่แน่นอนของปัญหา จึงดูเหมือนมองข้ามสิ่งที่เกิดขึ้นในปัญหาจริง

ในการพัฒนาโมเดลในภายหน้าควรมีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ต่อการเปลี่ยนแปลงเพื่อทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของปัญหา นอกจากนั้นอาจพิจารณาตัวแปรตัดสินใจในเรื่องเวลาที่ซ้อนเหลื่อมกันระหว่างกิจกรรม (Lead Time and Lag Time)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กวี หวังนิเวศน์กุล, 2547, **การบริหารงานวิศวกรรมก่อสร้าง**, ส.เอเชียพลัส(1989), กรุงเทพฯ.

วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2554, **การบริหารงานก่อสร้าง,เอกสารประกอบการสอนวิชาการ**,พิมพ์ครั้งที่ 6 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

วชรภูมิ เบญจโอฬาร, 2554 ,**เอกสารคำสอนรายวิชา Advance Project Planning and Controls**, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

น้ำผึ้ง แซ่แต้, 2554, **การหาอัตราแลกเปลี่ยนระหว่างเวลาและต้นทุนสำหรับการวางแผนงานภายใต้เงื่อนไข จำนวนทรัพยากรแรงงาน**,ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุทธิมา ชำนาญเวช, 2552, **การวิจัยดำเนินการ,**พิมพ์ครั้งที่ 2, พิมพ์ดีการพิมพ์,กรุงเทพฯ.

Ammar, M. A, and Y. A Moheildin, 2002, Resource constrained project scheduling using simulation . **Construction Management and Economics** ,20, no. 4 ,pp 323-330

Chan,W.T.,Chua,D.K.H,and Kannan G.,1996,Consruction Resource Scheduling with Genetic Algorithms,**Journal of Construction Engineering and Management**,122(2),pp. 125-132

Chassiakos, A. and Sakellaropoulos, P., 2005,Time-cost optimization of construction projects with generalized activity constraints, **Journal of Construction Engineering and Management**,131(10), pp.1115-1124.

El-Rayes, K., and Jun,D., 2009, Optimizing Resource Leveling in Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**,135,no.11 (November),1172-1180.

Elazouni,A. and Metwally,F.G.,2005,Finance – based scheduling : tool to maximize project profit using improved genetic algorithms,**Journal of Construction Engineering and Management**, 131(4), pp. 400-412

Hegazy, T., 1999, Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms,**Journal of Construction Engineering and Management** ,125, no. 3,

pp. 167-175

Hinze, Jimmie ,2008, **Construction Planning and scheduling**,Pearson Prentice

Hendrickson,C., and Au,T. ,1989,Project Management for construction,**Fundamental Concepts for Owners,Engineers,Architects and Builder**

Kolisch,R., and Hartmann,S., 2006,Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling ,**An updated,European Journal of Operational Research**, 174(1),pp 23-37

Leu, S.S. and Yang, C.H.,1999, GA-Based Multicriteria Optimal Model for Construction Scheduling, **Journal of Construction Engineering and Management**,125(6), pp 420-427

Leu, S., Chung-Huei Y., and Jiun-Ching H., 2000,Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application. **Automation in Construction**,10 (November),pp 27-41.

Leu ,F.,2010,**Guide to Using Evolver Genetic Algorithm Solver for Microsoft Excel** [online], Available; http://www.palisade.com/evolver[2012,December5]

Zhang,H., Tam,C.M. ,and Li,H., 2006,Multimode project scheduling based on particle swarm optimization, **Computer-Aided Civil and Infarstructue Engineering**,21(2), pp. 93-103

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

เอกอนันต์ อินทรทรัพย์ และวชรภูมิ เบญจโอฬาร (2556) **โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี**. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 5 (5th RMUTNC) กรุงเทพฯ : ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ ชั้นที่ 22 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 15-16 กรกฎาคม 2556 หน้า 76-86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

Resource Constrained Project Scheduling by Review Relationship Option Case Study Orthopaedics Building Renovate Project, Ramathibodi Hospital

เอกอนันต์ อินทรทรัพย์ [1*] และ วชรภูมิ เบญจโอษาร [2]

[1] นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[2] รองศาสตราจารย์ หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

การวางแผนจัดสรรทรัพยากรเป็นสิ่งที่สำคัญต่อแผนงานก่อสร้างอย่างมากเพราะ ทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรมงานก่อสร้างเป็นสิ่งที่มีจำกัด การจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอกับทุกกิจกรรมในโครงการเป็นหัวใจสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการ แต่โดยทั่วไปแล้วพบว่ามีความผันผวนของจำนวนทรัพยากรที่ใช้แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ผู้วางแผนจำเป็นต้องปรับแผนงานซึ่งเรียกว่าการปรับสมดุลทรัพยากร เพื่อลดความผันผวน หรือเพื่อให้มีระดับความต้องการใช้ทรัพยากรค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ดีการปรับสมดุลทรัพยากรโดยการใช้การคำนวณด้วยมือเป็นสิ่งที่ค่อนข้างลำบากและใช้เวลานาน ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาการแก้ปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรด้วยการสร้างโมเดลในโปรแกรมสเปรชีต เช่น ไมโครซอฟท์เอ็กเซล ทำให้สามารถหาคำตอบ ที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี หากเราพิจารณาเพิ่มตัวแปรทางเลือกความสัมพันธ์แบบต่างๆเข้าไปในแบบจำลองเช่น ความสัมพันธ์แบบ SS(Start To Start), FF(Finish To Finish) หรือ NO(No Relation) จะเป็นการสร้างโอกาสให้การหาคำตอบที่ได้จากแบบจำลองยืดหยุ่นขึ้น ได้จำนวนคำตอบที่ดีมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองนี้มีการปรับสมดุลทรัพยากรที่ใช้ตลอดโครงการได้ดียิ่งขึ้น

Abstract

Resource leveling schedule is important for construction planning process very much, because quantity of resource such as labors is limited. The optimal solution to allocate enough resource for every activity is main principle for project successful. But in ordinary, they always observe that have different quantity of resource every time periods, is called of "Resource fluctuation". So, planners have to adjust first schedule is called of "Resource Leveling". This method necessary for decrease resource fluctuations or make uniformly resource demand level . However, normal method (heuristic method) to solve this problem is difficult and use much time. So in present ,there is new developed method by create model in spreadsheet computer programs such as Microsoft Excel. This new method can solve very complex resource leveling problem well..So in this research if we add vary relationship options such as SS (Start-To-Start) ,FF (Finish-To- Finish) or NO (No Relation) for activity in model, objective is increasing optimal solution flexibly and output solution is better than El Rayes & Jun 's Model. We can discover for optimal solution from this new model that received uniformly resource demand level of project schedule in the end.

คำสำคัญ : โมเดล, การวางแผนจัดสรรทรัพยากร, การปรับสมดุลทรัพยากร, ทางเลือกความสัมพันธ์
Keywords : : Model , Resource Allocation , Resource Leveling .Relationship Option , Optimization

*เอกอนันต์ อินทรทรัพย์ aekanan.ace@gmail.com โทร. 08 1351 4833

1. บทนำ

ปัญหาการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร (Resource Levelling) เป็นวิธีการวางแผนที่มีเป้าหมายในการหารูปแบบการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ผลรวมความต้องการการใช้ทรัพยากรในแต่ละหน่วยเวลาใดๆมีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาโครงการภายในระยะเวลาโครงการที่กำหนด

เนื่องจากลักษณะของการปรับสมดุลนี้คำตอบที่เป็นไปได้นั้นมีจำนวนมาก วิธีการหาคำตอบโดยการนำหลักการวิจัยดำเนินงาน(Operation Research)และความสามารถในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาสร้างเป็นโมเดลถือว่าเป็นแนวทางที่ใช้กันแพร่หลายและถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ สามารถ มีผลโดยตรงต่อกำหนดการเริ่มหรือเสร็จ ของกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อไปยังระดับ ความต้องการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน การพิจารณาทบทวนรูปแบบความสัมพันธ์หรือการสร้างทางเลือกของรูปแบบความสัมพันธ์ จะช่วยให้การวางแผนงานโครงการมีความยืดหยุ่นขึ้นจึงช่วยเพิ่มโอกาสให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นจากโมเดลปัญหาได้ (Chassiakos and Sakellaropoulos 2005)

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโมเดลปัญหาการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร โดยมีปัญหาเป็นกรณีตัวอย่างการใช้แรงงานในโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีซึ่งมีปัญหาการใช้แรงงานในการก่อสร้างไม่สม่ำเสมอ ทำให้แรงงานไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา โดยผู้วิจัยจะใช้ความสามารถของโปรแกรม สเปรดชีตเอ็กเซลและหลักการขั้นตอนทางพันธุกรรม มาช่วยเพื่อให้โมเดลมีความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจเลือก หรือ ทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆซึ่งส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาโครงการและระดับการจัดทรัพยากรเพื่อทำให้ได้แผนงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถนำไปใช้กับงานโครงการก่อสร้างได้จริง

2. วิธีการทดลอง

ที่ผ่านมามีการวิจัยที่ได้พัฒนาโมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากร เช่น Hegazy(1999)ได้เสนอโมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรซึ่งได้เสนอดัชนีการใช้โมเมนต์ของความผันผวนน้อยที่สุดจากสมการ(1)

$$\text{Minimize} \sum_{k}^{K} (M_{xk} + M_{yk}) \qquad (1)$$

$$M_x = \sum_{t}^{T} (r_t)^2 \qquad (2)$$

$$M_y = \sum_{t}^{T} [r_t * (t-d)] \qquad (3)$$

ต่อมาในงานวิจัยที่น่าสนใจของ El-Rayes and Jun(2009) พวกเขาจึงได้เสนอวิธี การวัดค่าความสมดุลของระดับการใช้ทรัพยากรแบบใหม่ ที่มุ่งเน้นไปที่การลดรูปทรงที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร(Minimize Undesirable resource) โดยได้เสนอค่าดัชนีที่ใช้วัดความไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรเป็น 2 ประเภทคือ RRH และ RIDและทำการ minimization ค่าผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของดัชนี RRH และ RID กับระดับการใช้ทรัพยากรสูงสุด MRD จุดประสงค์ของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คือการทำให้ค่าดัชนี RRH และ RID ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงการมีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรได้ดีที่สุด

ค่า RRH (Release & Rehire) คือ ดัชนีวัดผลรวมจำนวนทรัพยากรที่ต้องปล่อยให้ว่างงานชั่วคราวในช่วงที่การใช้งานต่ำและนำกลับมาใช้อีกในช่วงความต้องการใช้กลับเพิ่มขึ้นมา

$$RRH = H - MRD = HR/2 - MRD \quad (4)$$

$$HR = [\, r_1 + \sum_{t}^{T-1} | r_t - r_{t+1} | + r_T \,] \quad (5)$$

$$MRD = Max\,(r_1, r_2, r_3, r_4, \ldots\ldots, r_T) \quad (6)$$

RID (Resource Idle Day) คือ ดัชนีวัดผลรวมจำนวนทรัพยากรที่ว่างงานอันเนื่องความผันผวนของระดับการใช้

$$RID = \sum_{t}^{T} [r_t - Min(Max(r_1, r_2, \ldots, r_t), Max(r_t, r_{t+1}, \ldots, r_T))] \quad (7)$$

โดยที่ H คือผลรวมจำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการเพิ่มขึ้น

MRD คือจำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการมากที่สุด

HR คือผลรวมความผันผวนรายวันของความต้องการใช้ทรัพยากร

r_t คือจำนวนทรัพยากรที่ต้องการประจำวันที่ t

T คือ Total Project Durations

อย่างไรก็ตามพบว่าโมเดลปัญหาการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากรแบบเดิมที่ผ่านมา ประกอบด้วยกิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Finish-to-Start (FS) แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทั้งที่ในการปฏิบัติจริง การวางแผนโครงการอาจกำหนดเลือกใช้ความสัมพันธ์ได้หลากหลายแบบ ได้แก่ Finish-to-Finish (FF) , Start -to-Start (SS) และ No Relation (NO) เป็นต้น

โมเดลปัญหาของงานวิจัยนี้ มีการปรับปรุงงานของ El-Rayes and Jun(2009) ด้วยการเพิ่มตัวแปรการเลือกความสัมพันธ์ โดยนำข้อมูลตัวอย่างโจทย์จากโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดีมาใช้ เนื่องจากเป็นโครงการที่มีจำนวนกิจกรรมพอเหมาะไม่มากไม่น้อยเกินไปบางกิจกรรมสามารถปรับเงื่อนไขความสัมพันธ์ได้โดยไม่ขัดแย้งกับความเป็นจริงโดยมีสมมุติฐานงานวิจัยที่ว่าเมื่อใช้โมเดลที่พัฒนาใหม่นี้ปรับสมดุลทรัพยากรโครงการจะแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่ไม่สม่ำเสมอเพื่อให้ได้แผนงานที่ดียิ่งขึ้น

โครงการก่อสร้างปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีนี้มีงบประมาณโครงการเป็นจำนวนเงิน 58 ล้านบาท ระยะเวลาโครงการ 120 วัน ดำเนินงานก่อสร้างโดยบริษัท ปฐมเฟอร์นิเจอร์(1997) จำกัด ลักษณะงานเป็นการปรับปรุงพื้นที่ใช้สอยเดิมของชั้นที่ 1 ให้มีความสะดวกสบายและทันสมัยขึ้นต่อการให้บริการผู้ป่วยแผนกออร์โธพิดิกส์ ประกอบไปด้วยรายละเอียดดังตารางที่ 3

3.1 สมการของโมเดลปัญหา

ส่วนประกอบหลักของโมเดลนี้แบ่งเป็น 4 ส่วนได้แก่ ตัวแปรตัดสินใจ(Decision Variable),ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์(Objective Function),ฟังก์ชั่นข้อจำกัด(Constraint Function) และ วิธีการหาคำตอบ(Solving Algorithms) ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบหลักของโมเดลที่สร้างขึ้นมีดังนี้

รูปที่ 1 รูปงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรม(Activity Start Time) จะเป็นค่าตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงานซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของกิจกรรมที่กำหนด เสมือนเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่างๆเป็นลำดับภายในระยะเวลาโฟลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ การคำนวณ CPM จะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมดและการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังทำให้ได้ระดับการจัดสรรทรัพยากรอีกด้วย

ตัวแปรตัดสินใจ1: S_i= เวลาเลื่อน(Shifting time) ของกิจกรรมที่ i

$$ST_i = ES_i + S_i \quad (8)$$

โดยที่ ST_i = เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i

S_i = เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ตัวแปรตัดสินใจอีกกลุ่มคือกลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์(Relationship Options) เป็นการกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอันสามารถมีทางเลือกต่างๆกันได้ ซึ่งผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ถูกเลือกจะนำไปใช้ในการคำนวณ CPM ต่อไป

ตัวแปรตัดสินใจ 2: การเลือกรูปแบบความสัมพันธ์

x_{ihj} = ตัวแปร Binary ที่ใช้ทางเลือกที่ j ของรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่ i และ predecessors ของ i ตัวที่ h

โดยที่ $\mathbf{S}_j x_{ih} = 0,1 \; ; \forall I$ (9)

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์(Objective Function) กำหนดให้เป็นแบบ Multi-Objective ที่มีค่าถ่วงน้ำหนักโดยปรับปรุงจากงานของ Hegazy(1999)และ El-Rayes and Jun(2009)

Total Score=Minimize (w_1M_x+ w_2MRD+w_3RRH+ w_4RID+w_5T) (10)

โดยที่ w_1,w_2,w_3,w_4,w_5 คือค่าถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อยและเพื่อการปรับสเกลของตัวเลขซึ่งกำหนดให้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.005,1,1,0.1 และ 1 ตามลำดับ

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด(Constraint Function)แบ่งออกเป็นกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์รูปแบบต่างๆและกลุ่มเงื่อนไขทั่วไป ดังนี้

:กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์

FS: $ST_i \geq FT_h \; ; \forall h$ (11)

SS: $ST_i \geq ST_h \; ; \forall h$ (12)

FF: $FT_i \geq FT_h \; ; \forall h$ (13)

Activity	Description	Duration	Resource	Predecessors
A	งานรื้อถอนโครงสร้างและตัดต่อวิศวกรรม	14	20	-
B	งานเสาเข็มเจาะภายในอาคาร	7	5	A
C	งานหล่อฐานรากและตอม่อ	7	15	B
D	งานถมดินปรับพื้นที่และหล่อพื้น คสล.ใหม่	15	20	C
E	งานก่ออิฐฉาบปูนผนัง	10	10	A,D
F	งานติดตั้งโครงผนังเบา-โครงฝ้าเพดาน	7	12	E,D
G	งานติดตั้งแผ่นผนังเบา-แผ่นฝ้าเพดาน	7	20	F
H	งานติดตั้งประตู-หน้าต่าง	3	5	G
I	งานปกระเบื้องยาง	7	10	D
J	งานปกระเบื้องห้องน้ำ และ ติดตั้งสุขภัณฑ์	15	8	G,I
K	งานตกแต่งภายใน - งานไม้	20	20	H,J
L	งานเดินท่อสขาภิบาลและท่อดับเพลิง	10	10	A
M	งานทดสอบแรงดันท่อสขาภิบาลและท่อดับเพลิง	3	3	L
N	งานติดตั้งหัวฉีดน้ำ-ตู้ดับเพลิง-ปั๊มน้ำ	7	10	M,G
O	งานเดินท่อ Conduit ระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร	15	20	A
P	งานร้อยสายไฟในระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร-งานติดตั้งรางWireway-งานติดตั้งตู้ Load Panel	7	20	O
Q	งานติดตั้งโคมไฟ-สวิทช์-ปลั๊กไฟฟ้า-เข้ารับสัญญาณTV-โทรศัพท์-LAN	15	10	G,P
R	งานติดตั้งท่อ Duct - หัวจ่าย Fresh Air- ช่อง Exhaust	20	20	A
S	งานติดตั้ง AHU และ FCU -ท่อน้ำเย็น-ท่อน้ำทิ้ง	15	20	R,G
T	งานติดตั้ง Chiller - Pump และอุปกรณ์ควบคุม	20	10	S
U	งานตัดต่อวาล์วเก่า และ ติดตั้งวาล์วใหม่	5	5	A
V	งานเดินท่อก๊าซออกซิเจน-ท่อไนตรัส	14	10	U,G
W	งานติดตั้งอุปกรณ์หัวจ่ายก๊าซ และ ติดตั้งปั๊มอากาศอัด	7	5	V
X	งานทดสอบแรงดันท่อก๊าซออกซิเจน-ท่อไนตรัส	3	5	W

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลกิจกรรมของโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

:กลุ่มเงื่อนไขทั่วไป

$$T = \text{Max}(FT_i) \qquad (14)$$

$$FT_i \geq ST_i + D_i \qquad (15)$$

โดยที่ ST_i เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i ที่ปรับเลื่อนแล้ว

FT_i เวลาแล้วเสร็จของกิจกรรมที่ i

h กิจกรรม predecessors ของกิจกรรมที่ i

T ระยะเวลาของโครงการที่กำหนด

D_i ระยะเวลาของกิจกรรมที่ i

วิธีการหาคำตอบ(Solving Algorithms) โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และได้เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบ Genetic Algorithms (GAs) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Evolver™ ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นโปรแกรม Add-in ใน Microsoft Excel

3.2.การสร้างโมเดลด้วยสเปรตชีต

โมเดลปัญหานี้จะถูกสร้างบนโปรแกรมสเปรตชีตโดยจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ที่มีแผ่นงาน(Sheet)แผ่นเดียวโดยในแต่ละเซลของแผ่นงานจะใช้ป้อนสูตรของสมการต่างๆที่ต้องคำนวณ และเพื่อให้เข้าใจโมเดลได้ง่ายในพื้นที่แผ่นคำนวณจะ มีส่วนการคำนวณค่าเวลา,ส่วนแสดงบาร์ชาร์ทของแต่ละกิจกรรมและส่วนของการคำนวณค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้วยทั้งหมดโดยแสดงในลักษณะตาราง

3.2.1 การนำเข้าข้อมูล

เท็มเพลตของแผนงานคือพื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการที่ต้องการหาคำตอบ ข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ รายชื่อกิจกรรม ระยะเวลากิจกรรม จำนวนทรัพยากรที่ใช้ต่อวัน และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนงานก่อสร้าง

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นข้อมูลที่แสดงแทนด้วย Predecessors ได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงสามกิจกรรม โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับPredecessors กำหนดให้มีค่าตั้งต้นแบบ Finish To Start (FS) นอกจากนี้เนื่องจากเป้าหมายของการสร้างโมเดลนี้มีความสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ จึงกำหนดให้กิจกรรมใดๆสามารถมีทางเลือกของกิจกรรมได้ไม่เกินสองทางเลือกเพื่อไม่ให้ขนาดของโมเดลใหญ่เกินไป โดยทางเลือกความสัมพันธ์ใดๆอาจมีรูปแบบเป็น FS หมายถึง Finish To Start ที่เป็นค่าตั้งต้น, SS หมายถึง Start To Start, FF หมายถึง Finish To Finish หรือ No หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์

ในโมเดลนี้ผู้วางแผนสามารถกำหนดทางเลือกของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นคำตอบโดยที่แต่ละคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรมไม่จำเป็นต้องมีทางเลือกเดียวเสมอไป

3.2.2 การคำนวณค่าเวลา

ส่วนของการคำนวณค่าเวลา แบ่งเป็นส่วนแสดงค่าเวลาที่สำคัญ 6 ค่า ได้แก่ ST (Starting Time),FT (Finish Time),LS (Lasted Started),LF (Lasted Finished),TF (Total Float)และ FF (Free Float)

การคำนวณค่าเวลาของแต่ละกิจกรรมเป็นพื้นฐานของการทำแผนงานโครงการก่อสร้าง ด้วยวิธีการคำนวณ

แบบ CPM (Critical Path Method) โดยการคำนวณเหล่านี้ จะเป็นการแสดงผลการคำนวณที่อ้างอิงมาจากข้อมูลนำเข้า และชุดคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นค่าเวลาที่ต้องคำนวณเหล่านี้ จะมีการปรับแต่งสูตรให้สะท้อนค่าเวลาเลื่อน (Shifting Time) และการเลือกทางเลือกความสัมพันธ์ด้วยเงื่อนไขความสัมพันธ์เชิงเวลา สามารถสร้างเป็นสูตรคำนวณในสเปรตชีตได้ดังนี้

(1) กรณี FS และไม่มีทางเลือก :

การคำนวณขาไป

$$ST_i = \text{Max}(FT_h) + S_i; \forall h \quad (16)$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม F มี Predecessors เป็นกิจกรรม A และ D จะได้ว่า

$$ST_F = \text{Max}(FT_A, FT_D) + S_F$$

การคำนวณขากลับ

$$LF_i = \text{Min}(LS_k) ; \quad \forall k \quad (17)$$

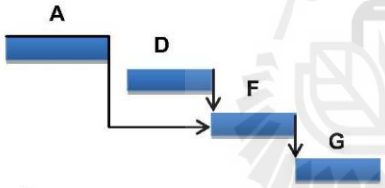
ตัวอย่างเช่น กิจกรรม F มี Successors เป็นกิจกรรม G จะได้ว่า

$$LF_F = \text{Min}(LS_G)$$

โดยที่ i = กิจกรรมที่กำลังพิจารณา

h = กิจกรรม predecessors ของกิจกรรม i

k = กิจกรรม successors ของกิจกรรม i



รูปที่ 2 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม F และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อ

(2)กรณีทางเลือก FS กับ No:

การคำนวณขาไป

$$ST_i = \text{Max}(FT_h * x_{ihj}) + S_i; \forall h \quad (18)$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม E มี Predecessors เป็นกิจกรรม A และ D โดยมีทางเลือกของความสัมพันธ์กับกิจกรรม D เป็น FS หรือ No จะได้ว่า

$$ST_E = \text{Max}(FT_A, FT_D * x_{ED1}) + S_E$$

การคำนวณขากลับ

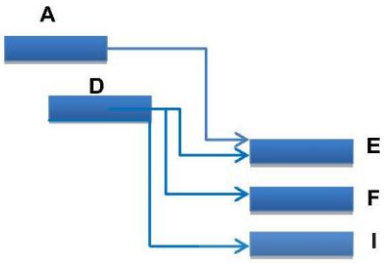
ในขณะที่กิจกรรม D มี Successors เป็นกิจกรรม E,F,I จะได้ว่า

$$LF_D = \text{Min}(LS_E + x_{ED2} * BN, LS_F, LS_I)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยที่ x_{ihj} = Binary Integer (0 หรือ 1) แทนการไม่เลือกหรือเลือก

BN = ตัวเลขเต็มบวกที่มีค่ามากๆเมื่อเทียบกับระยะเวลาโครงการ เช่น 1,000 วัน



รูปที่ 3 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม E-D และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(3) กรณีทางเลือก FS และ SS

การคำนวณขาไป

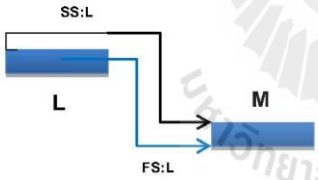
$$ST_i = Max\,(FT_h * x_{ihj}) + S_i;\ \forall h \qquad (19)$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม M มี Predecessors เป็นกิจกรรม L และมีทางเลือกความสัมพันธ์กับกิจกรรม L เป็น FS หรือ SS จะได้ว่า

การคำนวณขากลับ

ในขณะที่กิจกรรม L มี Successors เป็นกิจกรรม M จะได้ว่า

$$LF_L = Min(LS_M + D_L + x_{LM1} * BN, LS_M + x_{LM2} * BN) \qquad (20)$$



รูปที่ 4 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม M-L และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(4)กรณีทางเลือก FS และ FF

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\,(FT_h - D_i * x_{ihj}) + S_i;\ \forall h$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม S มี Predecessors เป็นกิจกรรม R และ G และมีทางเลือกความสัมพันธ์กับกิจกรรม G เป็น FS หรือ FF จะได้ว่า

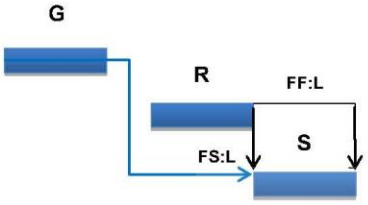
$$ST_S = Max\,(FT_R - D_R * x_{SR2}, FT_G) + S_S \qquad (21)$$

การคำนวณขากลับ

$$LF_i = \text{Min}\ (LS_h + x_{ihj} * BN);\ \forall h$$

ตัวอย่างเช่น ในขณะที่กิจกรรม R มี Successors เป็นกิจกรรม S จะได้ว่า

$$LF_R = \text{Min}\ (LS_S + x_{SR2} * BN\ ,\ LF_S + x_{SR1} * BN) \qquad (22)$$



รูปที่ 5 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม S-R และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(5)ในทุกกรณี

$$FT_i = ST_i + D_i \quad ;\ \forall h$$

$$LS_i = LF_i - D_i \quad ;\ \forall h$$

3.3 วิธีทดสอบโมเดลและการแสดงผลการทดสอบ

3.3.1 การสร้างแผนงานตารางเวลา และ แผนงานการจัดสรรทรัพยากรก่อนการปรับสมดุล

โมเดลที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกทดสอบกับข้อมูลโครงการที่นำมาจากโครงการก่อสร้างจริง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผนงานโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี จากตารางที่ 3 แล้วนำมาสร้างแผนงานตารางเวลา เพื่อคำนวณค่าเวลา CPM เบื้องต้นจากนั้นสร้างกราฟแท่งการจัดสรรทรัพยากร

กำหนดตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมโดย กิจกรรม E มีทางเลือกเป็น FS:D และ No:D กับกิจกรรม D, กิจกรรม K มีทางเลือกเป็น FS:H และ SS:H กับกิจกรรม H, กิจกรรม M มีทางเลือกเป็น FS:L และ SS:L กับกิจกรรม L,กิจกรรม N มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม S มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม V มีทางเลือกเป็น FS:G และ SS:G กับกิจกรรม G,กิจกรรม X มีทางเลือกเป็น FS:W และ SS:W กับกิจกรรม W

3.3.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ไม่มีและมีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม

การทดลองที่ 1 โมเดลที่ไม่มีตัวเลือกความสัมพันธ์

สมการวัตถุประสงค์คือTotal Score =Minimize [0.20Mx + 20MRD + RRH + 10RID + 30T]

สุดท้ายทำการทดลองรันโปรแกรม Evolver เพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้ง แต่ถอดความสัมพันธ์แบบมีตัวเลือกออก

การทดลองที่ 2 โมเดลที่มีตัวเลือกความสัมพันธ์

สมการวัตถุประสงค์คือTotal Score =Minimize [0.20Mx + 20MRD + RRH + 10RID + 30T]

สุดท้ายทำการทดลองรันโปรแกรม Evolver เพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้ง แต่ถอดความสัมพันธ์แบบมีตัวเลือกออก

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลลัพท์จากการการสร้างแผนงานตารางเวลา และ แผนงานการจัดสรรทรัพยากรก่อนการปรับสมดุล จะได้แผนงานแบบตารางเวลาตามรูปที่ 6 และสร้างกราฟแท่งได้ตามรูปที่ 7.1

ผลลัพท์จากการการสร้างแผนงานตารางเวลา และ แผนงานการจัดสรรทรัพยากรก่อนการปรับสมดุลเราพบว่าเมื่อสร้างแผนงานตารางเวลาพบว่าผลที่ออกมาพบว่าแผนงานก่อสร้างนี้มีระยะเวลาดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นจนจบทั้งสิ้น 102 วัน เกิดสายงานวิกฤตเป็นจำนวน 2 สาย คือ สายแรก คือ A-B-C-D-E-F-G-J-K และสายที่ 2 A-B-C-D-E-F-G-S-T มีกิจกรรมที่น่าสนใจคือ กิจกรรม A ซึ่งเป็นกิจกรรมแรกของโครงการ มีลักษณะที่เด่นคือมี Successor ต่อท้ายมากถึง 6 กิจกรรม อีกกิจกรรมคือ G มีลักษณะที่เด่นคือมี Successor ต่อท้ายมากถึง 6 กิจกรรมเช่นกัน นั่นหมายถึง หากกิจกรรมนี้เริ่มต้นล่าช้าหรือดำเนินการไม่เสร็จก็จะกระทบถึงกิจกรรมที่ตามมาถึง 6 กิจกรรมส่งผลให้โครงการทั้งหมดล่าช้าออกไปการจัดสรรทรัพยากรของแผนงานเริ่มต้นนี้ไม่ดีนักกล่าวคือความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาสูงมาก มีรูปร่างเป็นภูเขาสองลูกที่ยอดสูงระหว่างหุบเขาที่ค่อนข้างกว้างพิจารณาค่าดัชนี Mx=143,295,MRD=65,RRH=65,RID=987,T=102 daysและ Total Score=28,659 ก็มีค่าสูงแสดงถึงยังมีความผันผวนในการใช้ทรัพยากรมากและจากลักษณะของกราฟทำให้มองเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะปรับสมดุลทรัพยากรได้จากรูปร่างที่เป็นหุบเขาซึ่งค่อนข้างกว้าง แนวทางที่เป็นไปได้คือการพิจารณาปรับเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤตที่อยู่ในช่วงเวลานี้

4.2ผลลัพท์จากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ไม่มีและมีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมได้ผลลัพท์ดังตารางที่ 8 – 9

ผลลัพท์จากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ไม่มีและมีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมพบว่า โมเดลแรกที่ไม่มีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมนั้น ค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก %C.V. = 1.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดลเราเลือกค่า Score ดัชนีที่ใกล้เคียงกับค่า Mean ที่สุดจากการทดสอบทั้งหมดคือคำตอบที่ 6 (Total Score = 28,659 ส่วน Mean=28,678.4)

โมเดลต่อมาที่เพิ่มตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเข้าไปนั้นค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก %C.V. = 0.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดล เราเลือกค่า Score ดัชนีที่ใกล้เคียงกับค่า Mean ที่สุดจากการทดสอบทั้งหมดคือคำตอบที่ 6 (Score = 26,637 ส่วน Mean=26,991.8 ลักษณะของกราฟแท่งมีลักษณะเหมือนเนินเขาเตี้ยๆที่มีหุบเขาบ้างช่วงแคบๆแสดงถึงการใช้ทรัพยากรที่น้อยในช่วงเริ่มต้นโครงการและค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงในช่วงกลางและค่อยๆใช้ทรัพยากรต่ำลงในช่วงปลายโครงการ นั้นหมายถึงการได้รับคำตอบที่ดีขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับโมเดลแรก

4. สรุป

การนำตัวอย่างโจทย์โครงการก่อสร้างโรงพยาบาลรามาธิบดีที่นำมาวิเคราะห์โดยโมเดลนี้เพื่อเป็นการเป็นการแสดงความสามารถของโมเดลซึ่งสร้างแผนงานที่มีความเหมาะสม (Optimal Schedule) เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้ทรัพยากรในโครงการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากกราฟ Histogram ทั้ง 3 ที่ได้รับจากการรันโมเดลข้อมูลโจทย์ด้วยโปรแกรม Evolver พบว่า มีลักษณะกราฟเป็นภูเขาฐานกว้างที่มียอดไม่สูงมากซึ่งเป็นรูปร่างที่พึงประสงค์มากขึ้น และค่าผลลัพท์ดัชนีความผันผวนต่างๆ ก็มีแนวโน้มที่ลดต่ำลงด้วย โดยที่ระยะเวลาโครงการ T ยังคงเท่าเดิม แสดงว่า วิธีการปรับสมดุลด้วยการเพิ่มตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม(Relationship Option) เข้าไป จะทำให้ได้รับคำตอบที่ดีมาก เราสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ยังโครงการอื่นๆได้อีก เพื่อประโยชน์ในการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร และ เพื่อการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในภาวะปัจจุบันที่ปัจจัยด้านทรัพยากรแรงงานก่อสร้างมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างเป็นอย่างมาก

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กวี หวังนิเวศน์กุล(2547) “การบริหารงานวิศวกรรม ก่อสร้าง” ส.เอเซียพลัส (1989),กรุงเทพฯ

[2] วชรภูมิ เบญจโอพาร(2554) “การบริหารงานก่อสร้าง”พิมพ์ครั้งที่ 6 , สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ,นครราชสีมา

[3] สุทธิมา ชำนาญเวช(2552) “การวิจัยดำเนินการ”พิมพ์ครั้งที่ 2 ,พิมพ์ดีการพิมพ์,กรุงเทพฯ

[4] Chassiakos, A. P, Sakellaropoulos. 2005. Time-cost optimization of construction projects with generalized activity constraints . **Journal of Construction Engineering and Management** 131:1115.

[5] El-Rayes, Khaled, and Dho Jun. 2009. Optimizing Resource Leveling in Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management** 135 ,no.11(November):1172-1180.Doi10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000097

[6] Hegazy, Tarek. 1999. **Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms**.

[7] Hendrickson, Chris, and Tung Au.1989. **Project Management for construction** : fundamental concepts for owners , engineers, architects and builder. (Febuary)

[8] Hinze, Jimmie 2008 **Construction Planning and scheduling**. Pearson Prentice Hall.

[9] Leu, Sou-Sen, Chung-Huei Yang, and Jiun-Ching Huang. 2000. Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application. Automation in Construction 10, no. 1(November): 27-41. Doi 10.1061/S0926-5805(99)00011-4

ประวัติผู้เขียน

นายเอกอนันต์ อินทรทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม 2520 ที่จังหวัดอุบลราชธานี ภูมิลำเนาปัจจุบันอยู่ที่ เลขที่ 1693 ซอยสืบศิริ 25 ถนนสืบศิริ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ด้านการศึกษา สำเร็จชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่โรงเรียนราชสีมา วิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา และระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ด้านการทำงาน เคยเป็น วิศวกรโยธา ในหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งใน บริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง บริษัทผู้ออกแบบ บริษัทวิศวกรที่ปรึกษาและบริษัทพัฒนาที่ดินบ้านจัดสรร โครงการก่อสร้างต่าง ๆ หลากหลายประเภท ผลงานที่โดดเด่นได้แก่ โครงการเขื่อนขุนด่านปราการชล อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนครนายก โครงการถนนวงแหวนกาญจนาภิเษกด้านใต้ จังหวัดสมุทรปราการ โครงการอุโมงค์ทางลอดถนนศรีนครินทร์-สุขุมวิท 63 กรุงเทพมหานคร โครงการโรงแรมเรดิสันพลาซ่า รีสอร์ท พันวาบีช จังหวัดภูเก็ต ปัจจุบันประกอบอาชีพวิศวกรโยธา บริษัท เกษมวิศว์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่งสามัญวิศวกรโยธา เลขทะเบียน สย.9227 และผู้จัดการโครงการก่อสร้างบริษัท เกษมวิศว์ จำกัด มีผลงานวิจัยโดยมีรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี