# การจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัด

**นายรัชกฤช เมธาธิรัตน์**

**โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
**การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค**
**สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์**
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**
**ปีการศึกษา 2556**

# การจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ผศ. ดร.ปรียาพร โกษา)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

รัชกฤช เมธาธิรัตน์ : การจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัด
(SCHEDULING OF CONSTRUCTION PROJECT UNDER CASH CONSTRAINTS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัดโดยใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการศึกษาครั้งนี้คือเงินสดที่จำกัด ระยะเวลาในการก่อสร้าง Maximum Overdraft และอัตราดอกเบี้ย จากผลการทดสอบพบว่าการก่อสร้างบ้าน Type A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และเดือนที่ 3 เป็นจำนวน 1 หลัง การก่อสร้างบ้าน Type B ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 เป็นจำนวน 1 หลัง และการก่อสร้างบ้าน Type C ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง กำไรสูงสุดเท่ากับ 1,288,234 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 397,662 บาท อยู่ในเดือนที่ 9 อิทธิพลของระยะเวลาของการก่อสร้างต่อกำไรสูงสุดของโครงการก่อสร้างแสดงให้เห็นว่า กำไรสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่ากับการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาของการก่อสร้างทุก 6 เดือน อิทธิพลของอัตราดอกเบี้ยต่อกำไรสูงสุดของโครงการก่อสร้างแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ ช่วงอัตราดอกเบี้ยน้อยกว่า 6% กำไรสูงสุดลดลงประมาณ 500,000 บาท และช่วงอัตราดอกเบี้ยมากกว่า 6% กำไรสูงสุดลดลง 26,667 บาทต่ออัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้นทุก 2% แบบจำลองโมเดลการจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัดโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการเลือกรับงานก่อสร้างและการคาดการณ์ถึงกำไรสูงสุดของงานก่อสร้าง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

RUTCHAKIT MAYTHATHIRUT : SCHEDULING OF CONSTRUCTION PROJECT UNDER CASH CONSTRAINTS. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research studied scheduling of construction project under cash constraints by using genetic algorithm (GA). The influential factors in this study are cash constraints, period of construction, maximum overdraft and interest rate. Test results found that a type A house should start constructing on 3rd month, a type B house should start constructing on 7th month for 1 house and a of type C house in 5th month. The maximum profit is 1,288,234 baht in 12th month and maximum overdraft is 397,662 baht in 9th month. Influence of period of construction on maximum profit of construction project shows that the maximum profit increases about 3 times with increasing in period of construction in every 6 months. Influence of interest rate on maximum profit of construction project divided into two groups: interest rate lower than 6 %, the maximum profit decreases about 500,000 baht and interest rate more that 6 %, the maximum profit decreases about 26,667 baht as interest rate increases in every 2 %. The model of scheduling of construction project under cash constraints by GA is beneficial for selecting the construction job and predicting maximum profit of construction project.

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2013 Advisor's Signature _____

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษาฉบับนี้สำเร็จเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยการให้ความสนับสนุน ให้คำปรึกษา แนะนำ และให้ความรู้ความเข้าใจในโครงงานจาก ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมการจัดทำโครงงาน ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลาแก้ไขตรวจทานความถูกต้อง และข้อเสนอแนะต่าง ๆ จนโครงงานสามารถสำเร็จลุล่วงเสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

โครงงานฉบับนี้ทางผู้จัดทำโครงงานหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ และทำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับประยุกต์พัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพในหน่วยงานของท่านต่อไป

รัชกฤช เมธาธิรัตน์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา ..... 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 2

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 3

2.1 การประมาณราคาก่อสร้าง ตามแนวทางการวัดปริมาณงานอาคาร ของ ว.ส.ท. 2548 ..... 3

2.1.1 ประเภทของงานก่อสร้าง ..... 3

2.1.2 กระบวนการงานก่อสร้าง ..... 3

2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประมาณราคาก่อสร้าง ..... 5

2.1.4 ผู้ประมาณการก่อสร้าง (Estimator) ..... 6

2.2 Genetic Algorithm (ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม) ..... 6

2.3 โมเดลปัญหาการวางแผนงาน ..... 8

2.3.1 Optimization Model ..... 9

2.3.2 วิธีการหาคำตอบ ..... 11

2.3.3 วิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ ..... 12

2.3.4 โมเดลปัญหาการวางแผนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร ด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ ..... 19

3 วิธีดำเนินการศึกษา 40
3.1 แบบบ้านที่ใช้เป็นกลุ่มทดลองสร้างโมเดล 40
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา 40
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 40
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 47
4.1 การทดสอบ Genetic Algorithm (Gas) 47
4.2 อิทธิพลของช่วงระยะเวลา 48
4.3 อิทธิพลของ Overdraft 51
4.4 อิทธิพลของดอกเบี้ย (Interest) 56
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 63
5.1 สรุปผลการศึกษา 63
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
เอกสารอ้างอิง 65
ภาคผนวก ก ข้อมูลแบบบ้านที่ใช้ในการศึกษา 67
ประวัติผู้เขียน 74

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

4.1 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของ ช่วงระยะเวลามาเกี่ยวข้อง 50

4.2 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลทางด้านเวลา 50

4.3 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของ Overdraft 55

4.4 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลของ Overdraft 55

4.5 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของดอกเบี้ย 60

4.6 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลทางด้านดอกเบี้ย 61

ก1 ใบสรุปประมาณการณ์แบบบ้าน Sapphire (Type_A) 69

ก2 ใบสรุปประมาณการณ์แบบบ้าน Crystal (Type_B) 71

ก3 ใบสรุปประมาณการณ์แบบบ้าน Emeral (Type_C) 73

# สารบัญรูปภาพ


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการเริ่มงานก่อสร้าง | 4 |
| 2.2 | สายของตัวอักษรที่ใช้แสดงแทนโครโมโซม | 15 |
| 2.3 | ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่เพื่อให้ได้รุ่นลูก | 15 |
| 2.4 | โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Microsoft Excel | 23 |
| 2.5 | ส่วนข้อมูลนำเข้า | 24 |
| 2.6 | ส่วนตัวแปรตัดสินใจ | 26 |
| 2.7 | บาร์ชาร์ทแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม L | 27 |
| 2.8 | บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A – E และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง | 28 |
| 2.9 | บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม G – I และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง | 28 |
| 2.10 | บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม O – Q และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง | 29 |
| 2.11 | ส่วนการคำนวณค่าเวลา | 29 |
| 2.12 | ส่วนการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ | 30 |
| 2.13 | หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ palisade Corp. | 31 |
| 2.14 | เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ติดตั้ง Add-in แล้ว | 31 |
| 2.15 | หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล | 32 |
| 2.16 | หน้าต่างสำหรับป้อนกำหนดค่าพารามิเตอร์ Population size ของ GAs | 33 |
| 2.17 | หน้าต่างสำหรับป้อนกำหนดค่าเงื่อนไขการจบ Runtime | 34 |
| 2.18 | ส่วนข้อมูลโจทย์ปัญหาโครงการตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ | 35 |
| 2.19 | ส่วนแสดงคำตอบเริ่มต้น | 36 |
| 2.20 | ส่วนแสดงผลคำตอบที่ดีที่สุด | 37 |
| 2.21 | การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระดับการจัดสรรทรัพยากรของคำตอบที่ดีที่สุด | 38 |
| 3.1 | เปรียบเทียบสถานะทางการเงินของแต่ละแบบบ้าน | 41 |
| 3.2 | หน้าต่างแสดงโปรแรม Evolver ของ palisade Corp. | 42 |
| 3.3 | เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ติดตั้ง Add-in แล้ว. | 42 |
| 3.4 | หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล. | 43 |
| 3.5 | หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ Population size ของ Gas. | 44 |

3.6 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าเงื่อนไขการจบ Runtime. 45
3.7 กระบวนการทำงานของแบบจำลองขั้นตอนเจเนติก อัลกอลิทึม (GA). 46
4.1 การสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร 47
4.2 สรุปกำไรสูงสุดจากการสุ่มเลือกรับก่อสร้างบ้าน 48
4.3 การสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคารเมื่อคิดช่วงระยะเวลา 1.5 ปี 48
4.4 สรุปกำไรสูงสุดจากการสุ่มเลือกรับก่อสร้างบ้านเมื่อคิดที่ 1.5 ปี 49
4.5 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อคิดที่ 2 ปี 49
4.6 กราฟเปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อระยะเวลาการรับงานเพิ่มขึ้น 51
4.7 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้าน
เมื่อ Overdraft ไม่เกิน 600,000 บาท 52
4.8 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้าน
เมื่อ Overdraft ไม่เกิน 800,000 บาท 53
4.9 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้าน
เมื่อ Overdraft ไม่เกิน 1,000,000 บาท 54
4.10 เปรียบเทียบกำไรเมื่อปรับเปลี่ยน Overdraft 55
4.11 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 6% 57
4.12 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 8% 58
4.13 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 10% 59
4.14 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 12% 60
4.15 เปรียบเทียบกำไรเมื่อมีอัตราดอกเบี้ยจากเงินลงทุน 61
ก1 แบบบ้าน Sapphire (Type_A) 68
ก2 แบบบ้าน Crystal (Type_B) 70
ก3 แบบบ้าน Emeral (Type_C) 72

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ถือเป็นส่วนสำคัญต่อการพัฒนาความเจริญตั้งแต่ส่วนท้องถิ่นจนถึงระดับนานาชาติ เนื่องจากเป็นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำเนินการของภาคธุรกิจอื่น ๆ อาทิเช่น ระบบสาธารณูปโภค โรงงาน โกดัง คลังสินค้า เขื่อน โรงผลิตไฟฟ้า เสาส่งสัญญาณ อสังหาริมทรัพย์ เป็นต้น

จากตัวอย่างดังกล่าว เห็นได้ว่าการรับเหมาก่อสร้างในภาคธุรกิจที่แตกต่างกัน ก็ต้องใช้วิธีการวางแผนทางการเงินในการลงทุน และกระบวนการในการดำเนินการก่อสร้าง ที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน รวมถึงผลกำไร-ขาดทุน ก็มีผลโดยตรงต่อความเสี่ยงในการลงทุนของโครงการนั้น ๆ ส่วนภาคธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ที่มีการขยายตัวอย่างมาก ทำให้ผู้รับเหมาขนาดกลางที่มีเงินทุนอยู่อย่างจำกัดจึงจำเป็นที่ต้องหาวิธีการบริหารสภาพคล่องทางการเงินจากเงินทุนที่เป็นเงินสดให้เกิดผลตอบแทนสูงที่สุด เพื่อสามารถแข่งขันกับสภาวะการลงทุนที่มีความเสี่ยงต่อการผันผวนของวัสดุก่อสร้าง และแรงงานในการก่อสร้าง

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดในการลงทุนที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ศักยภาพในการเลือกรับเหมาก่อสร้างในแบบบ้านต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นให้ได้กำไรสูงที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมในการจัดลำดับสำหรับเลือกรับเหมาโครงการก่อสร้างของผู้รับเหมาขนาดกลาง ในโครงการบ้านจัดสรร

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลกำไร-ขาดทุน ล่วงหน้าของโครงการก่อสร้างที่มีปัจจัยเงินสดอย่างจำกัด

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์และเลือกจัดลำดับในการรับเหมางานโครงการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดให้ผลกำไรสูงที่สุดในปัจจัยเงินสดที่มีอย่างจำกัดภายในระยะเวลา 1 ปี

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาความเหมาะสมในการเลือกรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ชั้น ของโครงการหมู่บ้านสุรนารีวิลล์ โครงการ 5 บ้านเกาะ เฟส 5 ที่มีแบบบ้าน 2 ชั้น จำนวน 3 รูปแบบ โดยจำกัดเงินเป็นเงินทุนสด 400,000 บาท

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความเหมาะสมในการจัดลำดับสำหรับเลือกรับเหมาโครงการก่อสร้างของผู้รับเหมาขนาดกลาง ในโครงการบ้านจัดสรร

1.4.2 ทราบผลกำไร-ขาดทุน ล่วงหน้าของโครงการก่อสร้างที่มีปัจจัยเงินสดอย่างจำกัด

1.4.3 สามารถวิเคราะห์และเลือกจัดลำดับในการรับเหมางานโครงการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดให้ผลกำไรสูงที่สุดในปัจจัยเงินสดที่มีอย่างจำกัด

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การประมาณราคาก่อสร้าง ตามแนวทางการวัดปริมาณงานอาคาร ของ ว.ส.ท. 2548

### 2.1.1 ประเภทของงานก่อสร้าง

ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อาจแบ่งประเภทของงานก่อสร้างออกเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดังนี้ งานก่อสร้างที่พักอาศัย (residential construction) งานก่อสร้างเพื่อธุรกิจการค้า (building construction for business) งานก่อสร้างขนาดใหญ่ หรืองานสาธารณูปโภค (heavy engineering construction) และงานก่อสร้างด้านอุตสาหกรรม (industrial construction)

### 2.1.2 กระบวนการงานก่อสร้าง

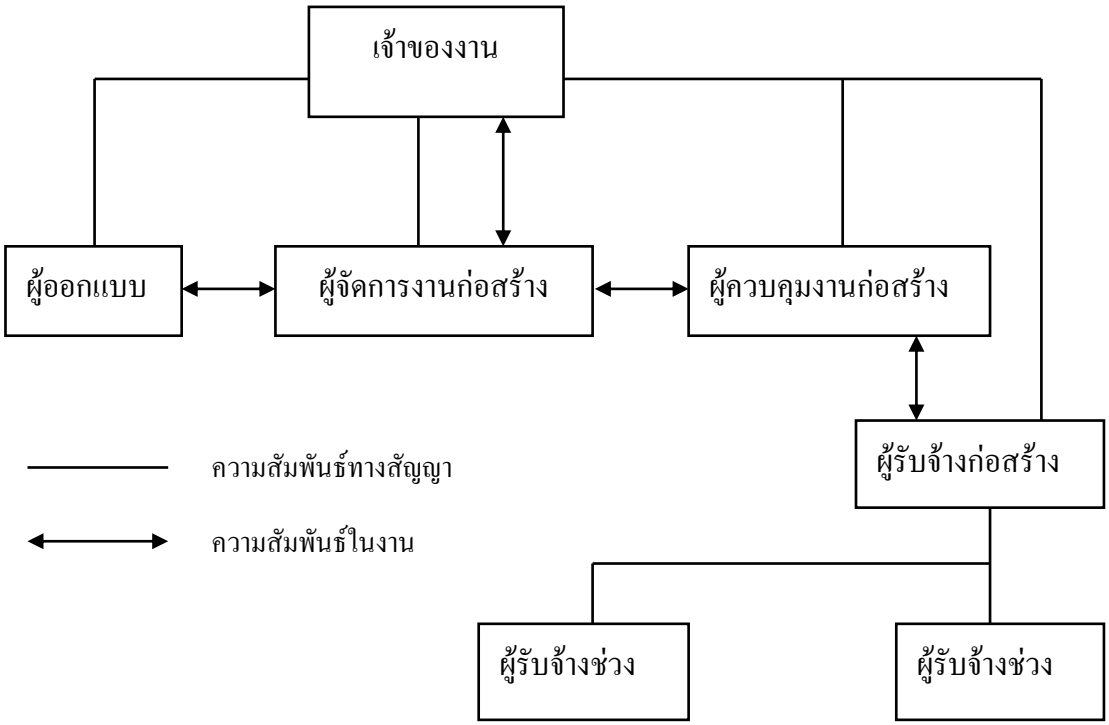
ในการเริ่มกระบวนการก่อสร้าง จะมีแนวคิดมาจากเจ้าของโครงการ อาจจะเป็นภาครัฐบาลหรือเอกชน เมื่อเจ้าของโครงการมีความคิดริเริ่มจะลงทุนในโครงการก่อสร้างหลังจากได้ศึกษาการลงทุนขั้นต้นแล้วก็จำเป็นต้องปรึกษาผู้ออกแบบ ที่เจ้าของโครงการให้ความไว้วางใจในผลงานและประสบการณ์

ผู้ออกแบบจะเป็นผู้แปลความคิดและ ความต้องการของเจ้าของโครงการออกมาเป็นรูปธรรมภายใต้เงื่อนไขของกฎหมายควบคุมอาคาร และสภาพแวดล้อม รวมถึงเงื่อนไขอื่น ๆ ทั้งที่ผู้ออกแบบจะจัดทำแบบร่างเพื่อให้เจ้าของได้ศึกษาในขั้นรายละเอียดมากขึ้น

เมื่อเจ้าของโครงการได้ศึกษาข้อมูลการประมาณราคาเบื้องต้นที่ผู้ออกแบบได้จัดเตรียมให้เพื่อประกอบกับการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนที่ละเอียดขึ้น จนมั่นใจว่าโครงการสามารถดำเนินไปได้ ทั้งด้านการตลาด ผลตอบแทนการลงทุน แหล่งเงินสนับสนุนด้านการลงทุน ตลอดจนผลกระทบทางด้านอื่นๆ ที่เกียวข้องแล้ว จึงจะดำเนินการในขั้นต่อไป

ในการเริ่มงานก่อสร้าง จะมีผู้ที่เข้ามาเกี่ยวข้องดังรูปที่ 2.1

- เจ้าของโครงการ (owner)
- ผู้ออกแบบ และที่ปรึกษา (designer)
- ผู้รับเหมาก่อสร้างหลัก (general contractor) และผู้รับเหมาช่วง ( subcontractor )
- ผู้จัดการงานก่อสร้าง (construction management)
- ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง (construction supervisions)




รูปที่ 2.1 ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการเริ่มงานก่อสร้าง

เมื่องานออกแบบได้เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ในขั้นตอนต่อไปผู้ออกแบบต้องเตรียมการประกวดราคาเพื่อสรรหาผู้รับเหมาก่อสร้างที่เหมาะสมเข้าดำเนินงานก่อสร้าวดังกล่าว โดยมีขั้นตอนดังนี้

ก. การจัดทำแบบก่อสร้าง (Construction drawings) เพื่อใช้ขออนุญาตก่อสร้างและใช้ในงานก่อสร้าง ทั้งนี้รวมถึงงานระบบต่าง ๆ

ข. จัดทำข้อกำหนดงานก่อสร้าง (Specifications) ครอบคลุมรายละเอียดต่าง ๆ ตั้งแต่การประมูลงาน การทำสัญญา ข้อกำหนดงานก่อสร้างด้านเทคนิค มาตรฐานพิเศษเฉพาะโครงการ

ค. ดำเนินการจัดหาผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยให้คำปรึกษาในการเลือกรูปแบบวิธีการจ้างที่เหมาะสม ตลอดจนวางรูปแบบขั้นตอนการจัดหาและจัดจ้าง

ง. ให้คำปรึกษาและเปิดประมูลงานก่อสร้าง ประเมินผลการเสนอราคาของผู้รับเหมาตลอดจนช่วยในการต่อรองราคา จนได้ผู้รับเหมาที่เหมาะสมที่สุดในการก่อสร้าง

จ. จัดทำสัญญาจ้าง และกำหนดรายละเอียดการเริ่มงานก่อสร้าง

ฉ. เริ่มงานก่อสร้าง พร้อมกับหาสถาปนิกและวิศวกรผู้ออกแบบเป็นผู้รับผิดชอบงานควบคุมการก่อสร้างหรือบริหารงานก่อสร้างด้วยก็จะเข้าดำเนินการในขั้นตอนงานก่อสร้างต่อไป

**2.1.3 วัตถุประสงค์ของการประมาณราคาก่อสร้าง**

การประมาณราคาก่อสร้าง จะเข้าไปเกี่ยวข้องในกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนถึงขั้นตอนการก่อสร้าง โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำการประมาณการแตกต่างกันออกไป ในแต่ละขั้นตอนดังนี้

ก. ทำงบประมาณค่าก่อสร้าง (Project budg eting) โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบจะเป็นผู้ทำประมาณราคา เพื่อกำหนดราคากลางสำหรับค่าก่อสร้างในโครงการ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการประเมินราคาของผู้ร่วมเสนอราคาในการประมูลงานต่อไป

ข. กำหนดค่างวดงานในการก่อสร้าง (Construction progress payment) โดยผู้ควบคุมงาน หรือตัวแทนส่วนเจ้าของโครงการ จะเป็นผู้ประมาณการตามแบบและแผนงานเพื่อกำหนดค่างวดงาน และสะดวกในการเบิกจ่ายค่างานในแต่ละงวดหรือในบางกรณีที่จะต้องคำนวณเพื่อหาปริมาณงานที่ทำได้จริง ซึ่งต้องทำการสำรวจหน้างานจริงและทำการประเมิณราคา เพื่อกำหนดค่างานที่จะจ่ายในงวดงานนั้น ๆ

ค. คิดค่างานเพิ่ม หรือลดจากสัญญาในงานก่อสร้าง (Chang order and extra work payment) ใช้สำหรับกรณีที่เจ้าของงานหรือตัวแทนกำหนดให้ผู้รับเหมาทำงานเพิ่มเติม จากที่กำหนดในแบบและข้อกำหนดประกอบสัญญาจ้าง ซึ่งจะต้องทำการประมาณการหาปริมาณงานจากแบบเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม โดยที่ราคาต่อหน่วยที่ใช้ในการคิดราคาอาจเป็นราคาที่แสดงอยู่ในใบเสนอราคา หรือราคาต่อหน่วยใหม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ระบุไว้ในสัญญาจ้าง

ง. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility study) การประมาณการในลักษณะนี้จะเป็นการประมาณราคาขั้นต้น โดยอาจมีแบบเพียงแบบร่างที่รับรองแล้ว ยังไม่จำเป็นต้องมีแบบรายละเอียด ทั้งนี้อาจโดยวิธีการคำนวณราคาต่อพื้นที่ใช้สอย (บาท/ตร.ม) หรือราคาต่อหน่วยการใช้ (บาท/ห้องพักโรงแรม) เป็นต้น ซึ่งยอมรับได้ในการนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ ก่อนจะลงมือดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

จ. จัดทำเอกสารเสนอราคาก่อสร้างในการประมูลงานของผู้รับเหมา (Bill of quantity for competitive bidding) การประมาณการจะต้องทำอย่างละเอียดและรอบคอบทั้งนี้หากผิดพลาดอาจทำให้ขาดทุนได้

**2.1.4 ผู้ประมาณการก่อสร้าง (Estimator)**

การประมาณราคาเพื่อจุดประสงค์ต่าง ๆ มีระดับของความละเอียดแตกต่างกัน ตามการใช้งานในขั้นตอนต่าง ๆ ของงานก่อสร้าง อีกทั้งผู้ที่จะทำหน้าที่เป็นผู้ประมาณการควรมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

- มีความรู้พื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ดี
- เข้าใจ และสามารถอ่านแบบก่อสร้างได้ดี
- รู้ และเข้าใจเทคนิคงานก่อสร้าง และรู้แหล่งที่จะหาข้อมูลเพิ่มเติมทางด้านวัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้
- ศึกษาสภาพแวดล้อมของที่ตั้งหน่วยงานก่อสร้างเป็นอย่างดี
- มีการเก็บสถิติข้อมูลด้านต้นทุนงานก่อสร้างไว้อย่างสม่ำเสมอ และปรับตัวเลขให้ทันสมัย

## 2.2 Genetic Algorithm (ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม)

งานวิจัยที่ประสบความสำเร็จกว่าคืองานวิจัยในปี 1965 เมื่อ Ingo Rechenberg นำเสนอเทคนิคที่เค้าเรียกว่ากลยุทธ์การวิวัฒนาการถึงแม้ว่ามันจะคล้ายกับขั้นตอนวิธีของนักปีนเขามากกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมก็ตาม โดยจะคล้ายคลึงกันแต่จะไม่มีการพลิตจำนวนประชากรออกมามาก ๆและไม่มีการไขว้เปลี่ยน (cross over) โดยที่รุ่นบรรพบุรุษจะทำการกลายพันธ์ (mutation) ออกมาหนึ่งตัวแล้วจากนั้นจะเลือกตัวที่ดีกว่านำไปเป็นบรรพบุรุษของการ การกลายพันธ์ (mutation) ครั้งต่อไปและมีการพัฒนาจนมีการนำวิธีคิดแบบจำนวนประชากรมาก ๆ นำมาใช้เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

หลักการออกแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะเป็นการปรับเปลี่ยนยีนของโครโมโซมนั้นไปสู่ยีนของโครโมโซมที่ดีกว่าเดิม โดยหลักการทำงานนั้นเริ่มต้นมักจะเป็นการสุ่มยีนแต่ละตัวออกมาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นในแต่ละรุ่นและจะทำการตรวจสอบค่าคุณภาพของโครโมโซมแต่ละตัวและทำการคัดเลือกตัวที่เหมาะสมออกมาโดยใช้ค่าความเหมาะสม (fitness) และทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) และการไขว้เปลี่ยน (cross over) ของโครโมโซมในโครโมโซมที่ได้เลือกออกมาโดยจะเป็นการสุ่มหลังจากที่เสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะนำพันธุกรรมที่ได้ไปวนเข้ากระบวนการ

เดิมต่อไปเพื่อให้ได้โครโมโซมที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดออกมา โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจำเป็นต้องมี

1. วิธีการแทนค่ายีนของผลลัพธ์ (genetic representation)
2. วิธีการหาความเหมาะสม (fitness function)

แบบอื่นๆตามรูปแบบของปัญหาที่ต้องการแก้ไขก็ได้เช่นกัน วิธีการหาความเหมาะสมนั้นจะใช้การแทนค่ายีนมาในการคำนวณเพื่อหาคุณภาพของยีนนั้น ๆ และนำคุณภาพของยีนไปหาความเหมาะสมในรุ่นนั้น ๆต่อไป

การกำหนดค่าเริ่มต้นโดยส่วนใหญ่จะทำการสุ่มค่าผลลัพธ์ของคำตอบ (ยีน) โดยจำนวนของยีนเริ่มต้นนั้นจะขึ้นกับปัญหาที่ต้องการแก้ไขว่าควรจะใช้จำนวนมากขนาดไหนแต่ตามปกติจำนวนจะประมาณหนึ่งร้อยไปจนถึงหนึ่งพันยีน และอาจจะทำการสุ่มโดยมีนัยสำคัญในการสุ่มเพื่อให้ค่าเข้าใกล้กับคำตอบได้แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหานั้น ๆ

การคัดเลือกระหว่างรุ่น ของยีนแต่ละรุ่นนั้นจะมีการคัดเลือดยีนที่มีความเหมาะสมมากกว่าไปยังยีนรุ่นต่อไปโดยทำอย่างนี้เพื่อให้สามารถเข้าใกล้คำตอบของปัญหาได้มากยิ่งขึ้นโดยการคัดเลือกนั้นจะใช้การคัดเลือกโดยการใช้ความเหมาะสม (fitness-base) โดยการใช้ค่าของคุณภาพของยีนแต่ละตัวนำไปหาค่าความเหมาสมได้จากกระบวนหาความเหมาะสม ( fitness-function) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามแต่ละปัญหา หรืออาจจะใช้การสุ่มเพื่อให้เข้าถึงคำตอบได้แต่อาจจะใช้เวลาที่นานมากเกินไป

การผลิตรุ่นถัดไป หลังจากการตัดเลือกยีนที่มีความเหมาะสมแล้วเราจะใช้ยีนเหล่านั้นในการสร้างยีนรุ่นถัดไป โดยจะใช้วิธีการทำให้เกิดการกลายพันธ์ (mutation) หรือการไขว้เปลี่ยน (cross over) โดยจะทำการคัดเลือกยีนออกมาเป็นคู่ๆแล้วทำวิธีดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะต้องได้ค่าเฉลี่ยของคุณภาพของยีนที่ดีขึ้นเนื่องจากได้ทำการคัดเลือกยีนที่มีคุณภาพดีจากรุ่นที่แล้วมาใช้นั้นเองจากการผลิตรุ่นถัดไปด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ยีนที่แตกต่างจากยีนเดิมและยังมีคุณภาพเฉลี่ยที่ดีขึ้นอีกด้วย วิธีการนำยีนสองตัวนั้นมาผลิตรุ่นถัดไปนั้นเป็นวิธีการเลียนแบบทางชีววิทยาแต่จากการวิจัยพบว่าถ้าใช้หลายๆยีนมาผลิตรุ่นถัดไปพบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบคู่อีกด้วย

การจบการทำงาน กระบวนการข้างต้นนี้จะวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงเงื่อนไขในการจบการทำงานโดยส่วนใหญ่จะเป็นดังนี้

- พบผลลัพธ์ที่อยู่ในเกณฑ์พอใจแล้ว
- ถึงรุ่นสุดท้ายที่ได้กำหนดไว้แล้ว
- ทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณหมดแล้ว

- พบคำตอบที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับสูงสุดแล้ว
- ตรวจสอบด้วยผู้ควบคุมเอง
- การนำเงื่อนไขต่าง ๆ ด้านบนต่าง ๆ มาประยุกต์รวมกัน

**รหัสเทียม**

1. เลือกค่าเริ่มต้นของประชากรแต่ละตัว
2. คำนวณค่าความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว
3. ทำการคำนวณซ้ำในรอบนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเลิกการทำงาน (ทรัพยากรหมด,ถึงค่าที่พอใจ, อื่น ๆ)
    1. เลือกยีนที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับที่ต้องการจากรุ่นปัจจุบัน
    2. ทำการผลิตรุ่นใหม่โดยใช้วิธีการกลายพันธ์หรือการไขว้เปลี่ยนกับยีนที่ได้เลือกมา
    3. คำนวณค่าความเหมาะสมของยีนที่จะเป็นรุ่นถัดไป
    4. แทนค่าของยีนรุ่นถัดไปกับรุ่นเดิม

**ขั้นตอนวิธีที่เกี่ยวข้อง**

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณโดยการวิวัฒนาการ และมีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นส่วนย่อย

ความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm intelligent) เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณโดยการวิวัฒนาการ จะเป็นการสังเกตจากสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตเป็นฝูงหรือกลุ่ม ตัวอย่างเช่น ระบบอาณาจักรมด (Ant colony system) ซึ่งได้รับการดลใจจากการหาอาหารของมด, หน้าที่ต่าง ๆ ของมัน โดยใช้สารเคมีในตัวมันที่ทิ้งไว้, การทำให้เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ซึ่งได้รับการดลใจจากการหาอาหารของฝูงนก หรือ ฝูงปลา

## 2.3 โมเดลปัญหาการวางแผนงาน

เทคนิคเบื้องต้นที่ใช้สำหรับการวางแผนโครงการงานก่อสร้างโดยทั่วไปอย่างแพร่หลาย คือ วิธีสายทางทางกิจกรรมวิกฤต (Critical Path Method : CPM) ที่มีเป้าหมายเพื่อจัดตารางเวลาการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างให้ได้ระยะเวลาโครงการสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยพิจารณาเงื่อนไขเฉพาะด้านความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (Activity dependency) เป็นหลัก ซึ่งมีมิติด้านเวลา วิธี CPM จึงเป็นหลักการวางแผนงานในขั้นเบื้องต้น และมีข้อด้อยที่ไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขที่สำคัญอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อแผนงาน โดยเฉพาะเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรโครงการประเภทต่าง ๆ ที่มีจำนวนจำกัด (Limited resources) ได้แก่ แรงงาน เครื่องจักร พื้นที่ทำงาน ต้นทุน วงเงินเครดิต

และเวลา ซึ่งหากนำเงื่อนไขด้านความจำกัดของทรัพยากรเหล่านี้เข้าไปรวมพิจารณาด้วยจะทำให้ได้แผนงานที่แตกต่างออกไปแต่มีความสมเหตุสมผลมากขึ้นจึงอาจเรียกการวางแผนลักษณะนี้ว่าการวางแผนขั้นสูง

เนื่องจากสภาพความจำกัดของทรัพยากรเหล่านี้เองเป็นตัวกำหนดขอบเขตความเป็นไปได้ของแผนงานก่อสร้างในลักษณะเดียวกับ Constraints ของโมเดลปัญหา Optimization ดังนั้นการวางแผนงานจึงสามารถถูกสร้างเป็นโมเดลปัญหาเพื่อทำการ Optimization ได้ การสร้างโมเดลและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Problems) ทำให้ได้คำตอบเป็นแผนงานที่เหมาะสมที่สุดในด้านต่าง ๆ ที่เป็นเป้าหมายหลักของโครงการก่อสร้าง ได้แก่ เวลา ต้นทุน และทรัพยากร หรือเป็นการกำหนดแผนการใช้เวลา ต้นทุนและทรัพยากรของโครงการ (ที่มีอยู่อย่างจำกัด) ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (ในทุกด้าน หรือบางด้านที่ต้องการ)

มีงานวิจัยที่ผ่านมาจำนวนมากที่มุ่งพัฒนาการวางแผนและควบคุมงานโครงการก่อสร้างด้วยการใช้เทคนิคการสร้างโมเดลปัญหาและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่เนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการก่อสร้างและเงื่อนไขเฉพาะจำนวนมากที่มีผลกระทบต่อเป้าหมายหลักของโครงการ ทำให้ความพยายามในการพัฒนาเทคนิคเหล่านี้ยังคงต้องดำเนินต่อไป เพื่อให้มีผลลัพธ์เป็นแผนงานก่อสร้างที่ดีที่สุดที่ทำให้เกิดผลประโยชน์กับทีมงานโครงการก่อสร้างอันจะนำไปสู่การพัฒนาของอุตสาหกรรมการก่อสร้างซึ่งงานวิจัยที่มีความน่าสนใจและเกี่ยวข้องจำนวนหนึ่งได้ถูกรวบรวมและทบทวนไว้ในที่นี้

โมเดลปัญหาการวางแผนโครงการสามารถแบ่งออกได้โดยทั่วไปเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ การแลกเปลี่ยนระหว่างเวลากับต้นทุน (Time-cost trade-off : TCT) การจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัด (Resource allocation) การปรับระดับสมดุลทรัพยากร (Resource levelling) และกระแสเงินสดกับวงเงินเครดิต (Cash flow with credit limit)

### 2.3.1 Optimization Model

โมเดลการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Model) คือหลักการจำลองปัญหาในโลกของความเป็นจริงใด ๆ ให้เป็นลักษณะฟังก์ชันหรือสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาวิธีในการแก้ปัญหาและหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (Optimization solutions) ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดนี้เป็นคำตอบหนึ่งในเซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solutions) ที่ถูกเลือกมาเนื่องจากเป็นคำตอบที่ทำให้ได้ค่าตามวัตถุประสงค์ดีที่สุด โดยทั่วไปแล้วในปัญหาหนึ่งจะมีวัตถุประสงค์ที่ถูกต้องไว้เป็นลักษณะฟังก์ชันอย่างที่ต้องการ (Objective Function) ซึ่งมักมุ่งให้ได้ค่าของฟังก์ชันนี้ที่น้อยที่สุด (Minimization problems) หรือมากที่สุด (Maximization problems) เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ใช้ในการประเมินคำตอบใด ๆ โดยตรง ดังนั้นจึงมักเรียกอีกอย่างว่าเป็นฟังก์ชันที่ใช้วัดประสิทธิภาพของ

คำตอบ (Performance measurement) เซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้จะถูกกำหดนขอบเขตโดยฟังก์ชันข้อจำกัด (Constraint Functions) เฉพาะคำตอบที่เป็นไปได้เท่านั้นที่จะถูกอนุญาตให้นำมาพิจารณาและประเมินค่าได้ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ในเซ็ตนี้

องค์ประกอบหลักของโมเดลปัญหา Optimization Model มีสามส่วนอันได้แก่ ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และฟังก์ชันข้อจำกัด (constraint function) ซึ่งทั้งสามองค์ประกอนี้มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ตัวแปรตัดสินใจ คือ ค่าตัวแปรในสมการต่าง ๆ ของโมเดลปัญหาที่ต้องการหาค่าเป็นคำตอบ ในโมเดลหนึ่งอาจมีตัวแปรในการตัดสินใจได้หลายตัวแปร ค่าของตัวแปรเหล่านี้ที่แก้สมการหาได้จากโมเดลจะใช้เป็นการตัดสินใจในเชิงปริมาณ ตัวอย่างเช่น จำนวนผลิตสินค้าลำดับของกิจกรรมก่อสร้างที่ควรดำเนินการ วันเริ่มของกิจกรรม เป็นต้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ สมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจ ใช้สำหรับตรวจประเมินระดับความสำเร็จของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ตัวอย่างเช่น สมการแสดงต้นทุนทั้งหมดของโครงการ หรือระยะเวลาของโครงการหากต้องการให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดเป็นวัตถุประสงค์ ค่าตัวแปรที่ทำให้ค่าต้นทุนยิ่งต่ำจะยิ่งเป็นคำตอบที่ดี และส่วนสุดท้าย ฟังก์ชันข้อจำกัดคือสมการหรืออสมการทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจเช่นกัน แต่ทำหน้าที่เป็นขอบเขตหรือข้อจำกัดให้กับเซ็ตของค่าตัวแปรตัดสินใจ ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่สอดคล้องกับฟังก์ชันข้อจำกัดจึงเรียกว่า คำตอบที่เป็นไปได้

ประเภทของ Optimization Model มีมากมายหลากหลาย แบ่งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และฟังก์ชันข้อจำกัด ซึ่งจะกล่าวถึงประเภทที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานก่อสร้างดังนี้

- Linear programming (LP) เป็นโมเดลที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรงและเซ็ตของฟังก์ชันข้อจำกัดก็เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรง ทั้งแบบสมการและอสมการ
- Nonlinear programming เป็นโมเดลที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ/หรือเซ็ตของฟังก์ชันข้อจำกัด บางส่วนไม่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นตรง มีความยากในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบกว่าแบบ linearity
- Stochastic programming เป็นโมเดลที่มีบางค่า parameters และ/หรือ ฟังก์ชันเชิงข้อจำกัดที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรแบบสุ่ม (random variables)
- Combinatorial programming เป็นโมเดลปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเซ็ตของคำตอบที่เป็นไปได้ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง (discrete feasible solutions)

นอกจากนี้โมเดลปัญหาอาจมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ประกอบด้วยฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งฟังก์ชันเรียกว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบหลายวัตถุประสงค์

(Multi-objective function) สำหรับบางปัญหาที่ต้องการบรรลุวัตถุประสงค์ที่หลากหลายพร้อมกัน เช่น โมเดลปัญหาการวางแผนโครงการก่อสร้างที่มีวัตถุประสงค์หลักในการบริหารเป็นด้านเวลาและต้นทุนของโครงการ โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ที่ประกอบกันนี้มักจะขัดแย้งกันเอง เช่น หากต้องการให้ได้เวลาโครงการที่น้อยลงมักจะได้ค่าต้นทุนโครงการสูงขึ้น (และในทางตรงกันข้าม) จึงต้องมีการแลกเปลี่ยน (trade off) ระหว่างวัตถุประสงค์เหล่านี้ คำตอบที่ดีที่สุดของโมเดลปัญหาที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบหลายวัตถุประสงค์อาจมีได้หลายคำตอบที่เป็นการประนีประนอมระหว่างวัตถุประสงค์ด้านต่าง ๆ คำตอบเหล่านี้เรียกว่า “a Pareto set” หรือ “Pareto front”

คำตอบที่ดีที่สุด (Pareto optimal) ของโมเดลปัญหาที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบหลายวัตถุประสงค์ คือ คำตอบใด ๆ ที่ไม่ถูกข่ม (dominated) โดยคำตอบอื่น ๆ เป็นคำตอบที่ต้องให้ค่าที่ดีกว่าคำตอบอื่น ๆ อย่างน้อยหนึ่งด้าน หากคำตอบใด ๆ แย่กว่าคำตอบอีกอันหนึ่งใด ๆ ในทุกด้านจะเรียกคำตอบนี้ว่า not Pareto optimal

**2.3.2 วิธีการหาคำตอบ**

วิธีการหาคำตอบคือ กระบวนการแก้ปัญหาของโมเดลที่สร้างขึ้นแล้วเพื่อกำหนดค่าคำตอบที่ดีที่สุด มีวิธีการหาคำตอบของโมเดลปัญหาได้หลากหลายวิธี ซึ่งทำให้ได้ทั้งคำตอบที่แท้จริง (Exact solutions) หรือ คำตอบที่ประมาณ (Approximate solutions) ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละโมเดลปัญหาอาจมีขนาดและความซับซ้อนต่าง ๆ กัน คำตอบที่แท้จริงเป็นคำตอบที่แน่ใจได้ว่าดีที่สุดของปัญหา บางครั้งอาจไม่สามารถหาได้หรือเป็นไปไม่ได้ (เนื่องจากมีจำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้จำนวนมากมายมหาศาลเกินกว่าจะนำมาประเมินได้ทุกคำตอบ) ดังนั้นคำตอบที่ประมาณก็เป็นคำตอบที่นำไปใช้สำหรับบางโมเดลปัญหา วิธีการหาคำตอบ ได้แก่ วิธีกราฟฟิค (Graphical method) วิธีซิมเพล็ค (simplex method) วิธีการค้นหาคำตอบด้วยอัลกอริธึม (Searching algorithm methods) ซึ่งมี algorithm จำนวนมากที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น

Project management software (PMS) หมายถึง โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีความสามารถในการช่วยงานบริหารโครงการด้านต่าง ๆ ที่หลากหลาย ได้แก่ การจัดตารางเวลางาน การควบคุมต้นทุน การจัดสรรทรัพยากร การสื่อสารประสานงานระหว่างทีมงาน การจัดการเอกสาร และการควบคุมคุณภาพ ซึ่งงานต่าง ๆ เหล่านี้เป็นภาระสำคัญในการบริหารโครงการ PMS มีอยู่มากมายจากหลายบริษัท แบ่งเป็นระดับความซับซ้อนต่าง ๆ และหลายระดับราคาขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งานหรือขนาดของโครงการที่ดำเนินการเนื่องจากโครงการก่อสร้างสามารถมีขนาดได้ต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดใหญ่มากไปจนถึงเล็ก บางบริษัทก่อสร้างอาจดำเนินงานโครงการหลายโครงการพร้อมกัน จึงมีความจำเป็นต้องบริหารทรัพยากรส่วนกลางที่ใช้ร่วมกันด้วย ซึ่งเป็นการจัดการที่ซับซ้อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดี การบริหารโครงการยังอาจต้องเชื่อมโยงกับการจัดการด้าน

การเงินและการบัญชี นอกจากนี้ยังต้องมีส่วนรวบรวมข้อมูลการดำเนินงานจริงเพื่อใช้ในการติดตามผลงานอย่างทันท่วงทีด้วย PMS จึงถูกออกแบบมาเพื่อช่วยงานด้านการบริหารโครงการต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งเป็นการจัดการกับข้อมูลจำนวนมากและการประมวลผลรายงานเพื่อการตัดสินใจที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ Microsoft Project, Primavera, และ Microsoft Excel with VBA

Microsoft Excel with VBA นอกจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่ออกแบบมาสำหรับการช่วยบริหารงานโครงการโดยเฉพาะแล้ว Microsoft Excel ก็เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้ด้วย Microsoft Excel เป็นโปรแกรมกระดานคำนวณ (spread sheets) ที่ใช้ในงานการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้หลากหลายและจำนวนมาก ๆ ได้ รวมทั้งยังสามารถแสดงผลเป็นตารางและกราฟแบบต่าง ๆ จึงเหมาะสำหรับการใช้บริหารโครงการขนาดเล็ก หรือการใช้เทคนิคขั้นสูงในการวางแผนงาน เนื่องจากโปรแกรมสำเร็จรูปไม่อาจตอบสนองการปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมในแบบใหม่อื่น ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ในขั้นสูงได้ ดังนั้นการนำ Excel มาใช้จึงเป็นในลักษณะปรับแต่งเอง (manual customization) จึงมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพดี เนื่องจาก Excel ได้รวมเอา Visual Basic for Application (VBA) ที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมขึ้นเองได้ โมเดลปัญหาการวางแผนงานจึงมักถูกสร้างบน Excel ที่มีโปรแกรมเพิ่มเติม VBA ที่ทำให้ได้การคำนวณที่ซับซ้อนตามต้องการ หรือ กำหนดชุดคำสั่งที่ทำให้มีการทำงานแบบอัตโนมัติตอบโต้กับผู้ใช้ได้ โดย VBA code ที่เขียนขึ้นจะประมวลผลและทำงานผ่านทาง Excel Object Model

**2.3.3 วิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ**

วิธีการแก้ปัญหาการวางแผนโครงการโมเดลปัญหาการวางแผนที่พิจารณาความจำกัดของทรัพยากร (Resource constrained project problem : RCPSP) ถือได้ว่า RCPSP เป็นปัญหาแบบ NP-hard problem (Leu and Yung 1999) ซึ่งหมายถึงว่า เป็นปัญหาที่ต้องใช้ความพยายามและเวลาอย่างมากในการคำนวณหาคำตอบ (NP มาจาก Nondeterministic polynomial time) เนื่องจากมีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible solution space) ทั้งหมดเป็นจำนวนมากมายมหาศาล วิธีในการหาคำตอบของ RCPSP มีอยู่หลายวิธี ซึ่งอาจแบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ Heuristic methods, Mathematical methods, Simulations และ Searching Algorithms (Feng et al. 2000)

Heuristic methods เป็นวิธีดั้งเดิมที่สามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลายรูปแบบด้วยการใช้กฎหรือขั้นตอนมาตรฐานที่เป็น Rules of thumb โดยไม่มีเหตุผลทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่เรียบง่าย ใช้เวลาไม่มากในการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบ Heuristic หรือ Analytical และเลือกกระทำกับเป้าหมายอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงเป้าหมายเดียว (Single objective function) ทั้งนี้เนื่องจากความจำกัดของความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการแบบ Heuristic ที่ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหา

ที่ซับซ้อนหรือที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งคำตอบที่ได้ก็อาจขึ้นอยู่กับตัวโจทย์ปัญหานั้น ๆ (Problem dependent) และไม่รับประกันว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solutions) (Leu and Yung 1999) ตัวอย่างของ Heuristic methods คือ Minimum Moment Algorithm ที่ใช้ในการปรับระดับสมดุลการใช้ทรัพยากรของแผนงาน

Mathematical methods เป็นการจัดรูปปัญหาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการแก้สมการและหาคำตอบที่ optimal ด้วย Linear programming, Non-linear programming, integer programming และ Dynamic programming mathematical methods เป็นวิธีที่มีประสิทธิผลกับปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก แต่ต้องใช้ความพยายามในการคำนวณหาคำตอบมาก

Simulations เป็นวิธีการหาคำตอบด้วยการสุ่มค่าพารามิเตอร์บางตัวของโมเดลปัญหา เช่น ระยะเวลา หรือต้นทุนของกิจกรรมและให้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดเลือกค่าพารามิเตอร์เหล่านี้แบบสุ่ม เพื่อนำมาคำนวณผลลัพธ์แผนงานตามที่ต้องการ คำตอบที่ได้จากวิธีนี้ก็ไม่รับประกันว่าเป็น optimal แต่เป็นประมาณหาคำตอบที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด

Searching Algorithms เป็นวิธีการสุ่มเลือกคำตอบใด ๆ จากคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible solutions) ขึ้นมาพิจารณาเปรียบเทียบว่าคำตอบใดดีกว่ากัน โดยจะมีการบังคับทิศทางการค้นหาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นเรื่อย ๆวิธีการหาคำตอบในกลุ่มนี้ได้แก่ Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithms, Swarm Particle, และ Neural Networks นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการหาคำตอบแบบ Searching Algorithms ยังสามารถใช้ได้ดีกับโมเดลปัญหาที่มีหลายเป้าหมาย (Multi-objective function) (Feng et al. 2000) เนื่องจากให้คำตอบที่เป็น Non-dominated solutions (leu and yang 1999) และกับโมเดลปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน Zhang et al. (2005) ยังเรียกวิธีการหาคำตอบกลุ่มนี้ว่า Metaheuristic methods การพัฒนาของวิธีการหาคำตอบในกลุ่มนี้ คือ ความพยายามลดเวลาที่ใช้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดี และการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบที่ได้โดยการหลีกเลี่ยงการติดอยู่ใน local optimal (Elbeltagi et al. 2005)

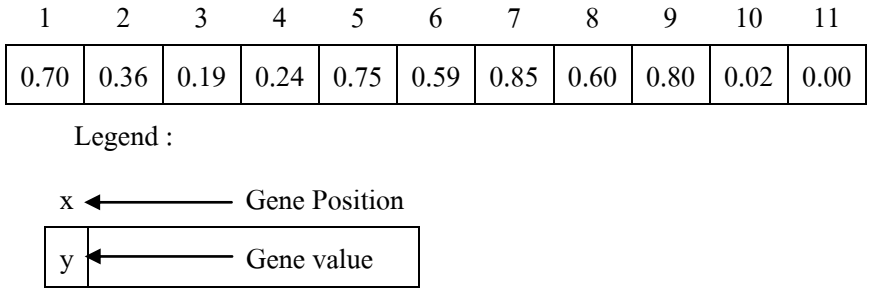
หากพิจารณาที่คำตอบที่ได้อาจแบ่งวิธีการหาคำตอบออกเป็นแบบ exact solution methods กับ approximate solution methods (Zhang et al. 2005) (Chassiakos and Sadellaropulos 2005) วิธีการแก้ปัญหาที่ให้คำตอบแบบ exact solution หรือคำตอบที่รับประกันว่าเป็น optimal solution ได้แก่ วิธี linear และ non-linear programming, integer programming และ constraint programming ส่วนวิธีแบบ approximate solution จะพยายามหาคำตอบที่ดีเท่าที่หาได้ ซึ่งในปัญหาที่มีขนาดใหญ่อาจได้คำตอบที่ไม่ใช่ optimal solution ได้แก่ วิธี Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithms, Swarm Particle, และ Neural Networks

ในความเป็นจริงแล้ว แผนงานของโครงการก่อสร้างหนึ่ง มักนำมาสร้างได้เป็นโมเดลปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบ Searching Algorithm ดูจะเป็นวิธีการที่เหมาะสม ทำให้สามารถสร้างโมเดลปัญหาที่ซับซ้อนใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยไม่ต้องใช้สมมติฐานเพื่อทำให้ง่าย (Simplification) การทบทวนวิธีการหาคำตอบในบทต่อไปนี้จึงได้เลือกเฉพาะวิธีที่มีศักยภาพเหมาะสำหรับโมเดลปัญหาที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่

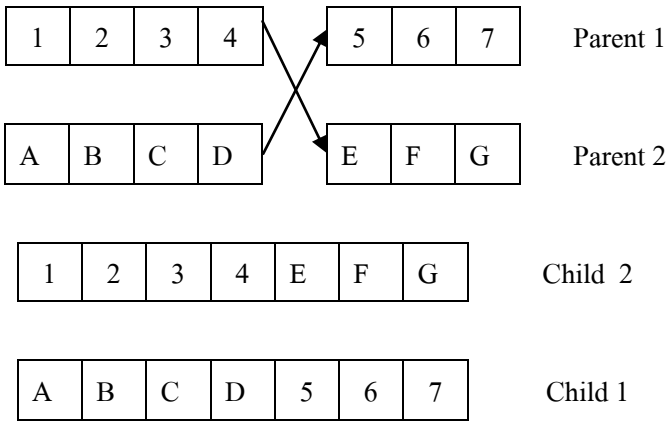
วิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบในกลุ่มประเภท Searching Algorithm ที่เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพสูงและที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันก็ยังช่วยสนับสนุนให้วิธีการแก้ปัญหาในกลุ่มประเภทนี้พัฒนาต่อไปได้อย่างรวดเร็ว รายละเอียดของแต่ละวิธีจะอธิบายถึงแนวคิดและหลักการการเข้ารหัสคำตอบ โดย Genetic Algorithms เป็นวิธีการหาคำตอบแบบที่ค้นหาสุ่มตามโอกาส (Stochastic search) ที่มีหลักการพื้นฐานได้มาจากการเลียนแบบพันธุกรรมและกระบวนการวิวัฒนาการ (Evolution) ของสิ่งมีชีวิต เริ่มแรก คำตอบที่เป็นไปได้จำนวนกลุ่มหนึ่งจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ “ประชากร” (Population) ของ “โครโมโซม” (Chromosomes) โดยในแต่ละโครโมโซมจะใช้แทนหนึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ โครโมโซมเหล่านี้จะผ่านเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการเป็นประชากรใน “รุ่น” (Generations) ถัด ๆ ไป โครโมโซมของรุ่นลูกได้จากผลของ “ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์” (Crossover operation) ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ และ “ปฏิบัติการกลายพันธุ์” (Mutation operation) ของยีนส์ใด ๆ ในโครโมโซมรุ่นลูกนั้น กระบวนการวิวัฒนาการนี้จะถูกด้วยหลักการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural selection) หรือ “Survival of the fittest”คือ การที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ใด ๆ ที่มี “ความแข็งแรง” (Fitness) มากกว่าก็ย่อมมีโอกาสมากกว่าที่จะให้กำเนิดรุ่นลูก ถ่ายทอดโครโมโซมที่ดีไปสู่รุ่นต่อไปในขณะที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ใดไม่แข็งแรงเท่าก็มีโอกาสจะสูญพันธุ์หายไปโดยไม่ได้ถ่ายทอดไปในรุ่นลูกอีก

การพิจารณาความแข็งแรงของโครโมโซมใด ๆ ในที่นี้หาได้จากการนำคำตอบที่เป็นโครโมโซมนั้นแทนค่าลงใน Objective function แล้วเปรียบเทียบค่าของ Objective function ที่ได้สุดท้ายจะได้ประชากรรุ่นสุดท้ายที่เป็นกลุ่มโครโมโซมที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาเท่าที่ค้นหาได้ ที่ใช้เป็น optimal หรือ near-optimal solutions ขั้นตอนที่สำคัญมากอันหนึ่งของ GAs คือ “การเข้ารหัส” (Encoding) ของโครโมโซมเนื่องจากโครโมโซมจะต้องเป็นตัวแทนของคำตอบที่เป็นไปได้ใด ๆอันหนึ่ง ลักษณะของโครโมโซมโดยทั่วไปจะใช้แสดงแทนด้วยสายของตัวอักษร (String of characters) ซึ่ง string นี้จะแสดงถึงคำตอบที่เป็นไปได้อันหนึ่งด้วยดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าในโครโมโซมจะประกอบไปด้วย ยีนส์ (Genes) ต่าง ๆ โดยมีค่าของยีนส์ (Genes value) และตำแหน่ง

ของยีนส์ (Genes position) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญและรูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ (Parent Chromosomes) คู่หนึ่งเพื่อให้ได้โครโมโซมรุ่นลูก (Offspring Chromosomes)




รูปที่ 2.2 สายของตัวอักษรที่ใช้แสดงแทนโครโมโซม (chan et al. 1996)




รูปที่ 2.3 ปฏิบัติการจับคู่แลกเปลี่ยนยีนส์ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่เพื่อให้ได้รุ่นลูก (chan et al. 1996)

เนื่องจาก GAs ใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีด้วยการเลียนแบบหลักการของการวิวัฒนาการ ดังนั้นสมมติฐานหลักของ GAs คือ โครโมโซมพ่อแม่ที่ย่อมทำให้เกิดโครโมโซมลูกที่ดีกว่าขึ้นได้ ซึ่งหากเป็นไปตามสมมติฐานก็จะทำให้การถ่ายทอดโครโมโซมต่อ ๆ กันเป็นรุ่นไม่สูญเปล่าแต่ได้คำตอบที่ดีขึ้นเรื่อย ๆ การค้นหาคำตอบด้วย GAs จึงจะมีประสิทธิภาพที่ดี ดังนั้นแสดงว่า Crossover operation จะต้องทำเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามในความเป็นจริง คำตอบที่ดีอยู่แล้วอาจโดนทำลายด้วย Crossover operation (chan et al. 1996)

“ปฏิบัติการ” ของ Gas ในระดับโครโมโซม คือ Crossover operation และ Mutation operation บางครั้งอาจทำให้เกิดโครโมโซมรุ่นลูกที่เป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ หรือเป็น illegal

schedules ได้เนื่องจากเช่น ให้กิจกรรมที่ซ้ำกัน หรือละเมิดเงื่อนไขด้านความสัมพันธ์ด้านเวลาระหว่างกิจกรรม หรือละเมิดข้อจำกัดด้านทรัพยากร ดังนั้นการนำวิธี GAs มาใช้ในการหาคำตอบของโมเดลปัญหาการวางแผนต้องมีส่วนที่จัดการหรือปรับปรุงแก้ไขกับคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เหล่านี้ที่อาจเกิดขึ้นได้ การที่ต้องจัดการกับ illegal schedules ที่เกิดขึ้นมีผลให้เพิ่มเวลาในการค้นหาคำตอบเป็นอย่างมาก

วิธีการเข้ารหัสโครโมโซมจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบเนื่องจากส่งผลให้มีเกิดโอกาสการเกิด illegal schedules ได้มากหรือน้อย (chan et al. 1996) ได้ชี้ว่ามีประเด็นที่ควรพิจารณาในการเข้ารหัสโครโมโซมให้เหมาะสมอยู่สามประการ คือ การกำหนดตัวแปรตัดสินใจของโมเดล (Decision varibles), การเข้ารหัสค่าตำแหน่งของยีนส์ (Genes positions) และการเข้ารหัสค่าของยีนส์ (Genes values) สำหรับโมเดลปัญหาการวางแผนงาน โครโมโซมที่เป็นสายตัวอักแสดงแทนค่าคำตอบหนึ่งที่เป็นไปได้ของแผนงานมักมีการเข้ารหัสเป็นดังนี้

1. ค่าตำแหน่งของยีนส์ใช้แทนกิจกรรมที่ 1 ของโครงการ ดังนั้น โครโมโซมจึงมีจำนวนยีนส์เท่ากับจำนวนกิจกรรมทั้งหมดของโครงการ
2. ตัวแปรตัดสินใจของโมเดลปัญหาแต่ละรูปแบบมีความแตกต่างกัน เนื่องจากโมเดลปัญหาการวางแผนมีหลายรูปแบบ เช่น TCT, Resource allocation, Resource levelling และ Cash flow management
3. ค่ายีนส์ ที่ใช้มักขึ้นอยู่กับตัวแปรตัดสินใจของโมเดลนั้น ๆ ทำให้ค่าของยีนส์ที่ใช้แตกต่างกันไป เช่น TCT มักมีตัวแปรตัดสินใจเป็น “ทางเลือก” ของการดำเนินการของกิจกรรมค่าของยีนส์จึงใช้แทน ทางเลือกที่ j ของแต่ละกิจกรรมที่ i, Resource levelling เป็นการจัดเรียงลำดับกิจกรรม จึงมักมีตัวแปรตัดสินใจเป็น “ความสำคัญ” (Priority) ของกิจกรรมที่ i ในการได้รับจัดสรรทรัพยากรก่อน (Chan et al. 1996) (Zhang et al. 2006b)

การจัดการกับ illegal schedules มีหลากหลายวิธี วิธีหนึ่งที่ได้ผลดีถูกเสนอโดย (Bean 1994) ด้วยการใช้ Random number ในการเข้ารหัสค่าของยีนส์แล้วใช้การเปรียบเทียบค่าแบบ relative values แทนการใช้ค่าของยีนส์นั้น ๆ โดยตรง ซึ่งทำให้โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้หลักจากปฏิบัติการทางพันธุกรรม ยังคงเป็นคำตอบที่เป็นไปได้

อีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญของวิธีการหาคำตอบแบบ GAs คือ การ mapping ลำดับของกิจกรรมเป็นสายของโครโมโซม (Activity-to-gene mapping) เนื่องจากโครโมโซมมีลักษณะเป็นสายของตัวอักษรแบบสายเดียว 1 มิติ (linear string of genes) ในขณะที่เน็ตเวิร์คของกิจกรรมก่อสร้างมีลักษณะเป็นโครงสร้างความสัมพันธ์ 2 มิติ การเข้ารหัสแผนงานเป็นโครโมโซมจึงเป็น

การแปลงที่ทำให้โครงสร้างของเน็ตเวิร์คหายไป การกระทำแบบนี้เรียกว่า Topological sorting ซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ (Chan et al. 1996) ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี topological sorting และ linear sorting ในการทำ Activity-to-gene mapping พบว่าการใช้วิธี topological sorting ให้ผลที่ดีกว่าโดยสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วกว่า

ตัวอย่างการเข้ารหัสโครโมโซมของงานวิจัยต่าง ๆ ที่น่าสนใจมีดังนี้ Chan et al. (1996) สร้างโมเดลปัญหาแบบ Resource-constrained scheduling โดยใช้ค่าตำแหน่งของยีนส์แทนกิจกรรมที่ i และใช้ค่าของยีนส์แทน ค่าความสำคัญ (priority) ของการจัดสรรทรัพยากร และยังใช้ค่าของยีนส์แทนสัดส่วนระยะเวลาเลื่อนของเวลาเริ่มของกิจกรรมด้วย งานของ Feng et al. (2000) สร้างโมเดลปัญหาแบบ TCT ใช้ค่าตำแหน่งของยีนส์แทนกิจกรรมที่ และใช้ค่าของยีนส์แทน “ทางเลือก” ของการดำเนินกิจกรรม งานของ Lue and Yang (1999) แบ่งโมเดลออกเป็นสองเฟส ทั้งสองเฟสใช้ค่าตำแหน่งของยีนส์แทนกิจกรรมที่ i โดยที่เฟสแรกเป็นโมเดลปัญหาแบบ TCT และ Resource allocation ใช้ค่าของยีนส์เป็นวันเริ่มของกิจกรรมที่ i พบว่าการเข้ารหัสโครโมโซมของโมเดลของ Lue and Yang (1999) ทำให้เกิด illegal schedules ได้ง่าย ลักษณะการแบ่งโมเดลปัญหาออกเป็นสองเฟสนี้พบได้อีกครั้งในงานของ Chen and Weng (2009)

Elazouni and Metwally (2005) ได้เสนอวิธีการปรับปรุงปฏิบัติการของ GAs โดยโมเดลของพวกเขาได้เข้ารหัสโครโมโซมด้วยค่าเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ดังนั้นแต่ละโครโมโซมจะแทนแผนงานที่เป็นไปได้หนึ่งแผนงาน ปฏิบัติการ Crossover และ Mutation แบบดั้งเดิม นั้นไม่ได้คำนึงถึงการรักษาเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ จึงทำให้โครโมโซมผลลัพธ์ที่ได้บางอันกลายเป็นแผนงานที่ไม่ถูกต้อง (illegal schedules) ปฏิบัติการ Crossover แบบปรับปรุงที่เสนอมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากหากลุ่มกิจกรรมที่เป็นลำดับแรก หรือกิจกรรมที่ไม่มี predecessors
2. สุ่มเลือกกิจกรรมจากขั้นตอนที่หนึ่งมาหนึ่งกิจกรรม สมมติเป็นกิจกรรม A
3. สุ่มกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรม A ที่ได้ในขั้นตอนที่สอง โดยให้เป็นค่าเวลาเริ่มภายในขอบเขตที่เป็นไปได้คือ ภายในระยะเวลาเลื่อน (float) ของกิจกรรม A
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 กับกิจกรรมลำดับแรกตัวอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมด
5. หากิจกรรมที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมลำดับแรกเหล่านี้ทั้งหมด หรือกล่าวคือหากิจกรรมทั้งหมดที่มี predecessors เป็นกิจกรรมลำดับแรกเหล่านี้ เรียกว่ากลุ่มกิจกรรมลำดับที่สอง
6. สุ่มเลือกกิจกรรมจากขั้นตอนที่ 5 มาหนึ่งกิจกรรม สมมติเป็นกิจกรรม F
7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 – 6 จนกระทั่งครบทุกกิจกรรม

ปฏิบัติการ Mutation แบบปรับปรุงที่เสนอมีขั้นตอน ดังนี้

1. สุ่มเลือกยีนส์ของโครโมโซม ค่าของยีนส์ที่ได้เป็นค่าเวลาเริ่มของกิจกรรมนั้น
2. สุ่มกำหนดเวลาเริ่มใหม่ โดยให้อยู่ภายใต้ขอบเขตของค่าที่เป็นไปได้ คือ ระหว่างเวลาเสร็จที่มากที่สุด ของ predecessors ของกิจกรรมนี้ กับระยะเวลาเลื่อน (float) ของกิจกรรมนี้
3. ทำขั้นตอนปฏิบัติการ Crossover แบบปรับปรุง เพื่อกำหนดเวลาเริ่มของ successors ของกิจกรรมนี้

จะเห็นได้ว่าปฏิบัติการของ GAs แบบปรับปรุงที่เสนอโดย Elazouni and Metwally (2005) นี้มีหลักการที่กำหนดให้มีการสุ่มเลือกค่าทุกครั้งต้องอยู่ภายในขอบเขตที่จะทำให้ได้แผนงานที่ถูกต้องเท่านั้น จึงทำให้โครโมโซมในรุ่นต่อ ๆ มาหรือรุ่นที่เป็นคำตอบสุดท้ายเป็นแผนงานที่เป็นไปได้เสมอ พวกเขายังอ้างว่าปฏิบัติการแบบที่ปรับปรุงนี้สามารถทำให้ระยะเวลาการค้นหาคำตอบสั้นลงด้วย

Pseudo code สำหรับ GAs (Elbeltagi et al. 2005)

```
Begin ;
    Generate random population of P solutions (chromosomes);
    For each individual i∈P: calculate fitness (i);
    For i=1 to number of generations;
        Randomly select and operation (crossover or mutation);
        If crossover;
            Select two parents at random i_a and i_b;
            Generate on offspring i_c ∈ crossover (i_a and i_b);
        Else of mutation;
            Select one chromosome i at random;
            Generate on offspring i_c ∈ crossover (i);
        End if;
        Calculate the fitness of the offspring i_c;
        If i_c is better than the worst chromosome then: replace the worst
        chromosome by i_c;
    Next i;
    Check if termination = true;
End;
```

### 2.3.4 โมเดลปัญหาการวางแผนที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์

**1. แนวคิดและหลักการ**

องค์ประกอบโดยทั่วไปของโมเดลปัญหา Resource-constrained project cheduling problem (RCPSP) จะมีตัวแปรตัดสินใจเป็นกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรม (activities' start times) และมีฟังก์ชั่นข้อจำกัดเป็นเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (dependence relationship) ที่ต้องการรักษาไว้อย่างเคร่งครัด ดังนั้นแนวทางของ การค้นหาคำตอบจึงเป็นการเลื่อนเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระยะเวลา โฟลทของตนเองที่มีอยู่เท่านั้นเพื่อลดการแย่งชิงทรัพย์ยากรกันเอง ซึ่งหมายถึง ควรเลื่อนกิจกรรมที่ไม่วิกฤตก่อน แล้วจึงเลื่อนกิจกรรมที่วิกฤตให้น้อยที่สุด คำตอบของปัญหาจึงเป็นกำหนดวันดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรทุกประเภทไม่เกินกว่าจำนวนขีดจำกัดที่มีอยู่ และเพื่อให้ได้ค่าของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดซึ่งกำหนดให้เป็นการหาระยะเวลาโครงการ (makespan) ที่สั้นที่สุด

โมเดลปัญหาที่เกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กันกับโมเดลปัญหา RCPSP คือ โมเดลปัญหาการปรับระดับสมดุลการใช้ทรัพยากร (Resource leveling) เป็นปัญหาที่มีเป้าประสงค์ในการกำหนดหาวันดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมความต้องการ ในทรัพยากรต่าง ๆในแต่ละหน่วยเวลาใดๆมีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาโครงการ ภายในระยะเวลาของโครงการที่กำหนด และยังคงต้องรักษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (dependence relationships) โดยต้องมีสมมติฐานที่ให้ความยืดหยุ่นในข้อจำกัดของจำนวนทรัพยากร (หรือกำหนดให้มีจำนวนไม่จำกัด) เมื่อผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรต่าง ๆในแต่ละหน่วยเวลาใดๆมีความผันผวนน้อยและเข้าใกล้ค่าเฉลี่ย จะทำให้ทรัพยากรโครงการที่ต้องจัดหาไว้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้และต้นทุนโครงการลดลงในที่สุด แนวทางการหาคำตอบที่ทำได้คือการเลื่อนกำหนดเริ่มดำเนินการของกิจกรรมต่าง ๆที่ทำให้ผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทมีค่าที่คงที่ ที่สุด (Leu et al.2000)

จะเห็นได้ว่าแผนงานผลลัพธ์ที่ได้ของโมเดลปัญหาเหล่านี้จะถูกจำกัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ จึงทำให้แผนงานผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ใช่แผนงานที่ดีตามต้องการทั้งนี้เงื่อนไขความสัมพันธ์เหล่านี้อาจถูกกำหนดขึ้นตามความจำเป็นหรือตามนโยบายของผู้วางแผน ในทางปฏิบัติสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม จากตัวอย่างนี้ได้เสนอแนวคิดในการสร้างโมเดลปัญหาการวางแผน RCPSP ที่สามารถพิจารณาชนิดของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมได้ เพื่อให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น รวมทั้งการทดสอบโมเดลที่สร้างขึ้นและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม โดยทั่วไปกิจกรรมก่อสร้างไม่สามารถเริ่มดำเนินการหรือแล้วเสร็จได้ตามอิสระแต่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมอื่นๆที่กิจกรรมนั้นไปมีความสัมพันธ์ด้วยทั้งนี้เนื่องมาจากข้อจำกัด (constrains) ของกิจกรรม ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมสามารถแบ่งออกได้หลายรูปแบบ ได้แก่ Finish-to-Start (FS) Start-to-Start (SS) Fiish-toFinish (FF) นองจากนี้ความสัมพันธ์รูปแบบต่าง ๆเหล่านี้ยังสามารถมีการซ้อนเหลื่อมของเวลาหรือการตามหลังเวลาได้อีก ด้วยการกำหนดเวลาที่ซ้อนเหลื่อมกันที่เรียกว่า lead time ซึ่งจะใช้เป็นค่าติดลบ หรือการกำหนดช่วงเวลาที่ตามหลังที่เรียกว่า lag time ซึ่งจะใช้ค่าตัวเลขบวก แต่อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติแล้วความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมใดๆ สามารถแบ่งระดับความจำเป็นออกได้เป็น 2 ระดับ (Hinze 2008) คือ

- ความสัมพันธ์ที่จำเป็น (logically required relationships) เป็นความสัมพันธ์อันเนาองมาจากข้อจำกัดทางกายภาพของกระบวนการก่อสร้าง ที่ทำให้บางกิจกรรมต้องถูกดำเนินไปตามลำดับโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น กิจกรรมผูกเหล็ก “จำเป็นต้องมาก่อนกิจกรรมเทคอนกรีต”
- ความสัมพันธ์ที่ปรารถนา (prefereed relationships) เป็นความสัมพันธ์เชิงนโยบายที่กำหนดลำดับการดำเนินการกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อช่วยเอื้อประโยชน์ในการบริหารจัดการด้านต่าง ๆได้แก่ ด้านความปลอดภัย ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านข้อสัญญา ด้านการเงิน และด้านทรัพยากร ตัวอย่างเช่น กิจกรรมตกแต่งภายใน “ปรารถนาให้” มาก่อนกิจกรรมปรับปรุงบริเวณ

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่าง ๆเหล่านี้สามารถมีผลโดยตรงต่อกำหนดการเริ่มหรือเสร็จของกิจกรรมต่าง ๆที่จะส่งผลต่อไปยังระดับความต้องการใช้ทรัพยากรในแต่ละวัน ในการวางแผนงานจึงควรกำหนดให้มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เนื่องจากการมีความสัมพันธ์มากเกินไปจะทำให้เกิดข้อจำกัดในการจัดตารางเวลาและไม่ยืดหยุ่น และกำหนดให้มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างความสัมพันธ์ทั้งสองระดับ เพื่อให่เงื่อนไขความสัมพันธ์สามารถถูกทบทวนและปรับแก้ได้ตามความเหมาะสม การพิจารณาทบทวนรูปแบบความสัมพันธ์หรือการสร้างทางเลือกของรูปแบบความสัมพันธ์ จะช่วยให้การวางแผนงานโครงการมีความยืดหยุ่นขึ้นจึงช่วยเพิ่มโอกาสให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นจากโมเดลปัญหาได้ อย่างไรก็มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่สร้างโมเดลปัญหาการวางแผนโดยพิจารณาผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่หลากหลาย

โมเดลปัญหา RCPSP ที่ถูกพัฒนาขึ้นในการวิจัยต่าง ๆโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้โครงการตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโมเดล ประกอบด้วยกิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Finish-to-Start (FS) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ทั้งที่ในการปฏิบัติ การวางแผนโครงการอาจกำหนดให้

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมหลากหลายแบบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาโครงการและระดับการจัดสรรทรัพยากร ซึ่งอาจทำให้ได้แผนงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและสอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามจะพบว่าโมเดลปัญหาการวางแผนของงานวิจัยที่ผ่านมาหรือซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ไม่มีความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจหรือทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ให้เหมาะสม และภาระการพิจารณานี่จึงต้องตกอยู่กับผู้วางแผนเอง (Hendrickson and Au 1989) ดังนั้นจากโมเดลตัวอย่างนี้จึงเสนอการสร้างปัญหาการวางแผน RCPSP ที่สามารถพิจารณาความเหมาะสมของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดขึ้น โดยนำเข้าไปเป็นองค์ประกอบหลักของโมเดล คือเป็นตัวแปลตัดสินใจ

**2. สมการของโมเดลปัญหา**

ส่วนประกอบหลักของโมเดลปัญหา RCPSP ด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective functions ) ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint functions) ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบหลักของโมเดลที่สร้างขึ้นมีดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรม (Activity's start time) และกลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ (Relationship options) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงาน มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดเสมือนกับเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆเป็นลำดับภายในระยะเวลาโฟลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ การคำนวณ CPM จำทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมด และการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังทำให้ได้ระดับการจัดสรรทรัพยากรอีกด้วย

Decision variables 1: $S_i$ = เวลาเลื่อน ( Shifting time ) ของกิจกรรมที่ i

$$ST_i = ES_i + S_i \qquad (2.1)$$

โดยที่ให้ $ST_i$ = เวลาเริ่ม ( Start time ) ของกิจกรรมที่ i

$S_i$ = เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ส่วนตัวแปรตัดสินใจกลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์นั้น เป็นการกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอันสามารถมีทางเลือกต่าง ๆกันได้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง

กิจกรรม X และ Y ใดๆมีทางเลือกปีน FS หรือ SS ก็ได้ ซึ่งผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ถูกเลือกจะนำไปใช้ในการคำนวณ CPM ต่อไป ตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าแบบ Binary โดยหากทางเลือกใดมีค่าเป็น 1 แสดงว่าได้ถูกเลือกใช้และค่าที่เป็น 0 คือการไม่ถูกเลือก

Decision variables 2: $X_{ihj}$ = ตัวแปร binary ที่ใช้เลือกทางเลือกที่ j ของรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม i และ predecessor ของ i ตัวที่ h

โดยที่ให้ $\sum_j X_{ihj} = 1; \ \forall i$

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ กำหนดให้เป็นแบบ Multi-objective โดยปรับปรุงจาก ( EI-Rayes and Jun 2009 ) และ ( Hegazy 1999 )

Objective function :

$$\text{Minimize } ( w_1 M_x + w_2 MRD + w_3 RRH + w_4 RID ) \qquad (2.2)$$

โดยที่ $w_1$, $w_2$, $w_3$ และ $w_4$ คือค่าถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อยและเพื่อการปรับขนาดสเกลของตัวเลข ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 0.01, 1, 1 , และ 1 ตามลำดับ

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด แบ่งออกเป็นกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์รูปแบบต่าง ๆและกลุ่มเงื่อนไขทั่วไป ดังนี้

Subject to 1 : กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์

FS: $$ST_i \geq FT_h; \ \forall h \qquad (2.3)$$

SS: $$ST_i \geq ST_h; \ \forall h \qquad (2.4)$$

FF: $$FT_i \geq FT_h; \ \forall h \qquad (2.5)$$

Subject to 2 : กลุ่มเงื่อนไขทั่วไป

$$\text{Max}(FT_i) \leq T \qquad (2.6)$$

$$FT_i \geq ST_i + D_i \qquad (2.7)$$

โดยที่ $ST_i$ เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i ที่ปรับเลื่อนแล้ว

$FT_i$ เวลาแล้วเสร็จของกิจกรรม i

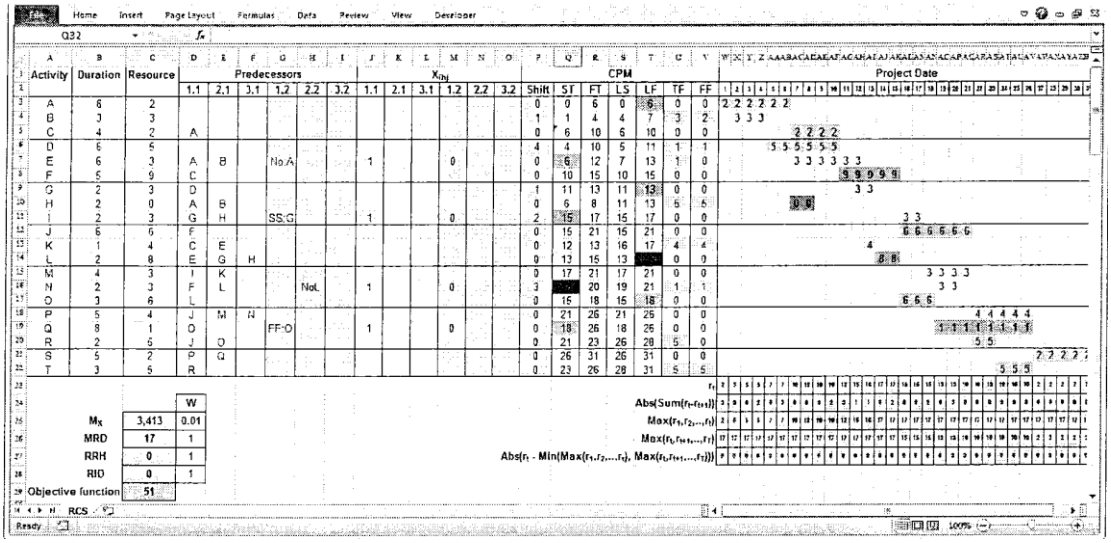
h กิจกรรม predecessors ของกิจกรรมที่ i

T ระยะเวลาของโครงการที่กำหนด

$D_i$ ระยะเวลาของกิจกรรมที่ i

**การสร้างโมเดลด้วย Spread sheet**

โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel™ ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปประเภท Spread sheet ที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยตัวโมเดลปัญหาจะถูกบันทึกเป็นไฟล์หนึ่งไฟล์ ที่ประกอบด้วยแผ่นงาน (sheet) แผ่นเดียวที่ใช้ป้อนบันทึกสูตรของสมการต่าง ๆ ทั้งหมดของโมเดล และจัดวางอย่างเป็นระเบียบเพื่อความสะดวกในการป้อนข้อมูลนำเข้า (input) และแสดงข้อมูลผลลัพธ์ (output) ให้เข้าใจได้ง่ายแผ่นคำนวณที่ใช้พื้นที่เป็นตัวโมเดลทั้งหมดแสดงในรูป



รูปที่ 2.4 โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม Microsoft Exel

ส่วนประกอบของโมเดลบน Microsoft Excel แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ข้อมูลนำเข้า ตัวแปรตัดสินใจ การคำนวณค่าเวลา การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลนำเข้า

ส่วนข้อมูลนำเข้า คือ พื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการก่อสร้างที่ต้องการหาคำตอบ ข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ รายชื่อกิจกรรม ระยะเวลา

กิจกรรม จำนวนทรัพยากรที่ใช้ต่อวัน และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนงานโครงการก่อสร้าง

จำนวนกิจกรรมของแต่ละโครงการที่แตกต่างกันไปเป็นตัวกำหนดขนาดของโมเดลปัญหา หากมีจำนวนกิจกรรมมากจะทำให้โมเดลปัญหามีขนาดใหญ่ ซึ่งรายชื่อกิจกรรมเหล่านี้มาจากการแบ่งแยกย่อยทำโครงสร้างกระจายงานย่อย (WBS)

ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรมเป็นตัวเลขที่ได้จากการประมาณให้เหมาะสมตามปริมาณเนื้องานและสภาพที่หน้างาน ซึ่งโมเดลที่สร้างขึ้นนี้มีการพิจารณาระยะเวลากิจกรรมเหล่านี้แบบเป็นค่าที่รู้ได้แน่นอน (deterministic values) ที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลหลักสำหรับการวางแผน

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | B | 3 | 3 | | | | | | |
| 5 | C | 4 | 2 | A | | | | | |
| 6 | D | 6 | 5 | | | | | | |
| 7 | E | 6 | 3 | A | B | | No.A | | |
| 8 | F | 5 | 9 | C | | | | | |
| 9 | G | 2 | 3 | D | | | | | |
| 10 | H | 2 | 0 | A | B | | | | |
| 11 | I | 2 | 3 | G | H | | SS:G | | |
| 12 | J | 6 | 6 | F | | | | | |
| 13 | K | 1 | 4 | C | E | | | | |
| 14 | L | 2 | 8 | E | G | H | | | |
| 15 | M | 4 | 3 | I | K | | | | |
| 16 | N | 2 | 3 | F | L | | NoL | | |
| 17 | O | 3 | 6 | L | | | | | |
| 18 | P | 5 | 4 | J | M | N | | | |
| 19 | Q | 8 | 1 | O | | | FF:O | | |
| 20 | R | 2 | 5 | J | O | | | | |
| 21 | S | 6 | 2 | P | Q | | | | |
| 22 | T | 3 | 5 | R | | | | | |

รูปที่ 2.5 ส่วนข้อมูลนำเข้า

จำนวนทรัพยากรที่ใช้ต่อวันเป็นตัวเลขที่ได้จากการกำหนดขึ้นเช่นกัน ให้เหมาะสมตามปริมาณเนื้องานและสภาพที่หน้างาน โดยระยะเวลาและจำนวนทรัพยากรที่ใช้จะต้องถูกกำหนดให้มีความสอดคล้องกันในแต่ละกิจกรรม

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเป็นข้อมูลที่แสดงแทนด้วย Predecessor(s) ของแต่ละกิจกรรมที่อาจมีจำนวน Predecessor(s) ได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงสามกิจกรรม โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับ Predecessorกำหนดให้มีค่าตั้งต้นเป็นแบบ Finish-to-Start (FS) นอกจากนี้

เนื่องจากเป้าหมายของการสร้างโมเดลปัญหานี้เพื่อให้สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมได้ จึงกำหนดให้กิจกรรมใด ๆ สามารถมีทางเลือกของความสัมพันธ์ได้ไม่เกินสองทางเลือก ตัวอย่างดังแสดงในรูปข้างบน กิจกรรม C มี ความสัมพันธ์กับกิจกรรมเดียว คือ มี Predecessor เป็นกิจกรรม A และมีทางเลือกของความสัมพันธ์นี้เพียงทางเลือกเดียว (แสดงในคอลัมน์1.1) คือความสัมพันธ์กับกิจกรรม A ในรูปแบบ FS

ในขณะที่ กิจกรรม E มีความสัมพันธ์กับสองกิจกรรม คือ มี Predecessor เป็นกิจกรรม A และ Bโดยที่ความสัมพันธ์กับกิจกรรม A มีทางเลือกของความสัมพันธ์สองทางเลือก (แสดงในคอลัมน์1.1 และ 1.2 ) คือ ทางเลือกความสัมพันธ์กับกิจกรรม A ในรูปแบบ FS หรือ ทางเลือกไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรม A (เขียนแทนด้วย No:A)

ทางเลือกความสัมพันธ์ใด ๆ อาจมีรูปแบบเป็น

FS หมายถึง Finish-to-Start ที่เป็นค่าตั้งต้น,

SS หมายถึง Start-to-Start,

FF หมายถึง Finish-to-Finish, หรือ

No หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์

ดังนั้น ผู้วางแผนสามารถกำหนดทางเลือกของความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ตามที่เป็นไปได้จริง จากนั้นโมเดลนี้จะหาทางเลือกของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นคำตอบ โดยที่แต่ละคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรมไม่จำเป็นต้องมีทางเลือกเสมอไป อย่างไรก็ตามโมเดลที่สร้างขึ้นนี้จำกัดให้สามารถป้อนจำนวน predecessors ได้สูงสุดสามกิจกรรมและในแต่ละคู่ความสัมพันธ์สามารถมีทางเลือกได้ไม่เกินสองทางเลือก ทั้งนี้เพื่อให้ขนาดของโมเดลปัญหาที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสม ซึ่งข้อจำกัดนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ ตามขนาดของโจทย์ปัญหา

2. ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจ ของโมเดลนี้ถูกกำหนดให้ประกอบด้วย 2 กลุ่มคือ กลุ่มตัวแปรเวลาเลื่อน (Shifting time) ของกิจกรรมใด ๆ (คอลัมน์ Shift ดังแสดงในรูปข้างล่าง) มีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ ซึ่งจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้ปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเวลาโฟลทที่กิจกรรมนั้นมีอยู่ โดยที่เวลาเริ่มของกิจกรรมยังจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดด้วย

| J | K | L | M | N | O | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $x_{ihj}$ | | | |
| 1.1 | 2.1 | 3.1 | 1.2 | 2.2 | 3.2 | Shift |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 1 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 4 |
| 1 | | | 0 | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 1 |
| | | | | | | 0 |
| 1 | | | 0 | | | 2 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| 1 | | | 0 | | | 3 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| 1 | | | 0 | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |
| | | | | | | 0 |

รูปที่ 2.6 ส่วนตัวแปรตัดสินใจ

กลุ่มตัวแปรการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ (Relationship options) ตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าแบบ Binary (คอลัมน์ $x_{ihj}$ ดังแสดงในรูปข้างบน) โดยหากทางเลือกใดมีค่าเป็น 1 แสดงว่าได้ถูกเลือกใช้ และค่าที่เป็น 0 คือการไม่ถูกเลือก ตัวอักษรห้อยแต่ละตัว หมายถึง ทางเลือกของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ j ระหว่างกิจกรรมที่ i และ predecessor ของ i ตัวที่ h

มิติของตัวแปรกลุ่มนี้จะต้องสัมพันธ์กับส่วนข้อมูลนำเข้า ดังเช่นในตัวอย่างกำหนดให้กิจกรรม E, I, N, และ Q มีทางเลือกของความสัมพันธ์ ค่า $x_{ihj}$ ของกิจกรรมเหล่านี้จึงถูกกำหนดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน คำตอบที่แสดงการเลือกทางเลือกของความสัมพันธ์ทางเลือกใดแสดงว่าทางเลือกนั้นเป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับแผนงานโครงการ

3. การคำนวณค่าเวลา

ส่วนการคำนวณค่าเวลาแบ่งเป็นส่วนแสดงค่าเวลาที่สำคัญของกิจกรรม 6 ค่า ได้แก่ ST, FT, LS, LF, TF และ FF และส่วนแสดงบาร์ชาร์ท การคำนวณค่าเวลาของกิจกรรมเป็นพื้นฐานของการทำแผนงานโครงการก่อสร้าง ด้วยการใช้วิธีคำนวณแบบ CPM (Critical Path Method) ส่วนการคำนวณค่าเวลานี้จะเป็นการแสดงผลการคำนวณที่อ้างอิงจากข้อมูลนำเข้าและชุดคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นค่าเวลาของกิจกรรมที่ต้องคำนวณเหล่านี้จะมีการปรับแต่งสูตรให้สะท้อนค่าเวลาเลื่อน (Shifting time) และการเลือกทางเลือกของความสัมพันธ์ ($x_{ihj}$) ด้วย

จากสมการเงื่อนไขความสัมพันธ์เชิงเวลาในสมการที่ 2.3 ถึง 2.7 จะสามารถสร้างเป็นสูตรคำนวณใน Spread sheet แบ่งเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. กรณี FS และไม่มีทางเลือก :

$$ST_j = Max(FT_h) + S_i \; ; \; \forall \, h \qquad (2.8)$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม L มี Predecessors เป็นกิจกรรม E, G, H จะได้

$$ST_L = Min(FT_E, FT_G, FT_H) + S_L$$

และกิจกรรม L มี Predecessors เป็นกิจกรรม N, O จะได้

$$LF_L = Min(LS_N, LS_O)$$

| Activity | duration | Resource | 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 |
| E | 6 | 3 | | | | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | 2 | 0 | | | | | | | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | 2 | 8 | | | | | | | | | | | | | | 8 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 2 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 3 | | | | | | | | | | |
| O | 3 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 6 | 6 | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ 2.7 บาร์ชาร์ทแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม L

2. กรณีทางเลือกระหว่าง FS และ No:

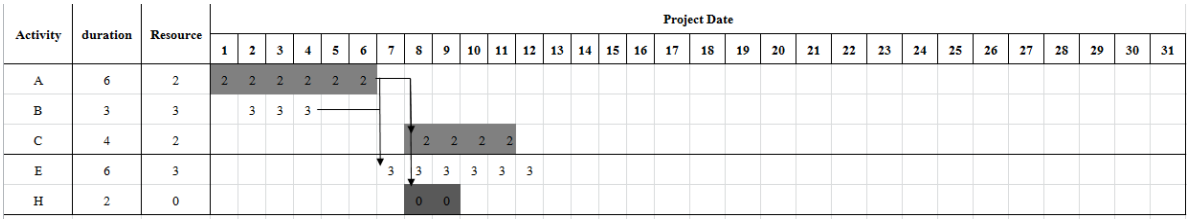
ตัวอย่างเช่น กิจกรรม E มี Predecessors เป็นกิจกรรม A, B และมีทางเลือกของความสัมพันธ์กับกิจกรรม A เป็นแบบ FS และ No จะได้การคำนวณขาไป

$$ST_E = Max(FT_A \cdot x_{EA1}, FT_B) + S_E$$

ในขณะที่กิจกรรม A มี Successors เป็นกิจกรรม C, E, H จะได้การคำนวณขากลับ

$$LF_A = Min(LS_E, LS_E + x_{EA2} * BN, LS_H)$$

โดยที่ BN คือ ตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่ามาก ๆ (Big number) เมื่อเทียบกับค่าระยะเวลาโครงการ




รูปที่ 2.8 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม A – E และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

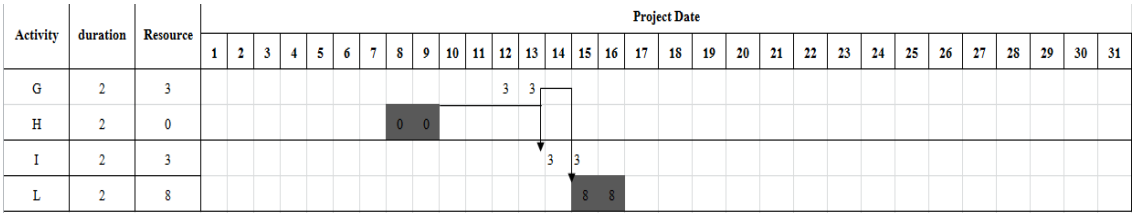
3. กรณีทางเลือกระหว่าง FS และ SS:

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม I มี Predecessors เป็นกิจกรรม G, H และมีทางเลือกของความสัมพันธ์กับกิจกรรม G เป็นแบบ FS และ SS จะได้

$$ST_I = Max(FT_G \cdot x_{GI1}, ST_G \cdot x_{GI2}, FT_H) + S_I$$

ในขณะที่กิจกรรม G มี Successors เป็นกิจกรรม I, L จะได้การคำนวณขากลับ

$$LF_G = Min(LS_I, D_G + x_{GI1} * BN, LS_I + x_{GI2}, * BN, LS_L)$$




รูปที่ 2.9 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม G – I และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

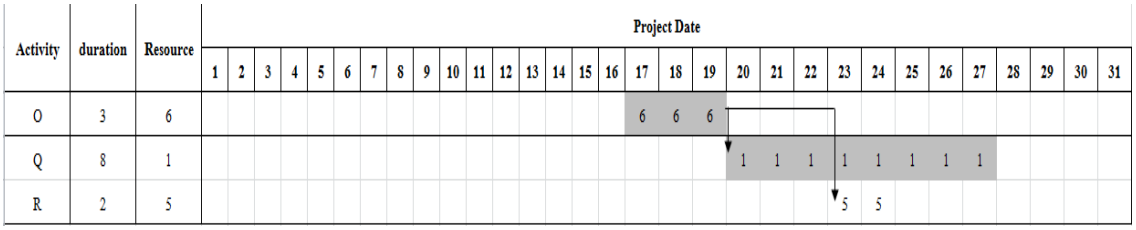
4. กรณีทางเลือกระหว่าง FS และ FF:

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม Q มี Predecessors เป็นกิจกรรม O และมีทางเลือกของความสัมพันธ์กับกิจกรรม O เป็นแบบ FS และ FF จะได้

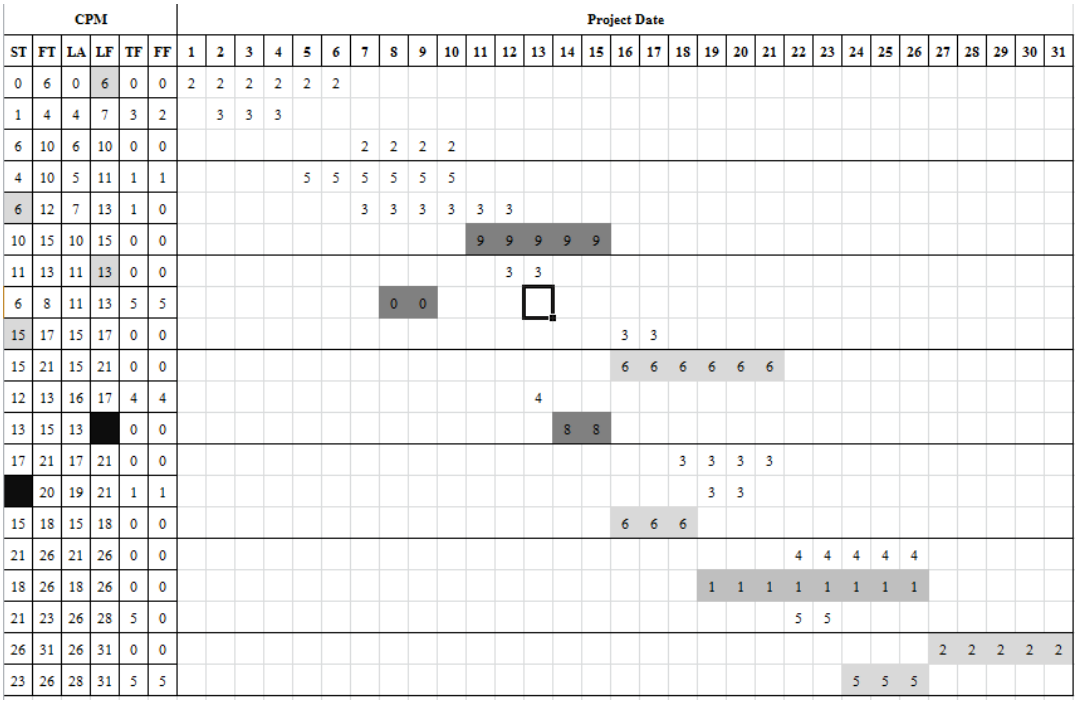
$$ST_Q = Max(FT_O - D_Q \cdot x_{QO2}) + S_Q$$

ในขณะที่กิจกรรม O มี Successors เป็นกิจกรรม Q, R จะได้การคำนวณขากลับ

$$LF_O = \text{Min}(LS_Q + x_{QO2} \cdot BN, LF_Q + x_{QO1} \cdot BN, LS_R)$$




รูปที่ 2.10 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม O – Q และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง




รูปที่ 2.11 ส่วนการคำนวณค่าเวลา

ส่วนบาร์ชาร์ท จะนำค่าเวลา ST และ FT ที่คำนวณได้มาแสดงบาร์ของแต่ละกิจกรรม โดยการอ้างอิงกับวันที่ของโครงการ (Project date) พร้อมทั้งแสดงค่าจำนวนทรัพยากรที่ต้องใช้ต่อวันด้วยอย่างอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

4. การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ส่วนการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดให้เป็นแบบ Multi-objective ดังสมการที่ 11.2 ประกอบด้วยค่า $M_x$, MRD และ RID โดยที่ค่าดัชนีเหล่านี้มักมีพื้นฐานการคำนวณอ้างอิงจากค่า $r_t$ หรือค่าผลรวมความต้องการใช้ทรัพยากรต่อวัน การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ Multi-

objective กำหนดให้ใช้ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละค่า ($w_1$, $w_2$, $w_3$ และ $w_4$) จะกำหนดใช้ตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อย ซึ่งหากต้องการให้วัตถุประสงค์ย่อยใดมีความสำคัญมากกว่าอันที่เหลือจะต้องกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของวัตถุประสงค์นั้นมีค่ามาก ๆ หรือในทางกลับกันด้วย เพราะจะทำให้ขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าวัตถุประสงค์ย่อยนั้นมีนัยยะสำคัญมากขึ้น

นอกจากนี้ยังใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อการปรับขนาดสเกลตัวเลขของค่าวัตถุประสงค์ย่อยต่าง ๆ ให้สมดุลกันเช่น ค่า $M_x$ จะมีขนาดตัวเลขในหลักพันซึ่งมากกว่าค่า MRD, RRH และ RID ที่มีขนาดตัวเลขใกล้เคียงกันในหลักสิบเท่านั้น ดังนั้นค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1$, $w_2$, $w_3$ และ $w_4$ ในเบื้องต้นเพื่อการปรับขนาดสเกลของตัวเลขเท่านั้นควรเป็น 0.001, 1, 1 และ 1 ตามลำดับ โดยยังไม่ได้ปรับการถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญ

การ Optimization ของโมเดลปัญหาที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นการ Minimization ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $r_t$ | 2 | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 15 | 16 | 17 | 17 | 16 | 15 | 15 | 13 | 13 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Abs(Sum($r_t$ -$r_{t+1}$)) | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Max($r_1$,$r_2$,…,$r_t$) | 2 | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 15 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Max($r_t$, $r_{t+1}$,…$r_T$) | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 15 | 15 | 15 | 13 | 13 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 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 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

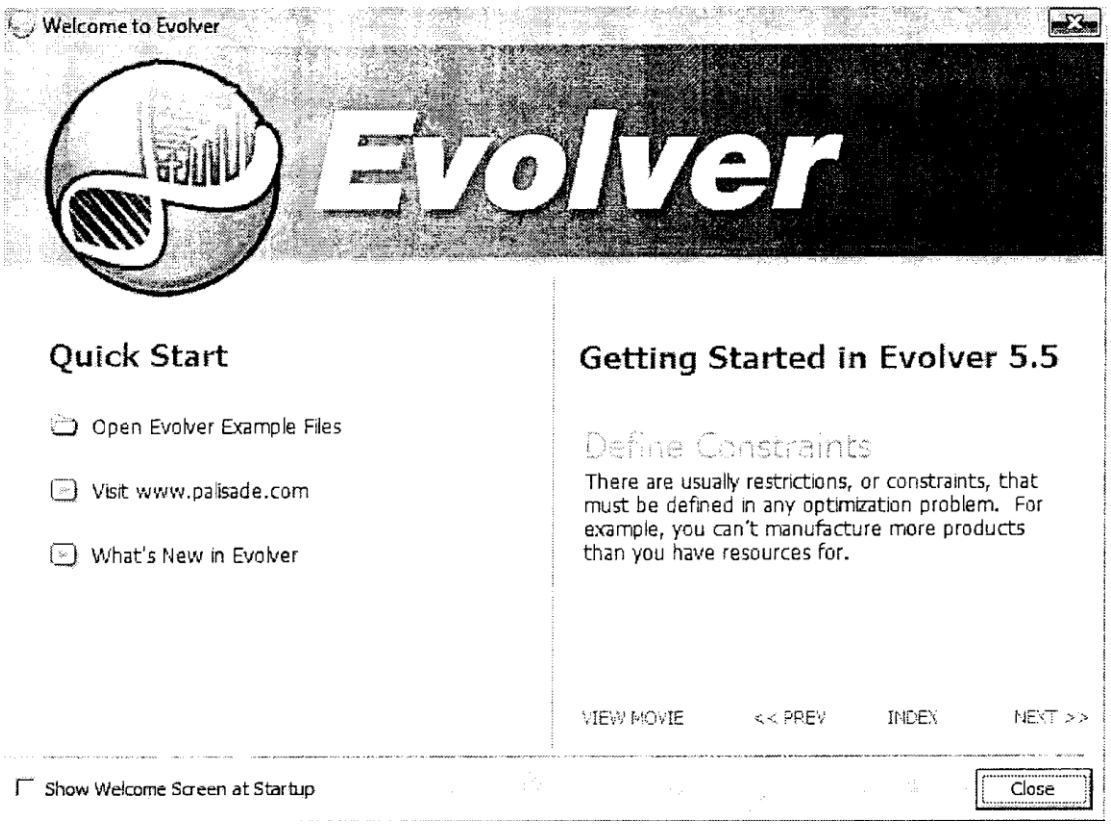
| | | | |
|---|---|---|---|
| 21 | | | |
| 22 | | | |
| 23 | | | W |
| 24 | Mx | 3,413 | 0.01 |
| 25 | MRD | 17 | 1 |
| 26 | RRH | 0 | 1 |
| 27 | RID | 1 | 1 |
| 28 | Objective function | 51 | |

RCS

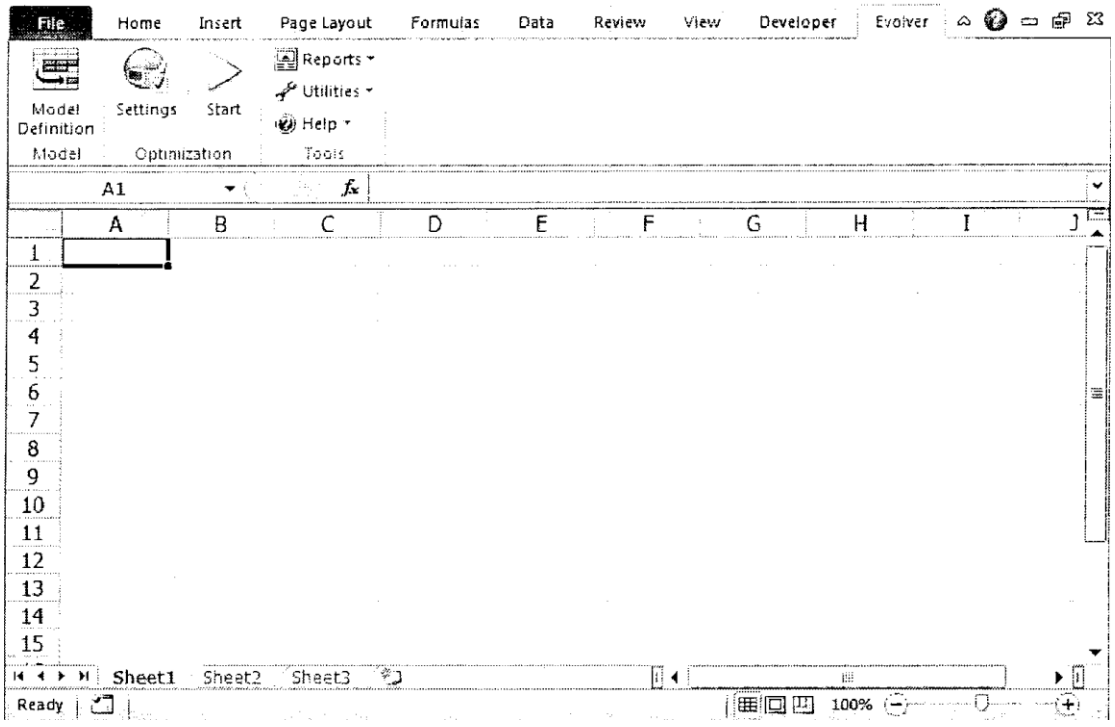
รูปที่ 2.12 ส่วนการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

**วิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ**

โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Genetic Algorithms (GAs) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Evolver™ ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นโปรแกรม Add-in ใน Microsoft Excel ซึ่งหลังจากติดตั้งโปรแกรมแล้วจะปรากฏในเมนูของ เพื่อรอเรียกใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.13



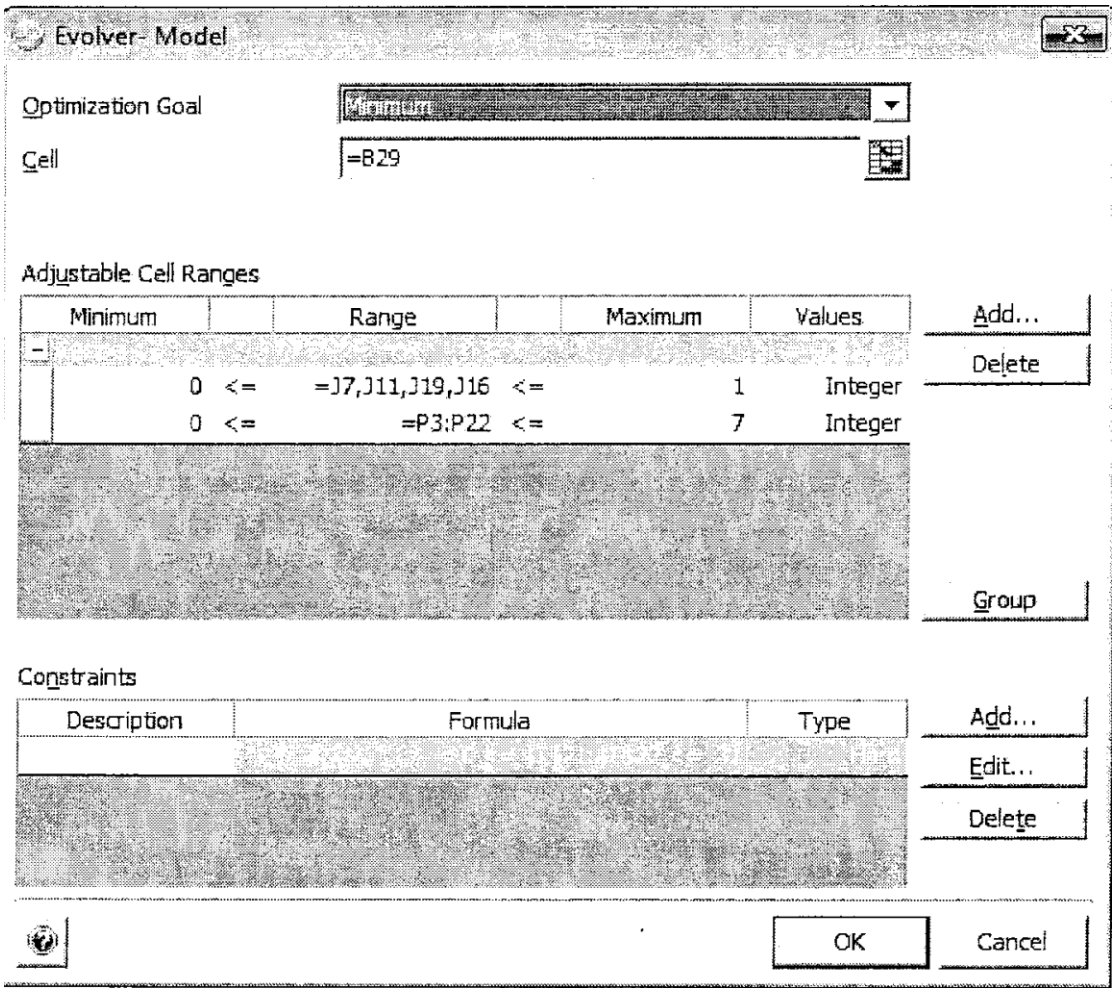

รูปที่ 2.13 หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ palisade Corp.




รูปที่ 2.14 เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ติดตั้ง Add-in แล้ว

ขั้นตอนการใช้งาน คล้ายคลึงกับโปรแกรม คือ เริ่มจากการกำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของโมเดลทั้ง 3 ส่วนนี้ แสดงในรูปข้างล่าง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถกำหนดได้ว่าเป็น แบบการ หรือ และโดยการกำหนดเซลที่จะใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์



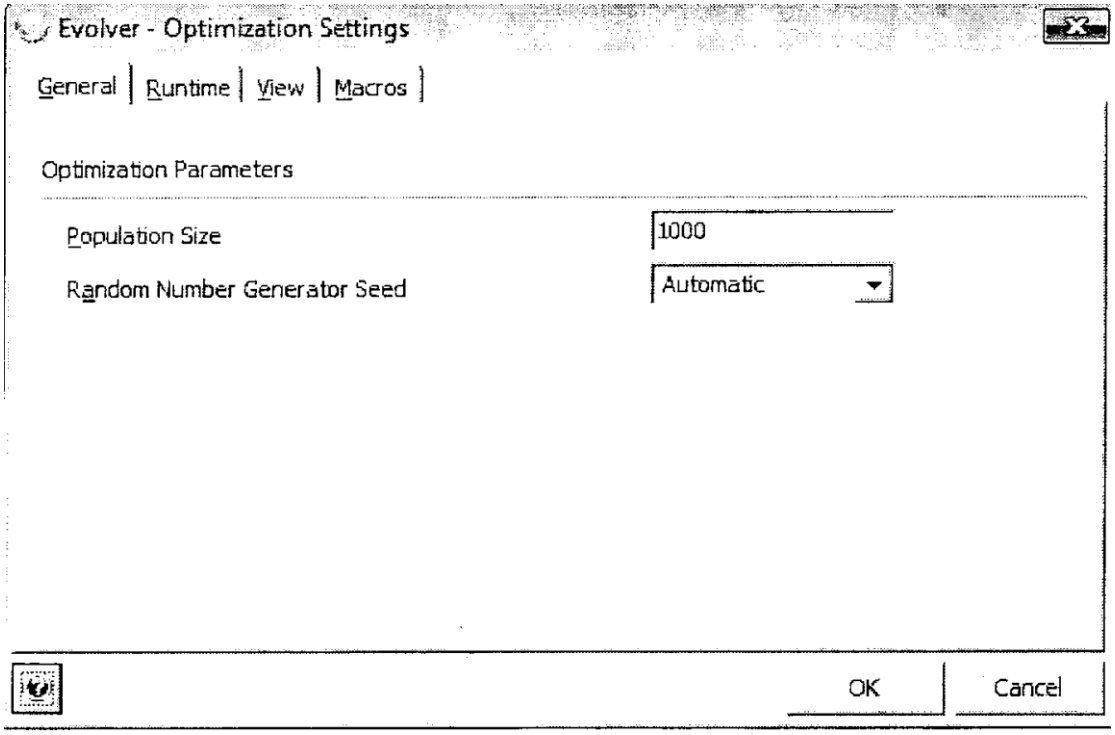

รูปที่ 2.15 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล

ตัวแปรตัดสินใจกำหนดให้เป็นกลุ่มเซลที่เรียกว่า Adjustable Cell Ranges ซึ่งโปรแกรม Evolver จะบังคับให้กำหนดขอบเขตบนและล่างของค่าตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ ทั้งหมดด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้

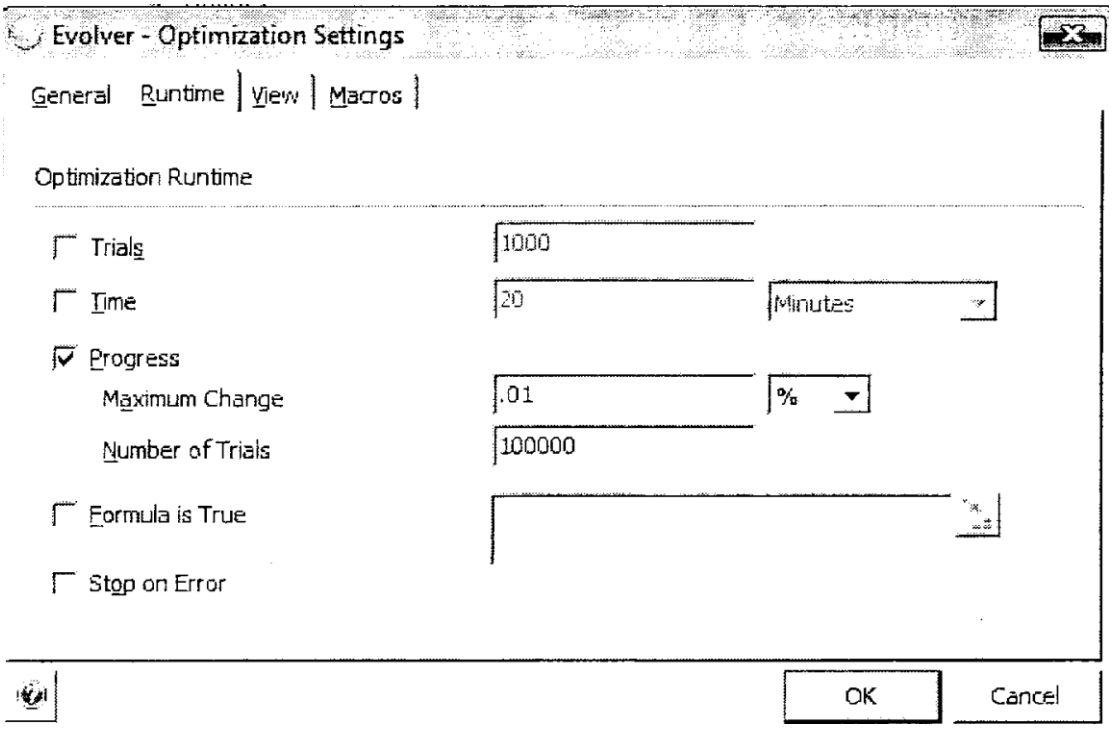
ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถป้อนข้อมูลแบ่งเป็นชุด ๆ ตามต้องการได้โดยอ้างอิงไปที่กลุ่มเซลที่มีสูตรฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องการ จากนั้นกำหนดขอบเขตบนและล่างที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นแบบ Soft หรือ Hard constraints ก็ได้

หลังจากที่ได้กำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่จะใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ ค่า Population size, Random seed, Crossover rate, Mutation rate และเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime)

ค่า Population size จะเป็นตัวกำหนดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละรุ่นประชากร ค่า Random seed เป็นวิธีการหาตัวเลขสุ่มที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ ค่า Crossover rate และ Mutation rate เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมปฏิบัติการทางพันธุกรรมในกระบวนการวิวัฒนาการของ GAs รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบังคับความพยายามในการค้นหาคำตอบให้เป็นไปตามต้องการได้อีกด้วย




รูปที่ 2.16 หน้าต่างสำหรับป้อนกำหนดค่าพารามิเตอร์ Population size ของ GAs




รูปที่ 2.17 หน้าต่างสำหรับป้อนกำหนดค่าเงื่อนไขการจบ Runtime

เงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) สามารถเลือกใช้ได้หลายลักษณะได้แก่ การกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกพิจารณา (Trials) การกำหนดระยะเวลาของการค้นหา หรือการกำหนดเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงของคำตอบที่ดีขึ้นภายในจำนวน Trials ที่กำหนด

**การทดสอบโมเดล**

โมเดลที่สร้างขึ้นได้ถูกทดสอบกับข้อมูลโครงการตัวอย่างจากงานวิจัยของ (El-Rayes and Jun 2009) ทั้งนี้เพื่อการอ้างอิงเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพที่ชัดเจน โดยมีการปรับปรุงเพิ่มเติมข้อมูลทางเลือกของความสัมพันธ์ของกิจกรรมโครงการ ($P_{ihj}$) เพื่อให้เหมาะสมกับโมเดลใหม่ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งทั้งโครงการประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม ให้มีความต้องการใช้ทรัพยากร 1 ประเภท ตามจำนวนและข้อมูลอื่น ๆ ดังแสดงตารางในรูปที่ 2.18

กำหนดให้รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของทางเลือกที่ 1 เป็น FS ทั้งหมด ซึ่งกิจกรรมหนึ่งอาจมี Predecessors ได้หลายกิจกรรม และให้บางกิจกรรมมีทางเลือกที่ 2 ได้แก่ E และมีทางเลือกที่ 2 เป็นไม่มีความสัมพันธ์กับ A และ L (no: A, no: L) ตามลำดับ; I และ J มีทางเลือกที่ 2 เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ SS กับ G และ F (SS : G, SS: F) ตามลำดับ; และ Q มีทางเลือกที่ 2 เป็นรูปแบบความสัมพันธ์ FF กับ O (FF: O)

| Activity | Duration | Resouces | Predecessor options($P_{aj}$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1.1 | 2.1 | 3.1 | 1.2 | 2.2 | 3.2 |
| A | 6 | 2 | | | | | | |
| B | 3 | 3 | | | | | | |
| C | 4 | 2 | A | | | | | |
| D | 6 | 5 | | | | | | |
| E | 6 | 3 | A | B | | no:A | | |
| F | 5 | 9 | C | | | | | |
| G | 2 | 3 | D | | | | | |
| H | 2 | 0 | A | B | | | | |
| I | 2 | 3 | G | H | | SS:G | | |
| J | 6 | 6 | F | | | SS:F | | |
| K | 1 | 4 | C | E | | | | |
| L | 2 | 8 | E | G | H | | | |
| M | 4 | 3 | I | K | | | | |
| N | 2 | 3 | F | L | | | no:L | |
| O | 3 | 6 | L | | | FF:O | | |
| P | 5 | 4 | J | M | N | | | |
| Q | 8 | 1 | O | | | | | |
| R | 2 | 5 | J | O | | | | |
| S | 5 | 2 | P | Q | | | | |
| T | 3 | 5 | R | | | | | |

รูปที่ 2.18 ส่วนข้อมูลโจทย์ปัญหาโครงการตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

**ผลการทดสอบโมเดล**

ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ เริ่มจากการป้อนข้อมูลนำเข้าที่เป็นโจทย์ปัญหา ใส่ลงในแผนคำนวณที่เป็นพื้นที่ของโมเดลปัญหาในโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นจึงเรียกโปรแกรม Evolver เพื่อทำการกำหนดกลุ่มเซลต่าง ๆ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักของโมเดลพร้อมทั้งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของ GAs

ขั้นตอนต่อไปคือ การกำหนดให้คำตอบเริ่มต้น (Initial solution) เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากโมเดลของ El-Rayes and Jun (2009) ซึ่งโปรแกรมจะค้นหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบของ El-Rayes and Jun (2009) นอกจากนี้คำตอบเริ่มต้นอีกส่วนหนึ่งที่เป็นทางเลือกของความสัมพันธ์ ($X_{ihj}$) กำหนดให้เป็นการเลือกทางเลือกความสัมพันธ์แบบเหมือนกันทั้งหมด ดังตารางในรูปที่ 2.19

**Best solution from this researchs model**

| Activity | Selected option ($X_{ihj}$) | | | | | | Schedule time | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1.1 | 2.1 | 3.1 | 1.2 | 2.2 | 3.2 | Shift | ST | FT | LS | LF | TF | FF |
| A | | | | | | | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| B | | | | | | | 1 | 1 | 4 | 4 | 7 | 3 | 2 |
| C | | | | | | | 0 | 6 | 10 | 6 | 10 | 0 | 0 |
| D | | | | | | | 4 | 4 | 10 | 5 | 11 | 1 | 1 |
| E | 1 | | | 0 | | | 0 | 6 | 12 | 7 | 13 | 1 | 0 |
| F | | | | | | | 0 | 10 | 15 | 10 | 15 | 0 | 0 |
| G | | | | | | | 1 | 11 | 13 | 11 | 13 | 0 | 0 |
| H | | | | | | | 0 | 6 | 8 | 11 | 13 | 5 | 5 |
| I | 1 | | | 0 | | | 2 | 15 | 17 | 15 | 17 | 0 | 0 |
| J | 1 | | | 0 | | | 0 | 15 | 21 | 15 | 21 | 0 | 0 |
| K | | | | | | | 0 | 12 | 13 | 16 | 17 | 4 | 4 |
| L | | | | | | | 0 | 13 | 15 | 13 | 15 | 0 | 0 |
| M | | | | | | | 0 | 17 | 21 | 17 | 21 | 0 | 0 |
| N | 1 | | | 0 | | | 3 | 18 | 20 | 19 | 21 | 1 | 1 |
| O | | | | | | | 0 | 15 | 18 | 15 | 18 | 0 | 0 |
| P | | | | | | | 0 | 21 | 26 | 21 | 26 | 0 | 0 |
| Q | 1 | | | 0 | | | 0 | 18 | 296 | 18 | 26 | 0 | 0 |
| R | | | | | | | 0 | 21 | 23 | 26 | 28 | 5 | 0 |
| S | | | | | | | 0 | 26 | 31 | 26 | 31 | 0 | 0 |
| T | | | | | | | 0 | 23 | 26 | 28 | 31 | 5 | 5 |

รูปที่ 2.19 ส่วนแสดงคำตอบเริ่มต้น

ตารางข้างล่าง แสดงคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ซึ่งประกอบด้วยค่าเวลาต่าง ๆ ของกิจกรรม (Schedule time) (เป็นผลการคำนวณมาจากค่าเวลาเลื่อน Shifting time) และทางเลือกของความสัมพันธ์ ($X_{ihj}$)

| Best solution from this researchs model | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Activity | Selected option ($X_{ikj}$) | | | | | | Schedule time | | | | | | |
| | 1.1 | 2.1 | 3.1 | 1.2 | 2.2 | 3.2 | Shift | ST | FT | LS | LF | TF | FF |
| A | | | | | | | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| B | | | | | | | 1 | 1 | 4 | 7 | 10 | 6 | 0 |
| C | | | | | | | 0 | 6 | 10 | 6 | 10 | 0 | 0 |
| D | | | | | | | 4 | 4 | 10 | 9 | 15 | 5 | 0 |
| E | 0 | | | 1 | | | 0 | 4 | 10 | 10 | 16 | 6 | 4 |
| F | | | | | | | 0 | 10 | 15 | 10 | 15 | 0 | 0 |
| G | | | | | | | 0 | 6 | 8 | 13 | 15 | 7 | 4 |
| H | | | | | | | 2 | 12 | 14 | 15 | 17 | 3 | 3 |
| I | 0 | | | 1 | | | 0 | 15 | 21 | 15 | 21 | 0 | 0 |
| J | 1 | | | 0 | | | 0 | 15 | 21 | 15 | 21 | 0 | 0 |
| K | | | | | | | 4 | 14 | 15 | 16 | 17 | 2 | 2 |
| L | | | | | | | 3 | 15 | 17 | 21 | 23 | 6 | 4 |
| M | | | | | | | 2 | 17 | 21 | 17 | 21 | 0 | 0 |
| N | 0 | | | 1 | | | 2 | 17 | 19 | 19 | 21 | 2 | 2 |
| O | | | | | | | 4 | 21 | 24 | 23 | 26 | 2 | 0 |
| P | | | | | | | 0 | 21 | 26 | 21 | 26 | 0 | 0 |
| Q | 0 | | | 1 | | | 1 | 17 | 25 | 18 | 26 | 1 | 1 |
| R | | | | | | | 0 | 24 | 26 | 26 | 28 | 2 | 0 |
| S | | | | | | | 0 | 26 | 31 | 26 | 31 | 0 | 0 |
| T | | | | | | | 0 | 26 | 29 | 28 | 31 | 2 | 2 |

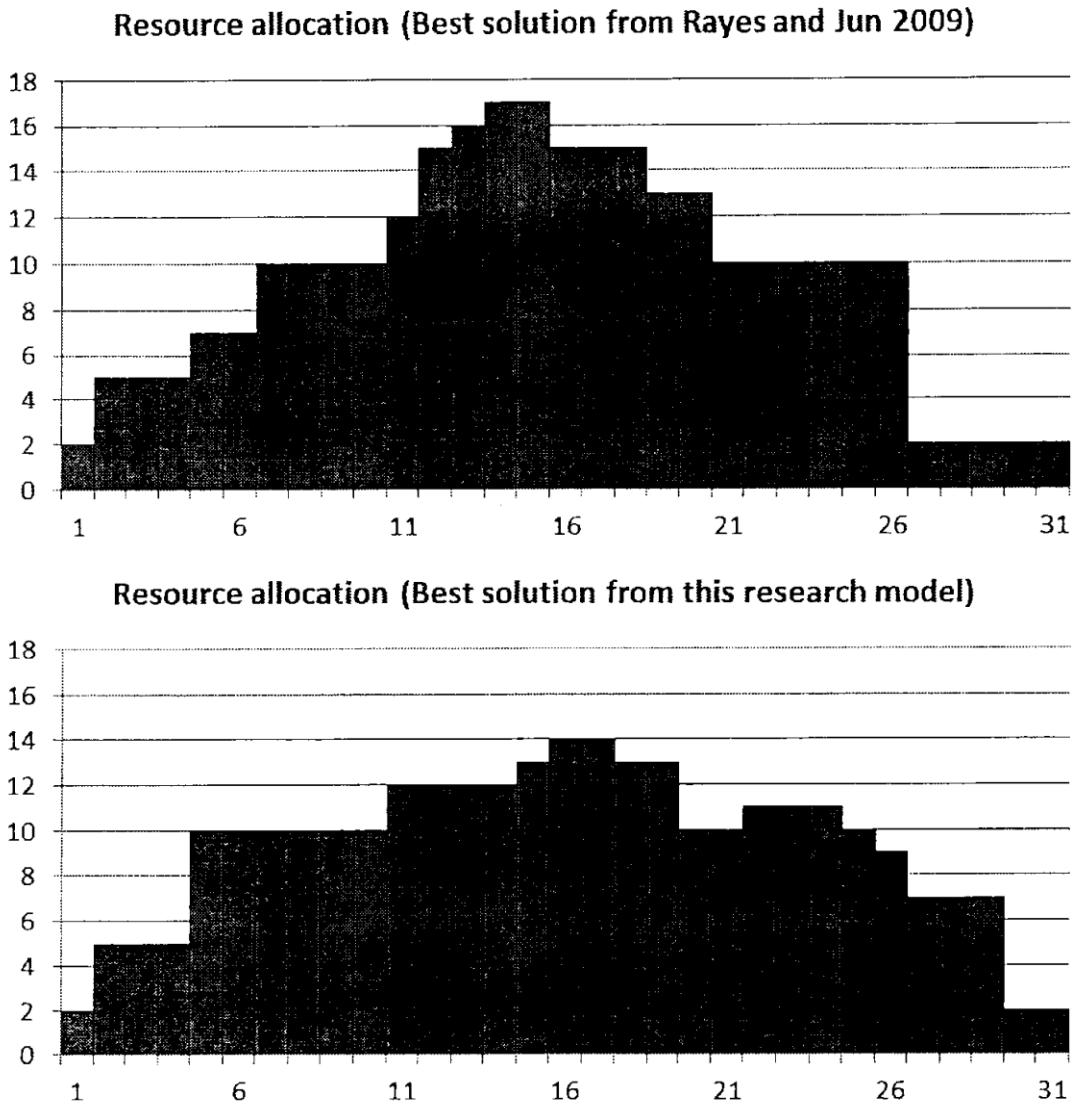
รูปที่ 2.20 ส่วนแสดงผลคำตอบที่ดีที่สุด

**การวิเคราะห์ผล**

ผลคำตอบที่ดีที่สุดได้จากโมเดลที่แสดงในตารางรูปที่ผ่านมา ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังนี้ $M_x$ = 3,053; MRD = 14; RRH = 1; RID = 2 หรือมี Total score = 48 ซึ่งดีกว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดของ El-Rayes and Jun (2009) ที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียวกันเป็น $M_x$ = 3,413; MRD = 17; RRH = 0; RID = 0 หรือมี Total score = 51 นอกจากนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระดับการจัดสรรทรัพยากร (Resource allocation) ดังรูปที่ 2.21

ระดับการจัดสรรทรัพยากรของคำตอบที่ดีที่สุดจากโมเดลของ El-Rayes and Jun (2009) ยังพบว่ามีรูปทรงแบบภูเขาซึ่งเป็นรูปทรงที่จะทำให้ได้ค่า RRH และ RID ที่ต่ำ ในขณะที่ระดับการจัดสรรทรัพยากรของคำตอบที่ดีที่สุดจากงานวิจัยนี้มีรูปทรงแบบภูเขาที่ค่อนไปในทางรูปทรงสี่เหลี่ยม จึงหมายถึงการที่ได้ค่า $M_x$, MRD, RRH และ RID ที่ดีกว่า

จะเห็นได้ว่าคำตอบที่ดีที่สุดของโมเดลให้ค่าฟังก์ชัน $M_x$ และ MRD ที่ดีกว่าอย่างมาก อย่างไรก็ตามกลับให้ค่า RRH และ RID ที่แย่กว่า ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแผนงานคำตอบจากโมเดลของ El-Rayes and Jun (2009) ก็ดีอยู่แล้ว แต่การเพิ่มทางเลือกความสัมพันธ์ของบางกิจกรรม สามารถทำให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้นได้อีก (มี Total score ต่ำกว่า) ซึ่งค่า MRD ที่ลดลงจาก 17 เหลือ 14 อาจหมายถึงการจัดเตรียมทรัพยากรลดลงได้ 3 หน่วยตลอดทั้งโครงการ




รูปที่ 2.21 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระดับการจัดสรรทรัพยากรของคำตอบที่ดีที่สุด

**บทสรุป**

การพิจารณา RCSP ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดขึ้นเองนั้น อาจทำให้ไม่ได้แผนงานคำตอบที่ดีที่สุดอย่างที่ต้องการ เนื่องจากคำตอบแผนงานที่เป็นไปได้จะเป็นการเลื่อนวันเริ่มของกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระยะเวลาโฟลทของตนเองเท่านั้น การสร้างทางเลือก

ของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอัน สามารถช่วยให้ (เท่าที่จำเป็น) แผนงานที่สร้างขึ้นมีความยืดหยุ่นขึ้น มีคำตอบที่เป็นไปได้มากขึ้น จึงเพิ่มโอกาสในการได้แผนงานที่ดีขึ้น รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่หลากหลายได้แก่ การมีหรือไม่มี, Finish-to-start, start-to-start และ Finish-to-finish ที่ใช้กันอยู่ในทางปฏิบัตินั้น สามารถนำมาสร้างทางเลือกเป็นตัวแปรตัดสินใจของโมเดลปัญหาได้ งานวิจัยนี้ได้สร้างโมเดลตามแนวคิดดังกล่าวด้วย Microsoft Excel และใช้ Genetic Algorithms เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ และทดสอบกับกรณีตัวอย่างที่อ้างอิงกับงานวิจัยที่ผ่านมา ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าโมเดลใหม่ที่มีทางเลือกของความสัมพันธ์สามารถให้คำตอบแผนงานที่ดีขึ้นได้ โมเดลนี้จึงช่วยนักวางแผนตัดสินใจเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่เหมาะสมระหว่างทางเลือกต่าง ๆ ที่มีอยู่ได้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาหาวิธีการจัดลำดับการก่อสร้างโครงการก่อสร้างบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยสร้างโมเดลปัญหาที่ใช้วิธีการหาคำตอบแบบ Genetic Alorithms (Gas) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Evolver™ ของบริษัท Palisade Corp. จากแบบบ้านสองชั้นทั้งหมดที่จะทำการก่อสร้างจริงทั้งสิ้นสามแบบของโครการหมู่บ้านสุรนารีวิลล์ โครงการ ๕ บ้านเกาะ เฟส ๕ ตั้งอยู่ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีลำดับขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

## 3.1 แบบบ้านที่ใช้เป็นกลุ่มทดลองสร้างโมเดล

- แบบบ้าน Sapphire 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ที่จอดรถ 2 คัน
- แบบบ้าน Crystal 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ที่จอดรถ 2 คัน
- แบบบ้าน Emerald 4 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ที่จอดรถ 2 คัน

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

### 3.2.1 โปรแกรม Microsoft Excel

### 3.2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป Evolver™ของบริษัท Palisade Corp.

## 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

ทำการสร้างโมเดลปัญหาของแบบบ้านทั้งหมดตามขั้นตอนดังนี้

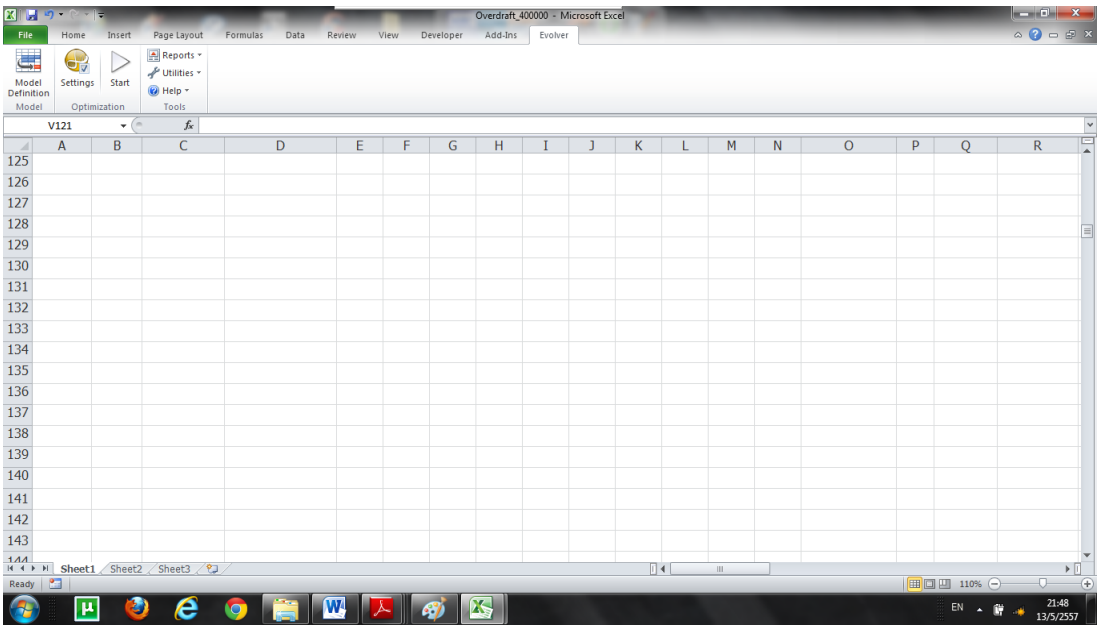
1. ทำประมาณการค่าก่อสร้างของแต่ละแบบบ้านโดยแยกออกตามงวดงาน การก่อสร้างจริงในสัญญาก่อสร้างลงใน โปรแกรม Microsoft Excel แล้วทำการป้อนข้อมูลลงในตารางเปรียบเทียบสถานะทางการเงินของแต่ละแบบบ้าน

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | ตารางการเปรียบเทียบสถานะทางการเงินของแต่ละแบบบ้าน | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | แบบบ้าน | | ราคาจ้างเหมา | งวดงานที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | ประกันผลงาน 1 ปี |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Type A | Sapphire | 1,440,000 | ราคา( บาท)/งวด | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 144,000 | 104,000 | 40,000 |
| 7 | ต้นทุน | 1,199,943 | | ต้นทุน/งวด | 129,050 | 131,655 | 109,733 | 105,785 | 100,880 | 158,378 | 126,039 | 169,472 | 128,522 | 40,429 | |
| 8 | กำไร/หลัง | 200,057 | | กำไร-ขาดทุน/งวด | 14,950 | 12,345 | 34,267 | 38,215 | 43,120 | -14,378 | 17,961 | -25,472 | 15,478 | 63,571 | |
| 9 | ระยะเวลา | ( 180 วัน) | | ระยะเวลา( วัน )/งวด | 15 | 15 | 15 | 15 | 30 | 15 | 25 | 20 | 25 | 5 | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Type B | Crystal | 1,640,000 | ราคา( บาท)/งวด | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 164,000 | 124,000 | 40,000 |
| 12 | ต้นทุน | 1,358,300 | | ต้นทุน/งวด | 148,500 | 172,435 | 118,231 | 141,110 | 168,678 | 138,268 | 151,652 | 140,436 | 142,611 | 36,379 | |
| 13 | กำไร/หลัง | 241,700 | | กำไร-ขาดทุน/งวด | 15,500 | -8,435 | 45,769 | 22,890 | -4,678 | 25,732 | 12,348 | 23,564 | 21,389 | 87,621 | |
| 14 | ระยะเวลา | ( 180 วัน) | | ระยะเวลา( วัน )/งวด | 15 | 15 | 15 | 15 | 30 | 15 | 25 | 20 | 25 | 5 | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Type C | Emeral | 1,860,000 | ราคา( บาท)/งวด | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 186,000 | 146,000 | 40,000 |
| 17 | ต้นทุน | 1,541,580 | | ต้นทุน/งวด | 162,457 | 160,357 | 124,765 | 166,157 | 198,056 | 166,144 | 194,675 | 152,790 | 161,457 | 54,722 | |
| 18 | กำไร/หลัง | 278,420 | | กำไร-ขาดทุน/งวด | 23,543 | 25,643 | 61,235 | 19,843 | -12,056 | 19,856 | -8,675 | 33,210 | 24,543 | 91,278 | |
| 19 | ระยะเวลา | ( 210 วัน) | | ระยะเวลา( วัน )/งวด | 20 | 20 | 20 | 20 | 35 | 15 | 25 | 20 | 25 | 10 | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบสถานะทางการเงินของแต่ละแบบบ้าน

2. กำหนดสมการของโมเดลปัญหา ส่วนประกอบหลักของโมเดลปัญหา RCPSP ด้วยการทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective functions) ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constraint functions)
3. สร้างโมเดลปัญหาลงใน โปรแกรมสำเร็จรูป Evolver™ โดยใช้องค์ประกอบของ Resource-constrained project scheduling problem (RCPSP) ที่มีตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวกำหนดเวลาเริ่มของกิจรรม (activities' start time) และมีฟังก์ชั่นข้อจำกัดเป็นเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม (dependence relationships)

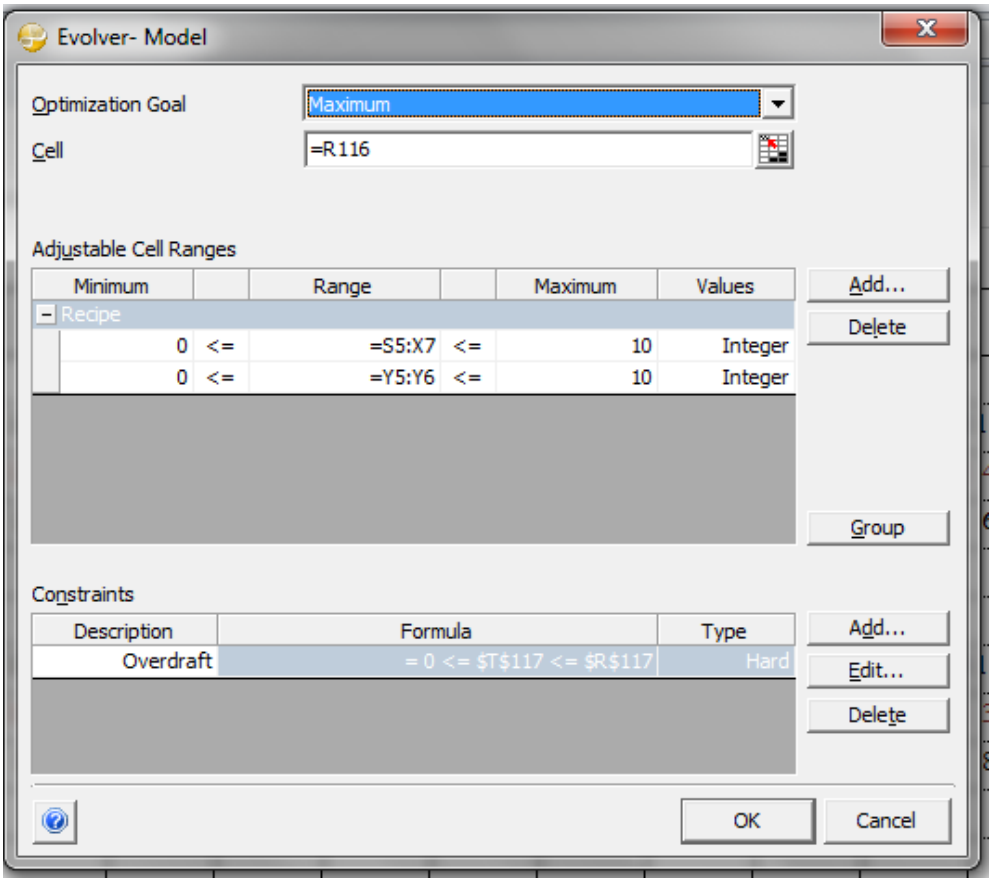
รูปที่ 3.2 หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ palisade Corp.




รูปที่ 3.3 เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ติดตั้ง Add-in แล้ว

ขั้นตอนการใช้งาน คือ เริ่มจากการกำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของโมเดลทั้ง 3 ส่วนนี้ แสดงในรูปที่ 3.7

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถกำหนดได้ว่าเป็น แบบการ หรือ และโดยการกำหนดเซลที่จะใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์



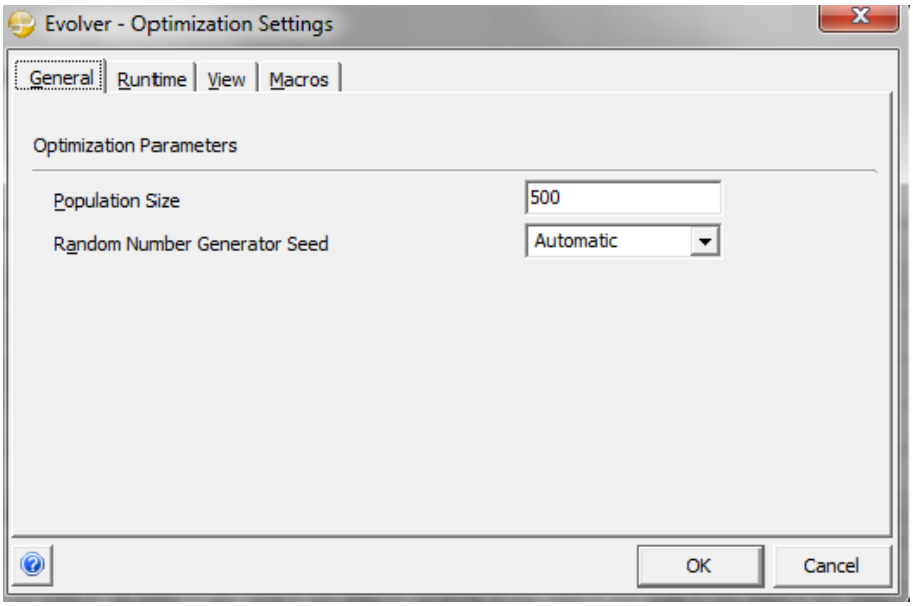

รูปที่ 3.4 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล

ตัวแปรตัดสินใจกำหนดให้เป็นกลุ่มเซลที่เรียกว่า Adjustable Cell Ranges ซึ่งโปรแกรม Evolver จะบังคับให้กำหนดขอบเขตบนและล่างของค่าตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ ทั้งหมดด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้

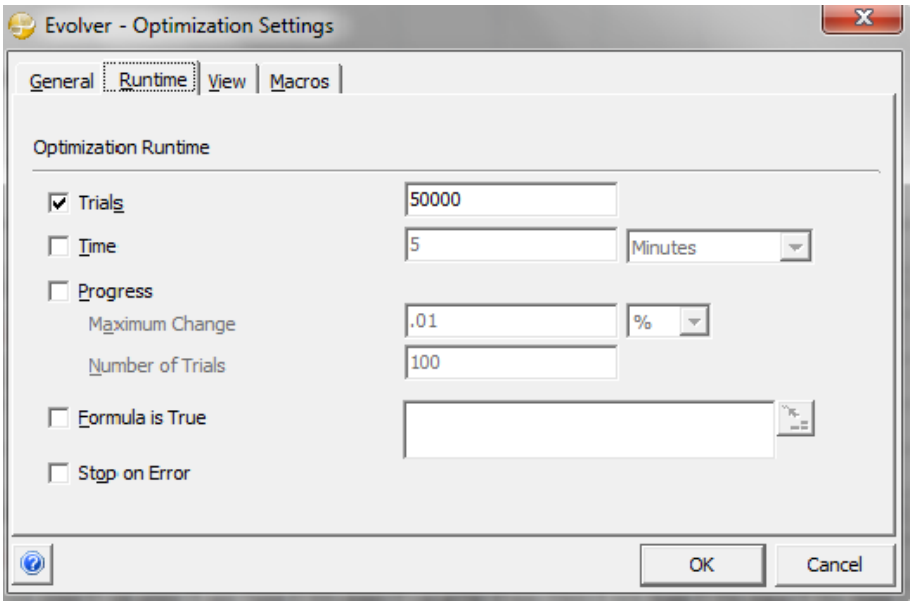
ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถป้อนข้อมูลแบ่งเป็นชุด ๆ ตามต้องการได้โดยอ้างอิงไปที่กลุ่มเซลที่มีสูตรฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องการ จากนั้นกำหนดขอบเขตบนและล่างที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นแบบ Soft หรือ Hard constraints ก็ได้

หลังจากที่ได้กำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่จะใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ ค่า Population size, Random seed, Crossover rate, Mutation rate และเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime)

ค่า Population size จะเป็นตัวกำหนดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละรุ่นประชากร ค่า Random seed เป็นวิธีการหาตัวเลขสุ่มที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ ค่า Crossover rate และ Mutation rate เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมปฏิบัติการทางพันธุกรรมในกระบวนการวิวัฒนาการของ GAs รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบังคับความพยายามในการค้นหาคำตอบให้เป็นไปตามต้องการได้อีกด้วย




รูปที่ 3.5 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ Population size ของ Gas

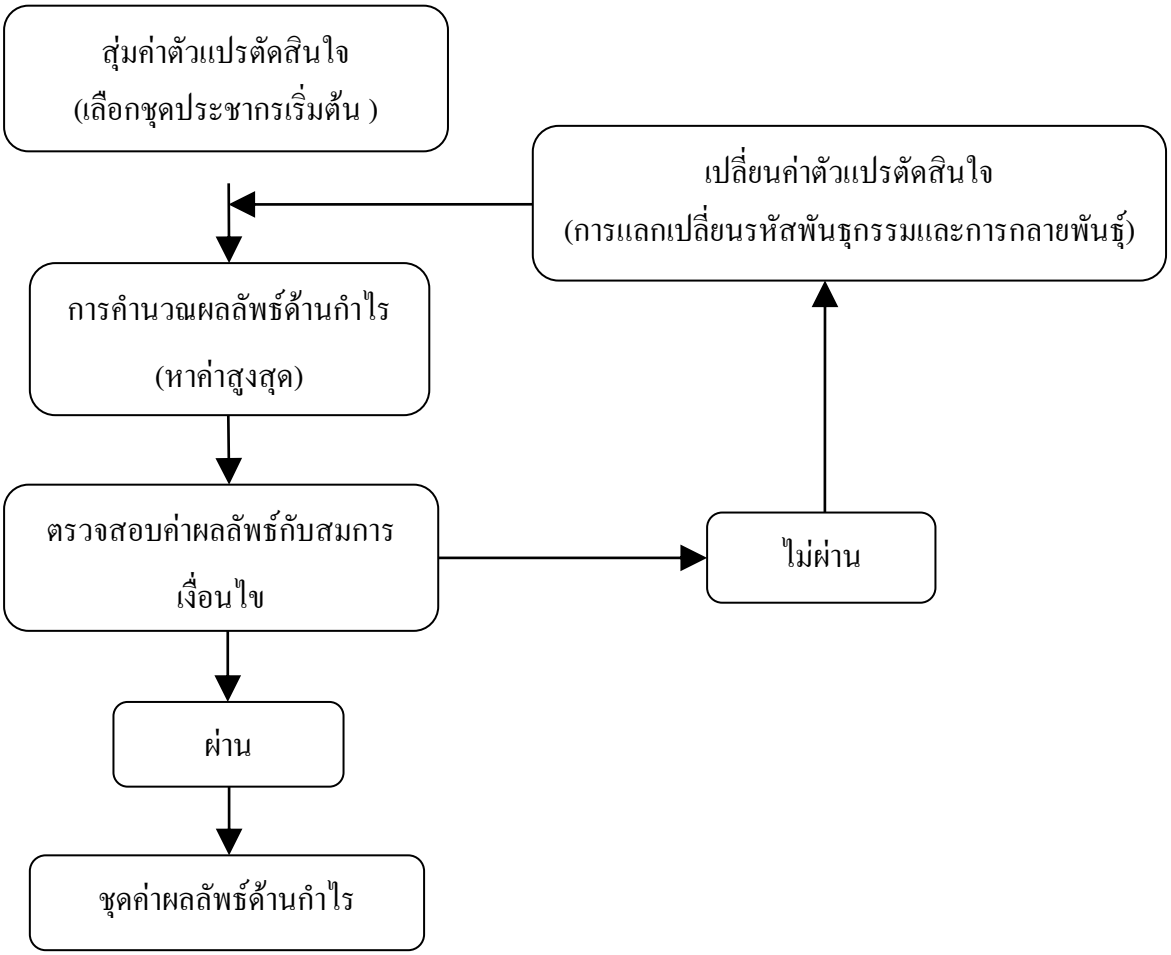



รูปที่ 3.6 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าเงื่อนไขการจบ Runtime

เงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) สามารถเลือกใช้ได้หลายลักษณะได้แก่ การกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกพิจารณา (Trials) การกำหนดระยะเวลาของการค้นหา หรือการกำหนดเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงของคำตอบที่ดีขึ้นภายในจำนวน Trials ที่กำหนด

## 3.4 ขั้นการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

สร้างโมเดลการเลือกก่อสร้างบ้านพักอาศัยของโครงการบ้านจัดสรร โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย รูปแบบโครโมโซค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และเงื่อนไขของอัลกอริทึม กำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population) เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ ประชากรเริ่มต้นสร้างขึ้นโดยการสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Population Size) หาค่าความเหมาะสม โดยประมวลผลตามฟังก์ชั่นเป้าหมาย เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่โครโมโซม และหาโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมต่ำที่สุด หากเงื่อนไขการของอัลกอริทึมไม่มีข้อใดเป็นจริง อัลกอริทึมจะคัดเลือกโครโมโซมในประชากรปัจจุบันเพื่อสร้างโครโมโซมของประชากรรุ่นใหม่ โดยวิธีการคัดเลือกใช้วิธีสุ่มทศนิยมแบบไม่คืนกลับเมื่อสุ่มโครโมโซมขึ้นมา 2 โครโมโซม จะเรียกโครโมโซมทั้งสองนี้ว่าโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ตามลำดับ นำโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่มาสร้างโครโมโซมลูก 2 โครโมโซมสำหรับประชากรใหม่




รูปที่ 3.7 กระบวนการทำงานของแบบจำลองขั้นตอนเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

# บทที่ 4
# ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ใบบทนี้จะนำเสนอผลของการเลือกก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย คสล.2 ชั้น ทั้ง 3 แบบ ของโครงการบ้านจัดสรร โครงการ"สุรนารีวิลล์ ๕ บ้านเกาะ" โดยใช้ Genetic Algorithms (Gas) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

## 4.1 การทดสอบ Genetic Alorithms (Gas)

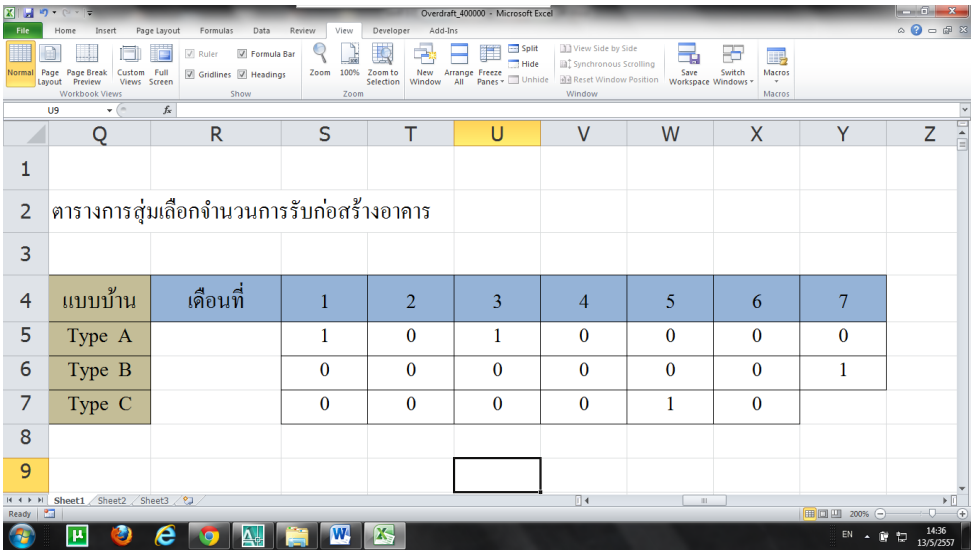
โดยมีส่วนประกอบหลักของโมเดลปัญหา คือ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) คือ 1-10 หลัง/เดือน

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ กำไรสูงสุด/ปี

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constaint function) คือ Overdraft ไม่เกิน 400,000 บาท

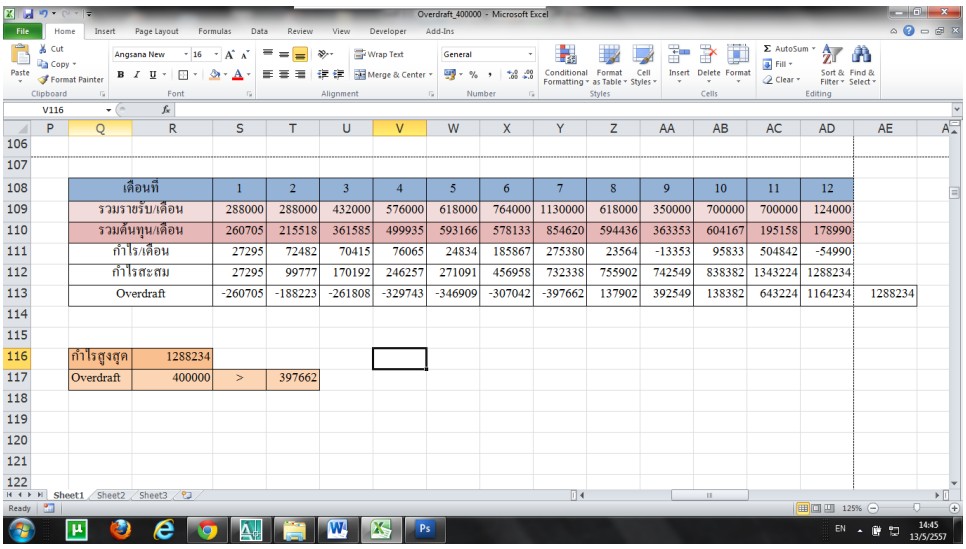
จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และเดือนที่ 3 เป็นจำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 7 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง



ตารางการสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |

รูปที่ 4.1 การสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร



| เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมรายรับ/เดือน | 288000 | 288000 | 432000 | 576000 | 618000 | 764000 | 1130000 | 618000 | 350000 | 700000 | 700000 | 124000 | |
| รวมต้นทุน/เดือน | 260705 | 215518 | 361585 | 499935 | 593166 | 578133 | 854620 | 594436 | 363353 | 604167 | 195158 | 178990 | |
| กำไร/เดือน | 27295 | 72482 | 70415 | 76065 | 24834 | 185867 | 275380 | 23564 | -13353 | 95833 | 504842 | -54990 | |
| กำไรสะสม | 27295 | 99777 | 170192 | 246257 | 271091 | 456958 | 732338 | 755902 | 742549 | 838382 | 1343224 | 1288234 | |
| Overdraft | -260705 | -188223 | -261808 | -329743 | -346909 | -307042 | -397662 | 137902 | 392549 | 138382 | 643224 | 1164234 | 1288234 |

| กำไรสูงสุด | 1288234 | | |
|---|---|---|---|
| Overdraft | 400000 | > | 397662 |

รูปที่ 4.2 สรุปกำไรสูงสุดจากการสุ่มเลือกรับก่อสร้างบ้าน

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.1 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 1,288,234 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 397,662 บาทอยู่ในเดือนที่ 7

## 4.2 อิทธิพลของช่วงระยะเวลา

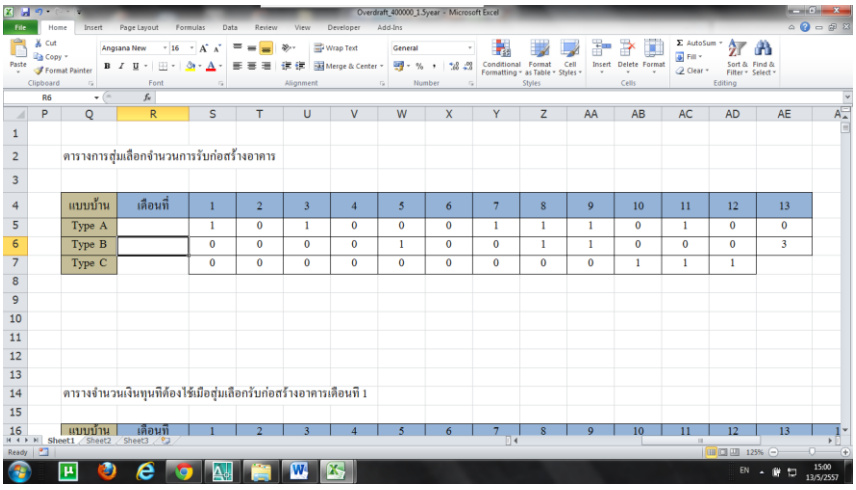
เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อการรับก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัย หากมีการเพิ่มขอบเขตของระยะเวลาการรับงานก่อสร้าง โดยมีส่วนประกอบหลักของโมเดลปัญหา คือ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) คือ 1-10 หลัง/เดือน

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ กำไรสูงที่สุด ต่อ 1, 1.5, 2 ปี

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constaint function) คือ Overdraft ไม่เกิน 400,000 บาท

เมื่อป้อนข้อมูลเพื่อหากำไรสูงสุดต่อ 1.5 ปีจะได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.3



ตารางการสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร

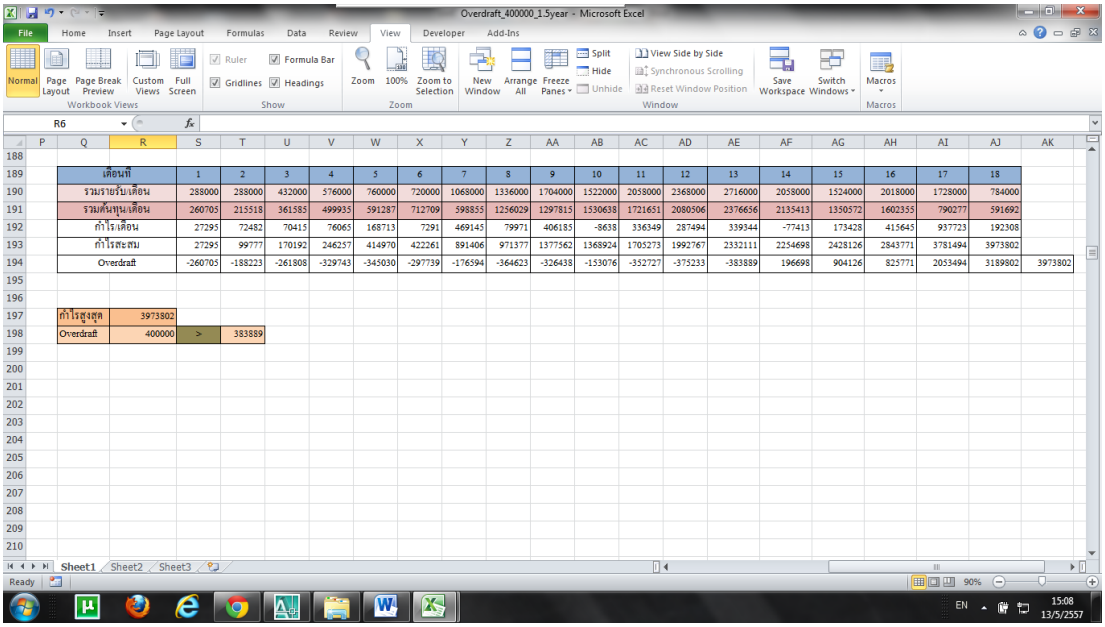
| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |

ตารางจำนวนเงินทุนที่ต้องใช้เมื่อสุ่มเลือกรับก่อสร้างอาคารเดือนที่ 1

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

รูปที่ 4.3 การสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคารเมื่อคิดช่วงระยะเวลา 1.5 ปี

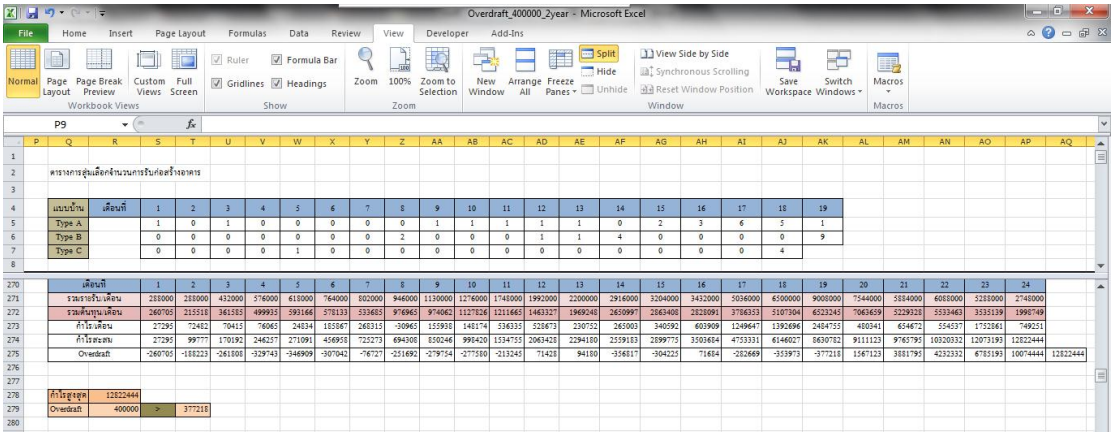
จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1,3,7,8,9,11 เป็นจำนวน 1 หลังต่อเดือน ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 5,8,9 เป็นจำนวน 1 หลัง และในเดือนที่ 13 อีก 3 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 10,11,12 เป็นจำนวน 1 หลังต่อเดือน




รูปที่ 4.4 สรุปกำไรสูงสุดจากการสุ่มเลือกรับก่อสร้างบ้านเมื่อคิดที่ 1.5 ปี

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.4 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 3,973,802 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 383,889 บาทอยู่ในเดือนที่ 13

เมื่อป้อนข้อมูลเพื่อหากำไรสูงสุดต่อ 2 ปีจะผลออกมาดังรูปที่ 4.5




รูปที่ 4.5 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อคิดที่ 2 ปี

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1,3,9,10,11,12,13 เป็นจำนวน 1 หลังต่อเดือน เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 15 จำนวน 2 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 16 จำนวน 3 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 17 จำนวน 6 หลัง เดือนที่ 18 จำนวน 5 หลัง และในเดือนที่ 19 จำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 8 เป็นจำนวน 2 หลัง เดือนที่ 12,13 อีก 3 หลังต่อเดือน เดือนที่ 14 จำนวน 4 หลัง และในเดือนที่ 19 จำนวน 9 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง และในเดือนที่ 18 จำนวน 4 หลังต่อเดือน

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.5 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 12,822,444 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 24 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 377,218 บาทอยู่ในเดือนที่ 19

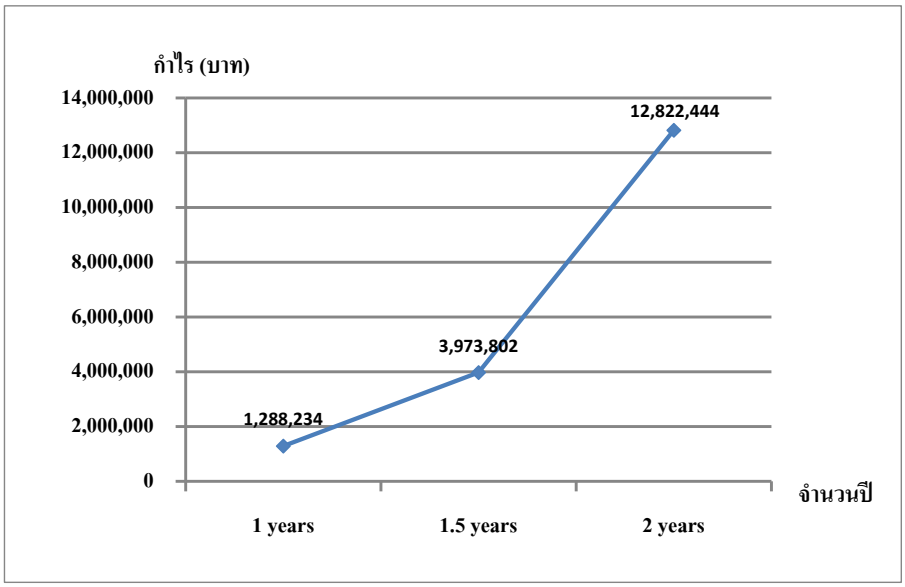
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของช่วงระยะเวลามาเกี่ยวข้อง

| เงื่อนไข<br>แบบบ้าน | Overdraft (400,000 บาท)<br>ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท)<br>ช่วงเวลา 1.5 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท)<br>ช่วงเวลา 2 ปี/หลัง |
|---|---|---|---|
| Type_A | 2 | 6 | 24 |
| Type_B | 1 | 6 | 17 |
| Type_C | 1 | 3 | 5 |

จากรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 สามารถทำตารางเปรียบเทียบกำไรสูงสุดดังนี้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลทางด้านเวลา

| ปีที่ | กำไรสูงสุด ( บาท ) |
|---|---|
| 1 | 1,288,234 |
| 1.5 | 3,973,802 |
| 2 | 12,822,444 |




รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อระยะเวลาการรับงานเพิ่มขึ้น

การพิจารณาถึงผลกระทบต่อผลกำไรเมื่อขยายระยะเวลาการรับงานก่อสร้างเพิ่มขึ้น ทำให้ทราบว่าเมื่อขยายระยะเวลาการรับงานก่อสร้างมากขึ้น ก็จะทำให้มีแนวโน้มได้กำไรมากขึ้น สังเกตุได้ว่าการเพิ่มขึ้นของกำไรเมื่อเทียบระหว่างปีที่ 1 กับปีที่ 1.5 มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกำไรของปีที่ 1.5 กับปีที่ 2 ก็ยังมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าเช่นกัน โดยลักษณะของกราฟที่สังเกตุได้ว่าเป็นกราฟเส้นตรง 2 ช่วงหักขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการที่โครงการก่อสร้างได้รับเงินประกันงานจากบ้านที่เริ่มก่อสร้างในเดือนแรก เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของช่วงระยะเวลามาเกี่ยวข้องจากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการขยายเวลามากขึ้น ก็สามารถเพิ่มจำนวนการรับสร้างบ้านมากขึ้นแต่ไม่เป็นสัดส่วนที่แน่นอนขึ้นอยู่กับค่า Overdraft ในช่วงเวลารับงานก่อสร้าง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีการขยายระยะเวลาในการรับงานก่อสร้างบ้านพักอาศัยของโครงการนี้จะทำให้ได้ไรเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเป็น 3 เท่าต่อการขยายระยะเวลาเพิ่มขึ้นทุก 6 เดือน

### 4.3 อิทธิพลของ Overdraft

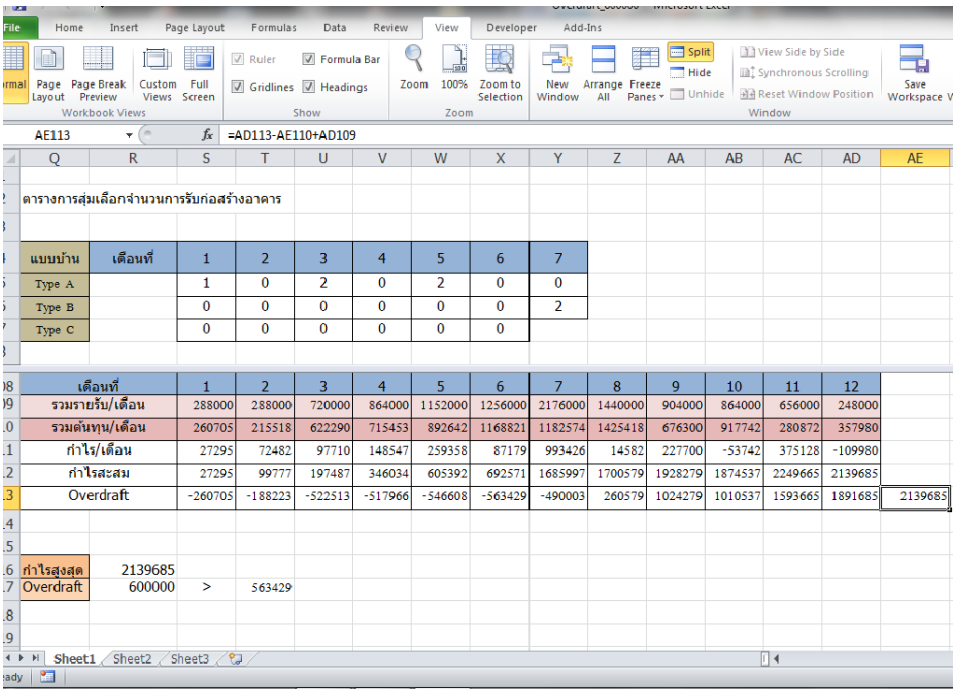
การพิจารณาถึงอิทธิพลของ Overdraft ที่มีผลต่อต่อกำไรโดยการสร้างโมเดลของปัญหาคือ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) คือ 1-10 หลัง/เดือน

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ กำไรสูงที่สุด/ปี

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constaint function) คือOverdraft ที่ 400,000, 600,000, 800,000, 1,000,000 บาท

เมื่อป้อนข้อมูลเพื่อหากำไรสูงสุดเมื่อ Overdraft ไม่เกิน 600,000 บาท จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.7



AE113 =AD113-AE110+AD109

ตารางการสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมรายรับ/เดือน | 288000 | 288000 | 720000 | 864000 | 1152000 | 1256000 | 2176000 | 1440000 | 904000 | 864000 | 656000 | 248000 | |
| รวมต้นทุน/เดือน | 260705 | 215518 | 622290 | 715453 | 892642 | 1168821 | 1182574 | 1425418 | 676300 | 917742 | 280872 | 357980 | |
| กำไร/เดือน | 27295 | 72482 | 97710 | 148547 | 259358 | 87179 | 993426 | 14582 | 227700 | -53742 | 375128 | -109980 | |
| กำไรสะสม | 27295 | 99777 | 197487 | 346034 | 605392 | 692571 | 1685997 | 1700579 | 1928279 | 1874537 | 2249665 | 2139685 | |
| Overdraft | -260705 | -188223 | -522513 | -517966 | -546608 | -563429 | -490003 | 260579 | 1024279 | 1010537 | 1593665 | 1891685 | 2139685 |

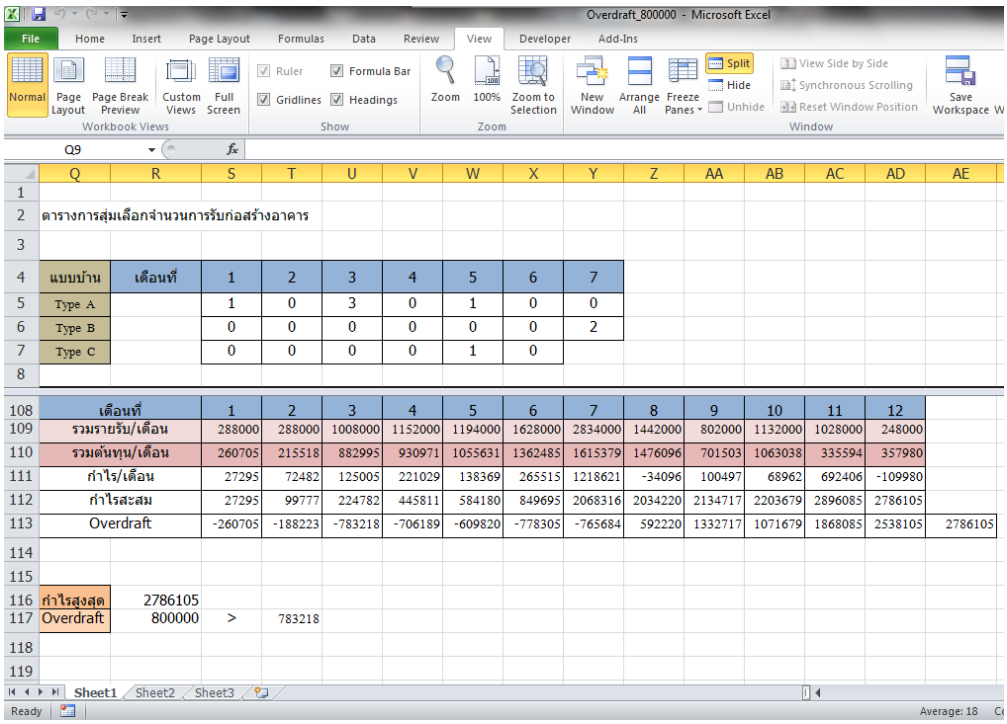
| กำไรสูงสุด | 2139685 | | |
|---|---|---|---|
| Overdraft | 600000 | > | 563429 |

Sheet1 Sheet2 Sheet3

รูปที่ 4.7 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อ Overdraft ไม่เกิน 600,000 บาท

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 3 จำนวน 2 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 5 จำนวน 2 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 7 เป็นจำนวน 2 หลัง และไม่มีการก่อสร้างบ้าน Type_C

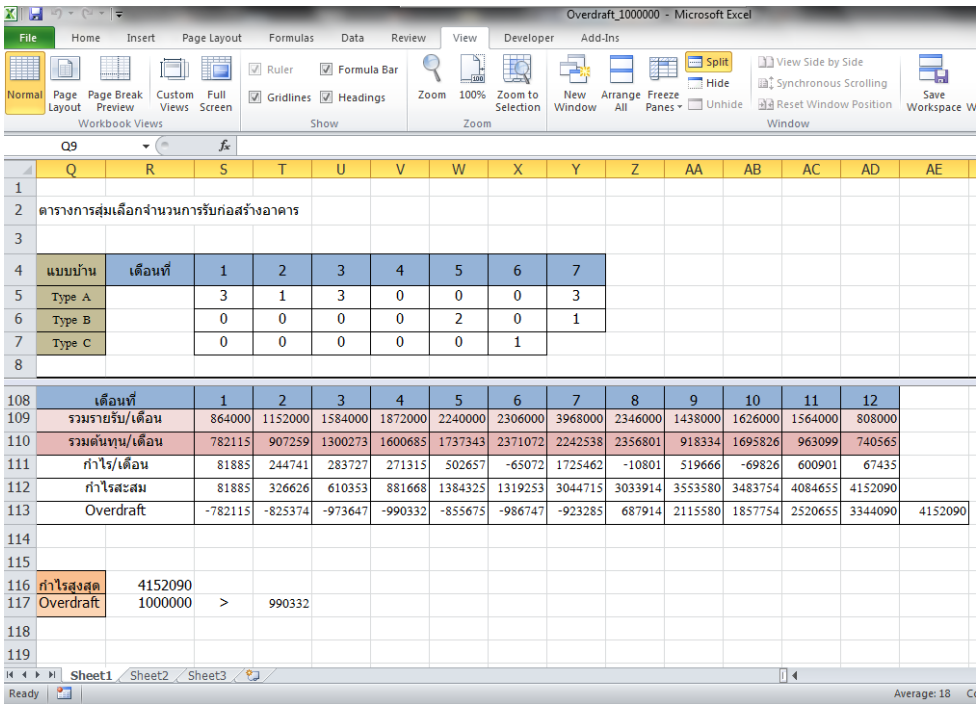
จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.7 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 2,139,685 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 563,429 บาทอยู่ในเดือนที่ 6




รูปที่ 4.8 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อ Overdraft ไม่เกิน 800,000 บาท

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 3 จำนวน 3 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 5 จำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 7 เป็นจำนวน 2 หลัง และควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.8 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 2,786,105 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 783,218 บาทอยู่ในเดือนที่ 3



Overdraft_1000000 - Microsoft Excel

ตารางการสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 3 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |

| เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมรายรับ/เดือน | 864000 | 1152000 | 1584000 | 1872000 | 2240000 | 2306000 | 3968000 | 2346000 | 1438000 | 1626000 | 1564000 | 808000 |
| รวมต้นทุน/เดือน | 782115 | 907259 | 1300273 | 1600685 | 1737343 | 2371072 | 2242538 | 2356801 | 918334 | 1695826 | 963099 | 740565 |
| กำไร/เดือน | 81885 | 244741 | 283727 | 271315 | 502657 | -65072 | 1725462 | -10801 | 519666 | -69826 | 600901 | 67435 |
| กำไรสะสม | 81885 | 326626 | 610353 | 881668 | 1384325 | 1319253 | 3044715 | 3033914 | 3553580 | 3483754 | 4084655 | 4152090 |
| Overdraft | -782115 | -825374 | -973647 | -990332 | -855675 | -986747 | -923285 | 687914 | 2115580 | 1857754 | 2520655 | 3344090 | 4152090 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| กำไรสูงสุด | 4152090 | | |
| Overdraft | 1000000 | > | 990332 |

รูปที่ 4.9 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับรับก่อสร้างบ้านเมื่อ Overdraft ไม่เกิน 1,000,000 บาท

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.9 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 3 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 2 จำนวน 1 หลัง เริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 3 จำนวน 3 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 3 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 2 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 6 เป็นจำนวน 1 หลัง

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.9 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 4,152,092 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 990,332 บาท อยู่ในเดือนที่ 4

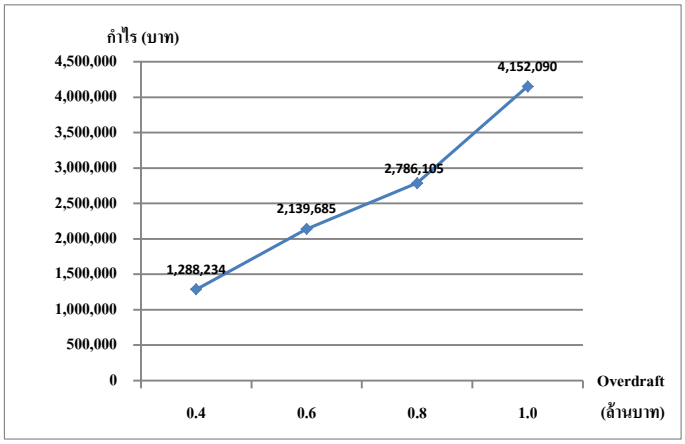
จากการทดสอบเมื่อนำข้อมูลของ Overdraft และกำไรสูงสุดมาเปรียบเทียบจะได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของ Overdraft

| เงื่อนไข / แบบบ้าน | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (600,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (800,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (1,000,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง |
|---|---|---|---|---|
| Type_A | 2 | 5 | 5 | 10 |
| Type_B | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Type_C | 1 | 0 | 1 | 1 |

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลของ Overdraft

| Overdraft ( บาท ) | กำไรสูงสุด ( บาท ) |
|---|---|
| 400,000 | 1288234 |
| 600,000 | 2139685 |
| 800,000 | 2786105 |
| 1,000,000 | 4152090 |




รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบกำไรเมื่อปรับเปลี่ยน Overdraft

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของ Overdraft มาเกี่ยวข้อง จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อมีการขยายเวลามากขึ้น ก็สามารถเพิ่มจำนวนการรับสร้างบ้านมากขึ้นแต่ไม่เป็นสัดส่วนที่แน่นอนขึ้นอยู่กับค่าผลรวมของ Overdraft สูงสุดในช่วงเวลารับงานก่อสร้าง

จากผลทดสอบผลกระทบของกำไรสูงสุด เมื่อปรับเปลี่ยน Overdraft สามารถวิเคราะห์ได้ว่ากำไรสูงที่สุดแปรผันตรงกับ Overdraft คือ เมื่อ Overdraft มากขึ้น ก็จะทำให้กำไรสูงสุดมากขึ้น โดยสามารถเทียบเป็นสมการเส้นตรง ( Linear )

$$P = 4.619O\text{-}641767 \qquad (4.1)$$

โดยที่ P คือ กำไรสูงสุด ( บาท )

O คือ Overdraft

จากสมการที่ (4.1) ทำให้สามารถประมาณผลกำไรสูงสุดเมื่อมีการปรับเปลี่ยน Overdraft จากค่าความชันของกราฟตามรูปที่ 4.10 ได้

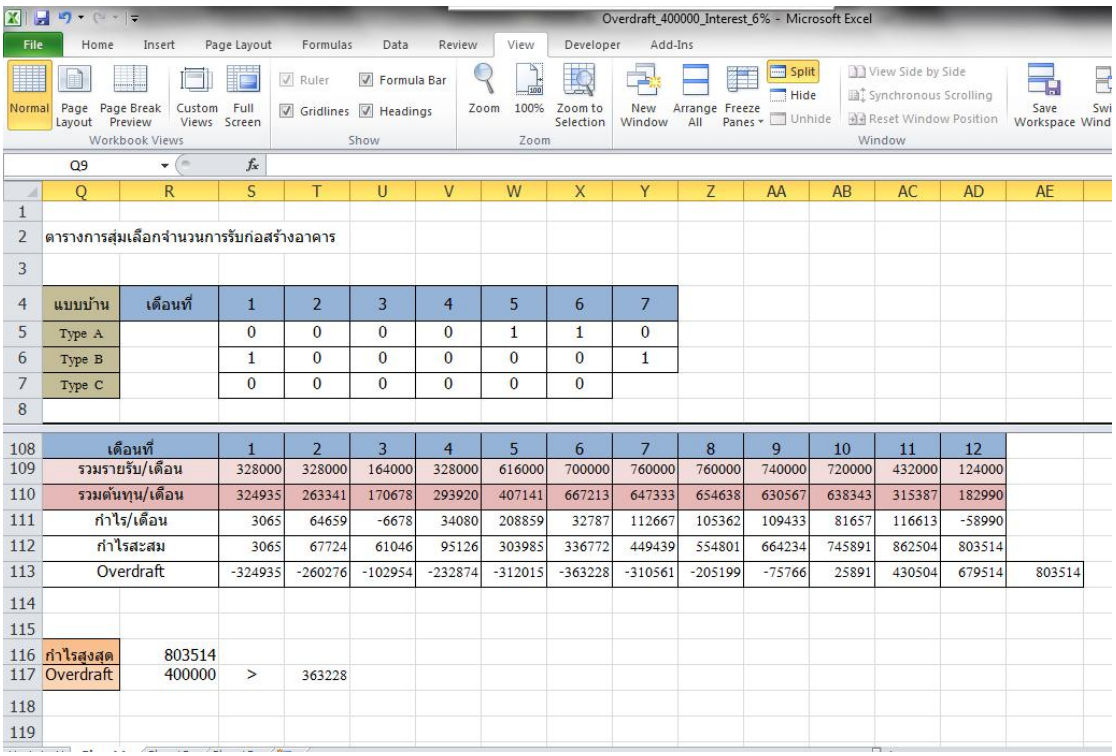
### 4.4 อิทธิพลของดอกเบี้ย (Interest)

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบต่อผลกำไรกรณีไม่มีเงินสดในการลงทุน โดยเงินทุนที่ได้มามีภาระดอกเบี้ย โดยการสร้างโมเดลของปัญหา คือ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) คือ 1-10 หลัง/เดือน

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ กำไรสูงที่สุด/ปี

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Constaint function) คือ Overdraft โดยเพิ่มเงื่อนไขของอัตราดอกเบี้ยที่ 6, 8, 10, 12 % ต่อปี



Overdraft_400000_Interest_6% - Microsoft Excel

ตารางการสุ่มเลือกจำนวนการรับก่อสร้างอาคาร

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Type B | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

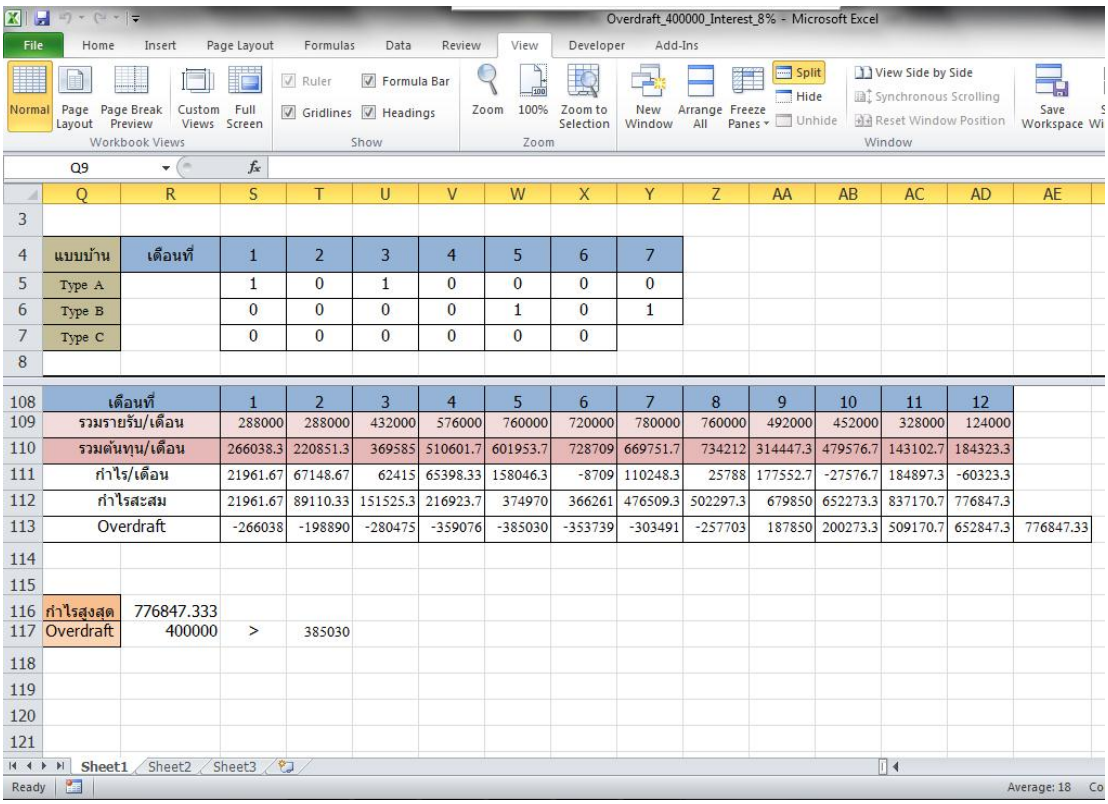
| เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมรายรับ/เดือน | 328000 | 328000 | 164000 | 328000 | 616000 | 700000 | 760000 | 760000 | 740000 | 720000 | 432000 | 124000 | |
| รวมต้นทุน/เดือน | 324935 | 263341 | 170678 | 293920 | 407141 | 667213 | 647333 | 654638 | 630567 | 638343 | 315387 | 182990 | |
| กำไร/เดือน | 3065 | 64659 | -6678 | 34080 | 208859 | 32787 | 112667 | 105362 | 109433 | 81657 | 116613 | -58990 | |
| กำไรสะสม | 3065 | 67724 | 61046 | 95126 | 303985 | 336772 | 449439 | 554801 | 664234 | 745891 | 862504 | 803514 | |
| Overdraft | -324935 | -260276 | -102954 | -232874 | -312015 | -363228 | -310561 | -205199 | -75766 | 25891 | 430504 | 679514 | 803514 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| กำไรสูงสุด | 803514 | | |
| Overdraft | 400000 | > | 363228 |

รูปที่ 4.11 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 6%

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.11 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 6 จำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 1 หลัง และไม่มีการเลือกก่อสร้างบ้าน Type_C

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.11 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 803,514 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 363,228 บาทอยู่ในเดือนที่ 6

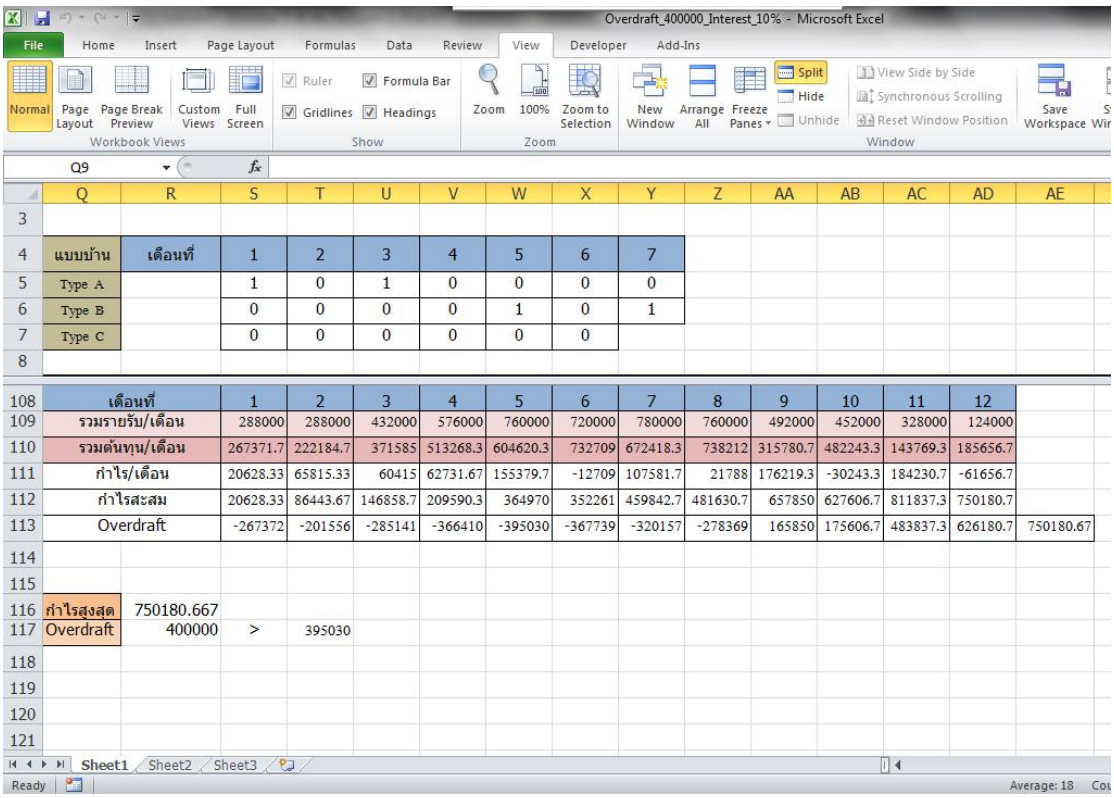



| | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | |
| 5 | Type A | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| 6 | Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | |
| 7 | Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 108 | เดือนที่ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 109 | รวมรายรับ/เดือน | | 288000 | 288000 | 432000 | 576000 | 760000 | 720000 | 780000 | 760000 | 492000 | 452000 | 328000 | 124000 | |
| 110 | รวมต้นทุน/เดือน | | 266038.3 | 220851.3 | 369585 | 510601.7 | 601953.7 | 728709 | 669751.7 | 734212 | 314447.3 | 479576.7 | 143102.7 | 184323.3 | |
| 111 | กำไร/เดือน | | 21961.67 | 67148.67 | 62415 | 65398.33 | 158046.3 | -8709 | 110248.3 | 25788 | 177552.7 | -27576.7 | 184897.3 | -60323.3 | |
| 112 | กำไรสะสม | | 21961.67 | 89110.33 | 151525.3 | 216923.7 | 374970 | 366261 | 476509.3 | 502297.3 | 679850 | 652273.3 | 837170.7 | 776847.3 | |
| 113 | Overdraft | | -266038 | -198890 | -280475 | -359076 | -385030 | -353739 | -303491 | -257703 | 187850 | 200273.3 | 509170.7 | 652847.3 | 776847.33 |
| 114 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 115 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 116 | กำไรสูงสุด | 776847.333 | | | | | | | | | | | | | |
| 117 | Overdraft | 400000 | > | 385030 | | | | | | | | | | | |
| 118 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 119 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 121 | | | | | | | | | | | | | | | |

รูปที่ 4.12 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 8%

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 3 เป็นจำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 1 หลัง และไม่มีการเลือกก่อสร้างบ้าน Type_C

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.12 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 776,847.33 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 385,030 บาทอยู่ในเดือนที่ 5



Overdraft_400000_Interest_10% - Microsoft Excel

| แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Type A | | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Type B | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

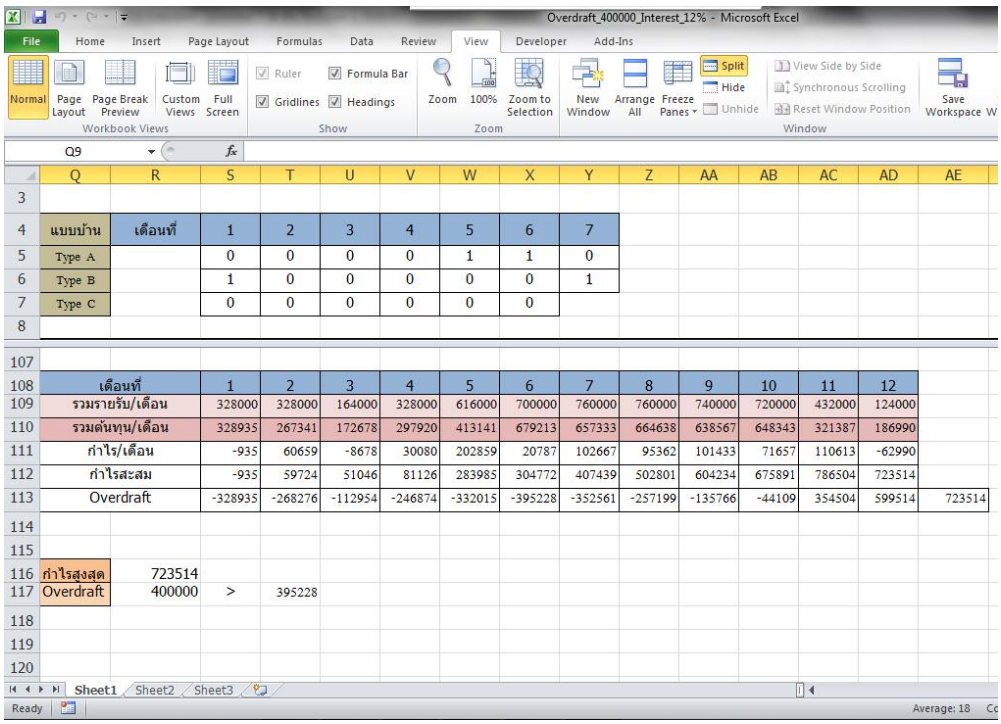
| เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รวมรายรับ/เดือน | 288000 | 288000 | 432000 | 576000 | 760000 | 720000 | 780000 | 760000 | 492000 | 452000 | 328000 | 124000 | |
| รวมต้นทุน/เดือน | 267371.7 | 222184.7 | 371585 | 513268.3 | 604620.3 | 732709 | 672418.3 | 738212 | 315780.7 | 482243.3 | 143769.3 | 185656.7 | |
| กำไร/เดือน | 20628.33 | 65815.33 | 60415 | 62731.67 | 155379.7 | -12709 | 107581.7 | 21788 | 176219.3 | -30243.3 | 184230.7 | -61656.7 | |
| กำไรสะสม | 20628.33 | 86443.67 | 146858.7 | 209590.3 | 364970 | 352261 | 459842.7 | 481630.7 | 657850 | 627606.7 | 811837.3 | 750180.7 | |
| Overdraft | -267372 | -201556 | -285141 | -366410 | -395030 | -367739 | -320157 | -278369 | 165850 | 175606.7 | 483837.3 | 626180.7 | 750180.67 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| กำไรสูงสุด | 750180.667 | | |
| Overdraft | 400000 | > | 395030 |

รูปที่ 4.13 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 10%

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 3 เป็นจำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 1 หลัง และไม่มีการเลือกก่อสร้างบ้าน Type_C

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.12 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 750,180.67 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 395,030 บาทอยู่ในเดือนที่ 5




| | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | แบบบ้าน | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | |
| 5 | Type A | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | |
| 6 | Type B | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | |
| 7 | Type C | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |

| | เดือนที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 109 | รวมรายรับ/เดือน | 328000 | 328000 | 164000 | 328000 | 616000 | 700000 | 760000 | 760000 | 740000 | 720000 | 432000 | 124000 | |
| 110 | รวมต้นทุน/เดือน | 328935 | 267341 | 172678 | 297920 | 413141 | 679213 | 657333 | 664638 | 638567 | 648343 | 321387 | 186990 | |
| 111 | กำไร/เดือน | -935 | 60659 | -8678 | 30080 | 202859 | 20787 | 102667 | 95362 | 101433 | 71657 | 110613 | -62990 | |
| 112 | กำไรสะสม | -935 | 59724 | 51046 | 81126 | 283985 | 304772 | 407439 | 502801 | 604234 | 675891 | 786504 | 723514 | |
| 113 | Overdraft | -328935 | -268276 | -112954 | -246874 | -332015 | -395228 | -352561 | -257199 | -135766 | -44109 | 354504 | 599514 | 723514 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 116 | กำไรสูงสุด | 723514 | | |
| 117 | Overdraft | 400000 | > | 395228 |

รูปที่ 4.14 การสุ่มเลือก และสรุปกำไรสูงสุดสำหรับก่อสร้างบ้านเมื่อมีดอกเบี้ย 12%

จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง และควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 6 เป็นจำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 7 จำนวน 1 หลัง และไม่มีการเลือกก่อสร้างบ้าน Type_C

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของดอกเบี้ย

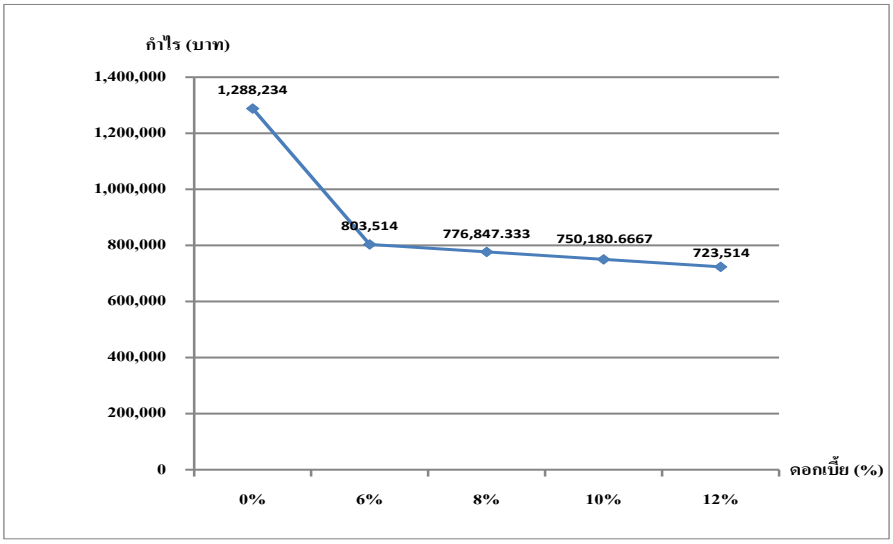
| เงื่อนไข | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง | Overdraft (400,000 บาท) ช่วงเวลา 1 ปี/หลัง |
|---|---|---|---|---|---|
| แบบบ้าน | ดอกเบี้ยร้อยละ 0 | ดอกเบี้ยร้อยละ 6 | ดอกเบี้ยร้อยละ 8 | ดอกเบี้ยร้อยละ 10 | ดอกเบี้ยร้อยละ 12 |
| Type_A | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Type_B | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Type_C | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการรับสร้างบ้านเมื่อมีอิทธิพลของดอกเบี้ยมาเกี่ยวข้องจากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อมีการปรับอัตราดอกเบี้ยมากขึ้น ก็ไม่สามารถเพิ่มจำนวนการรับสร้างบ้านให้มากขึ้นได้ แต่มีผลต่อช่วงเวลาในการรับสร้างบ้านโดยขึ้นอยู่กับค่าผลรวมของ Overdraft สูงสุดในช่วงเวลารับงานก่อสร้าง

จากรูปแบบการก่อสร้างบ้านในรูปที่ 4.12 จะพบว่า กำไรสูงสุดเท่ากับ 723,514 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 395,228 บาทอยู่ในเดือนที่ 6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบกำไรสูงสุดเมื่อมีอิทธิพลทางด้านดอกเบี้ย

| อัตราดอกเบี้ย (%) | กำไรสูงสุด ( บาท ) |
|---|---|
| 0 | 1,288,234.00 |
| 6 | 803,514.00 |
| 8 | 776,847.33 |
| 10 | 750,180.67 |
| 12 | 723,514.00 |




รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบกำไรเมื่อมีอัตราดอกเบี้ยจากเงินลงทุน

ผลทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.15 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าอัตราดอกเบี้ยมีผลกระทบต่อผลกำไรสูงสุดโดยแปรผกผันกับอัตราดอกเบี้ย หากเปรียบเทียบจากเงินลงทุนที่ไม่มีดอกเบี้ยเทียบกับเงิน

ลงทุนที่มีอัตราดอกเบี้ยที่ 6% เห็นได้ว่ามีความแตกต่างตั้งแต่ขั้นตอนในการเลือกลงทุนจนถึงผลกำไรสูงสุดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่มีความชันลาดเอียงมากจากดอกเบี้ย 0% เป็น 6%

เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟจาก 6%,8%,10%,12% จะพบว่าความชันของเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงสม่ำเสมอ ทำให้สามารถวิเคราห์ได้ว่า เมื่อเงินลงทุนมีอัตราดอกเบี้ยเข้ามาเกี่ยวข้อง จะทำให้กำไรสูงสุดลดลง โดยสามารถเทียบเป็นสมการเส้นตรง ( By linear ) ได้ดังนี้

$$P(i) = 883514-13333I \qquad (4.2)$$

โดยที่ P(i) คือ กำไรสูงสุด ( บาท )

I คือ Interest (ดอกเบี้ย)

จากสมการที่ (4.2) ทำให้สามารถประมาณผลกำไรสูงสุดเมื่อมีการปรับเปลี่ยน ค่าอัตราดอกเบี้ย จากค่าความชันของกราฟตามรูปที่ 4.15 ตั้งแต่ช่วงอัตราดอกเบี้ย 6% ถึง 12%ได้

# บทที่ 5
# สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการจัดลำดับของโครงการก่อสร้างภายใต้เงื่อนไขเงินสดที่จำกัด โดยการประยุกต์วิธีเจเนติก อัลกอลิทึม(Genetic Algorithm:GA)ด้วยการจำลองโมเดลการเลือกรับก่อสร้างบ้านสองชั้น ของโครงการสุรนารีวิลล์ “โครงการ ๕ บ้านเกาะ” เฟสที่ 5โดยใช้การเลือกรับก่อสร้างจากแบบบ้านสองชั้นทั้งหมด 3 แบบที่มีการแบ่งปริมาณงาน,จำนวนงวดงาน,ระยะเวลาประกันงาน และราคาประกันงานที่เท่ากัน แต่มีระยะเวลาการก่อสร้าง และราคาค่าก่อสร้างที่แตกต่างกัน การศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการศึกษาการเลือกลงทุนรับก่อสร้างบ้าน ในโครงการบ้านจัดสรรโดยมีเงินสดสำหรับลงทุนที่ 400,000 บาท และจำกัดเวลาการรับงานที่ 1 ปีโดยวิธีเจเนติกอัลกอลิทึม พบว่าการก่อสร้างบ้าน Type_A ควรเริ่มก่อสร้างในเดือนที่ 1 เป็นจำนวน 1 หลัง และเดือนที่ 3 เป็นจำนวน 1 หลัง ควรเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_B ในเดือนที่ 7 เป็นจำนวน 1 หลัง และเริ่มก่อสร้างบ้าน Type_C ในเดือนที่ 5 เป็นจำนวน 1 หลัง จึงจะได้กำไรสูงสุดเท่ากับ 1,288,234 บาท ซึ่งอยู่ในเดือนที่ 12 และ Maximum Overdraft เท่ากับ 397,662 บาทอยู่ในเดือนที่ 7

5.1.2 อิทธิพลของช่วงระยะเวลาโดยวิธีเจเนติกอัลกอลิทึมเมื่อเงินสดที่เป็นทุนเท่ากับ 400,000 บาท พบว่าหากมีการเพิ่มขอบเขตของระยะเวลาการรับงานก่อสร้าง ก็จะทำให้ได้กำไรมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของกำไรสูงสุด มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าต่อการขยายระยะเวลาเพิ่มขึ้นทุก 6 เดือน โดยลักษณะของการเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการที่โครงการก่อสร้างได้รับเงินประกันงานจากบ้านที่เริ่มก่อสร้างในเดือนแรก แล้วได้คืนภายหลังจากจบงานในงวดสุดท้ายแล้วเป็นเวลา 1 ปี

5.1.3 อิทธิพลของ Overdraft โดยวิธีเจเนติกอัลกอลิทึมเมื่อเงินสดที่เป็นทุนมีการปรับเปลี่ยนโดยระยะเวลาการรับงานก่อสร้าง 1 ปี พบว่า กำไรสูงสุดจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ Overdraft เพิ่มมากขึ้น ลักษณะของการเพิ่มขึ้นสามารถเทียบเป็นสมการเส้นตรง (Linear) และสามารถประมาณผลกำไรสูงสุดเมื่อมีการปรับเปลียน Overdraft จากสมการเส้นตรงนี้ได้

5.1.4 อิทธิพลของอัตราดอกเบี้ยต่อกำไรสูงสุดของโครงการก่อสร้างแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงอัตราดอกเบี้ยน้อยกว่า 6 % กำไรสูงสุดลดลงเกือบ 500,000 บาท และช่วง

อัตราดอกเบี้ยมากกว่า 6% กำไรสูงสุดลดลง 26,667 บาทต่ออัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้นทุก 2%

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

การศึกษานี้เน้นไปที่การสร้างเครื่องมือ เพื่อหากำไรสูงสุดในการเลือกรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก2 ชั้น ของโครงการหมู่บ้านสุรนารีวิลล์ โครงการ 5 บ้านเกาะ เฟส 5 ที่มีแบบบ้าน 2 ชั้น จำนวน 3 รูปแบบ โดยจำกัดเงินเป็นเงินทุนสด 400,000 บาทในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งไม่ได้ศึกษาในประเด็นแรงงาน ความผันแปรของปริมาณวัสดุ และราคาวัสดุ รวมถึงค่าเสื่อม ค่าน้ำมันเครื่องจักร อื่นๆหากต้องการนำไปใช้กับโครงการอื่นๆควรจัดทำรายการประมาณการณ์ของแบบบ้านให้เป็นไปตามเงื่อนไขของงวดงานและเงื่อนไขการประกันงานของโครงการนั้น ๆ

# เอกสารอ้างอิง


วชรภูมิ เบญจโอฬาร. 2011. **เอกสารประกอบการสอนการบริหารงานก่อสร้าง. 5th ed. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

Bean, J.C. 1994. **Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization**. ORSA Journalon Computing 6, no. 2: 154-160.

Chan, Weng-Tat, David K.H. Chula, and Govindan Kannan, 1996, **Construction Resource Scheduling with Genetic Algorithms.** Journal of Construction Engineering and Management 122, no. 2(June):125-132. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1996) 122:2(125).

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

Chen, PH, and H. Weng. 2009, **A two-phase GA model for resource-constrained project scheduling.** Automation in Construction 18, no. 4: 485-498.

Elazouni, Ashraf M., and Fikry G. Metwally. 2007. **Expanding Finance-Based Scheduling to Devise Overll-Optimized Project Schedules**. Journal of Construction Engineering and Management 133,no. 1: 86-90. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:1(86).

Elazouni, Ashraf M., and Fikry Gomaa Metwally. 2005**. Expanding Finance-Based Scheduling:Tool to Maximize Project profit Using Improved Genetic Algorithms**. Journal of Construction Engineering and Management 131,No. 4(April): 400-412. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:(400).

Elbeltage, Emad, Tarek Hegazy, and Donald Grierson. 2005. **Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms**. Advanced Engineering informatics 19. no. 1:43-53. doi:10.1061/j.aei.2005.01.004.

El-Rayes, Khaled, and Dho Heon Jun. 2009. **Optimizing Resource Leveling in Construction Projects.** Journal of Construction Engineering and Management 135, no. 11(November): 1172-1180. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000097.

Feng, C.W, L Liu, and S. A Burns. 2000. **Stochastic construction time-cost trade-off analysis**. Journal of computing in civil engineering 14 : 117.

Hendrickson, Chris, and Tung Au. 1989. **Project management for construction : fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders**. Chris Hendrickson, February.

Hinze, Jimmie. 2008. **Construction planning and scheduling**. Pearson Prentice Hall.

Leu, S-S, and C-H Yang. 1999. **A GA-based multicriteria Optimal model for construction Scheduling.** Journal of Construction Engineering and Management 125, no. 6 : 6. (December): 420-427. doi:10.016/(ASCE)0733-9364(1999)125:6(420).

Zhang, H., X. Li, H. Li, and F Huang. 2005. **Particle swarm optimization-based schemes for resource constrained project Scheduling**. Automation in construction 14, no. 3: 393-404.

Zhang, Hong, C.M. Tam and Heng Li. 2006b. **Multimode Project Scheduling Based on Particle Swarm optimization.** Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, no. 2: 93-103. doi: 10.1111/j.1467-8667.2005.00420.x.

Zheng, Daisy X.M., and S. Thomas Ng. 2005. **Stochastic Time—cost Optimization Model Incorporating Fuzzy sets Theory and Non-replaceable Front**. Journal of Construction Engineering and Management 131, no.2 (February) : 176-186. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:2(176).

# ภาคผนวก ก
# ข้อมูลแบบบ้านที่ใช้ในการศึกษา

รูปที่ ก1 แบบบ้าน Sapphire (Type_A)

ตารางที่ ก1 ใบสรุปประมาณการแบบบ้าน Sapphire (Type_A)

1/1

**BOQ** ( Bill of Quantity )

**แบบบ้าน Type A ( Sapphire )**

โครงการ...ก่อสร้างบ้านพักอาศัย คสล. 2 ชั้น

วันที่ .....

ผู้ประมาณราคา.....นายรัชกฤช เมธาธิรัตน์

เจ้าของ..... โครงการสุรนารีวิลล์

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ค่าวัสดุ | | ค่าแรงงาน | | รวมค่าวัสดุ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ราคา | เป็นเงิน | ราคา | เป็นเงิน | และค่าแรงงาน | |
| 1 | งวดงานที่ 1 | | | | 90335 | | 38715 | 129050 | |
| 2 | งวดงานที่ 2 | | | | 92158 | | 39497 | 131655 | |
| 3 | งวดงานที่ 3 | | | | 76823 | | 32910 | 109733 | |
| 4 | งวดงานที่ 4 | | | | 74050 | | 31735 | 105785 | |
| 5 | งวดงานที่ 5 | | | | 70616 | | 30264 | 100880 | |
| 6 | งวดงานที่ 6 | | | | 110864 | | 47514 | 158378 | |
| 7 | งวดงานที่ 7 | | | | 88227 | | 37812 | 126039 | |
| 8 | งวดงานที่ 8 | | | | 118630 | | 50842 | 169472 | |
| 9 | งวดงานที่ 9 | | | | 89965 | | 38557 | 128522 | |
| 10 | งวดงานที่ 10 | | | | 28300 | | 12129 | 40429 | |
| | รวม | | | | 839968 | | 359975 | **1199943** | |
| | **รวมงานจ้างเหมาทั้งค่าของและค่าแรงงานทั้งสิ้น 1,199,943 บาท ( หนึ่งล้านหนึ่งแสนเก้าหมื่นเก้าพันเก้าร้อยสี่สิบสาม บาทถ้วน )** | | | | | | | | |

รูปที่ ก2 แบบบ้าน Crystal (Type_B)

ตารางที่ ก2 ใบสรุปประมาณการแบบบ้าน Crystal (Type_B)

1/1

**BOQ** ( Bill of Quantity )

**แบบบ้าน Type B ( Crystal )**

โครงการ...ก่อสร้างบ้านพักอาศัย คสล. 2 ชั้น

วันที่ .....

ผู้ประมาณราคา.....นายรัชกฤช เมฆาธิรัตน์

เจ้าของ..... โครงการสุรนารีวิลล์

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ค่าวัสดุ | | ค่าแรงงาน | | รวมค่าวัสดุ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ราคา | เป็นเงิน | ราคา | เป็นเงิน | และค่าแรงงาน | |
| 1 | งวดงานที่ 1 | | | | 103950 | | 44550 | 148500 | |
| 2 | งวดงานที่ 2 | | | | 120705 | | 51730 | 172435 | |
| 3 | งวดงานที่ 3 | | | | 70939 | | 47292 | 118231 | |
| 4 | งวดงานที่ 4 | | | | 98777 | | 42333 | 141110 | |
| 5 | งวดงานที่ 5 | | | | 118075 | | 50603 | 168678 | |
| 6 | งวดงานที่ 6 | | | | 96788 | | 41480 | 138268 | |
| 7 | งวดงานที่ 7 | | | | 106156 | | 45496 | 151652 | |
| 8 | งวดงานที่ 8 | | | | 98304 | | 42132 | 140436 | |
| 9 | งวดงานที่ 9 | | | | 99831 | | 42780 | 142611 | |
| 10 | งวดงานที่ 10 | | | | 25466 | | 10913 | 36379 | |
| | รวม | | | | 938991 | | 419309 | **1358300** | |
| | **รวมงานจ้างเหมาทั้งค่าของและค่าแรงงานทั้งสิ้น 1,358,330 บาท ( หนึ่งล้านสามแสนห้าหมื่นแปดพันสามร้อยสามสิบ บาทถ้วน )** | | | | | | | | |

รูปที่ ก3 แบบบ้าน Emeral (Type_C)

ตารางที่ ก3 ใบสรุปประมาณการแบบบ้าน Emeral (Type_C)

1/1

**BOQ** ( Bill of Quantity )

**แบบบ้าน Type C ( Emeral )**

โครงการ...ก่อสร้างบ้านพักอาศัย คสล. 2 ชั้น

วันที่ .....

ผู้ประมาณราคา.....นายรัชกฤช เมธาธิรัตน์

เจ้าของ..... โครงการสุรนารีวิลล์

| ลำดับที่ | รายการ | หน่วย | จำนวน | ค่าวัสดุ | | ค่าแรงงาน | | รวมค่าวัสดุ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ราคา | เป็นเงิน | ราคา | เป็นเงิน | และค่าแรงงาน | |
| **1** | **งวดงานที่ 1** | | | | 113720 | | 48737 | 162457 | |
| **2** | **งวดงานที่ 2** | | | | 112257 | | 48100 | 160357 | |
| **3** | **งวดงานที่ 3** | | | | 73561 | | 51204 | 124765 | |
| **4** | **งวดงานที่ 4** | | | | 116336 | | 49821 | 166157 | |
| **5** | **งวดงานที่ 5** | | | | 138636 | | 59420 | 198056 | |
| **6** | **งวดงานที่ 6** | | | | 116310 | | 49834 | 166144 | |
| **7** | **งวดงานที่ 7** | | | | 136275 | | 58400 | 194675 | |
| **8** | **งวดงานที่ 8** | | | | 106953 | | 45837 | 152790 | |
| **9** | **งวดงานที่ 9** | | | | 113010 | | 48447 | 161457 | |
| **10** | **งวดงานที่ 10** | | | | 38302 | | 16420 | 54722 | |
| | รวม | | | | 1065360 | | 476220 | **1541580** | |
| | **รวมงานจ้างเหมาทั้งค่าของและค่าแรงงานทั้งสิ้น 1,541,580 บาท ( หนึ่งล้านห้าแสนสี่หมื่นหนึ่งพันห้าร้อยแปดสิบ บาทถ้วน )** | | | | | | | | |

# ประวัติผู้เขียน

นายรัชกฤช เมธาธิรัตน์ เกิดวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2521 สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีโยธา) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร พุทธศักราช 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีพุทธศักราช 2555 ปัจจุบันเป็นเจ้าของกิจการรับเหมาก่อสร้างทั่วไป