โมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรโดยทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ กรณีศึกษา โครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

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

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

[1]นักศึกษา [2]รองศาสตราจารย์ หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

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

Abstract

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

คำสำคัญ : โมเดล การวางแผนจัดสรรทรัพยากร การปรับสมดุลทรัพยากร ทางเลือกความสัมพันธ์

Keywords : Model , Resource Allocation , Resource Leveling .Relationship Option , Optimization

ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ aekanan.ace@gmail.com โทร. 08 1351 4833

1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรแรงงานในงานก่อสร้าง หรือ แรงงานไม่เพียงพอในช่วงที่มีความต้องการการใช้สูงส่งผลให้จะต้องมีการวางแผนงานในการจัดสรรทรัพยากร วิธีการแก้ปัญหาคือต้องวิเคราะห์การใช้ทรัพยากร และทำการปรับระดับการใช้ทรัพยากร(Resource Levelling) เพื่อให้มีระดับการใช้ทรัพยากรมีความสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาโครงการ

เนื่องจากลักษณะของการปรับสมดุลนี้คำตอบที่เป็นไปได้นั้นมีจำนวนมาก วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยการนำหลักการวิจัยดำเนินงาน(Operation Research)และความสามารถในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาสร้างเป็นตัวแบบถือว่าเป็นแนวทางที่ใช้กันแพร่หลายและถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง

การปรับแก้แผนงานก่อสร้างโดยเปลี่ยนแปลงรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเช่น จากแบบ Finish-to-Start (FS) เป็นแบบFinish-to-Finish (FF) , Start -to-Start (SS) และ No Relation (NO) เป็นต้น จะมีผลโดยตรงต่อความสมดุลของระดับการใช้ทรัพยากร ซึ่งจะเพิ่มโอกาสให้ได้แผนงานผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบปัญหาการปรับระดับการใช้ทรัพยากร โดยกรณีตัวอย่างมีปัญหาเป็นการใช้แรงงานในโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดีซึ่งมีปัญหาการใช้แรงงานในการก่อสร้างไม่สม่ำเสมอ ทำให้แรงงานไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา โดยผู้วิจัยจะใช้ความสามารถของโปรแกรม สเปรตชีตเอ็กเซล และ หลักการขั้นตอนทางพันธุกรรม มาช่วยเพื่อให้โมเดลมีความสามารถในการพิจารณาตัดสินใจเลือก หรือ ทบทวนเงื่อนไขความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆเพื่อทำให้ได้แผนงานที่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรและสามารถนำไปใช้กับงานโครงการก่อสร้างได้จริง

2. วิธีการทดลอง

ที่ผ่านมามีการวิจัยที่ได้พัฒนาโมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากร เช่น Hegazy(1999)ได้เสนอโมเดลปัญหาการปรับสมดุลทรัพยากรซึ่งได้เสนอดัชนีการใช้โมเมนต์ของความผันผวนน้อยที่สุด จากสมการ(1)

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

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

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

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

ค่า RRH (Release & Rehire) คือ ดัชนีวัดผลรวมจำนวนทรัพยากรที่ต้องปล่อยให้ว่างงานชั่วคราวในช่วงที่การใช้งานต่ำและนำกลับมาใช้อีกในช่วงความต้องการใช้กลับเพิ่มขึ้นมา

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

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

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

RID (Resource Idle Day) คือ ดัชนีวัดผลรวมจำนวนทรัพยากรที่ว่างงานอันเนื่องความผันผวนของระดับการใช้

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

โดยที่ H คือผลรวมจำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการเพิ่มขึ้น
MRD คือจำนวนทรัพยากรประจำวันที่ต้องการมากที่สุด
HR คือผลรวมความผันผวนรายวันของความต้องการใช้ทรัพยากร
r_t คือจำนวนทรัพยากรที่ต้องการประจำวันที่ t
T คือ Total Project Durations

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

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

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

2.1 สมการของโมเดลปัญหา

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

รูปที่ 1 รูปงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลกิจกรรมของโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

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

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

ทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมดและการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังทำให้ได้ระดับการจัดสรรทรัพยากรอีกด้วย

ตัวแปรตัดสินใจ1: S_i= เวลาเลื่อน(Shifting time) ของกิจกรรมที่ i

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

โดยที่ ST_i = เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i

S_i = เป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่ มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ตัวแปรตัดสินใจอีกกลุ่มคือกลุ่มการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์(Relationship Options) เป็นการกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบางอันสามารถมีทางเลือกต่างๆกันได้ ซึ่งผลของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ถูกเลือกจะนำไปใช้ในการคำนวณ CPM ต่อไป

ตัวแปรตัดสินใจ 2: การเลือกรูปแบบความสัมพันธ์

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

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

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

$$\text{Total Score}=\text{Minimize } (w_1M_x + w_2MRD + w_3RRH + w_4RID + w_5T) \quad (10)$$

โดยที่ w_1,w_2,w_3,w_4,w_5 คือค่าถ่วงน้ำหนักตามความสำคัญของวัตถุประสงค์ย่อยและเพื่อการปรับสเกลของตัวเลขซึ่งกำหนดให้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.020,20,1,10 และ 30 ตามลำดับ

ฟังก์ชั่นข้อจำกัด(Constraint Function)แบ่งออกเป็นกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์รูปแบบต่างๆและกลุ่มเงื่อนไขทั่วไป ดังนี้

:กลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์

$$\text{FS:} \quad ST_i \geq FT_h \quad ; ?_h \quad (11)$$

$$\text{SS:} \quad ST_i \geq ST_h \quad ; ?_h \quad (12)$$

$$\text{FF:} \quad FT_i \geq FT_h \quad ;-?_h \quad (13)$$

:กลุ่มเงื่อนไขทั่วไป

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

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

โดยที่ ST_i เวลาเริ่มของกิจกรรมที่ i ที่ปรับเลื่อนแล้ว

FT_i เวลาแล้วเสร็จของกิจกรรมที่ i

h กิจกรรม predecessors ของกิจกรรมที่ i

T ระยะเวลาของโครงการที่กำหนด

D_i ระยะเวลาของกิจกรรมที่ i

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

2.2 การสร้างโมเดลด้วยสเปรตชีต

โมเดลปัญหานี้จะถูกสร้างบนโปรแกรมสเปรตชีตโดยจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ที่มีแผ่นงาน(Sheet)แผ่นเดียวโดยในแต่ละเซลของแผ่นงานจะใช้ป้อนสูตรของสมการต่างๆที่ต้องคำนวณ และเพื่อให้เข้าใจโมเดลได้ง่ายในพื้นที่แผ่นคำนวณจะ มีส่วนการคำนวณค่าเวลา,ส่วนแสดงบาร์ชาร์ทของแต่ละกิจกรรมและส่วนของการคำนวณค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้วยทั้งหมดโดยแสดงในลักษณะตาราง

2.2.1 การนำเข้าข้อมูล

เท็มเพลตของแผนงานคือพื้นที่สำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน เป็นตัวโจทย์ปัญหาแผนงานโครงการที่ต้องการหาคำตอบ ข้อมูลที่ต้องนำเข้าได้แก่ รายชื่อกิจกรรม ระยะเวลากิจกรรม จำนวนทรัพยากรที่ใช้ต่อวัน และความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดทำแผนงานก่อสร้าง

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

ในโมเดลนี้ผู้วางแผนสามารถกำหนดทางเลือกของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดให้เป็นคำตอบโดยที่แต่ละคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรมไม่จำเป็นต้องมีทางเลือกเดียวเสมอไป

2.2.2 การคำนวณค่าเวลา

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

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

(1) กรณี FS และไม่มีทางเลือก :

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\ (FT_h) + S_i;\ ?h \qquad (16)$$

ตัวอย่างเช่น กิจกรรม F มี Predecessors เป็นกิจกรรม A และ D จะได้ว่า

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

การคำนวณขากลับ

$$LF_i = Min\ (LS_k)\ ;= \quad ?k \qquad (17)$$

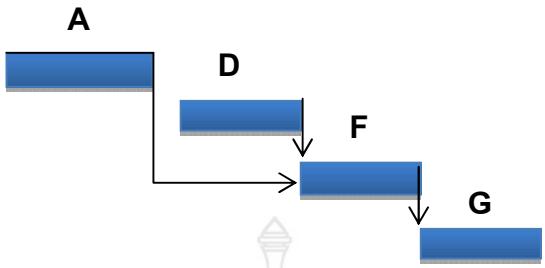
ตัวอย่างเช่น กิจกรรม F มี Successors เป็นกิจกรรม G จะได้ว่า

$$LF_F = Min\ (LS_G)$$

โดยที่ i = กิจกรรมที่กำลังพิจารณา

h = กิจกรรม predecessors ของกิจกรรม i

k = กิจกรรม successors ของกิจกรรม i



รูปที่ 2 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม F และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อ

(2) กรณีทางเลือก FS กับ No:

การคำนวณขาไป

$$ST_i = Max\ (FT_h * x_{ihj}) + S_i;\ ?h \qquad (18)$$

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

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

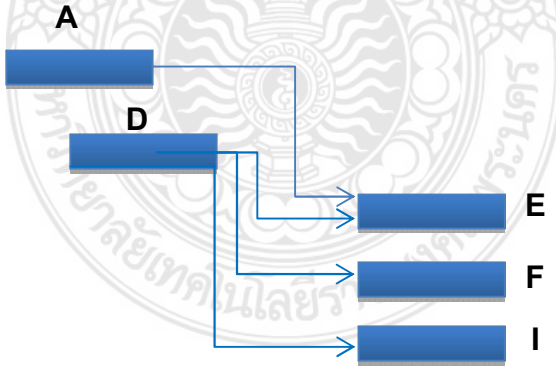
การคำนวณขากลับ

ในขณะที่กิจกรรม D มี Successors เป็นกิจกรรม E,F,I จะได้ว่า

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

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

BN = ตัวเลขเต็มบวกที่มีค่ามากๆเมื่อเทียบกับระยะเวลาโครงการ เช่น 1,000 วัน



รูปที่ 3 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม E-D และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(3) กรณีทางเลือก FS และ SS

การคำนวณขาไป

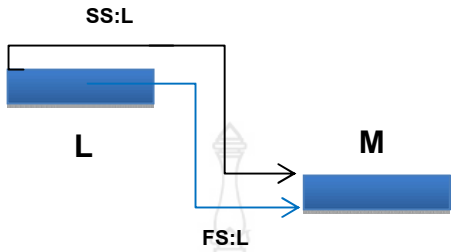
$$ST_i = Max\ (FT_h * x_{ihj}) + S_i;\ ?h \qquad (19)$$

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

การคำนวณขากลับ

ในขณะที่กิจกรรม L มี Successors เป็นกิจกรรม M จะได้ว่า

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



รูปที่ 4 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม M-L และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(4) กรณีทางเลือก FS และ FF

การคำนวณขาไป

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

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

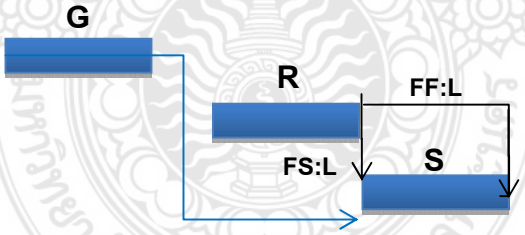
$ST_S = Max (FT_R – D_R * x_{SR2}, FT_G) + S_S$ (21)

การคำนวณขากลับ

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

ตัวอย่างเช่น ในขณะที่กิจกรรม R มี Successors เป็นกิจกรรม S จะได้ว่า

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



รูปที่ 5 บาร์ชาร์ทแสดงคู่ความสัมพันธ์ของกิจกรรม S-R และกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

(5) ในทุกกรณี

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

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

2.3 วิธีทดสอบโมเดลและการแสดงผลการทดสอบ

2.3.1 การสร้างแผนงานตารางเวลา และ แผนงานการจัดสรรทรัพยากรก่อนการปรับสมดุล

โมเดลที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกทดสอบกับข้อมูลโครงการที่นำมาจากโครงการก่อสร้างจริง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผนงานโครงการปรับปรุงอาคารออร์โธพิดิกส์ โรงพยาบาลรามาธิบดี จากตารางที่ 1 แล้วนำมาสร้างแผนงานตารางเวลา เพื่อคำนวณค่าเวลา CPM เบื้องต้นจากนั้นสร้างกราฟแท่งการจัดสรรทรัพยากร

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

2.3.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ไม่มีและมีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม

การทดลองที่ 1 โมเดลที่ไม่มีตัวเลือกความสัมพันธ์

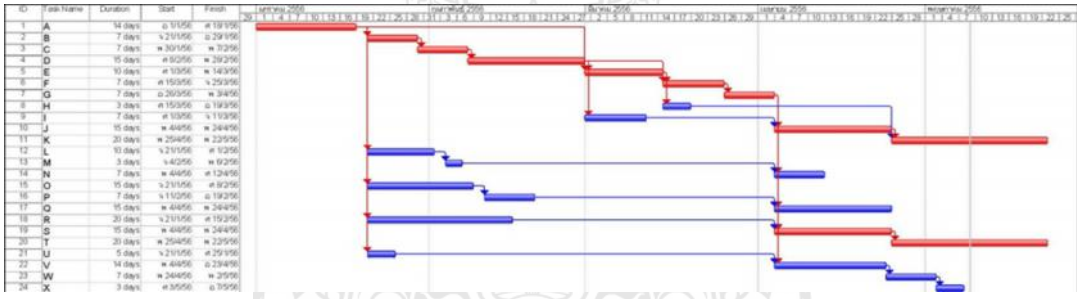
สมการวัตถุประสงค์คือTotal Score =Minimize [0.020Mx + 20MRD + RRH + 10RID + 30T] ทำการทดลองรันโปรแกรม Evolver เพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้ง แต่ถอดความสัมพันธ์แบบมีตัวเลือกออก

การทดลองที่ 2 โมเดลที่มีตัวเลือกความสัมพันธ์

สมการวัตถุประสงค์คือTotal Score =Minimize [0.020Mx + 20MRD + RRH + 10RID + 30T] ทำการทดลองรันโปรแกรม Evolver เพื่อหาคำตอบจำนวน 10 ครั้ง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลลัพธ์จาการการสร้างแผนงานตารางเวลา และ แผนงานการจัดสรรทรัพยากรก่อนการปรับสมดุลจะได้แผนงานแบบตารางเวลาตามรูปที่ 6 และสร้างกราฟแท่งได้ตามรูปที่ 7.1

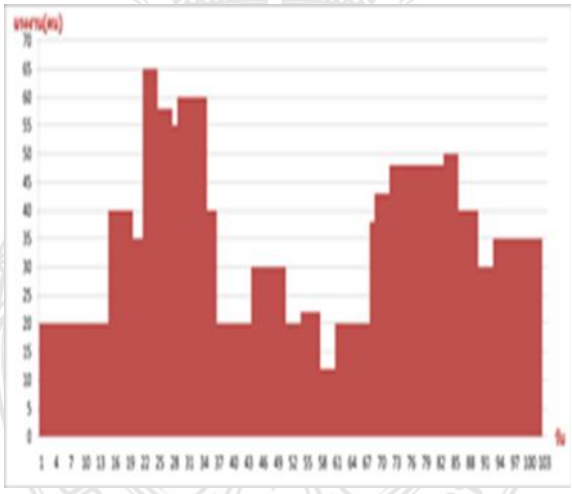


รูปที่ 6 แผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดี ก่อนปรับสมดุลแสดงด้วย Gantt Chart

รูปที่ 7.1 กราฟแท่งจัดสรรทรัพยากรโครงการ ก่อนใช้โมเดล

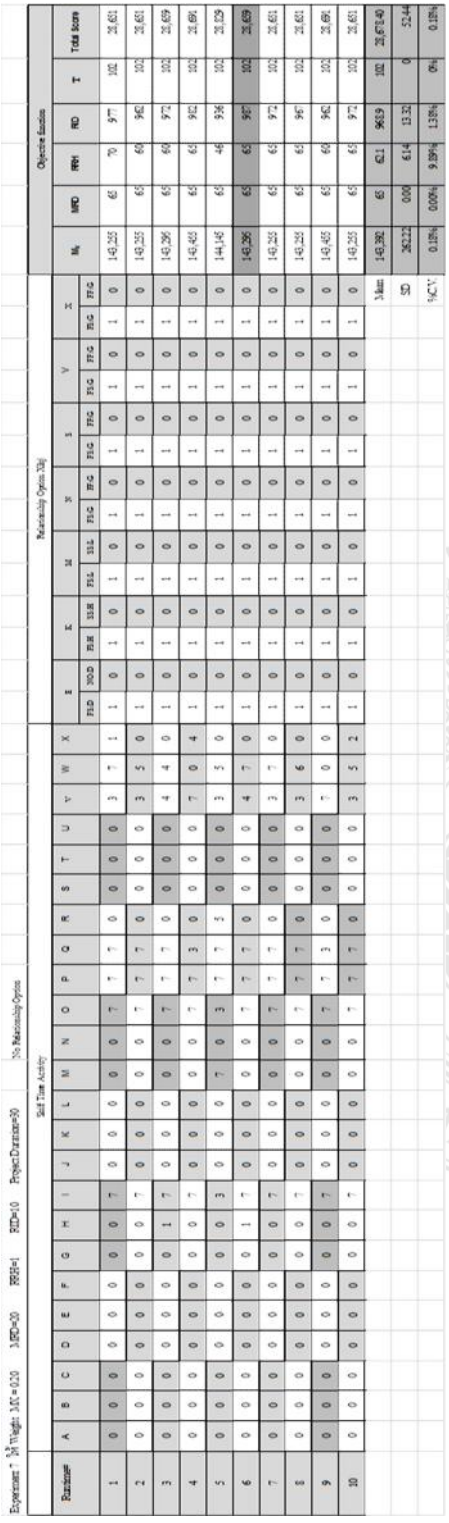
พบว่าเมื่อสร้างแผนงานตารางเวลาพบว่าผลที่ออกมาพบว่าแผนงานก่อสร้างนี้มีระยะเวลาดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นจนจบทั้งสิ้น 102 วัน เกิดสายงานวิกฤตเป็นจำนวน 2 สาย คือ สายแรก คือ A-B-C-D-E-F-G-J-K และสายที่ 2 A-B-C-D-E-F-G-S-T มีกิจกรรมที่น่าสนใจคือ กิจกรรม A ซึ่งเป็นกิจกรรมแรกของโครงการ มีลักษณะที่เด่นคือมี Successor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

3.2 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโมเดลที่ไม่มีและมีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2 – 3 พบว่า โมเดลแรกที่ไม่มีตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมนั้น ค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก %C.V. = 1.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดล เราเลือกค่า Score ดัชนีที่ใกล้เคียงกับค่า Mean ที่สุดจากการทดสอบทั้งหมดคือคำตอบที่ 6 (Total Score = 28,659 ส่วน Mean=28,678.4) ตามรูปที่ 7.2

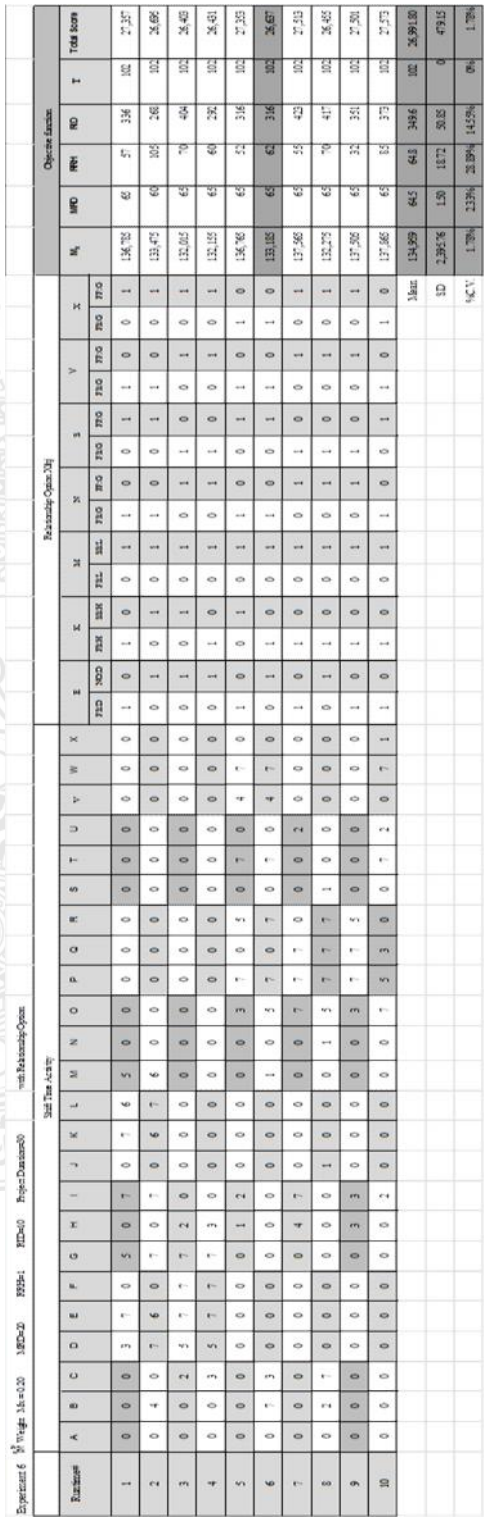


รูปที่ 7.2 กราฟแท่งจัดสรรทรัพยากรโครงการ หลังใช้โมเดล

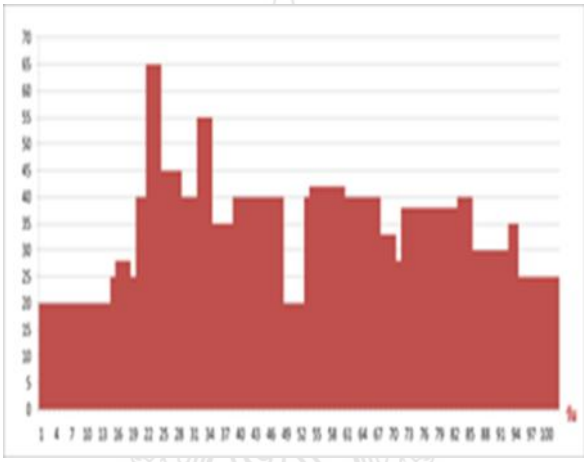
ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ 1
ใช้โมเดลที่ไม่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์



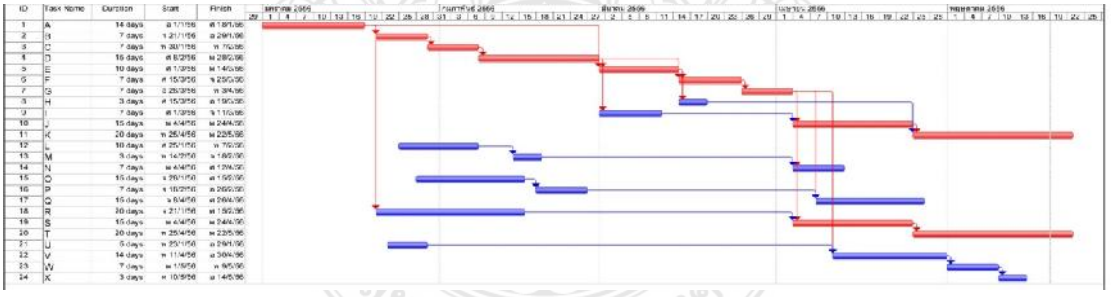
ตารางที่ 3 ผลการทดลองที่ 2
ใช้โมเดลใหม่ที่มีตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์



3.3 โมเดลต่อมาที่เพิ่มตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเข้าไปนั้นค่า Score ดัชนีมีค่าใกล้เคียงกันสูงมาก สังเกตจาก %C.V. = 0.78% ซึ่งต่ำมากแสดงถึงความเสถียรของคำตอบที่ดีจากการรัน การสร้างแผนงานใหม่ที่ได้จากโมเดล เราเลือกค่า Score ดัชนีที่ใกล้เคียงกับค่า Mean ที่สุดจากการทดสอบทั้งหมดคือคำตอบที่ 6 (Score = 26,637 ส่วน Mean=26,991.8 ลักษณะของกราฟแท่งมีลักษณะเหมือนเนินเขาเตี้ยๆที่มีหุบเขาบ้างช่วงแคบๆแสดงถึงการใช้ทรัพยากรที่น้อยในช่วงเริ่มต้นโครงการและค่อยๆเพิ่มขึ้นจนสูงในช่วงกลางและค่อยๆใช้ทรัพยากรต่ำลงในช่วงปลายโครงการ นั้นหมายถึงการได้รับคำตอบที่ดีขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับโมเดลแรก แผนงานการจัดสรรทรัพยากรหลังการปรับสมดุลจะได้แผนงานแบบตารางเวลาตามรูปที่ 8 และสร้างกราฟแท่งได้ตามรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 กราฟแท่งจัดสรรทรัพยากรโครงการ หลังใช้โมเดลใหม่ที่เพิ่มตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์



รูปที่ 8 แผนงานโครงการอาคารออร์โธพิดิกส์โรงพยาบาลรามาธิบดีหลังใช้โมเดลใหม่ที่เพิ่มตัวแปรตัวเลือกความสัมพันธ์ แสดงด้วย Gantt Chart

4. สรุป

การนำตัวอย่างโจทย์โครงการก่อสร้างโรงพยาบาลรามาธิบดีที่นำมาวิเคราะห์โดยโมเดลนี้เพื่อเป็นการเป็นการแสดงความสามารถของโมเดลซึ่งสร้างแผนงานที่มีความเหมาะสม (Optimal Schedule) เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้ทรัพยากรในโครงการก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากกราฟแท่ง ทั้ง 3 ที่ได้รับจากการรันโมเดลข้อมูลโจทย์ด้วยโปรแกรม Evolver พบว่า มีลักษณะกราฟเป็นภูเขาฐานกว้างที่มียอดไม่สูงมากซึ่งเป็นรูปร่างที่พึงประสงค์มากขึ้น และค่าผลลัพท์ดัชนีความผันผวนต่างๆ ก็มีแนวโน้มที่ลดต่ำลงด้วย โดยที่ระยะเวลาโครงการ T ยังคงเท่าเดิม แสดงว่า วิธีการปรับสมดุลด้วยการเพิ่มตัวเลือกความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม(Relationship Option) เข้าไป จะทำให้ได้รับคำตอบที่ดีมาก เราสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้

ยังโครงการอื่นๆ ได้อีก เพื่อประโยชน์ในการปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร และเพื่อการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในภาวะปัจจุบันที่ปัจจัยด้านทรัพยากรแรงงานก่อสร้างมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างเป็นอย่างมาก

5. เอกสารอ้างอิง

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

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

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

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

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

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