# การวางแผนงานก่อสร้างที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร ร่วมกับวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม

# Construction Planning Optimization under Limited Resources with Critical Part Segment

ธานิน คำทิพย์,[1*] ชีวินทร์ ลิ้มศิริ[2]

Thanin Kumtip,[1*] Cheevin Limsiri[2]

Received: 23 November 2018 ; Revised : 10 January 2019 ; Accepted: 20 February 2019

## บทคัดย่อ

วิธีการวางแผนการก่อสร้างที่เหมาะสมนั้นมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีเป้าหมายในการจัดการกับความต้องการที่แตกต่างกันของนักวางแผน การวางแผนด้านทรัพยากรเฉพาะคู่ใดคู่หนึ่ง เป็นการละเลยถึงผลกระทบต่อทรัพยากรอื่น ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาในเวลานั้น แผนจึงไม่สมเหตุสมผล ต้นทุนในการก่อสร้างประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ เช่น ค่าแรงงาน ค่าเช่าเครื่องจักร ดอกเบี้ยเงินกู้ ค่าปรับและค่าเสียโอกาส บทความนี้พัฒนาวิธีการวางแผนที่คำนึงถึงปัจจัยที่จะส่งผลต่อต้นทุนโครงการ โดยใช้วิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรมมาช่วยในการวางแผนกำหนดเวลาการใช้ทรัพยากรโดยรวมของโครงการและเงื่อนไขอื่น ๆ เช่น ข้อจำกัดด้านระยะเวลาของสัญญา จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ การทำงานในเวลาปกติ และการทำงานล่วงเวลา วงเงินเครดิตของบริษัท และข้อจำกัดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการก่อสร้าง จากนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำมาใช้กับโปรแกรมสำนักงานพื้นฐานของ Microsoft Excel ที่สามารถใช้งานได้ง่ายเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งทำได้โดยกระบวนการจำลองด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้แบบจำลองสำหรับการวางแผนโครงการด้านการจัดการทรัพยากรและเงื่อนไขอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

**คำสำคัญ** : การวางแผนงานที่เหมาะสม วิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรร วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

## Abstract

Appropriate construction planning methods are available using several methods. Each of these approaches has the goal of addressing the different needs of planners. Planning a master resource at a particular partner neglects the impact on other resources that were not considered at that time; the plan was not reasonable. The overall cost of a construction project consists of several factors; labour cost, rental costs of mechanism, interest on loans, fines and opportunity costs. This article develops a planning approach that takes into account factors that will affect project costs. Using the critical part segment (CPS) helps to plan the scheduling of overall resource utilization of the project and other conditions; such as the contract period, number of available resources, work in normal time and overtime, credit limits and restrictions on the relationship between construction activities. Then the developed model was adopted on a basic office program, Microsoft Excel, which can be used to easily find the best answer which can be achieved using a simulation process with genetic algorithms. The result of this study provides models for most effective project planning of resources management and other conditions.

**Keywords :** Optimization planning, Critical part segment, Genetic algorithms

---

*[1] นิสิตปริญญาเอก, [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000*

*[1] Doctoral degree student, [2] Assistant professor, Department of Engineering Management, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Mueang District, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.*

** Corresponding author; Col.Thanin Kumtip, 202/272, Swine 11, Phoklang, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. E-mail: panu2306@hotmail.com.*

## บทนำ

วิธีการวางแผนการก่อสร้างที่เหมาะสมนั้นมีหลายวิธี เช่น วิธีสายงานวิกฤต (Critical Path Method: CPM) วิธีการแลกเปลี่ยนค่าต้นทุนกับเวลา (Time Cost Trade-off: TCT) วิธีปรับระดับสมดุลของทรัพยากร (Resource Leveling: RL) และวิธีการบริหารการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ (Resource Allocation: RA) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีเป้าหมายในการจัดการกับความต้องการที่แตกต่างกันของนักวางแผน การวางแผนด้านทรัพยากรเฉพาะคู่ใดคู่หนึ่ง เป็นการละเลยถึงผลกระทบต่อทรัพยากรอื่น ๆ ที่ไม่ได้พิจารณาในเวลานั้น แผนจึงไม่สมเหตุสมผลขั้นตอนการวางแผนงานในโครงการก่อสร้างนับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งความสำเร็จของการบริหารโครงการอยู่ที่การใช้ทรัพยากรด้านต่าง ๆ ที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อันจะส่งผลต่อต้นทุนของโครงการ และมีผลกำไรจากการบริหารโครงการ[1] โดยทรัพยากรหลักของโครงการก่อสร้างจะประกอบด้วย เวลา ต้นทุน วัสดุ แรงงาน และเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรในแต่ละประเภทจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน[2] เช่นถ้าใช้จำนวนทรัพยากรประเภทแรงงานหรือเครื่องจักรในการดำเนินงานมาก จะส่งผลให้เวลาในการดำเนินงานเร็วขึ้น และมีค่าต้นทุนที่สูงขึ้นตามมา ดังนั้นแนวทางการวางแผนงานที่เหมาะสมคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณการใช้ทรัพยากรแต่ละประเภทในแต่ละกิจกรรมให้สอดคล้องกับห้วงเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเหมาะสมที่สุด อันจะส่งผลให้ต้นทุนของโครงการต่ำที่สุด โดยในปัจจุบันงานก่อสร้างโดยทั่วไปนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้ในการวางแผนงานซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีการคำนวณแผนงานด้วย CPM ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ ดังที่มีผู้ศึกษากล่าวไว้ดังนี้ Kim and de la Garza (2003) กล่าวว่า โปรแกรม Primavera P3 และ MS Project การแสดงผลของตารางการจัดการด้านทรัพยากรมีความไม่ถูกต้องเนื่องจากการคิดค่าเวลาเลื่อนของกิจกรรมไม่สอดคล้องกับห้วงเวลาของทรัพยากร[3] Herold (2004) กล่าวว่าการคำนวณใน CPM ยากเมื่อความสัมพันธ์ของงานไม่เป็นไปตามลำดับ[4] Hegazy and Menesi (2008) กล่าวว่า การวิเคราะห์ตารางเวลาไม่ใช่ว่าจะสามารถคำนวณตามกิจกรรมที่ต่อกัน ยังต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดทรัพยากรที่มีใช้ได้ร่วมด้วย[5] Kelleher (2004) กล่าวว่าจากผลการสำรวจบริษัทชั้นนำที่เกี่ยวกับงานก่อสร้างพบว่าการวางแผนด้วยวิธี CPM ยังไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงเป็นเรื่องยากที่จะสามารถวางแผนให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ต้องการการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในช่วงการปฏิบัติการจริงมีผลต่อแผนงานที่วิเคราะห์ไว้จำเป็นต้องวิเคราะห์ใหม่ไม่สามารถใช้ในการควบคุมแผนงานให้เป็นไปตามแผนงานได้ และบริษัทมีความต้องการวิธีการวางแผนที่ง่ายในการกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในระหว่างการดำเนินงานจริง[6] Sakka and Sayegh (2007) กล่าวว่า CPM ไม่สามารถระบุผลกระทบที่เกิดจากค่าเปลี่ยนแปลงของระยะเวลา และต้นทุนของโครงการ[7] ดังนั้นการวางแผนงานด้วย CPM จึงยังที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขในการทำงานจริง ดังเช่นกรณีที่กิจกรรมในแผนงานสามารถชะลองานไว้ก่อนเพื่อระดมทรัพยากรที่มีอยู่ไปดำเนินการ หรือกรณีที่กิจกรรมหนึ่ง ๆ กำหนดประเภทของทรัพยากรประเภทหนึ่งเป็นหลักในการดำเนินงาน แต่ในห้วงเวลาเดียวกันยังคงมีทรัพยากรอีกประเภทที่ ว่างอยู่ และสามารถนำมาพิจารณากำหนดให้ดำเนินงานในกิจกรรมนั้น ๆ ได้ ซึ่งถือว่าการบริหารโครงการนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ จากแนวคิดในการวางแผนงานก่อสร้างของผู้วิจัยในอดีตจะมุ่งเน้นไปที่การแลกเปลี่ยนระหว่างต้นทุนกับเวลา การปรับสมดุลการใช้ทรัพยากร ภายใต้สมมติฐานในการกำหนดการใช้ประเภทและจำนวนของทรัพยากรในลักษณะแผนงานปกติ และลักษณะแผนงานที่เร่งรัดในแต่ละกิจกรรมให้สามารถดำเนินการได้เร็วขึ้นด้วยการเพิ่มจำนวนทรัพยากร โดยวิธีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการนำวิธีสายงานวิกฤตเป็นต้นแบบในการคำนวณ แต่ด้วยข้อจำกัดในขั้นตอนการคำนวณเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละกิจกรรมทำให้ไม่สามารถพิจารณาการวางแผนการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ดังนั้นบทความนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาวิธีการวางแผนงานที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม (Critical part segment: CPS) และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผนงานที่พิจารณาปัจจัยในทุกด้านพร้อมกันได้แก่ ปัจจัยด้านเวลา ต้นทุน และทรัพยากรต่าง ๆของโครงการ เพื่อให้ได้วางแผนที่เหมาะสมที่สุด และทดสอบประเมินผลเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาต่าง ๆ

## วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการจัดการปัญหาในเรื่องการจัดตารางเวลางานก่อสร้าง (Construction Scheduling Problems) ที่พิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้นโดยใช้ CPS ในการแก้ปัญหาเรื่องการจัดตารางเวลางาน และใช้วิธีการแก้ปัญหา (Solving Algorithms) เพื่อให้ได้แผนงานก่อสร้างที่มีเหมาะสมโดยมีต้นทุนต่ำที่สุด

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงานก่อสร้างที่สอดคล้องกับการดำเนินงานจริงของบริษัทรับ

เหมางานก่อสร้างขนาดกลาง รวมถึงวิธีการคำนวณในรูปแบบวิธี CPM และวิธี CPS โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงาน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการวางแผน และ ขั้นตอนที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับวิธีการเดิมที่ใช้ในการวางแผน

## ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนงาน

โครงการก่อสร้างประกอบไปด้วยงานหลายประเภทและมีเงื่อนไขต่าง ๆ หลากหลายชนิดเช่นเงื่อนไขเกี่ยวกับระยะเวลาการก่อสร้างตามสัญญา เงื่อนไขด้านทรัพยากร เงื่อนไขด้านความปลอดภัยในการทำงาน กระแสเงินสดหมุนเวียนในโครงการ และเงื่อนไขอื่น ๆ ที่อาจมาจากนโยบาย หรือความประสงค์ทางธุรกิจของฝ่ายบริหาร[9] ดังนั้นการดำเนินงานในธุรกิจก่อสร้างจึงจำเป็นที่ต้องวางแผนให้สอดคล้องกับเงื่อนไขหรือปัจจัยที่จะส่งผลต่อการดำเนินงานในด้านต่าง ๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดดังแสดงใน Figure 1

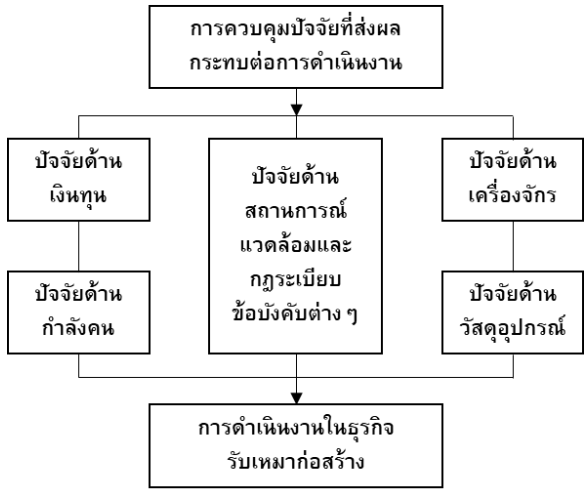



**Figure 1** Factors affecting construction business[8]

การวางแผนงานเป็นขั้นตอนที่ต้องทำโดยผู้ที่มีความรู้ในด้านเทคนิคการวางแผน และมีประสบการณ์ในงานนั้น ๆ ทั้งนี้แผนงานที่ดีจะต้องมีความถูกต้องในเชิงตรรกะด้านความสัมพันธ์ของงานต่าง ๆ และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง โดยการวางแผน (Planning) คือกระบวนการกำหนดวัตถุประสงค์ของการทำงานและแจกแจงรายละเอียดของขั้นตอนงานต่าง ๆ ที่ต้องทำเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เหล่านั้นและกำหนดการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ขั้นตอนในการวางแผนงานก่อสร้างด้วยวิธีสายงานวิกฤตมีขั้นตอนประกอบด้วย การกำหนดกิจกรรม (Activity) คือขั้นตอนงานย่อยอันหนึ่งจากเนื้องานทั้งหมดของโครงการก่อสร้างที่จะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จกิจกรรมต้องมีขอบเขตเนื้องานที่ต้องทำแน่นอนชัดเจน และเป็นเอกเทศ คือไม่มีส่วนของกิจกรรมหนึ่งที่ซ้อนทับกับกิจกรรมอื่น ๆ การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม หรือการจัดเรียงกิจกรรมต่าง ๆ เป็นลำดับก่อนหลัง คือการกำหนดให้กิจกรรมหนึ่งนั้นมีความสัมพันธ์ในเชิงเวลากับกิจกรรมอื่น ๆ อย่างไร เช่นกิจกรรมก่อสร้างหนึ่งอาจจะไม่สามารถเริ่มดำเนินการได้จนกระทั่งกิจกรรมหนึ่งได้ถูกดำเนินการแล้วเสร็จ (Activity dependency or relationships) โดยที่กิจกรรมที่ติดกันซึ่งต้องเริ่มดำเนินงานก่อนเรียกว่า“Predecessor” และกิจกรรมที่ติดกันซึ่งต้องทำทีหลังเรียกว่า“Successor” การกำหนดระยะเวลาของกิจกรรมคือระยะเวลาที่ต้องใช้เพื่อดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้น ระยะเวลาของกิจกรรม (Duration) เป็นค่าที่ได้จากการประมาณโดยใช้ความรู้สึก และหรือประสบการณ์ของผู้วางแผน ซึ่งระยะเวลาจะมีความสัมพันธ์กับ“อัตราผลผลิต” (Productivity) และจำนวนทรัพยากรที่ใช้ดำเนินงาน ได้แก่จำนวนแรงงาน และเครื่องจักร เป็นต้น โดยเป็นผลให้ระยะเวลาของกิจกรรมมีผลโดยตรงต่อต้นทุนของกิจกรรมนั้นเช่นกัน เนื่องจากกิจกรรมก่อสร้างเป็นงานที่มีอัตราผลผลิตซึ่งเปรียบได้กับอัตราความเร็วของการทำงานซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามปัจจัยของจำนวนคนงาน

$$Productivity = \frac{Quantity\ \ of\ work\ \ output}{Man \cdot hour} \quad (1)$$

$$Duration = \frac{Quantity\ \ of\ work\ \ output}{Productivity\ \ \times Men} \quad (2)$$

$$Labour\ cost = Duration \times Payrate \quad (3)$$

การคำนวณค่าเวลาของกิจกรรมด้วย “วิธีสายงานวิกฤต” (Critical Path Method: CPM) โดยค่าเวลาของกิจกรรมมีค่าเวลาต่าง ๆ ประกอบด้วย Earliest Start Time (ES) หมายถึงเวลาเริ่มที่เร็วที่สุดของกิจกรรมนั้น Earliest Finish Time (EF) หมายถึงเวลาเสร็จที่เร็วที่สุดของกิจกรรมนั้น Latest Start Time (LS) หมายถึงเวลาเริ่มที่ช้าที่สุดของกิจกรรมนั้น Latest Finish Time (LF) หมายถึงเวลาเสร็จที่ช้าที่สุดของกิจกรรมนั้น Free Float (FF) หมายถึงช่วงเวลาเลื่อนก่อนที่กิจกรรมนั้นจะทำให้ Successor ล่าช้า และ Total Float (TF) หมายถึงช่วงเวลาลอยตัวรวมของกิจกรรมที่หากกิจกรรมนั้นเริ่มดำเนินการไม่เกินเวลาลอยตัวจะไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาของโครงการ ในสภาพความเป็นจริงปัญหาหลักในการวางแผนงานก่อสร้างของบริษัทขนาดกลางและขนาดเล็ก ที่มีลักษณะเป็นเจ้าของรายเดียว ควบคุมงานเอง มีทีมงานเดียว ต้นทุนและค่าใช้จ่ายจะรวมศูนย์เบ็ดเสร็จ ที่เจ้าของบริษัท หรือมีแรงงานไม่เกิน 200 คน (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขาดกลางและขนาดย่อม,2552) จะมีปัญหาเกี่ยวกับจำนวนและประเภทของแรงงานที่มีอยู่ การเพิ่มหรือลดจำนวนแรงงานเพื่อให้การ

ดำเนินงานเป็นไปตามแผนงานเป็นไปอย่างจำกัด ประกอบกับแรงงานส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรมเมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยวจะขาดแคลนแรงงานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการวางแผนงานจำเป็นต้องใช้การวางแผนตามห้วงระยะเวลา ด้วยการพิจารณาจำนวนและประเภทแรงงานที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพที่สุดจึงจะส่งผลต่อต้นทุนโครงการที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้วิธีการเปรียบเทียบอัตราผลผลิตของแรงงานแต่ละประเภทมาใช้ในการวางแผน[10] เพื่อให้เกิดอัตราการว่างงานของแรงงานในแต่ละประเภทที่ยังไม่ได้ใช้งานในช่วงเวลานั้นๆ มาใช้งานแทน ดังแสดงใน Figure 2

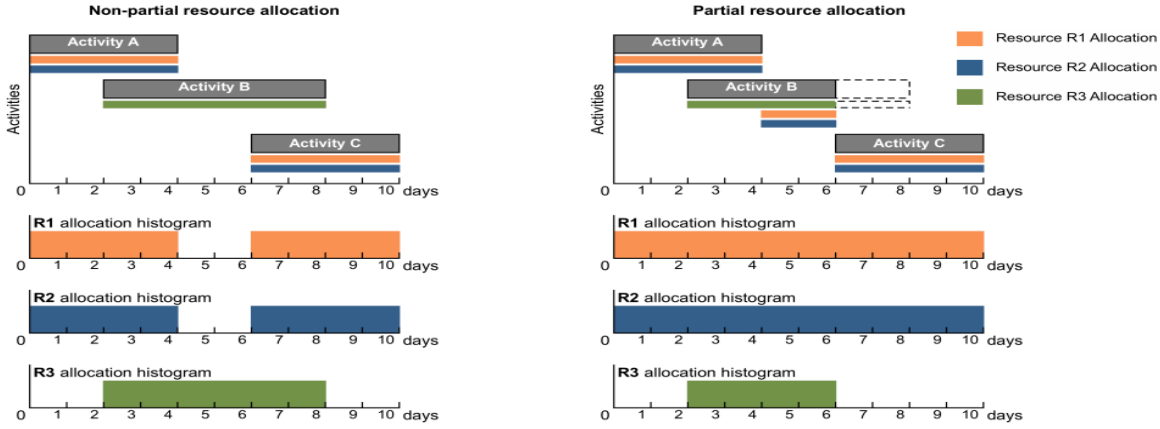



**Figure 2** Comparison the use of specific resources and mixed resources

การวัดค่าประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปแบบและวิธีการในการคำนวณซึ่งวิธี resource improvement coefficient (RIC)[11] เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สมการในการคิดคำนวณจากการใช้ทรัพยากรในแต่ละวันซึ่งจะมีค่าใกล้เคียง 1 ตามการคาดหวังในการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงใน Figure 3 ด้วยสมการดังนี้

$$\mathrm{RIC} = \frac{n\sum y_i^2}{(\sum y_i)^2} \qquad (4)$$

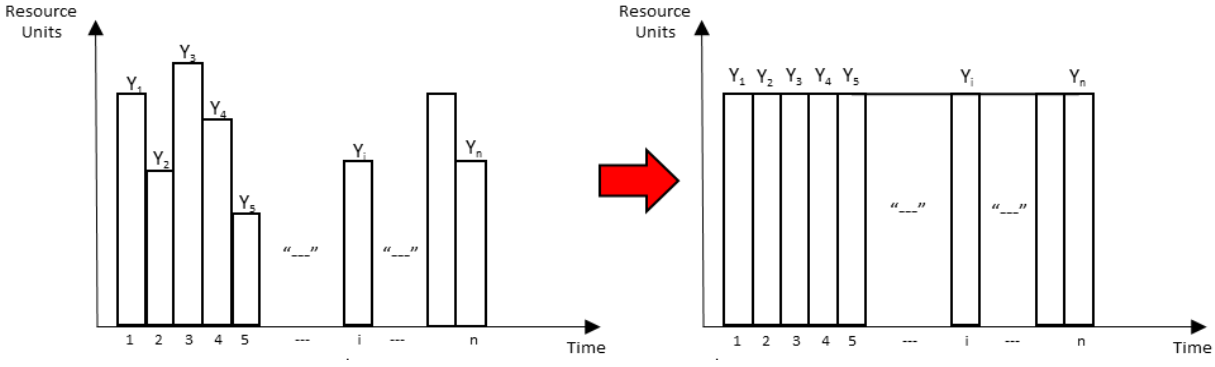



**Figure 3** Expectation of efficient use of resources

การวางแผนวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม (Critical part segment: CPS) เป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาในการวางแผนให้มีความใกล้เคียงกับสภาพการดำเนินงานจริง[12] ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง เช่น ในกรณีที่มีการแย่งชิงทรัพยากรที่ต้องใช้ในกิจกรรมในช่วงเวลาเดียวกันซึ่งผลรวมในเวลานั้นทำให้เกิดความต้องการทรัพยากรจากที่เตรียมไว้จึงจำเป็นต้องทำการเลื่อนกิจกรรมย่อยหนึ่งออกไปก่อน (แบ่งกิจกรรม) เพื่อรอทรัพยากรในการดำเนินงานต่อไปตามข้อจำกัดของทรัพยากรในช่วงเวลานั้นเป็นต้น รวมทั้งช่วยในการกำหนดกิจกรรมย่อยที่อยู่ในสายงานวิกฤตจากกรณีความสัมพันธ์ในการเริ่มงานไม่ได้เป็นไปในรูปแบบ Finish to Start(FS) เช่น การแก้ปัญหาความสับสนในการคำนวณระยะเวลาโครงการ และการกำหนดกิจกรรมที่วิกฤต เช่นงานโครงการหนึ่งมีแผนงานติดตั้งระบบไฟฟ้าในพื้นที่เดียวกับการติดตั้งเครื่องจักรโดยมีเงื่อนไขในการกำหนดลำดับงานคือ จะดำเนินการติดตั้งระบบไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องจักรไปแล้ว 5 วัน กำหนดเป็นลักษณะความสัมพันธ์ Start to Start (SS(5)) ซึ่งความสัมพันธ์

ลักษณะนี้ วิธี CPM ไม่สามารถคำนวณระยะเวลาลอยตัวของกิจกรรมได้เนื่องจากหากพิจารณาในสายทางวิกฤตจะไม่สามารถกำหนดกิจกรรมวิกฤตได้ เนื่องจากกิจกรรมวิกฤตที่ได้นั้นไม่ได้มีระยะเวลาสิ้นสุดที่วิกฤต เป็นต้น

ซึ่งการวางแผนวิธี CPM และโปรแกรมคำนวณที่มีอยู่ไม่สามารถแสดงกิจกรรมย่อยที่เป็นกิจกรรมวิกฤตได้ โดยที่วิธี CPM จะเป็นเพียงการกำหนดกิจกรรมเป็น 2 กิจกรรมย่อย คือการติดตั้งเครื่องจักร และกิจกรรมติดตั้งระบบไฟฟ้า โดยกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ SS

วิธี CPS สามารถวางแผนงานโครงการก่อสร้างที่มีลักษณะความสัมพันธ์ซับซ้อนกว่าปกติที่เคยใช้ในการวางแผนวิธี CPM โดยในขั้นตอนการคำนวณเวลาในโครงการจะกำหนดให้กิจกรรมที่แสดงบน Bar chart ในบางกิจกรรมสามารถแบ่งกิจกรรมได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในการกำหนดระยะเวลาการเลื่อนกิจกรรมในระยะเวลาลอยตัวของกิจกรรมที่มีของวิธี CPM แต่ในการแบ่งกิจกรรมย่อยในการดำเนินการจะยังคงอัตราผลิตภาพในการทำงานคงอัตราเดิม โดยลักษณะความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนนอกจากลักษณะ Finish to Start (FS) เช่น ลักษณะ Start to Start (SS), Finish to Finish(FF) และ Start to Finish(SF) แต่ในการคำนวณจะดำเนินการเปลี่ยนลักษณะความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นให้เป็นลักษณะ FS ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงค่า Lead และ Lag ดังแสดงใน Figure 4 โดยความแตกต่างในการคำนวณของวิธี CPS มีลักษณะวันต่อวัน หรือห้วงเวลาต่อห้วงเวลา แตกต่างจากวิธี CPM ที่พิจารณากิจกรรมต่อกิจกรรม

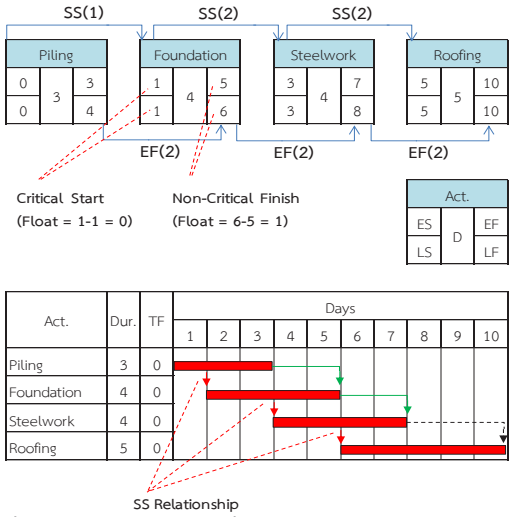



**Figure 4** An example of plan that show confusion in type of relationship

**วิธีการเจเนติกอัลกอริธึมส์ (Genetic Algorithms: GA)**

เป็นกระบวนการค้นหาคำตอบ (Search Algorithms) ที่เลียนแบบหลักการธรรมชาติ โดยการจำลองแบบวิธีการทำงานของวิวัฒนาการทางธรรมชาติ แล้วนำมาปรับประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุดกับปัญหา[13,14,15] ถูกพัฒนาขึ้นโดย Holland ในปี 1973 โดยใช้หลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีจากบรรพบุรุษไปสู่ลูกหลานเป็นแนวทางการหาคำตอบ และใช้การอ้างอิงข้อมูลของประชากรในรุ่นก่อนหน้าสำหรับการสร้างจุดค้นหา (Search Point) ภายใต้ขอบเขตที่เป็นไปได้ของคำตอบผนวกกับฟังก์ชั่นความเหมาะสม (Fitness Function) หรือฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function) เป็นตัวกำหนดลักษณะคำตอบของปัญหา เจเนติกอัลกอริธึมส์ จะใช้โครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการแก้ และจะมีกระบวนการพัฒนาลักษณะคำตอบของปัญหาให้ดีขึ้นตามขั้นตอนตามหลักการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ผู้ที่มีความเหมาะสมกว่าจะดำรงชีวิตอยู่ต่อไป และสามารถถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีส่งต่อไปยังลูกหลานได้ การพัฒนาลักษณะของประชากรให้ดีขึ้นจะต้องผ่านกระบวนการทางธรรมชาติหลายกระบวนการเช่น การคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมเพื่อนำมาใช้ขยายพันธุ์ (Reproduction) การแลกเปลี่ยนลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีระหว่างโครโมโซม (Crossover) และการผ่าเหล่า (Mutation) เป็นต้น กระบวนการต่างๆ เหล่านี้จะทำให้ได้ลักษณะของโครโมโซมที่มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของยีนส์ (Genes) ที่อยู่ภายในโครโมโซม ในขณะเดียวกันโครโมโซมแต่ละตัวซึ่งมีค่าความเหมาะสมที่แตกต่างกันจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อกำหนดว่าโครโมโซมใดควรจะยังคงอยู่เพื่อใช้ในการขยายพันธุ์ในประชากรรุ่นถัดไป และโครโมโซมใดควรจะคัดออก ดังนั้นโครโมโซมที่มีลักษณะด้อยย่อมมีแนวโน้มที่จะสูญพันธุ์ไปในที่สุด ในขณะที่โครโมโซมที่ดีมีแนวโน้มที่จะขยายพันธุ์ต่อไปตามรุ่นประชากร (Generation) ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการพัฒนาทิศทางในการค้นหาคำตอบของกระบวนการซึ่งการใช้โครโมโซมจำนวนหลายตัวในการหาคำตอบพร้อมๆ กันในแต่ละรุ่นประชากรเป็นผลทำให้เจเนติกอัลกอริธึมส์มีความสามารถในการหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**แบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

ส่วนประกอบหลักแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และฟังก์ชันข้อจำกัด (Constraint functions) โดยมีรายละเอียด

ของส่วนประกอบหลักของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ กำหนดให้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเวลาการเริ่มของกิจกรรมย่อย (Activity segment's start time) และกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงาน (Work resource combination) กลุ่มเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยจะเป็นค่าคำตอบที่ใช้กำหนดเวลาของแผนงานมีค่าเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าศูนย์ซึ่งเวลาเริ่มของกิจกรรมเหล่านี้จะเป็นไปตามเงื่อนไขของความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่กำหนดเสมือนกับเป็นการปรับเลื่อนกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมย่อยต่าง ๆ เป็นลำดับภายในระยะเวลาลอยตัวที่กิจกรรมนั้นมีอยู่การคำนวณ CPS แบบคำนวณไปข้างหน้าจะทำให้ได้ระยะเวลาของโครงการทั้งหมด ซึ่งการกำหนดเวลาเริ่มของกิจกรรมยังคงส่งผลกระทบโดยตรงต่อระดับการจัดสรรทรัพยากร และกระแสเงินสดอีกด้วย

$$ST_i = ES_i + S_i \quad (5)$$

โดยที่ $ST_i$ คือเวลาเริ่ม (Start time) ของกิจกรรม i และ $S_i$ คือตัวเลขจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ส่วนตัวแปรตัดสินใจกลุ่มการเลือกส่วนผสมของทรัพยากรดำเนินงานนั้น เป็นการกำหนดให้กิจกรรมก่อสร้างต่าง ๆ สามารถมีทางเลือกส่วนผสมต่าง ๆ กันได้ โดยตัวแปรตัดสินใจกลุ่มนี้จะกำหนดให้เป็นค่าสุ่ม (Random) กำหนดเป็นจำนวนทรัพยากรของแต่ละประเภทในการดำเนินกิจกรรมนั้น ๆเช่น กิจกรรม A มีทางเลือกการใช้ส่วนผสมการใช้ทรัพยากรดำเนินงานดังนี้ ทางเลือกที่ 1 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 1 = 5 หน่วย จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 2 = 10 หน่วย ระยะเวลา (D) = 7 วัน ค่าต้นทุน (ทางตรงไม่รวมวัสดุ) = 100,000 บาท

ทางเลือกที่ 2 จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 1 = 8 หน่วย จำนวนทรัพยากรประเภทที่ 2 = 15 หน่วยระยะเวลา (D) = 5 วัน ค่าต้นทุน (ทางตรงไม่รวมวัสดุ) = 190,000 บาท

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ กำหนดเป็นมูลค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดของโครงการ (Minimize TC) ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาความสัมพันธ์ในการทำงานของกิจกรรม และการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนทางตรง (DC) ต้นทุนทางอ้อม (IC) ค่าปรับกรณีล่าช้า (LC) โบนัส หรือโอกาสในการหารายได้เพิ่มขึ้น (IN) รวมถึงค่าเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ (RO)

$$\text{Minimize TC} = \text{DC} + \text{IC} + \text{LC} - \text{IN} + \text{RO} \quad (6)$$

$$\text{Minimize TC} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{M_i} C_{ik}X_{ik} + IC_o + IC * T + Y * C_d * D_t - Z * B * S_v + RO * Penalty \quad (7)$$

โดยที่ $C_{ik}$ คือชุดทางเลือกด้านต้นทุนทางตรงในการทำงานที่ k ใด ๆ สำหรับกิจกรรมที่ i ใด ๆ ; $X_{ik}$ คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 เมื่อชุดทางเลือกที่ k ใด ๆ ถูกเลือกให้กับกิจกรรม i หรือมีค่า = 0 ถ้าไม่ได้เลือก; n คือจำนวนกิจกรรมในโครงการ ; M คือจำนวนชุดทางเลือก ; $IC_o$ คือต้นทุนทางอ้อมเริ่มต้นไม่ขึ้นกับระยะเวลา ; IC คืออัตราต้นทุนทางอ้อมของโครงการที่ต้องการต่อหน่วยเวลา t ; T คือระยะเวลาทั้งหมดของโครงการที่แล้วเสร็จ ; Y คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 ถ้าเกินจากระยะเวลาที่กำหนด ; $C_d$ คือต้นทุนที่ส่งถึงค่าปรับ ; $D_t$ คือจำนวนวันที่เกินจากระยะเวลาที่กำหนดในสัญญา ; Z คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 ถ้าไม่เกินจากระยะเวลาที่กำหนด ; B คือต้นทุนที่ส่งถึงค่าตอบแทนในการได้โอกาส ; $S_v$ คือจำนวนวันที่เร็วกว่าระยะเวลาที่กำหนดในสัญญา ; RO คือตัวแปรแบบ Binary ที่มีค่า = 1 ถ้าใช้ทรัพยากรเกินจากที่กำหนด และ Penalty คือมูลค่ารวมต่อหน่วยเวลาของอัตราค่าเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่

ฟังก์ชั่นข้อจำกัดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม และกลุ่มขีดจำกัดของทรัพยากรหรือปัจจัยต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง

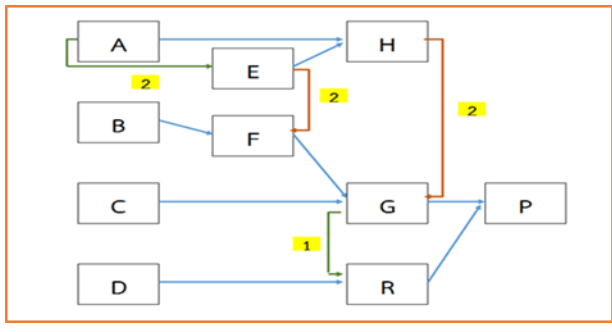
**ขั้นตอนการคำนวณ**

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจัดการปัญหาในเรื่องการจัดตารางเวลางานก่อสร้าง (Construction Scheduling Problems) ที่พิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากขึ้นโดยใช้การแบ่งส่วนเวลาในกิจกรรม (CPS) ในการแก้ปัญหาเรื่องการจัดตารางเวลางานและใช้วิธีการแก้ปัญหา (Solving Algorithms) เพื่อให้ได้แผนงานก่อสร้างที่มีเหมาะสมโดยมีต้นทุนต่ำที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงลำดับความคิดในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้อ้างอิงจากลำดับขั้นตอนในการทำงานโดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กลุ่มคำสั่งที่ใช้ทำงานอัตโนมัติใน โปรแกรม Microsoft Excel มาช่วยในการวนรอบในการค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณ ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปของโครงการสำหรับการอ้างอิง ข้อมูลส่วนนี้จะไม่มีผลโดยตรงต่อการคำนวณ ได้แก่ ชื่อโครงการ ระยะเวลา อัตราค่าปรับ ต้นทุนทางอ้อม อัตราค่าแรงและค่าเสียโอกาสในการใช้หรือหาเพิ่มของทรัพยากร และข้อมูลใช้สำหรับการคำนวณ เป็นส่วนของข้อมูลที่จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณได้แก่ ชื่อกิจกรรมในแผนงานโครงการ ชุดตัวเลือกระยะเวลาของการทำงานที่ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ประเภทและจำนวนของทรัพยากรที่มีอยู่ ชนิดความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม ข้อจำกัดด้านเวลา และข้อจำกัดอื่น ๆ

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างพื้นที่สำหรับใช้ในการคำนวณจะอ้างอิงจากกระบวนการทำงานของแบบจำลองตามหลักการโดยจะเริ่มจากการสุ่มค่าตั้งต้นให้กับตัวแปรตัดสินใจ จากฐานข้อมูลด้านกิจกรรมที่มีและจำนวนทรัพยากรในประเภทต่างๆ ที่ใช้เพื่อให้ได้ตัวเลขด้านเวลาในการทำงานในกิจกรรมนั้นๆ เพื่อหาเวลารวมทั้งหมดของโครงการ โดยกำหนดให้กิจกรรมหนึ่งมีทางเลือกในการใช้ทรัพยากรในแต่ละประเภท และกำหนดได้ว่ากิจกรรมนั้นสามารถทำ OT หรือ แบ่งกิจกรรมย่อยได้หรือไม่ สุดท้ายจะได้ชุดตั้งต้นของเวลาในแต่ละกิจกรรมที่มีการสุ่มค่าตั้งต้นเพื่อนำไปใช้คำนวณด้านเวลาและต้นทุนโครงการต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาแผนงานที่เหมาะสม ในการเริ่มต้นการคำนวณเพื่อหาแผนงานที่เหมาะสมจะดำเนินการเลือกชุดตัวแปรตั้งต้นเพื่อนำมาคำนวณหาค่าของระยะเวลาของโครงการตามวิธีคิดตามแบบวิธี CPM ที่สอดคล้องตามเงื่อนไขด้านเวลาของแต่ละกิจกรรม ตาม Figure 5 ที่ประกอบด้วยกิจกรรมย่อยจำนวน 10 กิจกรรม A – P มีความสัมพันธ์กันทั้งในรูปแบบ FS SS FF และการ Lag ระหว่างกิจกรรม โดยสัญญาของโครงการนี้จะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จภายใน 22 วัน ไม่เช่นนั้นจะเกิดค่าปรับจากความล่าช้าของงานคิดเป็น 1,000 บาทต่อวัน หรือหากสามารถดำเนินงานได้เร็วกว่าแผนงานจะได้โบนัสวันละ 1,000 บาทแทน สำหรับประเภทของแรงงานในบริษัทนี้ประกอบด้วยแรงงาน 2 ประเภท คือ R1 และ R2 ซึ่งจะมีค่าจ้างต่อวัน และค่าเสียโอกาสหรือค่าจ้างกลับเข้ามาทำงานใหม่ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ตาม Table 1 เป็นการแสดงตัวอย่างการลงข้อมูลในตารางที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการคำนวณต่อไป ประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมแบบ Predecessor และ Successor รวมทั้งการกำหนดจำนวนมากที่สุดและน้อยที่สุดของแรงงานในแต่ละประเภทมี่จะสามารถนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ได้ในกิจกรรมนั้นๆ รวมถึงการกำหนดว่ากิจกรรมใดสามารถทำได้นอกจากเวลาปกติในช่วงแต่ละวัน (OT) และกิจกรรมใดสามารถแบ่งย่อยกิจกรรมได้โดยไม่กระทบต่อปัจจัยด้านอื่นๆ (Split) และหลังจากนั้นจะเป็นการสุ่มเวลาเริ่มต้นของกิจกรรมย่อยที่อยู่ภายในขอบเขตเวลาจากการคำนวณด้วยวิธี CPM ตาม Table 2 อันจะส่งผลไปสู่การจัดสรรทรัพยากรเพื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขต่างๆ ที่มีอยู่ ตาม Figure 6 โดยเริ่มจากการสุ่มค่าจำนวนแรงงานในแต่ละประเภท สำหรับในการดำเนินกิจกรรมนั้นๆ ซึ่งจะคำนวณออกมาเป็นเวลาที่ต้องใช้สำหรับกิจกรรมนั้นๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายโดยรวมของกิจกรรมนั้นๆ ด้วย หากตรงตามเงื่อนไข จะบันทึกข้อมูลเอาไว้ ซึ่งผลที่ได้ในรอบการสุ่มครั้งนี้ คือ จะใช้ แรงงานประเภท R1 = 13 คน R2 = 13 คน ใช้เวลาทั้งสิ้น = 23 วัน จะเกิดค่าปรับจำนวน 1 วันคิดเป็นต้นทุนโครงการ = 88,019 บาท แล้วจะเริ่มค้นหาชุดคำตอบในชุดต่อๆไป




| Basic Information | | |
|---|---|---|
| Project Name | Test # 1 | |
| Contract Time | 22 | Day |
| Penalty Rate | 1,000 | Bath/Day |
| Incentive Rate | 1,000 | Bath/Day |
| Project Indirect Cost | 250 | Bath/Day |
| Regular Pay Rate R1 | 35 | Bath/Day |
| Regular Pay Rate R2 | 40 | Bath/Day |
| Regular Pay Rate R3 | 0 | Bath/Day |
| Hiring/Firing Unit Cost R1 | 60 | Bath/Day |
| Hiring/Firing Unit Cost R2 | 90 | Bath/Day |
| Hiring/Firing Unit Cost R3 | 0 | Bath/Day |

**Figure 5** Example of project data

**Table 1** Determining the data in a table for calculation

| Act. | Des | Total Man-Hour | Pred | | | | Relation | | | | Lag/Lead | | | | Susc | | | | Relation | | | | Lag/Lead | | | | R1 | | | R2 | | | R3 | | | OT | | Split |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | Min | Max | M-H | Min | Max | M-H | Min | Max | M-H | Min | Max | |
| 1 | A | 100 | | | | | | | | | | | | | 8 | 5 | | | FS | SS | | | 0 | 2 | | | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 0.6 | | | | | | |
| 2 | B | 250 | | | | | | | | | | | | | 6 | | | | FS | | | | 0 | | | | 2 | 6 | 0.7 | 3 | 8 | 1 | | | | 0 | 4 | |
| 3 | C | 200 | | | | | | | | | | | | | 7 | | | | FS | | | | 0 | | | | 2 | 5 | 1 | 4 | 7 | 0.8 | | | | 0 | 4 | 1 |
| 4 | D | 150 | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | FS | | | | 0 | | | | 2 | 4 | 0.8 | 2 | 4 | 1 | | | | | | |
| 5 | E | 250 | 1 | | | | SS | | | | 2 | | | | 8 | 6 | | | FS | FF | | | 0 | 2 | | | 4 | 5 | 1 | 5 | 6 | 0.8 | | | | 0 | 4 | 1 |
| 6 | F | 100 | 2 | 5 | | | FS | FF | | | 0 | 2 | | | 7 | | | | FS | | | | 0 | | | | 2 | 5 | 0.5 | 1 | 3 | 1 | | | | | | |
| 7 | G | 250 | 3 | 6 | 8 | | FS | FS | FF | | 0 | 0 | 2 | | 10 | 9 | | | FS | SS | | | 0 | 1 | | | 4 | 8 | 0.6 | 3 | 6 | 1 | | | | | | 1 |
| 8 | H | 200 | 1 | 5 | | | FS | FS | | | 0 | 0 | | | 7 | | | | FF | | | | 2 | | | | 2 | 6 | 1 | 3 | 6 | 0.6 | | | | 0 | 4 | 1 |
| 9 | R | 350 | 4 | 7 | | | FS | SS | | | 0 | 1 | | | 10 | | | | FS | | | | 0 | | | | 5 | 6 | 1 | 3 | 4 | 0.5 | | | | 0 | 4 | 1 |
| 10 | P | 250 | 7 | 9 | | | FS | FS | | | 0 | 0 | | | | | | | | | | | 0 | | | | 4 | 8 | 1 | 5 | 8 | 0.5 | | | | | | |

**Table 2** Show the time selection to start some sub-activities

| Activity | Spilt | M-H | R1 | R2 | R3 | OT | Dur. | Cost | Day 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 100 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 675 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 250 | 6 | 6 | 0 | 2 | 3 | 1856 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| C | 1 | 200 | 4 | 6 | 0 | 1 | 3 | 1353 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| D | 0 | 150 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 780 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 250 | 4 | 5 | 0 | 1 | 4 | 1615 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| F | 0 | 100 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 780 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| G | 1 | 250 | 4 | 3 | 0 | 0 | 6 | 1560 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H | 1 | 200 | 3 | 4 | 0 | 1 | 4 | 1258 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| R | 1 | 350 | 6 | 3 | 0 | 0 | 6 | 1980 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 250 | 7 | 8 | 0 | 0 | 3 | 1695 | 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 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Proj.Dur.= | 23 | | | | | | 23 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| R1 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| $RIC_{R1}$ = | 1.173945 | | | | R1 MAX | | 13 | | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 10 | 10 | 10 | 4 | 8 | 11 |
| R2 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| $RIC_{R2}$ = | 1.183616 | | | | R2 MAX | | 13 | | 6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 9 | 11 | 11 | 5 | 8 | 13 |
| R3 Limit | | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $RIC_{R3}$ = | 0 | | | | R3 MAX | | 0 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cost Limit | | | | | | | | | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 |
| Total Cost= | 88,019 | | | | Cost MAX | | 5,618 | | 3,073 | 2,725 | 2,725 | 2,725 | 2,770 | 2,770 | 3,726 | 4,381 | 4,381 | 3,425 | 3,695 | 4,061 |
| DC = | 54,149 | | | | | | | | 1,353 | 675 | 675 | 675 | 780 | 780 | 2,636 | 3,471 | 3,471 | 1,615 | 2,395 | 3,391 |
| IDC = | 5,750 | | | | | | | | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| PC = | 1,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IC = | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H/F R1 = | 10,380 | | | | | | | | 660 | 720 | 720 | 720 | 660 | 660 | 300 | 300 | 300 | 660 | 420 | 240 |
| H/F R2 = | 16,740 | | | | | | | | 810 | 1,080 | 1,080 | 1,080 | 1,080 | 1,080 | 540 | 360 | 360 | 900 | 630 | 180 |
| H/F R3 = | 0 | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

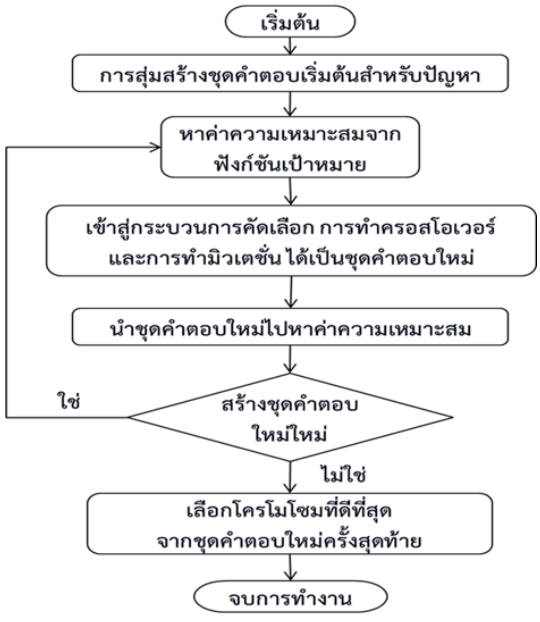



**Figure 6** Finding the suitable plan

## ผลการทดลอง

แผนงานก่อสร้างที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะได้แผนงานที่เหมาะสมตามที่ผู้วางแผนต้องการโดยสอดคล้องกับเงื่อนไขต่าง ๆ ของการบริหารโครงการ โดยสามารถเปรียบเทียบมูลค่าต้นทุนโครงการที่ได้จากแบบจำลองกับค่าตั้งต้นจากการสุ่มเริ่มแรกดัง Table 3 โดยใช้วิธีกำหนดค่าตามเงื่อนไขของวิธีการต่าง ๆ เช่นเมื่อไม่กำหนดค่าจำกัดของจำนวนทรัพยากร และไม่ระบุ

ให้แต่ละกิจกรรมสามารถแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรม จะพบว่าแผนงานของโครงการด้วยวิธี CPM จะมีต้นทุนโครงการที่ 57,865 บาท และจะมีการใช้ทรัพยากรเกินจากที่มีอยู่ ($R1_{Max}$=19>15 และ $R2_{Max}$=18>15) ดังแสดงใน Table 4 ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเพิ่ม/ลดแรงงาน และเมื่อได้ใช้วิธี Resource Allocation : (RA) & Resource Leveling : (RL) มาช่วยในการวางแผนจะมีต้นทุนโครงการที่ 62,087 บาท ดังแสดงใน Table 5 สูงกว่าการวางแผนด้วย CPM แต่หากพิจารณาใช้วิธี CPS มาใช้จะมีต้นทุนโครงการที่ 54,633 บาท ดังแสดงใน Table 6 ซึ่งถือว่ามีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ต้นทุนโครงการต่ำลง และเมื่อใช้ GA ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะพบว่าต้นทุนโครงการอยู่ที่ 49,983 บาท ดังแสดงใน Table 7 และใช้ทรัพยากรไม่เกินจากที่มีอยู่

**Table 3** Comparison of the project's cost

| Item | CPM | RA&RL | CPS | CPS with GA |
|---|---|---|---|---|
| TC (บาท) | 57,865 | 62,087 | 54,633 | 49,983 |
| Dur (วัน) | 17 | 17 | 17 | 15 |
| R1 (คน) | 19 | 12 | 14 | 15 |
| RIC R1 | 1.35 | 1.08 | 1.22 | 1.09 |
| R2 (คน) | 18 | 12 | 15 | 15 |
| RIC R2 | 1.33 | 1.09 | 1.18 | 1.18 |
| Cost Max (บาท) | 6,142 | 5,010 | 4,910 | 5,020 |

**Table 4** CPM Plan

| Activity | Spilt | M-H | R1 | R2 | R3 | OT | Dur. | Cost | Day 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 100 | 3 | 4 | 0 | 0 | 2 | 530 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 250 | 2 | 7 | 0 | 4 | 3 | 1837 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 1 | 200 | 4 | 7 | 0 | 1 | 2 | 997 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 150 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 780 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 250 | 5 | 6 | 0 | 3 | 3 | 1945 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 5 | 2 | 0 | 0 | 3 | 765 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G | 1 | 250 | 8 | 4 | 0 | 0 | 4 | 1760 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H | 1 | 200 | 5 | 5 | 0 | 1 | 3 | 1335 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 1 | 350 | 6 | 3 | 0 | 0 | 6 | 1980 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 250 | 8 | 8 | 0 | 0 | 3 | 1800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 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 | 0 |
| Proj.Dur.= | 17 | | | | | | 17 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.000 |
| R1 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R1}$ = | 1.353878 | | | | R1 MAX | | 19 | | 3 | 3 | 2 | 2 | 11 | 13 | 18 | 5 | 5 | 13 | 19 | 14 | 14 | 6 | 8 | 8 | 8 | 0.000 |
| R2 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R2}$ = | 1.337219 | | | | R2 MAX | | 18 | | 4 | 4 | 7 | 7 | 16 | 16 | 18 | 2 | 2 | 9 | 12 | 7 | 7 | 3 | 8 | 8 | 8 | 0.000 |
| R3 Limit | | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| $RIC_{R3}$ = | 0 | | | | R3 MAX | | 0 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cost Limit | | | | | | | | | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | |
| Total Cost= | 57,865 | | | | Cost MAX | | 6,142 | | 2,490 | 2,490 | 2,996 | 2,996 | 4,084 | 3,715 | 4,720 | 2,785 | 2,785 | 3,982 | 6,142 | 5,100 | 5,100 | 4,180 | 3,100 | 3,100 | 3,100 | 0.000 |
| DC = | 40,165 | | | | | | | | 530 | 530 | 1,246 | 1,246 | 3,504 | 3,255 | 4,020 | 765 | 765 | 3,072 | 5,382 | 4,070 | 4,070 | 2,310 | 1,800 | 1,800 | 1,800 | 0.000 |
| IDC = | 4,250 | | | | | | | | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 0.000 |
| PC = | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IC = | -5,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H/F R1 = | 7,020 | | | | | | | | 720 | 720 | 780 | 780 | 240 | 120 | 180 | 600 | 600 | 120 | 240 | 60 | 60 | 540 | 420 | 420 | 420 | 0.000 |
| H/F R2 = | 11,430 | | | | | | | | 990 | 990 | 720 | 720 | 90 | 90 | 270 | 1,170 | 1,170 | 540 | 270 | 720 | 720 | 1,080 | 630 | 630 | 630 | 0.000 |
| H/F R3 = | 0 | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Table 5** RA & RL Plan

| Activity | Spilt | M-H | R1 | R2 | R3 | OT | Dur. | Cost | Day 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 100 | 3 | 2 | 0 | 0 | 3 | 555 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 250 | 5 | 5 | 0 | 1 | 3 | 1335 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 1 | 200 | 2 | 5 | 0 | 1 | 4 | 1282 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 150 | 3 | 3 | 0 | 0 | 4 | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 250 | 5 | 5 | 0 | 3 | 3 | 1757 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 4 | 2 | 0 | 0 | 3 | 660 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G | 1 | 250 | 6 | 5 | 0 | 0 | 4 | 1640 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H | 1 | 200 | 3 | 4 | 0 | 2 | 4 | 1457 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 1 | 350 | 6 | 3 | 0 | 1 | 5 | 1959 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 250 | 7 | 5 | 0 | 0 | 3 | 1335 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 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 | 0 |
| Proj.Dur.= | 17 | | | | | | 17 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.000 |
| R1 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R1}$ = | 1.089592 | | | | R1 MAX | | 12 | | 8 | 8 | 10 | 2 | 7 | 8 | 12 | 10 | 10 | 9 | 12 | 12 | 12 | 6 | 7 | 7 | 7 | 0.000 |
| R2 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R2}$ = | 1.089478 | | | | R2 MAX | | 12 | | 7 | 7 | 12 | 5 | 10 | 8 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 3 | 5 | 5 | 5 | 0.000 |
| R3 Limit | | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| $RIC_{R3}$ = | 0 | | | | R3 MAX | | 0 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cost Limit | | | | | | | | | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | |
| Total Cost= | 62,087 | | | | Cost MAX | | 5,010 | | 3,280 | 3,280 | 3,975 | 3,195 | 4,413 | 4,168 | 4,408 | 4,041 | 4,041 | 4,181 | 5,010 | 5,010 | 5,010 | 4,180 | 2,965 | 2,965 | 2,965 | 0.000 |
| DC = | 44,927 | | | | | | | | 1,890 | 1,890 | 3,155 | 1,265 | 3,233 | 2,868 | 3,528 | 2,951 | 2,951 | 3,031 | 3,950 | 3,950 | 3,950 | 2,310 | 1,335 | 1,335 | 1,335 | 0.000 |
| IDC = | 4,250 | | | | | | | | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 0.000 |
| PC = | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IC = | -5,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H/F R1 = | 6,480 | | | | | | | | 420 | 420 | 300 | 780 | 480 | 420 | 180 | 300 | 300 | 360 | 180 | 180 | 180 | 540 | 480 | 480 | 480 | 0.000 |
| H/F R2 = | 11,430 | | | | | | | | 720 | 720 | 270 | 900 | 450 | 630 | 450 | 540 | 540 | 540 | 630 | 630 | 630 | 1,080 | 900 | 900 | 900 | 0.000 |
| H/F R3 = | 0 | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Table 6** CPS Plan

| Activity | Spilt | M-H | R1 | R2 | R3 | OT | Dur. | Cost | Day 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 100 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 675 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 250 | 2 | 8 | 0 | 3 | 3 | 1828 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 1 | 200 | 3 | 6 | 0 | 4 | 2 | 1207 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 150 | 2 | 4 | 0 | 0 | 3 | 690 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 250 | 5 | 6 | 0 | 4 | 2 | 1452 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 675 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G | 1 | 250 | 8 | 6 | 0 | 0 | 3 | 1560 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H | 1 | 200 | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 | 1295 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 1 | 350 | 6 | 4 | 0 | 1 | 5 | 2196 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 250 | 6 | 7 | 0 | 0 | 3 | 1470 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 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 | 0 |
| Proj.Dur.= | 17 | | | | | | 17 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.000 |
| R1 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R1}$ = | 1.225804 | | | | R1 MAX | | 14 | | 3 | 5 | 7 | 7 | 7 | 5 | 3 | 6 | 12 | 14 | 14 | 14 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 0.000 |
| R2 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | |
| $RIC_{R2}$ = | 1.183997 | | | | R2 MAX | | 15 | | 6 | 7 | 15 | 15 | 14 | 6 | 3 | 9 | 13 | 10 | 10 | 10 | 4 | 4 | 7 | 7 | 7 | 0.000 |
| R3 Limit | | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| $RIC_{R3}$ = | 0 | | | | R3 MAX | | 0 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cost Limit | | | | | | | | | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | |
| Total Cost= | 54,633 | | | | Cost MAX | | 4,910 | | 3,009 | 2,935 | 3,265 | 3,265 | 3,442 | 3,112 | 2,725 | 3,234 | 3,670 | 3,476 | 4,910 | 4,910 | 4,370 | 4,370 | 2,980 | 2,980 | 2,980 | 0.000 |
| DC = | 37,983 | | | | | | | | 1,229 | 1,365 | 2,535 | 2,535 | 2,622 | 1,452 | 675 | 1,904 | 3,060 | 2,716 | 4,150 | 4,150 | 2,590 | 2,590 | 1,470 | 1,470 | 1,470 | 0.000 |
| IDC = | 4,250 | | | | | | | | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 0.000 |
| PC = | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IC = | -5,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H/F R1 = | 7,680 | | | | | | | | 720 | 600 | 480 | 480 | 480 | 600 | 720 | 540 | 180 | 60 | 60 | 60 | 540 | 540 | 540 | 540 | 540 | 0.000 |
| H/F R2 = | 9,720 | | | | | | | | 810 | 720 | 0.000 | 0.000 | 90 | 810 | 1,080 | 540 | 180 | 450 | 450 | 450 | 990 | 990 | 720 | 720 | 720 | 0.000 |
| H/F R3 = | 0 | | | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

**Table 7** CPS with GA Plan

| Activity | Spilt | M-H | R1 | R2 | R3 | OT | Dur. | Cost | Day 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 0 | 100 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 675 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 0 | 250 | 6 | 7 | 0 | 4 | 2 | 1715 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | 1 | 200 | 4 | 7 | 0 | 2 | 2 | 1155 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D | 0 | 150 | 4 | 4 | 0 | 0 | 3 | 900 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E | 1 | 250 | 5 | 6 | 0 | 0 | 3 | 1245 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0 | 100 | 5 | 2 | 0 | 0 | 3 | 765 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G | 1 | 250 | 7 | 4 | 0 | 0 | 4 | 1620 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H | 1 | 200 | 6 | 4 | 0 | 2 | 3 | 1526 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| R | 1 | 350 | 6 | 3 | 0 | 2 | 5 | 2268 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P | 0 | 250 | 7 | 7 | 0 | 0 | 3 | 1575 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 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 | 0 | 0 | 0 |
| Proj.Dur.= | 15 | | | | | | 15 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| R1 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | | | |
| $RIC_{R1}$ = | 1.09714 | | | | R1 MAX | | 15 | | 9 | 13 | 12 | 9 | 14 | 5 | 15 | 13 | 13 | 13 | 13 | 6 | 7 | 7 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| R2 Limit | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | | | |
| $RIC_{R2}$ = | 1.180473 | | | | R2 MAX | | 15 | | 10 | 14 | 13 | 10 | 15 | 2 | 13 | 8 | 7 | 7 | 7 | 3 | 7 | 7 | 7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| R3 Limit | | | | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| $RIC_{R3}$ = | 0 | | | | R3 MAX | | 0 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cost Limit | | | | | | | | | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | 6,000 | | | |
| Total Cost= | 49,983 | | | | Cost MAX | | 5,020 | | 3,450 | 3,750 | 3,663 | 3,438 | 3,865 | 2,785 | 3,802 | 3,915 | 5,020 | 5,020 | 5,020 | 4,180 | 3,025 | 3,025 | 3,025 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DC = | 40,543 | | | | | | | | 2,390 | 3,290 | 3,053 | 2,378 | 3,555 | 765 | 3,372 | 2,915 | 3,930 | 3,930 | 3,930 | 2,310 | 1,575 | 1,575 | 1,575 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| IDC = | 3,750 | | | | | | | | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| PC = | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IC = | -7,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H/F R1 = | 4,140 | | | | | | | | 360 | 120 | 180 | 360 | 60 | 600 | 0.00 | 120 | 120 | 120 | 120 | 540 | 480 | 480 | 480 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H/F R2 = | 8,550 | | | | | | | | 450 | 90 | 180 | 450 | 0.00 | 1,170 | 180 | 630 | 720 | 720 | 720 | 1,080 | 720 | 720 | 720 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H/F R3 = | 0 | | | | | | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

## สรุปผลการทดลอง

การวางแผนงานของโครงการก่อสร้างหากเราพิจารณาเฉพาะปัจจัยคู่หนึ่งจะส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นๆ ที่เราไม่ได้นำมาพิจารณาจึงทำให้แผนงานนั้นไม่สมเหตุสมผลดังเช่นในกรณีที่เราจะพิจารณาเฉพาะแรงงาน R1 R2 เพียงอย่างเดียวบางครั้งมูลค่าต้นทุนของโครงการอาจจะไม่ใช่แผนงานที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นจะต้องมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำปัจจัยในทุกๆ ด้านที่มีผลกระทบต่อมูลค่าต้นทุนของโครงการมาพิจารณารวมกันทั้งหมดในด้านระยะเวลาในสัญญาเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งจะมีผลต่อค่าปรับ รวมถึงมูลค่าที่ทางบริษัทอาจจะต้องเสียในเรื่องค่าเสียโอกาสในการรับงานอื่นต่อไปด้วย การนำเอาวิธีการแบ่งส่วนเวลาของกิจกรรมมาช่วยในการวางแผนจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถนำมาช่วยในการบริหารการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการใช้ เจเนติกอัลกอริธึมส์มาช่วยในการค้นหาคำตอบจะทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด

## ข้อเสนอและข้อจำกัด

ค่าประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร (RIC) มีค่าไม่เท่ากับหนึ่งเนื่องจากผลรวมของแผนงานที่เหมาะสมมีความสัมพันธ์กับเงื่อนไขในด้านต่างๆ แต่ยังคงเป็นแผนงานที่มีมูลค่าต้นทุนโครงการที่ต่ำการค้นหาแผนงานที่เหมาะสมด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริธึมส์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาแผนงานที่ดีที่สุดภายใต้กลุ่มหรือเงื่อนไขของชุดสมการที่สามารถกำหนดได้ และสอดคล้องกับจำนวนตัวแปรและความซับซ้อนของสมการได้อย่างจำกัด รวมทั้งยังมีข้อจำกัดต่อการประมวลผลในโปรแกรมพื้นฐานสำเร็จรูป Microsoft Excel ที่ต้องใช้เวลานานในการประมวลผลคำตอบที่เหมาะสมหากใช้งานสำหรับแผนงานที่มีกิจกรรมมากๆ แต่เราสามารถพิจารณาวางแผนงานในกลุ่มย่อยๆ ตามห้วงระยะเวลาที่ต้องการในการวางแผนงานใช้ทรัพยากรที่มีได้

## เอกสารอ้างอิง


1. วิสูตร จิระดำเกิง. การวางแผนงานและแผนกำหนดเวลางานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 2 ปทุมธานี: วรรณกวี, 2554
2. วชรภูมิ เบญจโอพาร. รายงานวิจัยเรื่องการวางแผนและควบคุมงานก่อสร้างด้วยการกำหนดเวลาและต้นทุนที่เหมาะสม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2554
3. Kim K, and de la Garza, JM, Phantom float. Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. 2003; 129(5): 507-517.
4. Herold SC. Enhanced PDM - Concepts and benefits. AACE International Transactions. 2004, PS.09.1-PS.09.8.
5. Hegazy T, and Menesi W. Delay analysis considering dynamic resource allocation and multiple baselines. AACE International Transactions, 2008. CDR.14.1-CDR.14.8.
6. Kelleher A. An investigation of the expanding role of the critical path method by ENR's top 400 contractors. Master's thesis. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va. 2004.
7. Sakka ZI, and El-Sayegh SM. Float consumption impact on cost and schedule in the construction industry. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE. 2007; 133(2): 124–130.

8. นิคม โกเอี่ยม. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจรับเหมาก่อสร้างของผู้รับเหมาในจังหวัดลำปาง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2547
9. มงคล อัศวดิลกฤทธิ์. การพัฒนาแผนโครงการก่อสร้างโดยใช้วิธีคอนสเตรนท์ซาทิสแฟคชั่นพร๊อบเบล็ม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2555
10. Ibrahim S, Abotaleb, Mohamed B, Moussa, Sara M. Hussain. Optimization of Allocating Multi-Skilled Labor Resources Using Genetic Algorithms, CSCE .2014. General Conference - Congress general.
11. Ganesh B. Jadhav, D. M. Ghaitidak, Study Of Resource Levelling By Re-Modified Minimum Moment Method. International Journal of Innovative Research and Advanced Studies (IJIRAS), 2016: 2394-4404 .
12. Hegazy, T, and Menesi W. Critical Path Segments (CPS) scheduling technique.Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 2010: 136(10).
13. หทัยจรี แสงประดิษฐ. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริธึมส์ในการจัดทำแผนงานที่มีต้นทุนการก่อสร้างต่ำ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2546
14. Chan WT, Chua DKH, and Kannan G. Construction Resource Scheduling with Genetic Algorithms, Journal of Construction Engineering and Management. 1996; 122(2): 125-132.
15. Chen PH, and Weng H. A two-phase GA model for resource-constrained project scheduling, Automation in Construction. 2009; 18(4 ): 485–498.